

**Matthias Kater**

# **GOCAD-3D-gestützte Bilanzierung und Interpretation der hydrologischen Situation im ehemaligen Steinkohlerevier Zwickau**

**Freiberg/Sachsen, 1998**

## **Danksagung**

Bei Herrn Prof. Dr. sc. H. Brause vom Landesamt für Umwelt und Geologie möchte ich mich für die interessante Themenstellung bedanken.

Besonders möchte ich meinen Betreuern Prof. Dr. habil. J. W. Schneider und Prof. Dr. habil. B. Merkel für die intensive Unterstützung und die zahlreichen konstruktiven Besprechungen danken.

Den Herren Dipl. phys. H.-U. Besser (HGN), Dipl. geogr. U. Göttelmann und Dipl. Ing. St. Döhner (Sächsisches Oberbergamt) danke ich für die freundliche und unkomplizierte Bereitstellung von Daten.

Dank gebührt außerdem meinen Kommilitonen Axel Renner, mit dem zusammen ich das Projekt des LfUG bearbeitete, sowie Marcus Apel, der mir mit Hinweisen und Ratschlägen bei der Einarbeitung in die Software GOCAD oft zur Seite stand. Weiterhin danke ich Herrn Dipl. geol. Sebastian Kolitsch für die fruchtbaren Diskussionen und Anregungen.

## Inhaltsverzeichnis

TABELLENVERZEICHNIS.....	3
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	5
ANLAGENVERZEICHNIS .....	7
ZUSAMMENFASSUNG.....	8
1 MOTIVATION UND ZIELSTELLUNG.....	11
2 ABRIß DER GEOLOGISCHEN SITUATION IM ARBEITSGEBIET .....	13
2.1 GEOLOGISCHER RAHMEN.....	13
2.1.1 <i>Zwickau - Formation</i> .....	13
2.1.2 <i>Rotliegend</i> .....	15
2.2 STÖRUNGSMUSTER UND BECKENKONFIGURATION.....	15
3 ABLEITUNG EINES STRATIGRAPHISCHEN NORMALPROFILS FÜR DAS ROTLIEGEND .....	21
3.1 GEGENÜBERSTELLUNG DER UNTERGLIEDERUNGEN DES ARBEITSGEBIETES .....	21
3.2 LITHOFAZIELLE ENTWICKLUNG .....	21
3.2.1 <i>Härtendorf-Formation</i> .....	21
3.2.2 <i>Planitz-Formation</i> .....	24
3.2.3 <i>Leukersdorf-Formation</i> .....	24
3.2.4 <i>Mülsen-Formation</i> .....	25
4 STRATIGRAPHISCHE NEUINTERPRETATION DER BOHRUNGEN UND SCHÄCHTE	
26	
4.1 DATENGRUNDLAGE.....	26
4.2 DATENAUFBEREITUNG .....	26
4.3 FESTLEGUNG VON MARKERHORIZONTEN.....	27
4.4 WEITERE SCHÄCHTE .....	30
5 KARTEN- UND PROFILSCHNITTKONSTRUKTION.....	32
5.1 TOPOGRAPHISCHE KARTE .....	32
5.2 KONSTRUKTION DER PROFILSCHNITTE.....	33
5.3 INTERPRETATION DER PROFILSCHNITTE .....	34
6 INTERPRETATION DES SEISMIKTIEFENSCHNITTES .....	36
7 AUSWERTUNG DER GELÄNDEARBEITEN .....	39

<b>8</b>	<b>KONSTRUKTION VON STÖRUNGEN.....</b>	<b>46</b>
<b>9</b>	<b>ABRIß DER HYDROGEOLOGISCHEN SITUATION IM ARBEITSGEBIET .....</b>	<b>49</b>
9.1	HYDROLOGISCHE UND HYDROMETEOROLOGISCHE VERHÄLTNISSE .....	49
9.2	HYDROGEOLOGISCHE EINSCHÄTZUNG UND WASSERFÜHRUNG DER EINZELNEN FORMATIONEN ..	52
9.3	GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT .....	56
<b>10</b>	<b>DIE WASSERHALTUNG DER GRUBENBAUE DES ZWICKAUER STEINKOHLENREVIERs .....</b>	<b>65</b>
<b>11</b>	<b>BILANZIERUNG DER GRUBENWASSERHALTUNG .....</b>	<b>69</b>
<b>12</b>	<b>RÄUMLICHES MODELL DER ZWICKAUER STEINKOHLENLAGERSTÄTTE.....</b>	<b>78</b>
12.1	MODELLIERUNG VON FLÖZKÖRPERN .....	78
12.2	INTEGRATION DES VERSATZES.....	80
12.3	ABLEITUNG VON ABSENKUNGSFAKTOREN.....	82
12.4	BEWERTUNG DER MODELLIERTEN OBERFLÄCHENABSENKUNG.....	85
12.5	MODELLIERUNG DES RESTHOHLRAUMVOLUMENS .....	87
12.6	PROGNOSE DER DAUER DER FLUTUNG .....	90
<b>13</b>	<b>SOFTWARE - ENTWICKLUNG .....</b>	<b>92</b>
13.1	ENTWICKLUNG EINER SCHNITTSTELLE ZWISCHEN MS-ACCESS UND GOCAD .....	92
13.2	ENTWICKLUNG EINER SCHNITTSTELLE ZWISCHEN ATLASGIS UND GOCAD.....	97

**LITERATUR**

**Die Kapitel 2, 3, 4, 5 und 7 beinhalten die Diplomkartierung, alle anderen  
Kapitel die Diplomarbeit.**

## Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1, Hauptverwerfungen im Zwickauer Revier - BEYER et al. (1981).....</i>	16
<i>Tabelle 2, Markerhorizonte.....</i>	28
<i>Tabelle 3, Formblatt des Schichtenverzeichnisses nach SIEGERT (1901).....</i>	31
<i>Tabelle 4, Streich- und Fallrichtungen der Schichtung.....</i>	41
<i>Tabelle 5, Auftreten des "fleckigen Horizontes" in der Baugrube Tiefgarage-Kornmarkt.....</i>	42
<i>Tabelle 6, Tritiumgehalte der Grundwasserproben – von KOLITSCH &amp; GÖTELmann (1998) .....</i>	43
<i>Tabelle 7, mittlere Wasserbilanz (1967-1996) für das Bilanzgebiet Zwickauer Mulde – aus WALTHER et al. (1998).....</i>	50
<i>Tabelle 8, mittlere Wasserbilanz (1967-1996) für das Bilanzgebiet Zwickauer Mulde in m<sup>3</sup>/d – aus WALTHER et al. (1998).....</i>	51
<i>Tabelle 9, Wasserbilanz der Bockwaer Senke - aus WALTHER et al. (1998) .....</i>	53
<i>Tabelle 10, Transmissivitäten der Mülsen-Fm. in Abhängigkeit von der tektonischen Stellung - JORDAN (1995).....</i>	56
<i>Tabelle 11, Grubenwässer des Zwickauer Revieres - aus SCHRÄBER (1968) .....</i>	58
<i>Tabelle 12, Solquellen des Thüringer Beckens und des Vogtlandes - aus SCHRÄBER (1968) und CARLÉ (1975) .....</i>	60
<i>Tabelle 13, Analysenbeispiel für ständig nachlaufende Wässer - aus BEYER et al. (1981) .....</i>	62
<i>Tabelle 14, Analysenbeispiel für Standwässer - aus BEYER et al. (1981) .....</i>	63
<i>Tabelle 15, Analysenbeispiel für Standwässer - aus BEYER et al. (1981) .....</i>	63
<i>Tabelle 16, Analysenbeispiel für Waschwasser zur Aufbereitung der Kohle – aus BEYER et al. (1981) .....</i>	63
<i>Tabelle 17, Steinkohlenwerke des Zwickauer Revieres nach 1945 .....</i>	65
<i>Tabelle 18, Wasserhaltungsschächte vor Beginn der zentralen Grubenwasserhaltung.</i>	65
<i>Tabelle 19, Austauschmengen nach Leakage-Konzept - aus WALTHER et al. (1998)...</i>	73
<i>Tabelle 20, Bilanzgrößen der Bilanzierung der Grubenwasserhaltung.....</i>	75
<i>Tabelle 21, Flözübersichtsrisse 1 : 5000 des Zwickauer Revieres.....</i>	78
<i>Tabelle 22, Senkungsfaktoren verschiedener Autoren .....</i>	83

<i>Tabelle 23, Faktoren zur Berechnung des Resthohlraumvolumens .....</i>	87
<i>Tabelle 24, Gesamt- und Restvolumina der Flöze .....</i>	89
<i>Tabelle 25, Schritte der Berechnung des Resthohlraumvolumens .....</i>	89
<i>Tabelle 26, Prognose des Flutungszeitraumes der Grubenbaue .....</i>	91

## Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1, Normalprofil des Zwickauer Westfals - DÖRING et al. (1988) .....</i>	14
<i>Abbildung 2, generalisierte Karte der Vorerzgebirgssenke - aus LANGE (1998).....</i>	17
<i>Abbildung 3, Beckenentwicklung der Vorerzgebirgssenke – verändert nach FISCHER (1991) .....</i>	18
<i>Abbildung 4, Tektonische Hauptrichtungen im Permokarbon der Vorerzgebirgssenke – aus SCHNEIDER et al. (1996) .....</i>	19
<i>Abbildung 5, Gegenüberstellung der stratigraphischen Tabellen – verändert nach FISCHER (1991), PIETZSCH (1962), SIEGERT (1901).....</i>	22
<i>Abbildung 6, Lithologische Entwicklung im Arbeitsgebiet .....</i>	23
<i>Abbildung 7, 3D-Darstellung der Baugrube Tiefgarage-Kornmarkt .....</i>	39
<i>Abbildung 8, Baugrube Tiefgarage-Kornmarkt - Klüfte und Hebungsbeträge ausgewählter Pfeiler der Tiefgarage.....</i>	40
<i>Abbildung 9, sogenannter "fleckiger Horizont" – Im mächtiger Tuff .....</i>	42
<i>Abbildung 10, Wasseraustritt an Ankerbohrung im 5. UG der Baugrube Tiefgarage-Kornmarkt .....</i>	44
<i>Abbildung 11, Quellaustritte auf der Sohle des 5. UG der Baugrube.....</i>	45
<i>Abbildung 12, Systemskizze Stadtgebiet Zwickau - aus WALTHER et al. (1998).....</i>	49
<i>Abbildung 13, Lage der Durchflussmeßquerschnitte – aus WALTHER et al. (1998).....</i>	54
<i>Abbildung 14, Beispieldiagramm aus SCHRÄBER (1968) .....</i>	59
<i>Abbildung 15, Vergleich des Chemismus von Grubenwässern des Zwickauer Reviers mit Solquellen des Thüringer Beckens und des Vogtlandes.....</i>	61
<i>Abbildung 16, Wasserhaltung im KMW 1954–60 – aus Archivunterlagen des Bergarchives Freiberg .....</i>	66
<i>Abbildung 17, zentrale Wasserhaltung im FNS 1960–75 – aus Archivunterlagen des Bergarchives Freiberg .....</i>	67
<i>Abbildung 18, 3D-Skizze des Bilanzgebietes Zwickauer Mulde.....</i>	69
<i>Abbildung 19, geologische Karte des Bilanzgebietes Zwickauer Mulde (Känozoikum abgedeckt) .....</i>	70
<i>Abbildung 20, Modellgebiet für die Bilanzierung der Grubenwasserhaltung (Känozoikum abgedeckt) .....</i>	74

<i>Abbildung 21, Vergleich der GWN (gleitendes Mittel über 7 Stützstellen) mit der Grubenwasserhaltung .....</i>	76
<i>Abbildung 22, Vergleich des Mulde-Durchflusses am Pegel Zwickau-Pöhlitz (gleitendes Mittel über 7 Stützstellen) mit der Grubenwasserhaltung.....</i>	76
<i>Abbildung 23, GOCAD Snapshot – modellierte Senkungsbeträge an der Oberfläche ..... blau: geringe Senkungsbeträge, rot: große Senkungsbeträge</i>	85
<i>Abbildung 24, Bohrungsdarstellung in GOCAD.....</i>	92
<i>Abbildung 25, Struktur der MS-Access-Bohrungsdatenbank.....</i>	93
<i>Abbildung 26, Oberfläche des Programmes "GOCAD-Well-Konverter".....</i>	95
<i>Abbildung 27, Beispiel einer GOCAD-wl Datei .....</i>	96

## **Anlagenverzeichnis**

1. Profil N-S 6
2. Profil N-S 7
3. Profil N-S 2
4. Profil N-S 8
5. Profil N-S 4
6. Profil N-S 5
7. Profil E-W 1
8. Profil E-W 2
9. Profil E-W 3
10. Profil E-W 4
11. Profil E-W 5
12. Profil E-W 6
13. Profil E-W 7
14. Profil E-W 8
15. Profil E-W 9
16. Profil E-W 10
17. Profil N-S 1
18. Profil N-S 3
19. Topographische Karte des Untersuchungsgebietes
20. Legende zu den Anlagen 1 - 19
21. Seismiktiefenschnitt, interpretiert
22. Oberflächensenkung (Nivellement der Gruppenmarkscheiderei Zwickau)
23. Oberflächensenkung (GOCAD-Modellierung) und Abbaugrenzen
24. CD-Rom

## Zusammenfassung

Der Steinkohlenbergbau im Raum Zwickau-Oelsnitz setzte im 14. Jahrhundert ein, er wurde 1348 erstmals urkundlich erwähnt. Während der letzten 150 Jahre bis zur Stilllegung 1978 (Zwickauer Revier) wurde intensiv Kohle gefördert. Daraus resultierten Bergbaufolgeschäden, die sich wie folgt äußerten:

- Senkungen der Tagesoberfläche,  
Die maximalen Senkungen im Zwickauer Revier betragen laut BEYER et al. (1981) ca. 9m.
- Störungen der Vorflutbedingungen,  
Infolge der Senkungen sind abflußlose Gebiete entstanden, die künstlich entwässert werden müssen. Es handelt sich dabei um die Bockwaer Senke im S Zwickaus sowie den Stadtteil Schedewitz und das zentrale Stadtgebiet.
- Hebungen der Tagesoberfläche,  
Die Hebungen der Tagesoberfläche werden für den Zeitraum 1976-1996 mit max. 15cm angegeben (mündl. Mitteilung von Herrn St. Döhner, Sächsisches Oberbergamt). Sie sind auf den Wiederanstieg des Grundwassers nach Einstellung des Bergbaus zurückzuführen.
- Translationsbewegungen.  
Bereits von BEYER et al. (1981) wurden Horizontalverschiebungen beschrieben, die in Bezug auf Gebäude- und Rohrleitungsschäden als besonders kritisch einzuschätzen sind. Erstmals konnten sie von WITTENBURG (in BRAUSE & FISCHER 1996) meßtechnisch erfaßt werden.

Um konkretere Aussagen zu oben genannten Problemen zu erhalten und Gefährdungsabschätzungen vorzunehmen, war es notwendig, die geologische und strukturelle Situation vor allem der Rotliegend-Sedimente zu erfassen. Dazu wurde aufbauend auf FISCHER (1991) ein Normalprofil des Rotliegend, als Grundlage späterer Aufschluß- und Bohrungsinterpretationen, erstellt. Anhand dieses Normalprofiles konnten sämtliche zur Verfügung stehende

Bohrungsdaten einer modernen stratigraphische Gliederung unterzogen werden.

Da die Senkungs- bzw. Hebungsbewegungen im Bereich der Stadt Zwickau wahrscheinlich störungskontrolliert vonstatten gehen, mußte der Verlauf der Hauptstörungen, welche in der Zwickau-Fm. gut erkundet sind, durch die Rotliegend-Sedimente an die Tagesoberfläche bestimmt werden. Dazu wurde ein rasterförmiges Netz von 18 Profilschnitten in E-W und N-S Richtung über das Arbeitsgebiet gelegt. Desweiteren konnten Leithorizonte der Rotliegend-Sedimenten in 40 Schächten festgelegt werden, die einem 3D-Modell der Grubenbaue und des Rotliegend, welches von RENNER (1998) erstellt wurde, zugeführt wurden. Um den wahrscheinlichsten Störungsverlauf der Hauptstörungen an der Tagesoberfläche zu ermitteln, wurden folgende Daten berücksichtigt:

- 18 Profilschnitte,
- GOCAD-3D Modell des Karbon und Rotliegend im Untergrund von Zwickau (RENNER 1998),
- interpretiertes reflexionsseismisches Profil im zentralen Stadtgebiet (BAUER et al. 1997),
- Oberflächliche Störungsindikationen (BESSER 1998),
- Beobachtungen bei der Kartierung temporärer Aufschlüsse im Stadtgebiet Zwickaus (insbesondere der Baugrube Tiefgarage Kornmarkt).

Mit Hilfe dieser breiten Datenbasis konnten die Ausstriche der Oberhohndorfer Hauptverwerfung (OHHV), des Brückenbergsprungs und einiger Nebenstörungen in drei unterschiedlichen Nachweiskategorien ermittelt werden.

Der zweite Teil der Arbeit konzentrierte sich auf die hydrologische und hydrogeologische Situation des Grubengebäudes vor und während der Flutung. Eine Datenrecherche im Bergarchiv des Sächsischen Staatsarchives erbrachte Monatswerte zur Grubenwasserhaltung im Zwickauer Revier. Aufbauend auf Grundwasserneubildungsberechnungen von WALTHER et al. (1998) wurde eine Bilanzierung der den Grubenbauen zufließenden Wassermengen vorge-

nommen und mit den Daten der Grubenwasserhaltung verglichen. Es konnte bewiesen werden, daß die den Grubenbau zufließenden Wässer hauptsächlich aus den Ausstrichbereichen von Zwickau-, Härtendorf- und Planitz-Fm. stammen, so daß davon ausgegangen werden muß, daß die Leukersdorf-Fm. nur in untergeordnetem Maße grundwasserdurchlässig ist. Dieses Ergebnis negiert die Vermutung von BEYER et al. (1981), daß der Grubenwasserzufluß nur über alte, auflässige Grubenbaue im Ausstrichbereich der Kohle erfolgte.

Das von RENNER (1998) entwickelte GOCAD-3D Modell der 9 mächtigsten und verbreitetsten Flöze des Zwickauer Steinkohlenrevieres wurde weiterentwickelt. Dabei wurden die Mächtigkeiten der Flöze in das Modell integriert und Flözkörper erzeugt. Weiterhin wurden die vermuteten Versatzarten eingetragen.

Aus diesen Daten konnte die theoretische Senkung der Flözkörper und eine theoretische Gesamtsenkung der Tagesoberfläche modelliert werden. Ein Vergleich mit den markscheiderisch gemessenen Senkungsbeträgen ergab eine relativ gut Übereinstimmung der Geometrie des Absenkungstrichters.

Mit Hilfe der Daten zu den Flözvolumina und den Versatzarten wurde das Resthohlraumvolumen des Grubengebäudes ermittelt, welches der Flutung zur Verfügung steht. Dieses Volumen wurde der zuvor modellierten, den Grubenbau zufließenden Wassermenge, gegenübergestellt. Dabei ergab sich ein Flutungszeitraum von 11 Jahren und 3 Monaten. Dieser Wert korreliert gut mit dem beobachteten Zeitraum bis zum ersten Überlaufen des Grubengebäudes der mit ca. 12 Jahren angegeben wird (RICHTER et al. 1994).

Die Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß eine 3D-Modellierung geologischer Körper bei der Behandlung komplexer hydrogeologischer sowie ingenieurgeologischer Fragestellungen ein wertvolles Hilfsmittel ist, ohne das sich dimensionsabhängige Parameter nicht ausreichend genau abschätzen lassen.

## 1 Motivation und Zielstellung

Die **Diplomkartierung** "Erfassung und stratigraphische Neuinterpretation von Bohrungen und Schächten für die GOCAD-gestützte Konstruktion von Marker-Horizonten und Richtschnitten im Rotliegend des Bergbauschadensgebietes Zwickau" ist zusammen mit der Diplomkartierung und -arbeit von cand. geol. A. Renner (RENNER (1998) Bestandteil des Werksvertrages "Geologische Detailkartierung und Erfassung geologischer und ingenieurgeologischer Daten im Stadtgebiet Zwickau" als Teilaufgabe zum Projekt "Geologische Grundlagen Vorerzgebirgssenke" zwischen dem Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) unter der Leitung von Prof. Dr. sc. H. Brause und der TU Bergakademie Freiberg.

Beide Arbeiten sollten eine geologisch-strukturelle Grundlage bilden für:

- Die Bergschadensanalyse,
- Hydrogeologische Untersuchungen,
- Ingenieurgeologische Fragestellungen,
- Die Ermittlung von Gefährdungspotentialen,
- Sanierungsmaßnahmen.

Daraus ergaben sich für beide Arbeiten folgende Schwerpunkte:

(1) Erfassung und Auswertung geologischer Daten aus ingenieurgeologischen Arbeiten, geophysikalischen Untersuchungen und Bohrungen/Schächten aus Archiven von Ämtern wie LfUG, Staatliches Umweltfachamt Plauen und Stadtbauamt Zwickau.

(2) Erfassung und Dokumentation temporärer Aufschlüsse im Stadtgebiet.

(3) Präzisierung der stratigraphischen und lithologischen Gliederung des Rotliegend im Arbeitsgebiet und Anwendung auf die erfaßten Bohrungen und Schächte.

- (4) Durchführung einer computergestützten 3D-Modellierung zur Konstruktion geologischer Strukturen, v.a. von Störungen.
- (5) Präzisierung des Geologischen Meßtischblattes Zwickau im unmittelbaren Umfeld der Stadt und Ermittlung von Störungsverläufen an der Tagesoberfläche.

Die Aufgaben (1), (2) und (5) wurden gemeinsam mit A. Renner durchgeführt, die Aufgabe (4) liegt in Form der Diplomarbeit von A. Renner (RENNER 1998) bereits vor.

Die **Diplomarbeit** trägt den Titel: „GOCAD-3D-gestützte Bilanzierung und Interpretation der hydrologischen Situation im ehemaligen Steinkohlenrevier Zwickau“. Aufbauend auf dem von RENNER (1998) erstellten Modell der Grubenbaue des Zwickauer Revieres, sollten die bergbaubedingten Störungen des hydrologischen Systems untersucht und quantifiziert werden. Die bisherigen hydrologischen und hydrogeologischen Bearbeitungen, die im Rahmen der „Komplexuntersuchung zu Auswirkungen des ehemaligen Steinkohlenbergbaus im Raum Oelsnitz-Zwickau“ und des „Altlastenmodellstandort (MOST) Zwickau“ durchgeführt wurden, waren nicht in der Lage, den Einfluß des Grubengebäudes auf die hydrologische Situation vor und nach Einstellung des Bergbaus näher zu bestimmen.

Da ein 3D-Modell des Grubengebäudes bereits existierte, konnte der Versuch unternommen werden, dieses zur Quantifizierung der Grubenwasserhaltung und zur Modellierung des zu flutenden Hohlraumes zu nutzen.

## 2 Abriß der geologischen Situation im Arbeitsgebiet

### 2.1 Geologischer Rahmen

Die Stadt Zwickau befindet sich am südlichen Beckenrand der Vorerzgebirgs-senke, die mit Molasseablagerungen des Rotliegend gefüllt ist. Es handelt sich dabei um zyklisch aufgebaute, vorwiegend fluviatile Konglomerat- bis Tonsteinabfolgen, in die sporadisch geringmächtige lakustrische Karbonate und palustrisch beeinflußte Sedimente, sowie vulkanogene Bildungen eingeschaltet sind. Diese Sequenz überlagert diskordant varistisch verfaltete präkambrische bis altpaläozoische Gesteine sowie karbonische Molasseablagerungen. Im Arbeitsgebiet sind dies die Zwickau-Formation des Westfal C/D bis tiefsten Stefan.

#### 2.1.1 Zwickau - Formation

Das Oberkarbon der Zwickau-Formation hat eine Gesamtmächtigkeit von ca. 300m (max. 350m). Es gliedert sich in drei Einheiten (Flözgruppen): Schedewitzer Schichten, Hauptflözkomplex und Oberhohndorfer Schichten. Die Basis bildet nach einem ausgedehnten Hiatus ein 2-5m mächtiger Phyllitverwitterungsschutt, das sogenannte Kümmelgebirge. Darüber folgt ein ca. 80m mächtiger, stark zersetzer „Melaphyr“ (=Andesitoid). Im Hangenden treten Konglomerat- bis Tonsteinfolgen auf, in die ca. 20 Steinkohlenflöze eingeschaltet sind (s. Abbildung 1). Bei der Steinkohle handelt es sich hauptsächlich um eine Streifenkohle, bestehend aus Glanzkohle (Vitrit), Mattkohle (Clarit-Durit) und Faserkohle (Fusit). Dabei wurde die Glanzkohle vom Bergmann als Pechkohle bezeichnet, ein Wechsel von Vitrit und Fusit als Rußkohle (PIETZSCH 1962). Der Inkohlungsgrad entspricht Gasflamm- bis Flammkohle. Der Bildungsraum der unteren und mittleren Flözgruppe entspricht einer fluviatilen meandering river-Assoziation, der der oberen Flözgruppen einer palustrinen bis lakustrinen floodplain-Assoziation. Die Kohlenflöze fallen mit 2-10° (max. 25°) nach NE ein, im östlichen Teil des Mülsenfeldes nach S bis SE. Die

Zwickau-Fm. wird erosionsdiskordant vom Rotliegend überlagert. Im heutigen Abschnitt streicht sie im Muldental bei Cainsdorf aus.

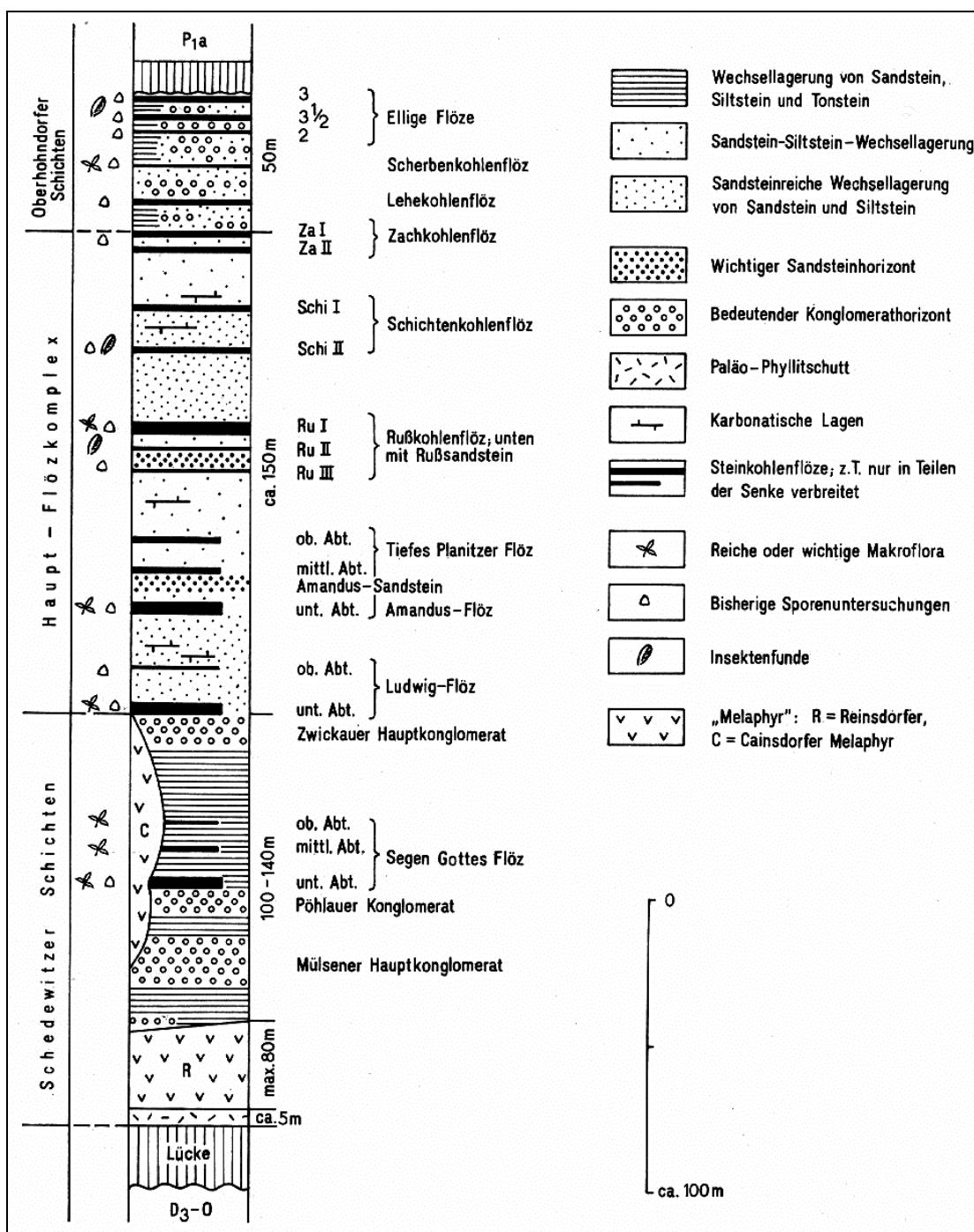


Abbildung 1, Normalprofil des Zwickauer Westfals - DÖRING et al. (1988)

### 2.1.2 Rotliegend

Die Rotliegend-Molassen der Vorerzgebirgssenke gliedern sich nach FISCHER (1991) in vier Formationen : Härtingsdorf-, Planitz-, Leukersdorf- und Mülsen/Gera-Formation. Aufgrund der beckenrandlichen Position des Arbeitsgebietes streichen hier sämtliche Rotliegend-Formationen aus. (detaillierte Beschreibung des Rotliegend s. Kap. 3)

## 2.2 Störungsmuster und Beckenkonfiguration

Die geotektonische Entwicklung der Vorerzgebirgssenke im Permokarbon wurde von SCHNEIDER et al. (1996) ausführlich dargestellt. Demnach handelt es sich um einen intramontanen Sedimentationsraum, der infolge postkollisionaler Extension zwischen dem Granulitgebirge im N und NW und dem Erzgebirge im S und SE bereits im Visé angelegt wurde. Granulit- und auch Erzgebirge werden als metamorphic core-Komplexe angesehen, die zusammen mit Sedimentationsbecken in ihrer Umrandung Hauptmerkmale einer kontinentalen Dehnungstektonik sind. Das Zwickauer Becken bildet einen Teil dieses Sedimentationsraumes und liegt im Bereich mehrerer regionaler Störungszonen:

- Zentralsächsisches Lineament – NE-SW,
- Finne-Gera-Jachymov-Störungszone (FGJZ) – NW-SE,
- meridionale Zone von Plauen-Leipzig-Dessau (auch Naab-N-S-Element).

Das zentralsächsische Lineament ist dabei nicht als Störungszone im engeren Sinne, sondern als Zone von Abschiebungen am SE-Rand des Granulitgebirges und am NW-Rand des Erzgebirges zu verstehen.

Das im Arbeitsgebiet heute in Erscheinung tretende Störungsmuster wird von der FGJZ dominiert, die ein Parallelement zu Elbe-Lineament, Flöha-Zone und Fränkischem Lineament bildet. Sie ist seit dem Ausgang der varistischen Orogenese nachweisbar, ein höheres Alter wird vermutet. Mit Hilfe von Spannungsmessungen und Feinnivellements konnten rezente horizontale

Bewegungen im Bereich der FGJZ nachgewiesen werden. (Bankwitz et al. 1993) Die Beckenachse des Zwickauer Beckens streicht NE-SW bis ENE-WSW, es wird durch NW-streichende Querelemente bereits synsedimentär intern modifiziert.

Im Zwickauer Steinkohlenrevier sind folgende hercynisch streichende Hauptverwerfungen bekannt (von W nach E):

**Tabelle 1, Hauptverwerfungen im Zwickauer Revier - BEYER et al. (1981)**

Name der Störung	max. Verwurfshöhe	Fallrichtung
Oberhohndorfer Hauptverwerfung	220m	NE
Brückenberger Sprung	80m	NE
Reinsdorfer Sprung	100m	SW
1. Pöhlauer Sprung	150m	SW
2. Pöhlauer Sprung	90m	SW
1. Mülsener Sprung	45m	SW

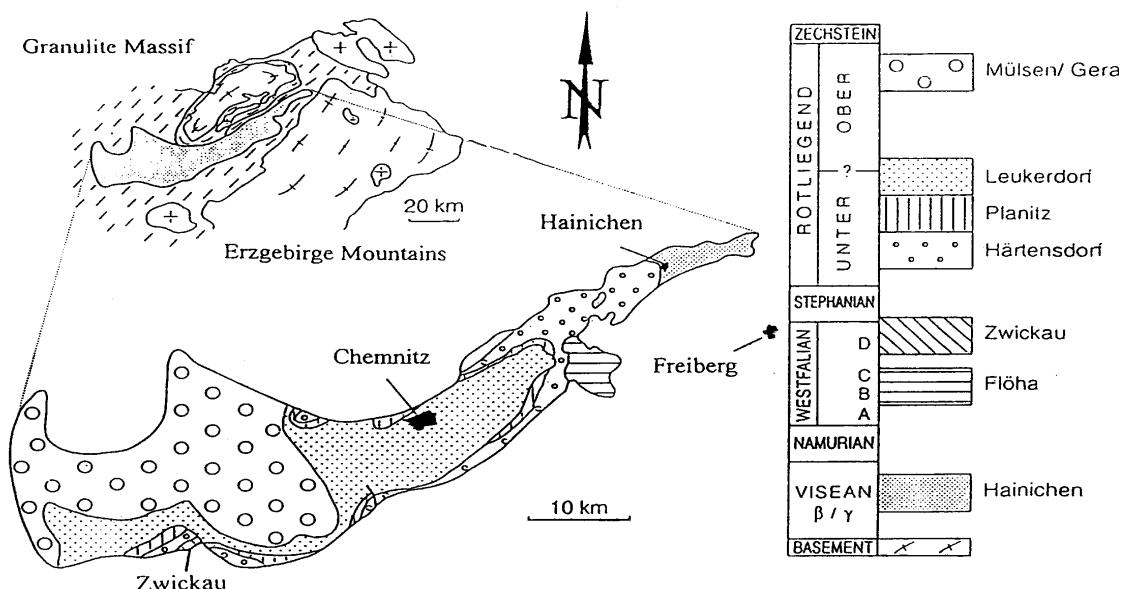
Die Verwerfungen zeigen ein durchschnittliches Einfallen von 35-55°, wobei sich Fallwinkel wie auch Fallrichtung im Verlauf einer Störung innerhalb kurzer Entfernung ändern können. Ihre Sprunghöhen nehmen generell in südlicher Richtung ab. Erzgebirgische Elemente treten in Form von Abschiebungen mit maximal 30-40m Sprunghöhe auf. Im östlichen Teil der Lagerstätte werden weiterhin flach nach NW einfallende Überschiebungen angetroffen (BEYER et al. 1981).

Die Beckenentwicklung während des Karbon wurde von HOTH (1984) sowie DÖRING et al. (1988) und BRAUSE (1997) dargestellt, die Entwicklung im Rotliegend durch FISCHER (1991). Zusammenfassend ergibt für das Karbon des Zwickauer Beckens:

Der basale Teil der Schedewitzer Schichten ist nur örtlich begrenzt verbreitet und füllt die Senken des präoberkarbonen Reliefs aus. Erst das Mülsener Hauptkonglomerat erfaßt den Gesamtbereich des Zwickau-Beckens (vgl. Abbildung 1). Die tiefsten Flöze (Segen-Gottes- und Ludwigflöz) sind N-S bis NW-SE orientiert und auf den westlichen Teil der Lagerstätte beschränkt. Im

östlichen Teil des Beckens (Mülsenfeld) treten die kohligen Horizonte zugunsten von Konglomeraten des Schuttächers von Reinsdorf zurück. Im SW (Niederplanitz, Cainsdorf) vertritt der Cainsdorfer "Melaphyr"-Erguß (=Andesitoid) einen Teil der Schichtenfolge der Schedewitzer Schichten. Den Top der Schedewitzer Schichten bildet das Zwickauer Hauptkonglomerat, das wegen der verbreiteten Granulitgerölle eine Materialzufuhr aus NE anzeigt. Möglicherweise stellt das Becken eine flach erzgebirgisch streichende Halbgrabenstruktur dar, die im SW im Kreuzungsbereich mit hercynen und meridionalen Elementen stärkere tektonische Aktivität anzeigt.

Im Bereich des Hauptflözkomplexes herrscht ein ruhigeres Sedimentationsgeschehen infolge einer verlangsamten Absenkung. Während die Flöze großflächig über fast das gesamte Becken verbreitet sind, treten die Konglomerate stark zurück. Vulkanite fehlen völlig. Die Flöze der Oberhohnsdorfer Schichten sind NE-SW orientiert und auf den südlichen Teil der Lagerstätte beschränkt. Im östlichen Teil (Mülsen) unterbrechen psephitführende Psammithorizonte, welche vorwiegend aus östlicher bis südöstlicher Richtung geschüttet wurden, wiederholt die Flözbildung. Es stellt sich ein rhythmischer Wechsel von Grobklastiten und Flözen ein. Der im Lehekohlenflöz enthaltene Lehestreifen weist nach RÖSLER et al. (1967) auf eine kurzzeitige



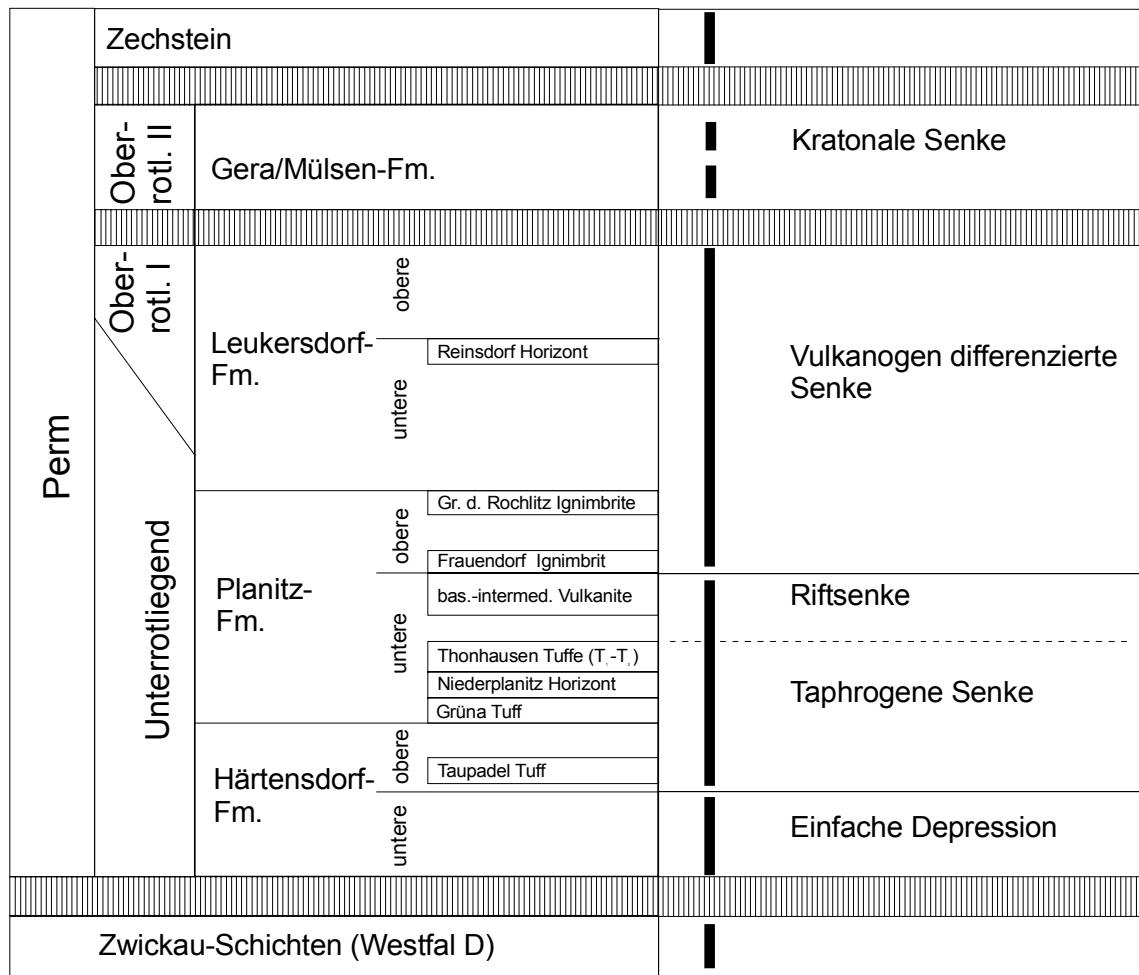
**Abbildung 2, generalisierte Karte der Vorerzgebirgsenke - aus LANGE (1998)**

vulkanische Aktivität hin. Die unterschiedlich konfigurierten Beckenräume deuten nach BRAUSE (1997) auf syntektonische Bewegungen zur Zeit der Sedimentation hin.

### **Das Rotliegendbecken der Vorerzgebirgssenke überlagert diskordant das kleinere Zwickau-Becken (s.)**

Abbildung 2). Dabei werden die oberkarbonen Sedimente im N vom Rotliegend generell erosiv gekappt, während sie im S oberflächlich ausstrecken oder ebenfalls erosionsdiskordant überlagert werden.

Die Beckenentwicklung der Vorerzgebirgssenke gliedert sich in fünf deutlich voneinander getrennte Stadien:



**Abbildung 3, Beckenentwicklung der Vorerzgebirgssenke – verändert nach FISCHER (1991)**

Erst zu Beginn der oberen Härtensdorf-Fm. bedecken Rotliegend-Sedimente fast die gesamte Vorerzgebirgssenke. Das Gebiet um Zwickau-Mülsen-Oelsnitz

befindet sich zu Beginn des Rotliegend bereits in beckenzentraler Position, was durch das "Wilde Kohlengebirge" angezeigt wird. Die Beckenkonfiguration des Stadiums der einfachen Depression wird durch erzgebirgisch streichende Störungssysteme kontrolliert. Strike Slip-Bewegungstendenzen mit geringen vertikalen Versatzbeträgen bestimmen die Beckenkinematik. Eine generelle

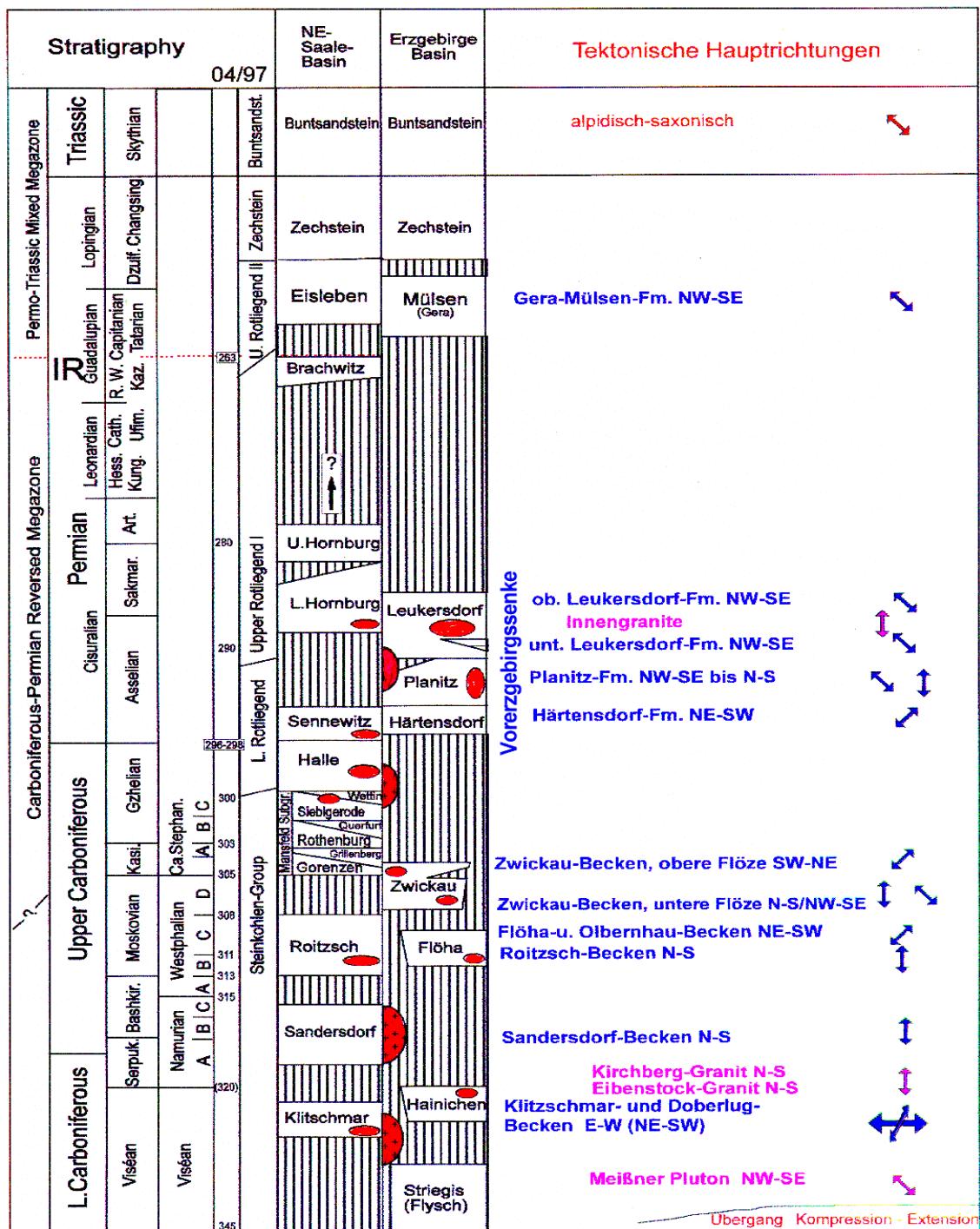


Abbildung 4, Tektonische Hauptrichtungen im Permokarbon der Vorerzgebirgssenke – aus SCHNEIDER et al. (1996)

Umstrukturierung der Beckenkonfiguration durch zusätzliche NNW-SSE streichende Bruchstrukturen leitet das Stadium der taphrogenen Senke ein. Die damit einhergehende Grabenbildung führt zu intensivem sauren bis intermediären Vulkanismus. Der Übergang der taphrogenen zu einer Riftsenke zeigt sich anhand eines veränderten Vulkanismus mit basischer bis intermediärer Zusammensetzung. Die geochemische Signatur weist auf einen stark alkalinen Riftvulkanismus hin. Die Etappe der vulkanogen differenzierten Senke wird durch Ignimbriteruptionen großen Fördervolumens charakterisiert. Das dadurch hervorgerufene Massendefizit verursacht eine großräumige Absenkung, welche durch Aufdomungen an aufsteigenden Magmenkörpern differenziert wird.

Das letzte Stadium der Beckenentwicklung setzt mit einem Hiatus im Oberrotliegend II ein, wobei die Senke von Störungen begrenzt, flach hercyn streicht. Die Verbreitung der Mülsen-Sedimente bleibt auf den westlichen Beckenteil beschränkt.

### **3 Ableitung eines stratigraphischen Normalprofils für das Rotliegend**

#### **3.1 Gegenüberstellung der Untergliederungen des Arbeitsgebietes**

Die vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) zur Verfügung gestellten Daten waren zum großen Teil älteren stratigraphischen Untergliederungen des Rotliegend zugeordnet. Deshalb war eine Gegenüberstellung der stratigraphischen Tabellen erforderlich. Dazu wurde die moderne Stratigraphie nach FISCHER (1991) für das Arbeitsgebiet präzisiert und denen von PIETZSCH (1962) und SIEGERT (1901) gegenübergestellt. (s. Abbildung 5)

#### **3.2 Lithofazielle Entwicklung**

Der folgende Abriß der lithofaziellen Entwicklung basiert auf FISCHER 1991, wobei die beckenrandliche Position des Arbeitsgebietes berücksichtigt wurde. (s. Abbildung 6)

##### **3.2.1 Härtendorf-Formation**

Die Härtendorf-Fm. lässt sich in zwei sedimentäre Großzyklen gliedern, die unterer und oberer Formation entsprechen. Die untere Härtendorf-Fm. wird von nordwärts gerichteten stabilen Schwemmfächern bestimmt, die nach N in eine braided-river-Fazies mit Überschwemmungsebenen übergeht. Das sog. "Wilde Kohlengebirge" wird als Anklang palustrischer Entwicklung in Totarmen von Flussystemen angesehen. Am Top der unteren Härtendorf-Fm. haben sich die Schwemmfächer bis zum unmittelbaren Beckenrand nach S zurückgezogen, es herrscht eine Überflutungsebenen-Fazies mit einzelnen Rinnen vor. Die Sedimentation der oberen Härtendorf Fm. beginnt mit kurzlebigen, großen Schwemmfächern, die sich teilweise überlappen.

**Abbildung 5, Gegenüberstellung der stratigraphischen Tabellen – verändert nach FISCHER (1991), PIETZSCH (1962), SIEGERT (1901)**

Stratigraphie	Formation	Schichtglieder	Sedimentgesteine		vulkanische Gesteine			
			Oberrotl. I	Oberrotl. II				
Perm								
Unterrotliegend								
Mülsen-Fm.								
Leukersdorf-Fm.	obere							
Reinsdorf Horizont	untere							
Planitz-Fm.	obere							
Frauendorf Ignimbrit								
bas.-intermed. Vulkanite								
Thonhausen Tuff (T,-T <sub>1</sub> )	untere							
Niederplanitz Horizont								
Grüna Tuff								
Härtendorf-Fm.	obere							
Taupadel Tuff	untere							
30-125 m	20-40 m							
(paläoz. Konglomerat, matrixgestützt)	Ton- Schluffsteinfolgen basales Konglomerat (Granitdetritus, paläoz. Pelite,Kontakigesteine,Phyllit)							
	Ton- bis Schluffsteinfolgen mit Sandstein- bis Konglomerathorizonten							
	basales Konglomerat, matrixgestützt, (paläoz. Pelite,Quarzite,Qu,bas. Vulkanite)							

Abbildung 6, Lithologische Entwicklung im Arbeitsgebiet

Im beckenzentraleren Teil überwiegen flood-plain Sedimente, die sich zunehmend nach S ausdehnen. Pyroklastische Horizonte, von denen sich der Taupadel-Tuff als Leithorizont ausgliedern lässt, belegen eine schwache vulkanische Aktivität.

### 3.2.2 Planitz-Formation

Mit Beginn der unteren Planitz-Fm. entwickelt sich ein ausgedehntes lakustrines, lokal palustrines Areal, der sog. Niederplanitzsee. Infolge grober Schüttungen beckenrandlicher Schwemmfächer verlandet dieses Gebiet wieder und wird durch ein mäandrierendes Flussystem ersetzt. Die obere Planitz-Fm. wird durch Überschwemmungsebenen mit einem nach N entwässernden, periodischen Flussystem bestimmt.

Die Planitz-Fm. wird durch mächtige basische bis intermediäre Vulkanite charakterisiert. Dabei bildet der Grüna-Tuff, ein kristall- und lapilliführender Aschen- bis Lapillituff, die Basis der Formation. Im Hangenden des Niederplanitz-Horizontes kamen 1-3 Kristallaschen- bis Kristalltuffe zur Ablagerung, die sogenannten Thonhausen-Tuffe. Im Top der unteren Planitz-Fm. setzt eine ausgedehnte Lavaförderung basischer bis intermediärer Vulkanite ein. Im Arbeitsgebiet sind i.d.R. zwei Lavadecken abgelagert worden, die nach FISCHER (1991) als Shoshonit und Trachybasalt bezeichnet werden. Die Basis der oberen Planitz-Fm. wird mit der Ablagerung des Frauendorf-Ignimbrites gleichgesetzt. Dieser liegt im Arbeitsgebiet in einer co-ignimbritischen Fazies vor, welche aus kristallführenden, teilweise resedimentierten Aschentuffen besteht. Die Gruppe der Rochlitz-Ignimbrite bilden den Top der Planitz-Fm. Es konnte von FISCHER (1991) nachgewiesen werden, daß diese Ignimbritdecke mit Ignimbritten der Großbothener Serie des Nordsächsischen Vulkanitkomplex gleichzusetzen ist.

### 3.2.3 Leukersdorf-Formation

Die Leukersdorf-Fm. gliedert sich in drei sedimentäre Großzyklen. Sie setzt mit verbreiteten, nordwärts gerichteten Schuttfächern ein, welche nach N in eine "flood-plain" Entwicklung übergehen. Darüber entwickelt sich ein beständiger,

ausgedehnter See mit Karbonatsedimenten, die als Reinsdorf-Horizont bezeichnet werden. Dieser geht am Beckenrand in Sand- und Schlammebenen über. Die obere Leukersdorf-Fm. ist durch verbreitete fan-Ablagerungen gekennzeichnet, denen im N eine Überschwemmungsebene mit einzelnen Rinnen vorgelagert ist.

Die vulkanische Aktivität geht im Vergleich zur Planitz-Fm. deutlich zurück. Einzelne, lateral weit aushaltende Pyroklastithorizonte, die zur Gliederung der Leukersdorf-Formation herangezogen werden, fehlen im Arbeitsgebiet aufgrund der beckenrandlichen Position.

### 3.2.4 Mülsen-Formation

Nach einem größeren Hiatus setzt die Mülsen-Fm. mit mächtigen und flächenmäßig weitverbreiteten fan-Ablagerungen ein. Mit fortschreitender Sedimentation verlagert sich das Beckenzentrum zunehmend nach NW. Mit Ausnahme des unmittelbaren Beckenrandes lassen sich zwei bis drei Großzyklen ausgliedern.

## 4 Stratigraphische Neuinterpretation der Bohrungen und Schächte

### 4.1 Datengrundlage

Zur Bearbeitung des Rotliegend im Arbeitsgebiet wurden im Rahmen des Projektes "Komplexuntersuchungen im Raum Oelsnitz – Zwickau" vom LfUG alle dort erfaßten Bohrungen und Schächte in Form einer Datenbank zur Verfügung gestellt. Diese basiert auf dem vom LfUG aufgebauten Umweltinformationssystem (UIS), das sich aus einzelnen Fachinformationssystemen (FIS) zusammensetzt. Es wurde das Fachinformationssystem Hydrogeologie in Form des Programmkomplexes UHYDRO verwendet. Grundlage des Programmes ist eine dBASE-Datenbank, bestehend aus einer Tabelle, die Grund- und Stammdaten der Aufschlüsse enthält und einer zweiten Tabelle die alle Informationen zum Schichtenaufbau beinhaltet. Mit Hilfe des Moduls VISUAL lassen sich die Bohrungen und Schächte in Form von Bohrstäbchen in frei wählbarem Maßstab darstellen. Sämtliche Daten sind nach topographischen Meßtischblättern 1:25 000 sortiert. Das Arbeitsgebiet erstreckt sich über die TK25-Blätter 5240, 5241, 5340 und 5341.

### 4.2 Datenaufbereitung

Aus verschiedenen Gründen lagen teilweise drei Datenbanken zu demselben Meßtischblatt vor. Daher war ein Abgleich der Datenbanken erforderlich. Mehrfach auftretende Bohrungen mußten lokalisiert werden, wobei ein Vergleich der Schichtenverzeichnisse oft unterschiedliche Lithologien derselben Bohrung ergab.

Innerhalb einer Datenbank waren die Aufschlußkurzbezeichnungen, bestehend aus Nummer und dem Jahr des Abteufens, oft mehrfach vergeben. Das erklärt sich aus der früheren Archivierung von Bohrdaten. Dabei wurden die Bohrungsanztpunkte in Karten eingetragen, die Nummerierung erfolgte innerhalb eines

Flurstücks fortlaufend. Die heutige Einordnung nach TK25-Meßtischblättern beinhaltet natürlich mehrere Flurstücke und somit oft Bohrungen mit identischer Bezeichnung.

Die Datenbanktabellen der Grunddaten enthielten i.d.R. wesentlich mehr Aufschlüsse, als die zum Schichtenaufbau. Um die tatsächliche Anzahl der Bohrungen und Schächte zu ermitteln, die auch ein Schichtenverzeichnis enthalten, war eine Behandlung der Datenbanken mit dem Programm dBASE IV erforderlich.

Das größte Problem ergab sich aus der Qualität der lithologischen und stratigraphischen Ansprache der Aufschlüsse. Die zur Verfügung gestellten Daten umfassen einen Zeitraum von ca. 150 Jahren. In dieser Zeit hat sich sowohl die stratigraphische Gliederung als auch die Terminologie der Gesteinsansprache grundlegend verändert. Hinzu kommt, daß vor allem tiefreichende Aufschlüsse nicht hinreichend genau aufgenommen wurden. Dies zeigt sich vor allem in den Schächten des Steinkohlenbergbaus. Hier wurde das Karbon relativ gut dokumentiert. Die steinkohleführenden Horizonte wurden sehr detailliert beschrieben und den richtigen Flözen bzw. Flözabteilungen zugeordnet. Die Zwischenmittel sind teilweise nur lückenhaft oder gar nicht beschrieben. Das Rotliegend ist meist sehr zusammengefaßt dargestellt. Nicht selten wurden in der Leukersdorf-Fm. bis zu 300 Profilmeter zu einer Schicht zusammengefaßt. Eine Bearbeitung der Aufschlüsse mit modernen stratigraphischen Mitteln (Zyklenstratigraphie etc.) war somit unmöglich. Die Vulkanite der Planitz-Fm. mußten in die aktuelle Gesteinsnomenklatur übersetzt werden, was nicht in allen Fällen zweifelsfrei gelang. Außerdem ist zu vermuten, daß nicht alle Tuffe als solche erkannt wurden, sondern als Pelite oder Arkosen angesprochen wurden.

### **4.3 Festlegung von Markerhorizonten**

Markerhorizonte waren zur Korrelation der Bohrungen in Profilschnitten notwendig. Außerdem bilden sie die Grundlage der bohrungsgestützten Flächenkonstruktion in GOCAD. Um Korrelationen zwischen Bohrungen bzw. Schächten zu ermöglichen, müssen Schichtglieder gefunden werden, die als

Leithorizonte fungieren können. Folgende Anforderungen müssen Leithorizonte erfüllen :

- ausgedehnte laterale Verbreitung des Horizontes in möglichst engem Zeitraum,
- einfache Lokalisierung des Horizontes auch in wenig detaillierten Bohrungsdokumentationen.

Zur Modellierung des Rotliegend sind Aufschlüsse erforderlich, die die gesamte Schichtenfolge des Rotliegend durchteufen. Leider stellte sich heraus, daß in der Datenbank des LfUG nur die 20 Schächte des Steinkohlenbergbaus und die Bohrung *SR B II 984* dieses Kriterium erfüllten. Anhand dieser Aufschlüsse wurde entsprechend der oben genannten Anforderungen folgende Markerhorizonte erstellt :

**Tabelle 2, Markerhorizonte**

Abkürzung	Beschreibung
Quart	Quartärbasis
BasLeu	Basis der Leukersdorf-Fm
PIRh	Rhyolith der Planitz-Fm
PIBa	Basalt der Planitz-Fm
PITu	Tuff der Planitz-Fm
TopKonHae	Top des Basiskonglomerates der Härtendorf-Fm
BasKonHae	Basiskonglomerat der Härtendorf-Fm
Lehe	Lehekohlenflöz
Zachl	Zachkohlenflöz I
ZachII	Zachkohlenflöz II
Schtk	Schichtenkohlenflöz II
Ruskl	Rußkohlenflöz I
RuskII	Rußkohlenflöz II
TPl	Tiefes Planitzer Flöz, untere Abteilung
Ludw	Ludwigflöz, mittlere Abteilung
SeG	Segen-Gottes-Flöz, obere Abteilung
BasisC	Basis des Karbons

Wie bereits oben erwähnt, enthalten die Schachtdokumentationen sehr genaue Daten zu den Steinkohlenflözen, so daß diese Marker unstrittig sind. Die Härtendorf-Formation setzt immer mit einem Basiskonglomerat ein, welches i.d.R. mächtiger als 5m ist. Das Basiskonglomerat ist meist grau gefärbt, die Rotfärbung der Sedimente setzt oft im unmittelbaren Hangenden ein. Aufgrund der starken Korngrößenzunahme läßt sich der Marker deutlich von den liegenden Sedimenten der Zwickau-Formation abgrenzen.

Die Schüttung des Basiskonglomerates setzt nach einer längeren Sedimentationsunterbrechung diskordant auf den Molassen der Zwickau-Formation ein. An der Basis der Härtendorf-Formation war demnach ein Paläorelief vorhanden, das im weiteren Verlauf der Sedimentation ausgeglichen wurde. Daher ist ein weiterer Marker am Top des Basiskonglomerates sinnvoll. Der nächste Marker wurde an die Basis des zuerst auftretenden Tuffes gelegt und als Basis der Planitz-Formation definiert. Der erste Tuff tritt aber bereits in der oberen Härtendorf-Formation auf (s. Kap. 3.2), so daß die Abgrenzung der Formationen nicht exakt erfolgte. Die oben genannte Definition mußte jedoch so gewählt werden, da in älteren Dokumentationen alle Tuffe zu einem Horizont zusammengefaßt wurden. Eine nachträgliche differenzierte Abgrenzung der Tuffe ist aufgrund der Ansprache der Aufschlüsse nicht möglich.

Die Basalte sind im Arbeitsgebiet nicht flächendeckend verbreitet, sondern beschränken sich auf zwei getrennte Ablagerungsräume. Die Schachtdokumentationen lassen außerdem keine Unterscheidung der beiden Lavadecken zu (s. Kap 3.2).

Der nächste Marker wurde an die Basis der Ignimbrite, die den Top der Planitz-Formation bilden, gesetzt. Die Vulkanite wurden recht unterschiedlich angesprochen (glasig porphyrischer Rhyolith, Quarzporphyr, Rhyolith-Tuff etc.). Die Abgrenzung der drei Markerhorizonte der Planitz-Formation gestaltete sich oft problematisch. Im einfachsten Fall wurden alle Vulkanite und Sedimente im Hangenden der Basalte als PIRh-Marker angesprochen und alle im Liegenden als PITu-Marker. Fehlte der Basalt im jeweiligen Schacht, war die Zuordnung oft schwieriger. Teilweise wurde die gesamte Planitz-Formation als "Rhyolith-Tuff" angesprochen, was sehr wahrscheinlich sowohl die Tuffe als auch die Ignimbrite beinhaltet.

Die Leukersdorf-Formation setzt nach einer Reliefaktivierung mit groben Schüttungen ein. Der Marker an der Basis dieser Formation wurde demnach an die Basis der ersten größeren Sedimente gesetzt. Dabei handelte es sich nur selten um Konglomerathorizonte, da diese in der sehr zusammengefaßten Ansprache der Leukersdorf-Formation meist keine gesonderte Erwähnung finden.

Der im Top der unteren Leukersdorf-Formation weit verbreitete Reinsdorf-Horizont wäre als Marker sehr geeignet gewesen. Er streicht jedoch nördlich der Positionen der Schächte oberflächlich aus. Im Norden der Stadt Zwickau wurde der Reinsdorf-Horizont nur noch in der Bohrung *SR B II 948* angetroffen. Den letzten Marker bildet die Basis des Quartärs. Dieser Marker ist aufgrund des Farbumschlags und dem Übergang zu Lockersedimenten zweifelsfrei zu bestimmen.

#### 4.4 Weitere Schächte

Die Datenbank des LfUG enthält leider nur einen kleinen Teil der Schächte des Steinkohlenreviers Zwickau. Die in dieser Datenbank enthaltenen 20 Schächte waren für eine 3D-Modellierung von Rotliegend-Flächen nicht ausreichend. Es war notwendig, nach weiteren tiefen Aufschlüssen im Arbeitsgebiet zu recherchieren. Das Bohrarchiv des LfUG Freiberg enthält eine "Zusammenstellung sämtlicher Schächte und der älteren Bohrungen im Erzgebirgischen Becken". Diese beinhaltet 62 Schächte im Zwickauer Steinkohlenrevier. Die Dokumentation dieser Schächte ist allerdings nur sehr eingeschränkt verwendbar. Die Schächte sind in Meßtischblätter eingetragen, die Koordinaten der Ansatzpunkte sind nicht angegeben. Daher mußten die Hoch- und Rechtswerte aus den Karten herausgemessen werden. Anschließend wurden diese Werte in einem Geographischen Informationssystem auf eine digitale Karte übertragen und die Ansatzhöhe der Schächte anhand der Höhenlinien dieser Karte ermittelt.

Die Schachtdokumentationen enthalten keine Schichtenansprache, sondern ein Schichtenverzeichnis aus der Erläuterung zur geol. spez. Karte (SIEGERT 1901). Dieses Formblatt ist in Tabelle 3 dargestellt. Darin sind Informationen enthalten, ob die jeweilige stratigraphische Einheit angetroffen wurde, und mit welcher Mächtigkeit. Durch Aufsummieren der Mächtigkeiten vom Hangenden zum Liegenden kann die Teufenlage der Schichten ermittelt werden. Dabei treten zwei Probleme auf: Die Sedimentgesteine der mittleren Stufe des Mittelrotliegend können sich beliebig zwischen den Vulkanitschichtgliedern

verteilen. Damit ist die genaue Teufenlage der Schichtglieder innerhalb dieser Stufe nicht zu ermitteln. War die Mächtigkeit der Sedimentgesteine gering oder gleich Null, konnten die Daten trotzdem verwendet werden. Dasselbe Problem gilt für die Flöze der oberen Steinkohlenformation, deren Teufeneinordnung nicht möglich war.

**Tabelle 3, Formblatt des Schichtenverzeichnisses nach SIEGERT (1901)**

Stratigraphie		Schichtglieder	Marker
	Alluvium		Quart
	Diluvium		
Oberrotliegendes	mittl. Stufe ro2		BasLeu
	unt. Stufe ro1		
Mittelrotliegendes	ob. Stufe rm2		PIRh
	mittl. Stufe		
		Sedimentgesteine	
		Quarzporphyr	PIRh
		Pechstein	PIBa
		Melaphyr	
		Porphyrtuffe	PITu
	unt. Stufe	wildes Kohlengebirge	TopKonHae BasKonHae
ob. Steinkohlen-Fm		sog. graues Kongl.	
	Gesamtmächtigkeit		BasisC
Grundgebirge		(Flözmächtigkeiten)	
	Oberdevon		
Tiefe des Schachtes			

Trotz der denkbar schlechten Dokumentation sind die Schachtdaten durchaus für die 3D-Modellierung geeignet. Die in Kapitel 4.3 festgelegten Markerhorizonte lassen sich ohne weiteres mit den Schichtgliedern aus Tabelle 2 korrelieren. Die durch nicht exakte Ermittlung der Koordinaten auftretenden Fehler sind in Anbetracht der Größe des Modellgebietes unerheblich. Die 62 Schächte des Zwickauer Reviers wurden auf folgende Kriterien überprüft :

- noch nicht in der U-Hydro Datenbank erfaßt,
- Lage innerhalb des Arbeitsgebietes ,
- Schichtenverzeichnis nach SIEGERT (1901) vorhanden,
- Schichtenverzeichnis konsistent (Teilmächtigkeiten ergeben Gesamt mächtigkeit).

21 Schächte erfüllten diese Kriterien und wurden als zusätzliche Stützstellen zum 3D-Modell hinzugefügt.

## 5 Karten- und Profilschnittkonstruktion

### 5.1 Topographische Karte

Um einen Überblick über die Verteilung der Bohr- und Schachtdaten zu erhalten, war es notwendig, alle Bohransatzpunkte in einer Karte darzustellen. Dazu wurden vom Landesvermessungsamt Sachsen digitale Rasterkarten im Maßstab 1 : 25000 zur Verfügung gestellt. Aus der großen Datenmenge und dem Bestreben nach einer möglichst detaillierten Bearbeitung des Gebietes, ergab sich aber die Notwendigkeit, mit dem größeren Maßstab 1 : 10000 zu arbeiten. Mit Hilfe des Geographischen Informationssystems (GIS) TNTmips wurde eine topographische Karte des Arbeitsgebietes erstellt.

Das Arbeitsgebiet erstreckt sich über die TK25-Meßtischblätter 5240, 5241, 5340 und 5341. Die digitalen Rasterdaten des Landesvermessungsamtes Sachsen haben ein TIFF-Format mit integrierter Georeferenz und enthalten jeweils vier Bildebenen: Topographie inkl. Kartenrahmen, Gewässer, Relief und Vegetation. Es war notwendig, die Kartenrahmen zu entfernen, um die jeweiligen Bildebenen der vier Meßtischblätter miteinander zu verschneiden. Auf die Vegetationsebene wurde verzichtet.

Anschließend wurden sämtliche Bohrungen und Schächte mit einer teufen-abhängigen Signatur in die Karte übertragen. Das GIS ist in der Lage, die Karte in beliebigem Maßstab auszudrucken. Durch den größeren Maßstab 1 : 10 000 erscheint vor allem die Topographieebene etwas grob. (s. Anlage 19)

Weiterhin wurde die Profillinie des von der “Gesellschaft für Geowissenschaftliche Dienste m.b.H. Leipzig” (GGD) aufgenommenen reflexionsseismischen Profils (BAUER et al. 1997) auf die Karte übertragen. Die vom GGD

anhand des Seismikprofiles interpretierten Störungen wurden an deren Ausstrich an der Quartärbasis ebenfalls auf der Karte verzeichnet.

Im Rahmen der Komplexuntersuchung Bergbaufolgeschäden Zwickau wurde von der "HGN Hydrogeologie Nordhausen GmbH" eine Karte erarbeitet, auf der sämtliche oberflächliche Störungsindikatoren dargestellt wurden (BESSER 1998). Bei diesen Indikatoren handelt es sich um:

- Erdspalten an der Tagesoberfläche,
- Luftbildindikatoren (Trocken- und Feuchtstellen, Geländeknicke, Erdspalten und -fälle) aus verschiedenen Befliegungen zwischen 1944 – 1978,
- Höhenveränderungen und Hebungsachsen verschiedener Reviernivellements,
- Hauptsenkungsachsen der Bergschadenskundlichen Analyse (BEYER et al. 1981).

Sämtliche Oberflächenindikatoren wurden in nicht näher aufgeschlüsselter Form auf die Karte übertragen.

## 5.2 Konstruktion der Profilschnitte

Die Darstellung der Bohringsatzpunkte auf der Karte zeigt eine heterogene Verteilung der Aufschlüsse über das Arbeitsgebiet. Die Schächte des Steinkohlenbergbaus befinden sich nur im S und SE des Stadtgebietes, was sich mit der Flözverbreitung erklären lässt. Die Innenstadt und die im N bis nach Weißenborn und Pöhlitz angrenzenden Stadtteile enthalten kaum Bohrungen, die tiefer als 100m sind. Noch weiter nördlich häufen sich solche Bohrungen zwar wieder, sie durchteufen die hier ca. 500m mächtige Leukersdorf-Formation jedoch nicht. Trotz der Aufschlußsituation wurde versucht, ein mehr oder weniger regelmäßiges Gitter aus N-S und E-W Profilen über das Arbeitsgebiet zu legen.

Als erstes wurden im S des Gebietes alle Schächte, die in der UHYDRO Datenbank enthalten sind, mit Profilschnitten erfaßt. (s. Anlagen 5-9) Die Schächte des Bohrarchivs des LfUG Freiberg fanden aufgrund ihrer unzureichenden Dokumentation keine Aufnahme in die Profilschnitte (s. Kap. 4.4). Die Schnitt-

spuren im N wurden nach folgenden Kriterien gelegt : Alle Bohrungen >100m Teufe sollten erfaßt werden, die Bohrungen >10m Teufe, die in der Nähe der Spur liegen, wurden mit aufgenommen. Befanden sich mehrere ungefähr gleich tiefe Bohrungen in einem Umkreis von ca. 400m, wurde die Bohrung mit dem detailliertesten und geologisch schlüssigsten Profil verwendet. Es wurde versucht, möglichst viele N-S und E-W verlaufende Profile über das Arbeitsgebiet zu legen, um bestmögliche Aussagen zum Störungsverlauf zu treffen.

Zusätzlich wurden noch zwei Profilschnitte außerhalb des Arbeitsgebietes konstruiert (s. Anlagen 17 und 18). Der Erste ist ein 11km langes NNW-SSE Profil westlich von Zwickau, bestehend aus detailliert dokumentierten Bohrungen, die das Rotliegend komplett durchteufen. Der andere Profilschnitt befindet sich östlich von Zwickau. Insgesamt konnten 18 Profilschnitte konstruiert werden.

Auf die Darstellung der Zwickau-Formation wurde in den Profilschnitten generell verzichtet, da hierzu in Form der Flöz-Übersichtsrisse schon genauere Daten vorliegen. Zur Konstruktion der Profilschnitte wurde ein horizontaler Maßstab von 1 : 20000 und ein vertikaler von 1 : 2000 (zehnfach überhöht) gewählt. Damit sind Schichten von minimal einem Meter Mächtigkeit auflösbar, was bei dem vorliegenden Auflösungsgrad der Bohrungsdokumentationen vollauf genügt.

### 5.3 Interpretation der Profilschnitte

Die Korrelation der Bohrungen und Schächte erfolgte anhand der Rotliegend-Marker aus Kap. 4.3. Damit ergeben sich insbesondere für die Basis der Planitz-Fm. die gleichen Ungenauigkeiten wie sie bereits in Kap. 4.3 beschrieben sind. Die Profilschnitte zeigen folgendes Bild:

- Das Becken fällt generell nach N ein.
- Mächtigkeitsunterschiede in der Härtendorf-Fm. sowie Sprünge in der Höhe der Basis dieser Formation zeigen ein ausgeprägtes präpermisches Relief an.

- Im S des Arbeitsgebietes (insbesondere Profil E-W 1, Anlage 7) wird die im Hangenden folgende Planitz-Fm. von diesem Relief ebenfalls in ihrer Mächtigkeit beeinflußt.
- Die Basalte der Planitz-Fm. sind nicht flächenhaft im Arbeitsgebiet verbreitet (ausgehend von der Vermutung, daß in den unzureichend dokumentierten Schachtprofilen die Basalte als solche erkannt wurden).
- Aufgrund der unterschiedlich detaillierten Dokumentation läßt sich die Leukersdorf-Fm. nicht näher aufgliedern.
- Die aus dem Karbon der Zwickau-Fm. bekannten Hauptverwerfungen setzen sich mit hohen Versatzbeträgen im Rotliegend fort. Dabei hat die Oberhohndorfer Hauptverwerfung einen durchschnittlichen Versatzbetrag von ca. 100m, der Brückenbergssprung ca. 80m.
- Mit Hilfe des Rasters aus N-S und E-W Profilen lassen sich die Störungsverläufe gut einengen.
- Im Bereich dieser Verwerfungen scheint die Mächtigkeit der Leukersdorf-Fm. im Liegendsblock zuzunehmen. Die Karl-Marx-Schächte I und II im NE des Brückenbergssprunges zeigen eine Mächtigkeit der Leukersdorf-Fm. von über 400m, die nordöstlich der Oberhohndorfer Hauptverwerfung gelegene Bohrung *SR B II/948* sogar über 600m. Das Profil N-S 1 (Anlage 17), welches sich im W außerhalb des Arbeitsgebietes befindet, beinhaltet dagegen Leukersdorf-Fm. Mächtigkeiten von nur ca. 400m.
- Der Ausstrich der Mülsen-Fm. erscheint im nördlichen Zwickauer Stadtgebiet (Pöhlitz) im Bereich der Mulde nach N versetzt (vgl. WOLF & SCHALLER 1969). Während im W die Mülsen-Fm. an NNW-SSE streichenden Störungen abgeschnitten wird, setzt sie im E erst oberhalb des Niveaus der Mulde wieder ein.

## 6 Interpretation des Seismiktiefenschnittes

Von der Geophysik GGD mbH Leipzig wurde im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsvertrages mit dem LfUG zur “Erforschung des rezenten Hebungs- und Senkungsmusters und der Horizontalverschiebung in der Region Oelsnitz-Zwickau” ein reflexionsseismisches Profil in E-W Richtung über das nördliche Stadtzentrum von Zwickau geschossen (vgl. BAUER et al. 1997). Eine besondere Bedeutung dieses Profils für die Störungsmodellierung liegt in Aussagen über den weiteren Verlauf der Störungen aus dem Karbon in das Rotliegend. Das Hauptaugenmerk sollte auf Veränderungen des Einfallwinkels und eine vermutete Stockwerkstektonik gelegt werden.

Von RENNER (1998) wurde der Seismiktiefenschnitt in das GOCAD-3D-Modell des Untergrundes der Stadt Zwickau integriert und mit allen bis dahin konstruierten Flächen verschnitten. Anlage 21 zeigt den Tiefenschnitt mit den sich aus dem Modell ergebenden Schnittlinien des Segen-Gottes und Tiefen Planitzer Flözes und der Oberhohndorfer Hauptverwerfung (OHHV). Die Horizonte liegen durchaus nahe an einzelnen Reflektoren und die OHHV-Schnittlinie liegt in dem von uns vorher unabhängig vom Modell, d.h. rein visuell im seismischen Tiefenschnitt interpretierten Zerrüttungsbereich.

Nach mündlicher Mitteilung von Prof. Forkmann ist eine Interpretation, die einem bestimmten Reflektor ein Flöz zuordnet, äußerst problematisch. Mit Hilfe einer geschätzten Schichtgeschwindigkeit  $v_p$  für die Kohle von 2000 m/s (nach Daten des Ruhrkarbons angenommener Wert) und einer effektiven Bandbreite  $\Delta f$  von ca. 50 Hz (aus Zeitschnitt abschätzbar) beträgt die maximal auflösbare Kohlemächtigkeit  $\Delta z_{\min}$ :

$$\Delta z_{\min} \geq \frac{v_p}{2\Delta f} = \frac{2000 \text{ m/s}}{2 \cdot 50 \text{ s}^{-1}} = 20 \text{ m}$$

Nach dieser Rechnung ist also nur ein mindestens 20m mächtiges Kohlenflöz im Seismiktiefenschnitt auflösbar. Folglich repräsentieren die drei deutlichen und weit aushaltenden Reflektoren (in Anlage 21 rot markiert) vermutlich das

Flözpaket des Tiefen Planitzer Flözes insgesamt. Detaillierte Aussagen, ob es sich um abgebaute Bereiche mit Versatz oder noch vorhandene Kohlepartien handelt, können laut Prof. Forkmann in diesem Bereich nicht getroffen werden. Für die Ermittlung von Störungen kann der Tiefenschnitt jedoch herangezogen werden.

Die Zuordnung von in GOCAD modellierten Flächen zu Reflektoren des Seismiktiefenschnittes, sowie die Interpretation von Diskontinuitäten im Tiefenschnitt als lithologische Grenzen ist nicht unproblematisch. Bei der Zeit-Tiefen-Transformation des reflexionsseismischen Profiles entstand laut BAUER et al. (1997) infolge der Abschätzung der Schichtgeschwindigkeiten der Karbon- und Rotliegend-Sedimente eine Abweichung der Modelltiefe von der Realität von  $\pm 5\%$ . Zusätzlich entstand bei der Integration des Profiles in GOCAD ein weiterer Höhenfehler von max.  $\pm 10\text{m}$ . Nimmt man z.B. die Rotliegend-Karbon-grenze im Bereich zwischen Profilmeter 516 und 1035 bei ca.  $-240\text{ mNN}$  (=ca. 540 m Tiefe) an, so könnte deren Höhenlagefehler, bedingt durch:

- (1) die 5% (Zeit-Tiefen-Transformation) bei  $\pm 27\text{m}$ ,
  - (2) das Einladen in GOCAD bei  $\pm 4\text{m}$  (westliches „Voxel“ mit  $\pm 6\text{m}$  Abweichung bei  $-1000\text{ mNN}$ ),
- bei insgesamt  $\pm 31\text{m}$  liegen.

Das Seismikprofil beginnt am Bahnhofsschacht, wegen fehlender Überdeckung (es wurde nicht über den Schacht hinaus nach W geschossen) sind jedoch die Reflektoren am westlichen Profilrand, d.h. am Bahnhofsschacht kaum aussagefähig und es war nicht möglich, das Seismikprofil in das lithologische Profil des Bahnhofschachtes einzuhängen. Die oben genannten drei Reflektoren, die dem Flözpaket des Tiefen Planitzer Flözes entsprechen (in Anlage 21 rot) lassen sich von Profilmeter 196 bis 996 deutlich verfolgen. Zwischen Profilmeter 313 und 396 sind sie an zwei Störungen um ca. 25 m gegeneinander versetzt. Eine weitere Störungszone ist zwischen Profilmeter 596 und 676 auszumachen, wo die drei Reflektoren um ca. 60 m gegeneinander versetzt sind. Die drei Reflektoren werden ab Profilmeter 996 deutlich im Bereich zwischen  $-200\text{ mNN}$  und  $-400\text{ mNN}$  abgeschnitten. Diese

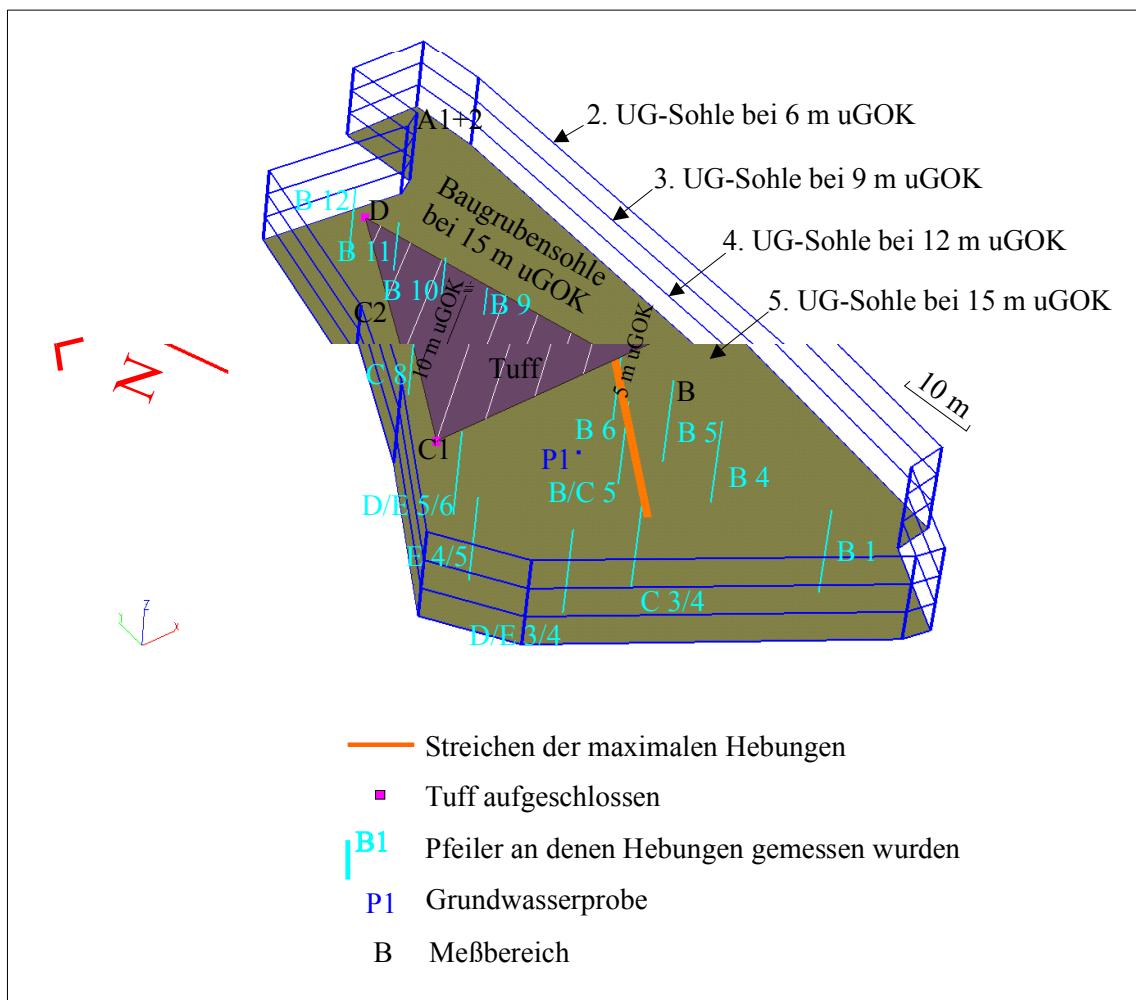
bis Profilmeter 1116 reichende Zerrüttungszone markiert den Bereich der OHHV, was auch mit dem GOCAD-Modell übereinstimmt. Durch die im Ostteil des Tiefenschnittes allgemein schlechter werdende Auflösung der Reflektoren ist eine Weiterverfolgung des Tiefen Planitzer Flözes im östlichen Liegendblock der OHHV nicht möglich. Die mit GOCAD modellierte OHHV ist aufgrund der Konstruktionsmethode in ihrem Verlauf wenig verlässlich. Dennoch schneidet sie auf beiden Seiten deutliche Reflektoren ab und zeigt in dieser Profilansicht einen listrischen Störungsverlauf.

Innerhalb des Rotliegend werden in Anlage 21 durch Vergleich mit dem Profil des Bahnhofsschachtes zwei deutlichere Reflektoren (orange eingezeichnet) in einer Höhe von ca. 100 mNN der Grenze Leukersdorf/Härtendorf-Formation (Basiskonglomerat der Leukersdorf-Formation?) zugeordnet. Ein Versatz dieses Horizontes ist in den Hauptstörungszonen kaum feststellbar, was für Stockwerkstektonik innerhalb des Rotliegend sprechen würde. Diese Aussage steht jedoch im Widerspruch zu den aus den Profilschnitten gewonnene Erkenntnissen, die zweifelsfrei einen deutlichen Versatz der Basis der Leukersdorf-Fm. an den Hauptstörungen zeigen. Über dem Konglomerat sind lateral absätzige Reflektoren aushaltbar, die als Rinnensysteme (Konglomerathorizonte) und Schichtfluten (debris flows, sheet floods) interpretiert werden könnten. Zwei darunterliegende, weniger aushaltende Reflektoren können anhand des Bahnhofsschachtes möglicherweise den Tuffen der Planitz-Formation zugeordnet werden, während wiederum stark absätzige Reflektoren weiter im Liegenden möglicherweise auf Rinnensysteme der Härtendorf-Formation zurückgehen.

Die zentrale Rolle zum Verständnis des Störungsverlaufs im Rotliegend kommt der OHHV zwischen Profilmeter 836 und 1036 zu. Wie schon erwähnt paßt die OHHV-Schnittlinie, die aus der GOCAD-modellierten Störungsfläche resultiert, relativ gut in die zuvor rein visuell postulierte Zerrüttungszone. Davon ausgehend wurde ein geologisch möglichst plausibler Störungsverlauf konstruiert. Diese so erstellte Linie, zeigt ein deutlich steileres Einfallen der OHHV im Rotliegend als im Karbon. Aufgrund der nach E hin zunehmenden Unschärfe des Seismiktiefenschnittes, sind Interpretationen zum Brückenberg-sprung nicht hinreichend sicher möglich.

## 7 Auswertung der Geländearbeiten

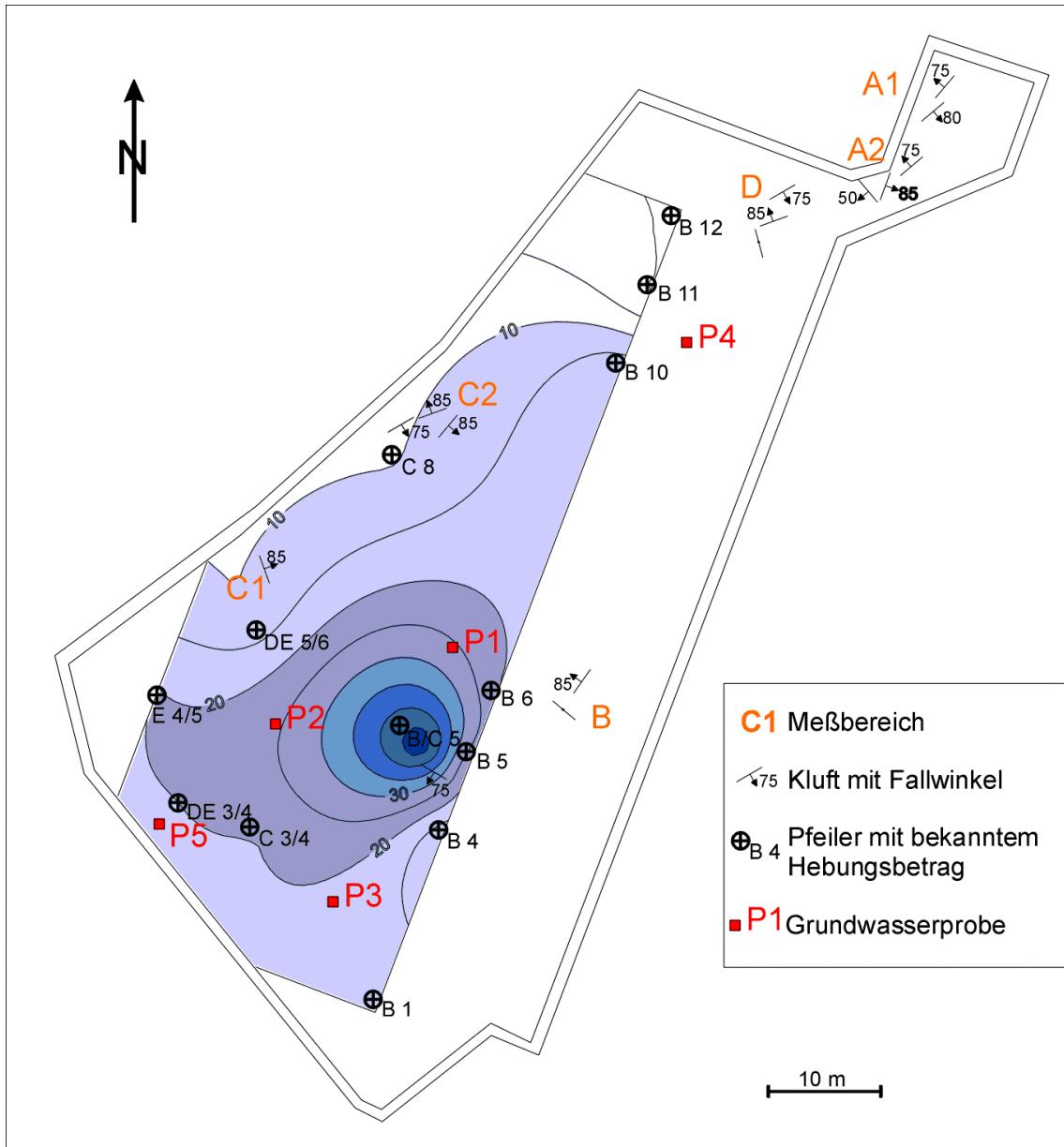
Im Rahmen der Diplomkartierung wurden temporäre Aufschlüsse im Arbeitsgebiet auf die Rotliegend-Lithologie und Störungsindikatoren untersucht. Da das Rotliegend im Zwickauer Stadtgebiet i.d.R. unter ca. 5m mächtigen Ablagerungen des Känozoikums verborgen ist, beschränkte sich die Kartierung auf tiefer reichende Baugruben. Die meisten im Untersuchungszeitraum angelegten Baugruben erreichten im günstigsten Fall die Känozoikumbasis ohne das Rotliegend in ausreichendem Maße anzuschneiden. Neben der



**Abbildung 7, 3D-Darstellung der Baugrube Tiefgarage-Kornmarkt**

Baugrube Ecke Moritzstraße/ Crimmitschauer Straße mit ca. 2m Rotliegend, gab es lediglich einen tieferen Aufschluß. Dieser liegt ca. 200m südlich des

Zwickauer Doms am Kornmarkt und war entscheidend für das Verständnis der geologischen und hydrogeologischen Situation im Stadtzentrum.



**Abbildung 8, Baugrube Tiefgarage-Kornmarkt - Klüfte und Hebungsbeträge ausgewählter Pfeiler der Tiefgarage**

Im Zeitraum Oktober 1997 bis Juli 1998 wurde dort eine Baugrube für eine 5-geschossige Tiefgarage ausgehoben, wobei jede Etage eine Höhe von 3m aufweist, und folglich das 5.Untergeschoß (UG) bei 15m uGOK liegt. Von der Auskofferung des 2.UG an bis zum Abschluß der Aushubarbeiten konnten die in der Baugrube anstehende Leukersdorf-Formation in den Bereichen A bis D (vgl. Abbildung 8) dokumentiert und die Strukturdaten eingemessen werden.

Das Profil ist aus einer gleichförmigen, karbonatisch zementierten Serie aus Schluffsteinen einer Alluvialebene ohne grobklastische Rinnen aufgebaut. Diese Feinklastika, verstärkt durch die intensive Zementation, sind primär Grundwasserstauer. Da sie jedoch intensiv geklüftet sind (die starke Zementation bewirkt bei tektonischem Streß Sprödbruch), bilden sie einen Kluftgrundwasserleiter. Gemäß Abbildung 8 wurden in den UG 2, 3 und 5 Klüfte mit der Hauptstreichrichtung NE-SW und teilweise auch NW-SE Streichen eingemessen. Bei den Klüften handelt es sich um geöffnete Zerrungsklüfte. Vor allem im 2. UG auftretende Manganbeläge auf den Klüften weisen auf ehemalige Grundwasserführung hin.

Die Fallwinkel der Klüfte liegen zwischen 50° und 90°, wobei steiler einfallende Klüfte eindeutig überwiegen. Erst im 5.UG erfolgte entlang von Klüften auf der Baugrundsohle ein deutlicher Wasserzutritt. Laut mündlicher Mitteilung der Bauleitung mußten 10–15 m<sup>3</sup>/h zutretende Wässer abgepumpt werden. So war beispielsweise auf der Sohle eine ca. 2m lange NE-SW streichenden Linie aus kleinen Quelllöchern zu erkennen, aus denen Wasser laminar austrat. Das Einmessen der Schluffsteine ergab folgende Werte:

**Tabelle 4, Streich- und Fallrichtungen der Schichtung**

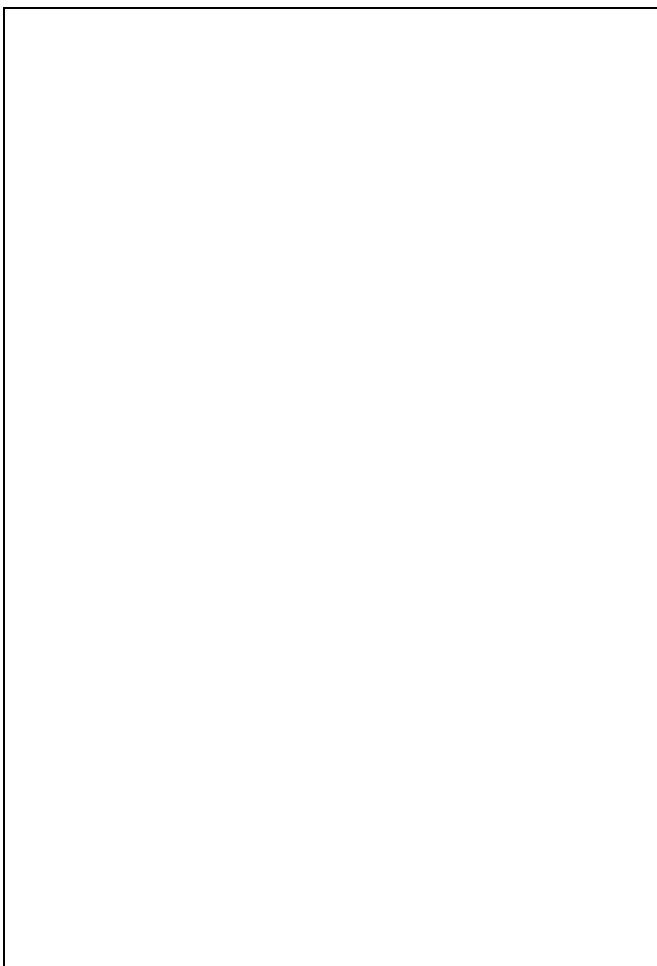
Meßbereich	Fallrichtung	Fallwinkel	gemessen in UG
A1 + A2	340° bis 360°	5° bis 12°	2, 3
B	280° bis 340°	8° bis 20°	2, 3, 4, 5
C1	310° bis 340°	15° bis 30°	2, 3
C2	nur Kluftmessungen		
D	320° bis 330°	15° bis 20°	5

Die Schluffsteine fallen vor allem im N (Meßbereiche A1+A2) relativ flach (5° bis 12°) nach NNW bis N ein. Die Fallwinkel erhöhen sich jedoch nach SW (B und C1) auf max. 30°. Innerhalb der Schluffsteinserie wurde ein ca. 1m mächtiger rotbrauner, feinsandiger Schluff-Tonstein-Horizont, der intensiv weißlich gesprenkelt ist, ausgehalten (s. Abbildung 9). Die hellen Sprengel bestehen aus speckigem Ton und haben eine flache zerdrückte Form. Dieser, als "fleckiger Horizont" bezeichnete Bereich wird als Tuff interpretiert und könnte somit zur Korrelation innerhalb der lithologisch recht eintönigen Leukersdorf-Fm. im

Arbeitsgebiet herangezogen werden. Der Tuff war an vier Stellen in der Baugrube aufgeschlossen (vgl. Abbildung 7):

**Tabelle 5, Auftreten des "fleckigen Horizontes" in der Baugrube Tiefgarage-Kornmarkt**

UG	Meßbereich	geschätzte Teufe in m u GOK	Fallrichtung	Fallwinkel
2	B	4,5	340° bis 360°	10° bis 15°
3	C1	9	320°	25°
4	C1	9	nicht gemessen	
5	D	13,5	320°	20°



**Abbildung 9, sogenannter "fleckiger Horizont" – 1m mächtiger Tuff**

Im 4.UG konnte der im Hangenden befindliche, bereits ausgekofferte Tuff nicht mehr eingemessen werden. Der Tuffhorizont hinterließ jedoch einen fleckigen ca. 1m mächtigen, weit aushaltbaren Abdruck im Beton auf der NW-Seite der Baugrubenwand. Aus den drei Tufflokalitäten wurde der in Abbildung 7 einge-

zeichnete Tuffhorizont erstellt. Wie die Höhenlinien zeigen (1m Isolinienabstand) fällt die so konstruierte Fläche nach N ein, was nicht ganz mit den gemessenen Werten im UG 3 und 5 (Einfallen nach NW) übereinstimmt.

Mehrfach durchgeführte Feinnivellements an Pfeilern innerhalb der Baugrube, ergaben Hebungen einiger Pfeiler bis zu einem Betrag von 50mm. Die entsprechenden Daten wurden von der AIC Ingenieurgesellschaft GmbH Chemnitz freundlicherweise überlassen und sind in Abbildung 8 als Isolinienplot dargestellt. Auffallend ist, daß die größten Hebungen entlang einer NE-SW verlaufenden Linie stattfinden, die dem Streichen der Hauptkluftrichtung entspricht. Würde man eine Störung im Verlauf dieser Linie (die als „Streichen der maximalen Hebungen“ in Abbildung 7 verzeichnet ist) vermuten, so würde dies das unterschiedliche Einfallen des Tuffes südöstlich (2.UG) und nordwestlich (3. Und 5. UG) erklären. Andererseits wurde eine markante Störungsfläche bzw. Engkluftzone nicht festgestellt, es kann sich demnach auch um eine Zone sich addierender kleinerer Versätze handeln. Im 5.UG wurden ferner auf steilstehenden Kluftflächen (Einfallrichtung: 130°, 150°, 340°) in etwa horizontale Harnischstriemungen (1°-2° Einfallen nach SW) angetroffen, die ebenfalls Bewegungen entlang NE-SW streichenden Störungen anzeigen.

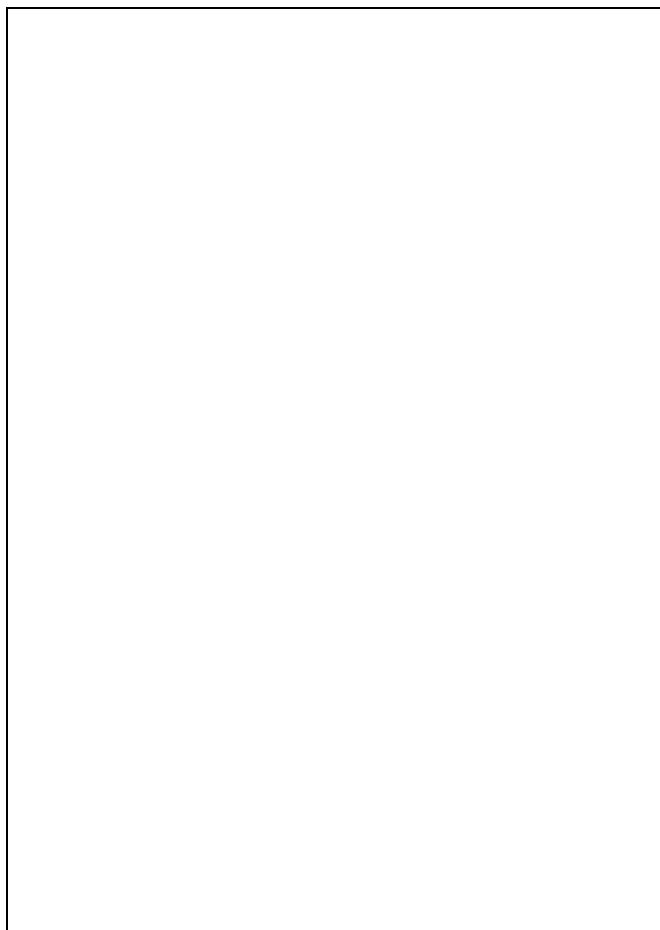
Von KOLITSCH & GÖTTELMANN (1998) wurden mehrere Wasserproben aus dem 5. UG bezüglich ihres Alters untersucht.

**Tabelle 6, Tritiumgehalte der Grundwasserproben – von KOLITSCH & GÖTTELMANN (1998)**

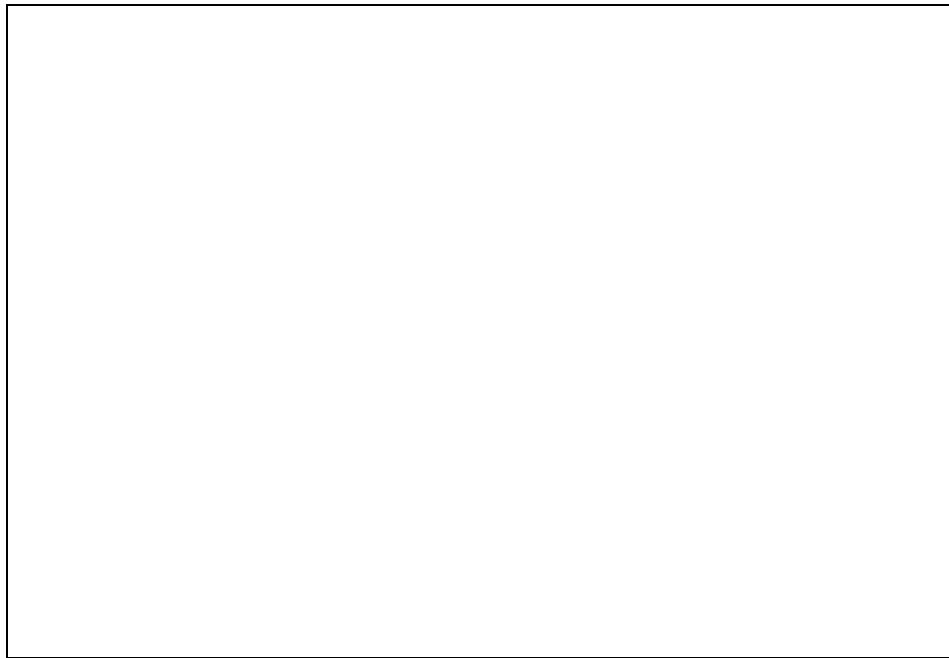
Probe	Tritiumgehalt in TU
P1	0,3 ± 0,4
P2	9,6 ± 1,0
P3	4,2 ± 0,6
P4	9,9 ± 1,0
P5	6,6 ± 0,8

Für die Probe P1 ergeben die Tritiumwerte ein Alter von mehr als 50 Jahren (s. Abbildung 8) und die Anionen- bzw. Kationengehalte deuten auf ein anthropogen nicht beeinflußtes Grundwasser hin. Diese Probe stammt aus einer 150mm Ankerbohrung, die mit Beton verfüllt wurde, aber von zusetzenden Wässern wieder freigespült wurde (s. Abbildung 10). Die Bohrung befindet sich

etwa 5m nordwestlich des Pfeilers B6 im Bereich der Linie max. Hebungen (vgl. Abbildung 7 und Abbildung 8).



**Abbildung 10, Wasseraustritt an Ankerbohrung im 5. UG der Baugrube Tiefgarage-Kornmarkt**

**Abbildung 11, Quellaustritte auf der Sohle des 5. UG der Baugrube**

Demnach spricht auch dieser Befund für eine NE-SW streichende, wasserführende Kluft bzw. Störungszone. Vier andere Proben, die weiter südlich entnommen wurden, stellen jüngere oder Mischwässer dar.

In Anlage 4 aus BESSER (1998) liegt der Kornmarkt zwischen zwei NE-SW streichenden Geländeknicken. In Anlage 8 (Karte der Störungen nach Komplexinterpretation) derselben Arbeit werden diese Geländeknicke als Bestandteil eines Störungssystems (Kornmarktstörung) interpretiert. Alle diese Daten geben lediglich Hinweise auf mögliche Störungen. Ein eindeutiger Versatz eines Leithorizontes konnte jedoch während der Baugrubenkartierung an keiner Stelle nachgewiesen werden. Künftige Tiefenaufschlüsse oder hydrogeologische Beobachtungen an tiefen Brunnen müssen zeigen, ob aus den Daten von BESSER (1998) und unseren Beobachtungen in der Baugrube Tiefgarage Kornmarkt eine "Kornmarktstörungszone" postuliert werden kann oder ob GW-führende Kluftsysteme flächenhaft zwischen OHHV und Brückenbergssprung auftreten.

## 8 Konstruktion von Störungen

Eine der zentralen Probleme dieser Arbeit ist die Frage, ob sich die im Karbon angetroffenen Störungen im Rotliegend fortsetzen, welche Rolle Stockwerkstektonik spielt, und unter welchen Winkeln Störungen aus dem Karbon in das Rotliegend und gegebenenfalls bis zur Tagesoberfläche verlaufen. Dafür war es notwendig, eine möglichst breite Datenbasis zur Konstruktion heranzuziehen. Neben der Kenntnis des regionalen Störungsmusters, der tektonischen Entwicklung und der allgemeinen Beckenkonfiguration mußten sämtliche von RENNER (1998) und vom Autor zusammengetragenen Daten in Betracht gezogen werden. Zur Ermittlung des wahrscheinlichsten Störungsverlaufes an der Tagesoberfläche war es nötig, alle diese Daten plausibel miteinander zu verknüpfen. Dadurch gelang es, entsprechend der zur Verfügung stehenden Daten verschiedene Nachweiskategorien von Störungen auszuhalten:

(1) Der Störungsverlauf an der Tagesoberfläche kann als sicher betrachtet werden.

Die Konstruktion der Störung beruht auf folgenden Daten:

- Profilschnitte,
- GOCAD-3D-Modell des Karbon und Rotliegend nach RENNER (1998),
- Interpretiertes reflexionsseismisches Profil (s. Anlage 21),
- Oberflächenindikationen aus BESSER (1998).

(2) Die Störung existiert, der Verlauf an der Tagesoberfläche ist wahrscheinlich.

Die Konstruktion der Störung beruht auf folgenden Daten:

- Profilschnitte,
- Oberflächenindikationen aus BESSER (1998).

(3) Eine Störung wird vermutet. Die Konstruktion der Störung beruht auf folgenden Daten:

- Oberflächenindikationen aus BESSER (1998),

- Weitere Anhaltspunkte.

Der Verlauf der Störungen in der Zwickau-Fm. ist durch das bergmännische Rißwerk seit langem bekannt, die Geometrie dieser Störungen wurde von RENNER (1998) anhand von digitalisierten Grubenrissen dreidimensional modelliert. Ihr weiterer Verlauf wurde in allen Arbeiten seit MIETZSCH (1877) in gerader Linie bis zur Tagesoberfläche verlängert. Eine Veränderung des Einfallwinkels der Störungen im Rotliegend ist jedoch sehr wahrscheinlich. Außerdem ist bisher ungeklärt, inwieweit Stockwerkstektonik den Störungsverlauf beeinflußt.

Anlage 19 zeigt eine Karte des Stadtgebietes Zwickau mit den konstruierten Störungen. Mit Hilfe der rasterförmig über das Arbeitsgebiet gelegten Profilschnitte konnte der Störungsverlauf anhand des Versatzes der Rotliegend-Sedimente zwischen einzelnen Aufschlüssen eingegrenzt werden. Die dreidimensionale Darstellung von Rotliegendflächen in RENNER (1998) bildete einen weiteren Anhaltspunkt in Bezug auf den Durchgang von Störungen. Der Seismiktiefenschnitt (s. Anlage 21), der ungefähr senkrecht zu den Hauptstörungen verläuft, wurde zusätzlich zur Ermittlung des wahren Störungsverlaufes herangezogen. Er zeigt zumindest für die OHHV ein steileres Einfallen im Rotliegend (ca. 70°) als im Karbon (35°-55°). Mittels dieser Informationen konnte das Ausstreichen der Störungen an der Tagesoberfläche mit größtmöglicher Sicherheit bestimmt werden. Die Störungsindikationen an der Oberfläche aus BESSER (1998) wurden nur zur Kontrolle der ermittelten Ausstrichbereiche herangezogen. Nicht in allen Bereichen des Arbeitsgebietes wird eine konstruierte Störung der Kategorie (1) auch von eventuellen Störungsindikatoren an der Oberfläche begleitet.

In Anlage 19 wurden drei Störungen der Kategorie (1) (rot dargestellt) ausgehalten. Diese Störungen beschränken sich auf das südliche und zentrale Stadtgebiet, was sich aus den Daten, die ihrer Konstruktion zugrunde liegen, erklärt. In Ermangelung tieferer Aufschlüsse (insbesondere Schächte) und der Abwaschung der flözführenden Horizonte weiter im N reicht das GOCAD-3D-Modell von RENNER (1998) nur bis an die Linie des reflexionsseismischen Profils heran. Auch die Profilschnitte sind aufgrund der flacheren Bohrungen im

N des Stadtgebietes weniger aussagekräftig. Bei den drei Störungen handelt es sich von E nach W um den Brückenbergssprung, die OHHV und eine Störung, die von RENNER (1998) bereits im Karbon modelliert und als "s22" bezeichnet wurde. Bei dieser Störung könnte es sich um eine Verzweigung der OHHV handeln, was die Übersichtsrisse der Steinkohlenflöze nahelegen. Aufgrund dessen wurde südlich des Schwanenteiches eine Störung der Kategorie (3) postuliert.

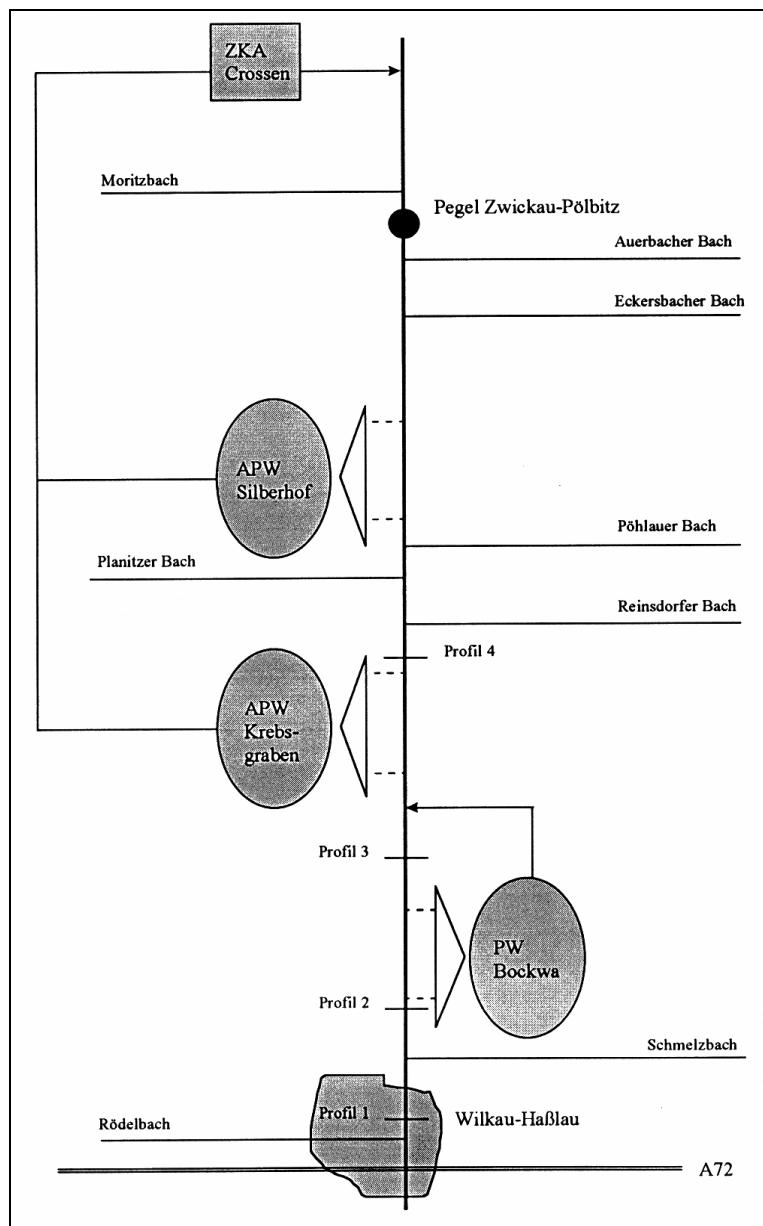
Die Störungen der Kategorie (2) bilden die nördlichen Verlängerungen von OHHV und Brückenbergssprung, sie stützen sich aus oben genannten Gründen nur noch auf die Profilschnitte und Oberflächenindikationen. Die OHHV wurde dabei in den Profilschnitten N-S 2, E-W 6 und E-W 7 (Anlagen 3, 12 und 13) angetroffen. Sowohl diese Störungsdurchgänge, als auch die Oberflächenindikationen, legen eine Verzweigung der OHHV nordwestlich des Stadtzentrums nahe.

Durch die Verlängerung der OHHV als Störung der Kategorie (3) soll der Vermutung Ausdruck verliehen werden, daß sich diese Störung weiter nach N fortsetzt. Im Rahmen von Bohrkerndokumentationen im Auftrag der Wismut GmbH wurde von SPERLICH et al. (1999) eine Störung, die die vermutliche Verlängerung der OHHV bildet, unmittelbar unter dem Damm der Industriellen Absetzanlage Crossen lokalisiert. Eine weitere Störung der Kategorie (3) wird bei Zwickau-Weissenborn vermutet, wo die Basis der Mülsen-Fm. in den Profilen N-S 6 und N-S 7 (Anlagen 1 und 2) versetzt wird.

## 9 Abriß der hydrogeologischen Situation im Arbeitsgebiet

### 9.1 Hydrologische und hydrometeorologische Verhältnisse

Im Auftrag des LfUG wurden von der WASY Gesellschaft für Wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH "Wasserhaushaltsuntersuchungen im Raum Zwickau-Oelsnitz" durchgeführt (WALTHER et al. 1998).



**Abbildung 12, Systemskizze Stadtgebiet Zwickau - aus WALTHER et al. (1998)**

Diese Untersuchungen waren nötig, um die durch den Einfluß des Bergbaus entstandene Störung der Vorflutbedingungen besser abzuschätzen und quantifizieren zu können. Das Vorflutsystem der Zwickauer Mulde im Stadtgebiet Zwickau ist in Abbildung 12 dargestellt. Aufgrund der Bergsenkungen, die im Zwickauer Revier max. 9m betragen (Bockwa, nach BEYER et al. 1981), sind abflußlose Gebiete entstanden, die künstlich entwässert werden müssen. Im Stadtgebiet Zwickau sind das die Bockwaer Senke, die durch das Pumpwerk (PW) Bockwa entwässert wird, und die Senke im zentralen Stadtgebiet, die durch die Abwasserpumpwerke (APW) Krebsgarten und Silberhof entwässert werden. Dabei ist zu bemerken, daß die beiden letztgenannten Pumpwerke das Wasser über die zentralen Kläranlage (ZKA) Crossen, welche sich oberhalb des Pegels Zwickau-Pöhlitz und somit außerhalb des Bilanzgebietes Zwickauer Mulde befindet (s. Abbildung 12), der Mulde zuführen.

Der Wasserhaushalt des Raumes Zwickau-Oelsnitz wurde mit Hilfe des Wasserhaushaltmodells (oder Niederschlag-Abfluß-Modell) NASIM modelliert. Dazu wurde das zu untersuchende Gebiet in 4 Teilgebiete untergliedert, von denen hier nur das Bilanzgebiet Zwickauer Mulde von Interesse ist. Die Modellierung erfolgte in Tagesschritten über einen 30jährigen Zeitraum.

**Tabelle 7, mittlere Wasserbilanz (1967-1996) für das Bilanzgebiet Zwickauer Mulde – aus WALTHER et al. (1998)**

Wasserhaushaltskomponente	mm/a	Abflußkomponente	mm/a
Niederschlag P	843		
Verdunstung ETR	523		
Abfluß R	314		
		Direktabfluß (versieg. Fl.) RD <sub>v</sub>	44
		Direktabfluß (unversieg. Fl.) Rd <sub>u</sub>	26
		Interflow RH	108
		Grundwasserneubildung GWN	136
Speicheränderung <sup>1</sup> Δ S	6		

1) Bodenfeuchte- und Interzeptionsspeicher

Tabelle 7 enthält die mittleren Bilanzgrößen für den 30jährigen Bilanzzeitraum. Die Volumenströme in und aus dem Bilanzgebiet Zwickauer Mulde sind in Tabelle 8 für alle bei der Bilanzierung berücksichtigten Größen in m<sup>3</sup>/d dargestellt. Es ist zu beachten, daß die Förderung aus dem PW Bockwa nicht berücksichtigt wurde, da diese innerhalb des Bilanzgebietes der Mulde wieder

zugeleitet wurde. Der unterirdische Abfluß erklärt sich aus der Versinkung von Muldewasser im Bilanzgebiet, die durch die Wasserhaltung in den PW Bockwa und Krebsgarten nur zu einem geringen Teil kompensiert wird. Die Versickerung von Muldewasser wird in Kap. 9.2 näher behandelt.

**Tabelle 8, mittlere Wasserbilanz (1967-1996) für das Bilanzgebiet Zwickauer Mulde in m<sup>3</sup>/d – aus WALTHER et al. (1998)**

Input in m <sup>3</sup> /d	Bilanzgröße	Output in m <sup>3</sup> /d
1.278.500	Zwickauer Mulde	1.280.800
119.700	Niederschlag	
	Verdunstung	74.200
	unterirdischer Abfluß	35.600
	Regenwasser von versiegelten Flächen zur ZKA Crossen <sup>1</sup>	4.500
	Fremdwasser APW Krebsgarten	2.100
1.398.200	Summe	1.397.200

1) z.T. nicht direkt sondern über APW Krebsgarten und Silberhof

In Tabelle 8 nicht dargestellt ist die urbane (anthropogene) GWN, die aus Verlusten aus dem Zwickauer Rohrleitungssystem entsteht. Da die Wasserversorgung im Bilanzgebiet zu 100% aus Fremdwasser besteht, muß die urbane GWN, die bei 41 mm/a bzw. 5790 m<sup>3</sup>/d liegt, bei der Bilanzierung berücksichtigt werden. Sie wird jedoch zu 90% durch eine Infiltration in defekte Mischwasserkanäle wieder kompensiert.

Die Bilanzgrößen Gesamtabfluß R und Grundwasserneubildung GWN wurden von WALTHER et al. (1998) mit Referenzwerten verglichen. Der Gesamtabfluß wurde mit dem N-A-U-Kartenwerk verglichen, die Übereinstimmung ist sehr gut. Die GWN wurde mit den von GABRIEL und ZIEGLER aufgestellten Schlüsselkurven zur GWN-Ermittlung verglichen. Auch hier stimmen die Ergebnisse relativ gut überein. Von HGN Hydrogeologie GmbH wurden die GWN für das Stadtgebiet Zwickau ebenfalls modelliert, die Bilanzgebiete wurden jedoch aufgrund der Aufgabenstellung anders gewählt (BESSER 1996a, BESSER 1996b). Aus diesem Grund sind die Ergebnisse, die erheblich voneinander abweichen, nur eingeschränkt vergleichbar.

## 9.2 Hydrogeologische Einschätzung und Wasserführung der einzelnen Formationen

Eine Übersicht über die hydrogeologische Situation in der westlichen Vorerzgebirgssenke wurde von BLÜHER (1960) erstellt und in den folgenden hydrogeologischen und bergschadenskundlichen Arbeiten über das Steinkohlenrevier Zwickau immer wieder zitiert. Im Folgenden soll diese Arbeit zusammengefaßt dargestellt werden.

Das präkarbone Basement der Vorerzgebirgssenke wird aus oberdevonischen Phylliten bis phyllitischen Tonschiefern aufgebaut. Es handelt sich dabei um wenig geklüftete Gesteine, die für eine Grundwasserführung in größerem Maße ungeeignet sind. Außerdem wird das Basement im Arbeitsgebiet in nach N zunehmend größerer Tieflage angetroffen. Bei den zahlreichen Durchörterungen der präkarbonen Gesteinsfolgen durch den Steinkohlenbergbau wurden weder im Gestein noch auf Verwerfungen Wasser angetroffen.

Die Schichtenfolge des Oberkabons setzt sich neben einem basalen "Melaphyr" aus einer kohleführenden Klastitfolge zusammen, deren Korngrößenspektrum von Psephiten in groben Schuttfächern bis zu Peliten in den flözführenden Bereichen reicht (s. Abbildung 1). Sie streicht im S des Arbeitsgebietes teilweise aus. Grobe Klastite, für die eine ausreichende Transmissivität anzunehmen wäre, werden im Ausstrichbereich aber kaum angetroffen. Der Cainsdorfer Melaphyr, der südlich von Zwickau in örtlich begrenzten Ausstrichen zutage tritt, ist für größere GW-Neubildungsraten ebenfalls wenig geeignet. Primär ist die oberkarbone Schichtenfolge also kaum GW-führend und bietet wenig Versickerungsmöglichkeiten.

Allerdings sind durch den Steinkohlenbergbau in größerem Maße Zuflußmöglichkeiten geschaffen wurden. Der historische Steinkohlenbergbau, der von den Ausstrichbereichen der Steinkohle im S von Zwickau ausging, hat in nicht zu überblickendem Umfang Hohlräume und Tagesöffnungen hinterlassen. Diese sind in den meisten Fällen auf Grund ihres Alters weder mark-scheiderisch verzeichnet noch überhaupt bekannt. Auf diesen Hohlräumen setzt in verstärktem Maße Wasser den Grubengebäuden zu. Im Bereich der Bockwaer Senke zwischen Zwickau und Cainsdorf wird der Ausbiß des Ober-

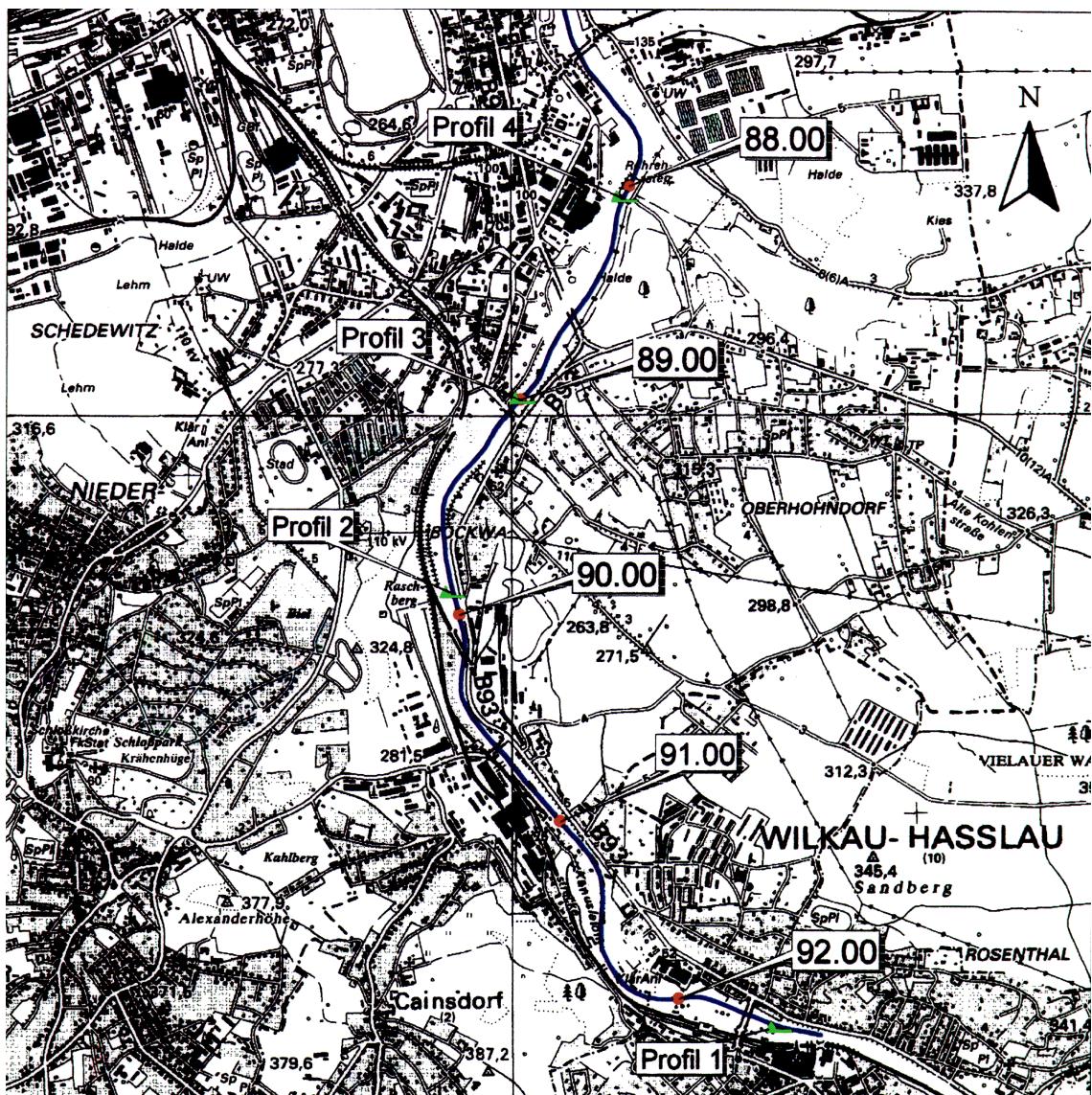
karbons von holozänen Muldeschottern überlagert. Über den GW-Strom in den Flusschottern gelangt das Wasser durch die Grubenbaue des Altbergbaus bis in die neueren Grubenbaue. Als Beispiel wird von BLÜHER (1960) ein Hochwasser der Zwickauer Mulde im Juli 1954 angegeben, was innerhalb kurzer Zeit eine Verdopplung bis Verdreifachung der zu hebenden Wassermenge nach sich zog.

In WALTHER et al. (1998) wurde der Versinkung von Muldewasser in der Bilanzierung eine besondere Aufmerksamkeit zuteil. Mit Hilfe einer Modellierung der Wasserspiegellagen der Zwickauer Mulde und einer Stichtagsmessung der Pegel in der Nähe der Mulde konnte in fast dem gesamten betrachteten Flussabschnitt ein Gefälle zwischen Mulde- und GW-Spiegel der obersten quartären GWL festgestellt werden. Bei Hochwasser herrschen auf dem gesamten Flussabschnitt im Bilanzgebiet effluente Verhältnisse, bei Mittel- oder Niedrigwasser sind erwartungsgemäß die Einzugsbereiche der APW Krebsgarten und Silberhof sowie die Bockwaer Senke als besonders kritisch einzuschätzen. Außerdem konnten hydraulische Verbindungen zwischen Mulde und quartären GWL nachgewiesen werden. Der Gradient zwischen Mulde- und GW-Spiegel ist allein noch kein Beweis für eine Infiltration von Muldewasser in die quartären GWL, da der Grad der Kolmation des Flussbettes nicht bekannt ist. Aus diesem Grund wurde von der WASY GmbH an vier Meßquerschnitten zu fünf Terminen Durchflußmessungen durchgeführt (s. Abbildung 13). Diese ergaben einen durchschnittlichen Durchflußrückgang zwischen den Profilen 2 und 4 von  $0,39 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw. eine Austauschmenge  $q$  von  $210 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{km})$ . Leider ist dieses Ergebnis nicht sehr zuverlässig. Nicht alle Meßtermine bestätigen diesen Durchflußrückgang, teilweise lagen die Änderungen der Durchflüsse innerhalb

**Tabelle 9, Wasserbilanz der Bockwaer Senke - aus WALTHER et al. (1998)**

Input in $\text{m}^3/\text{d}$	Bilanzgröße	Output in $\text{m}^3/\text{d}$
3.530	Niederschlag Teilgebiet 18	
	Verdunstung Teilgebiet 18	2.410
120	unterirdischer Zufluß (RH + GWN) von Teilgebiet 5	
16.600	Versickerung von Muldewasser in Teilgebiet 4	
	Förderung Pumpwerk Bockwa	4.670
	unterirdischer Abfluß	13.130
20.250	Summe	20.210

des Meßfehlers des Flügels, der mit +/- 4% angegeben wurde. Außerdem konnte nachgewiesen werden, daß für die Dauer eines Meßeinsatzes (bis zu 24h) keine stationären Abflußverhältnisse geherrscht haben.



**Abbildung 13, Lage der Durchflußmeßquerschnitte – aus WALThER et al. (1998)**

Trotz dieser Unsicherheiten scheint sich die Vermutung BLÜHERs, die Versinkung von Oberflächenwasser im Ausstrichbereich der Steinkohle in die Grubenbaue betreffend, zu bestätigen. Die Bilanzierung des Wasserhaushaltes für die Bockwaer Senke ist in Tabelle 9 dargestellt.

Die Härtendorf-Fm. besitzt im Vergleich zu den darüberliegenden Formationen des Unterrotliegend den größten Anteil an größeren Klastiten. Der Anteil der Konglomerate und Sandsteine kann bis zu 45% betragen. Dennoch wurde diese Formation im Zwickauer Steinkohlenrevier meist "trocken" angetroffen. Das liegt wohl vor allem in den bis auf die Ausstrichbereiche im S relativ mächtigen überlagernden Sedimentpaketen. In wenigen Fällen wurden in Schächten Wasserzuflüsse gemessen, welche sich zwischen 0,5-0,6 l/s bewegten. In nur einem Fall (dem Tiefbauschacht I = Friedrich-Nickoley-Schacht – FNS) traten salzhaltige Wässer in der Härtendorf-Fm. auf.

Durch ihre sehr wechselhafte Zusammensetzung ist die Planitz-Fm. für eine GW-Führung primär wenig geeignet. Der Anteil der Grobklastite in den Sedimenten geht gegenüber der Härtendorf-Fm. stark zurück, die Pyroklastite sind ebenfalls als GW-stauend zu betrachten. Jedoch sind die vulkanischen Decken vor allem in den Ausstrichbereichen ausreichend geklüftet, um eine GW-Strömung entsprechend dem Einfallen in die Tiefe zu ermöglichen. Auch hier kann der Effekt wie in den oberkarbonen Ausstrichen durch überlagernde wasserführende Muldeschotter noch erhöht werden.

Die lithologische Zusammensetzung der Leukersdorf-Fm. wird von Ton- und Schluffsteinen dominiert, der Anteil an größeren Klastiten ist faziell bedingt sehr unterschiedlich. Von BLÜHER (1960) wurde eine geringe karbonatische Zementation der Sedimente angenommen. Eigene Untersuchungen (s. Kap. 7) zeigten hingegen stark karbonatisch verfestigte Schluffsteinserien. Obwohl gröbere Klastite keine durchgehenden Horizonte bilden, sondern in einzelnen (hydraulisch nicht korrespondierenden?) Rinnen vorliegen, wurden im Zwickauer Steinkohlenbergbau durchaus stärkere Wasserführung beobachtet. Diese Zuflüsse treten zwar meist in grobklastischen Horizonten auf, sind aber an Klüfte gebunden. Vor allem in der Nähe der großen Verwerfungen, wo sich die Kluftzonen häufen, wurde eine stärkere Wasserführung beobachtet. Diese Beobachtungen wurden in der Baugrube Kornmarkt bestätigt, auch hier waren die GW-Zuflüsse an Kluftzonen gebunden, die eine vermutete Störung begleiten. Die Beschaffenheit der Wässer, insbesondere der Salzgehalt, variiert sehr stark und soll im nächsten Kapitel näher besprochen werden.

Der Mülsen-Fm. kommt aufgrund ihrer lithologischen Zusammensetzung sowie ihrer Position als Top der präkänozoischen Schichtenfolge die größte Bedeutung für die GW-Führung zu. Die Formation ist zum überwiegenden Teil aus wenig verfestigten, selten karbonatischen, fein- mittelkörnigen Konglomeraten aufgebaut. In den in der Mülsen-Fm. abgeteuften Schächten wurden erheblich GW-Zuflüsse sowohl aus Klüften und Schichtfugen als auch aus den Porenräumen beobachtet. Im Gegensatz zu den Formationen des Unterrotliegend, wo der Zustrom meistens an einzelne Konglomerathorizonte gebunden ist, verteilt sich die GW-Strömung in der Mülsen-Fm. relativ gleichmäßig auf die gesamte Schichtenfolge. Es wurden jedoch auch sehr starke Zuflüsse aus geringmächtigen Horizonten beobachtet. BLÜHER (1960) führt als Beispiel einen nicht näher benannten Schacht im Zwickauer Revier an, wo aus einem Konglomerathorizont der Mülsen-Fm. allein 16,7 l/s zusetzten.

**Tabelle 10, Transmissivitäten der Mülsen-Fm. in Abhängigkeit von der tektonischen Stellung - JORDAN (1995)**

	T [m <sup>2</sup> /s]
Zentralteil von Störungen bzw. Kreuzungsbereich	$10^{-2} \dots 2 \cdot 10^{-3}$
Randbereich von Störungen	$10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-4}$
ungestörter Bereich	$10^{-4} \dots 10^{-5}$

Wenn gleich die Anzahl von Klüften im Bereich von Störungen zunimmt, sind die Störungen nach BLÜHER (1960) und BEYER et al. (1981) lettig verfüllt und als GW-Stauer zu betrachten. JORDAN (1995) hingegen weist auf Transmissivitätsunterschiede im Bereich der Störungen bzw. Kreuzungsbereichen von Störungen von mehr als zwei Zehnerpotenzen im Vergleich zu den ungestörten Formationen hin (s. Tabelle 10).

### 9.3 Grundwasserbeschaffenheit

Seit langem ist bekannt, daß sich die Grubenwässer des Zwickauer und des Lugau-Oelsnitzer Revieres durch hohe Mineralisation auszeichnen. Aufgrund von Chlorid-Gehalten von max. 91235 mg/l (s. Tabelle 11, Analyse-Nr. 8) und Sulfat-Gehalten von max. ca. 4800 mg/l (SCHRÄBER 1968) wird von einer Sole gesprochen. Vor etwa 140 Jahren wurde die Sole sogar zur Gewinnung von

NaCl und CaCl<sub>2</sub> benutzt (BLÜHER 1960). Die dem Autor vorliegenden Analysen der Grubenwässer des Zwickauer Revieres sind leider zum größten Teil unvollständig. In den meisten Fällen wurden nur die Gesamthärte und die Chlorid- und Sulfat-Gehalte bestimmt. In keinem Fall wurden alle Haupthonen bestimmt, so daß keine Plausibilitätskontrollen durchgeführt werden konnten. Da ein Großteil der Wasseruntersuchungen nur zur Prüfung einer möglichen Nutzung des Wassers als Brauchwasser in den Bergwerken vorgenommen wurde, beschränkte sich die Analytik auf oben genannte Parameter, teilweise wurde noch Eisen und Mangan untersucht. Aus Tabelle 11 ist ersichtlich, daß die Gehalte an gelösten Salzen in einem großen Bereich variieren. In einer Analyse wurden Litium, Brom und Jod bestimmt und in relativ hohen Konzentrationen angetroffen. Die Gesamthärte korreliert visuell gut mit den Chloridgehalten (s. auch Tabelle 13 - Tabelle 16).

Über die Genese der Solen im Zwickauer und Lugau-Oelsnitzer Steinkohlenrevier gibt es unterschiedliche Auffassungen. BLÜHER (1960) geht von einer Anreicherung an gelösten Stoffen des versinkenden Oberflächenwassers im Rotliegenden aus. Er führt vor allem Mergelstein- und Kalksteinkonkretionen in der Härtendorf- und Leukersdorf-Fm. als Ursache der großen Härtegrade und Salzgehalte an. Diese Ansicht wird von BEYER et al. (1981) ebenfalls vertreten. Zu einer völlig anderen Theorie ist SCHRÄBER (1968) gelangt. Er führt die Solen auf das Thüringer Becken zurück. Von dort sollen die hochsalinaren Wässer auf überregionalen Störungssystemen (z.B. FGJZ) in die Vorerzgebirgsseenke migriert sein. Des Weiteren führt er die Solquellen von Altensalz und Neumühle im Vogtland auf denselben Effekt zurück. Infolge der Beeinflussung der natürlichen GW-Strömungsverhältnisse durch den Steinkohlenbergbau konnten diese Wässer bis an die Tagesoberfläche aufsteigen. In JORDAN (1996) wird diese These kommentarlos erwähnt. Im folgenden sollen die Argumente für die beiden Theorien gegenüber gestellt und diskutiert werden.

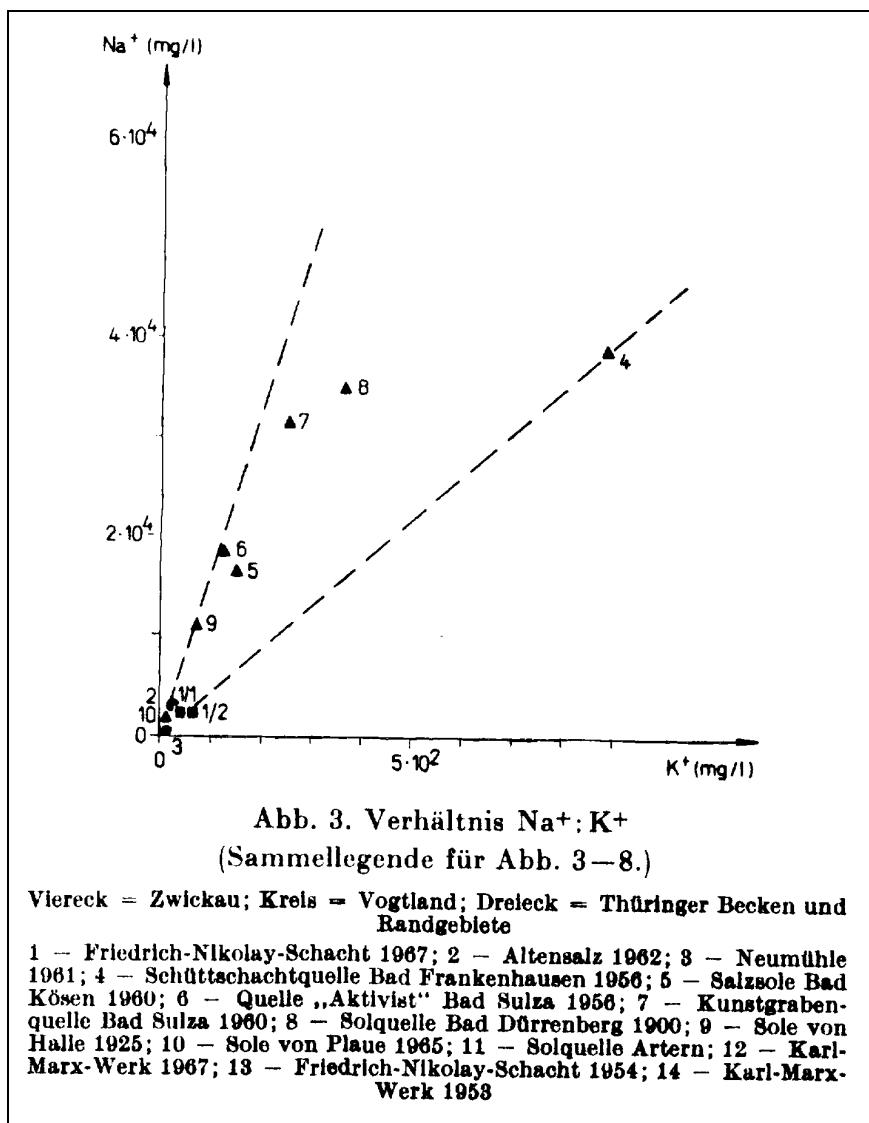
- SCHRÄBER ist der Meinung, daß sich die enorme Anreicherung von gelösten Stoffen im GW nicht allein aus dem Vorhandensein von Mergelstein- und Kalksteinkonkretionen erklären läßt, zumal diese nur als geringmächtige, lateral nicht weit aushaltende Horizonte auftreten.

**Tabelle 11, Grubenwässer des Zwickauer Revieres - aus SCHRÄBER (1968)**

Analyse-Nr.	Entnahmestadt, Tiefe	Q	Datum	pH	GH	KH	NKH	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Li <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	F <sub>ges.</sub>	Mn <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	I <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	kalkaggr. CO <sub>2</sub>
		[l/s]						°dH						mg/l							
1	Friedrich-Nickoley-Schacht (FNS), kurz nach Beginn der Aufwältig.	5	07.12.54	-	840	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16300	-	2400	-
2	FNS, Mischwasser aller Zwickauer Gruben	80	09.02.67	-	-	-	-	39,41	2067	-	2058	558	27,37	-	6493	-	943,3	341,7	-	-	-
3	FNS, Zulauf in 600m Tiefe ca. 300m nördl. vom Schacht	25	04.12.67	6,2	303	19	284	73	2300	2,3	1880	574	135	0	6770	25	0,04	1080	415	-	-
4	Bürgerschacht II, Wasserhaltung	-	03.09.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1406	-	-	461	-	-	-
5	Karl-Marx-Schacht II, 4. Sohle	-	03.09.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	246	-	21600	-	-	1048	-	-	-
6	Karl-Marx-Schacht I, Zufluß zum FNS	-	09.02.67	5,7	-	-	-	-	-	-	-	-	7350	2085	61	-	25205	-	913	-	-
7	Karl-Marx-Schacht III, 44-Schacht ca. 150 m südl. v. Hauptschacht	0,25	19.05.65	6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	93	-	60300	-	-	775	-	0	-
8	Karl-Marx-Schacht I, Abbau 838, ca. 500m östl. v. Hauptschacht	1	24.04.67	6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	1,5	-	91235	-	-	-	-	-	-
9	Karl-Marx-Schacht I, Mittelstrecke bei Abbau 838	1	24.04.67	7,5?	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	74500	-	-	-	-	-	-
10	Karl-Marx-Werk I, 90-m-Sohle	-	22.01.64	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	888	-	483	-
11	Karl-Marx-Werk II, 90-m-Sohle	-	22.01.64	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	284	-	160	-
12	Karl-Marx-Werk III, 90-m-Sohle	-	22.01.64	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	604	-	240	-
13	Karl-Marx-Werk VI, 90-m-Sohle	-	22.01.64	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	284	-	385	-
14	Hoffnungsschacht, Süßwasserort	-	05.08.63	7,4	50,0	5,3	44,7	-	-	-	-	-	0,3	-	461	-	-	-	-	80,0	7,9
15	Martin-Hoop-Schacht X, Schachtmauer bei 595m Teufe	-	04.05.63	6,3	1145,0	1,3	1143,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25808	-	-	Sp. 150,3
16	Martin-Hoop-Schacht X, Querschlag 400	-	06.05.63	6,3	472,0	2,1	469,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9572	-	-	Sp. 155,9
17	Martin-Hoop-Schacht IVa, 1000m u. GOK	-	22.01.64	5,5	2460,0	0	2460,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	500,0	90,0	60270	-

Terrestrische oder gar marine salinare Bildungen sind in der Vorerzgebirgs-senke nicht bekannt.

- Weiterhin erscheint SCHRÄBER die Menge der gelösten Salze, die er für einen Zeitraum von 50 Jahren mit  $1,5 \cdot 10^6$  t beziffert, viel zu hoch, um in situ gelaugt worden zu sein. Diese Überschlagsrechnung wurde anhand einer Analyse der im zentralen Wasserhaltungsschacht FNS gehobenen Mischwassers aller Zwickauer Gruben kalkuliert und geht davon aus, daß die Mineralisation der Grubenwässer konstant bleibt.



**Abbildung 14, Beispieldiagramm aus SCHRÄBER (1968)**

Zum Zeitpunkt der Analyse (09.02.1967) war der FNS aber erst seit 7 Jahren (und nicht 50) zur Wasserhaltung in Betrieb. Ein Vergleich der

Analysen aus Tabelle 11, Analyse-Nr. 2 und Tabelle 13, Analyse-Nr. A4 zeigt hingegen, daß die Ionenkonzentrationen leicht rückläufig sind, wenngleich sie sich immer noch auf hohem Niveau bewegen.

- Die Hypothese der Migration der salinaren Wässer aus dem Thüringer Becken wird von SCHRÄBER durch einen Vergleich des Chemismus von Thüringer Solen, Zwickau-Oelsnitzer Grubenwässer und Vogtländer Solquellen untermauert. Nach Meinung des Autors ist die Beweisführung SCHRÄBERS jedoch nicht in jedem Fall schlüssig. Es werden Diagramme verwendet (s. Abbildung 14) in denen jeweils zwei Ionen in ein Verhältnis zueinander gesetzt werden. Alle sich innerhalb des aufgespannten Fächers befindlichen Proben sollen nun denselben Chemismus-Typ besitzen.

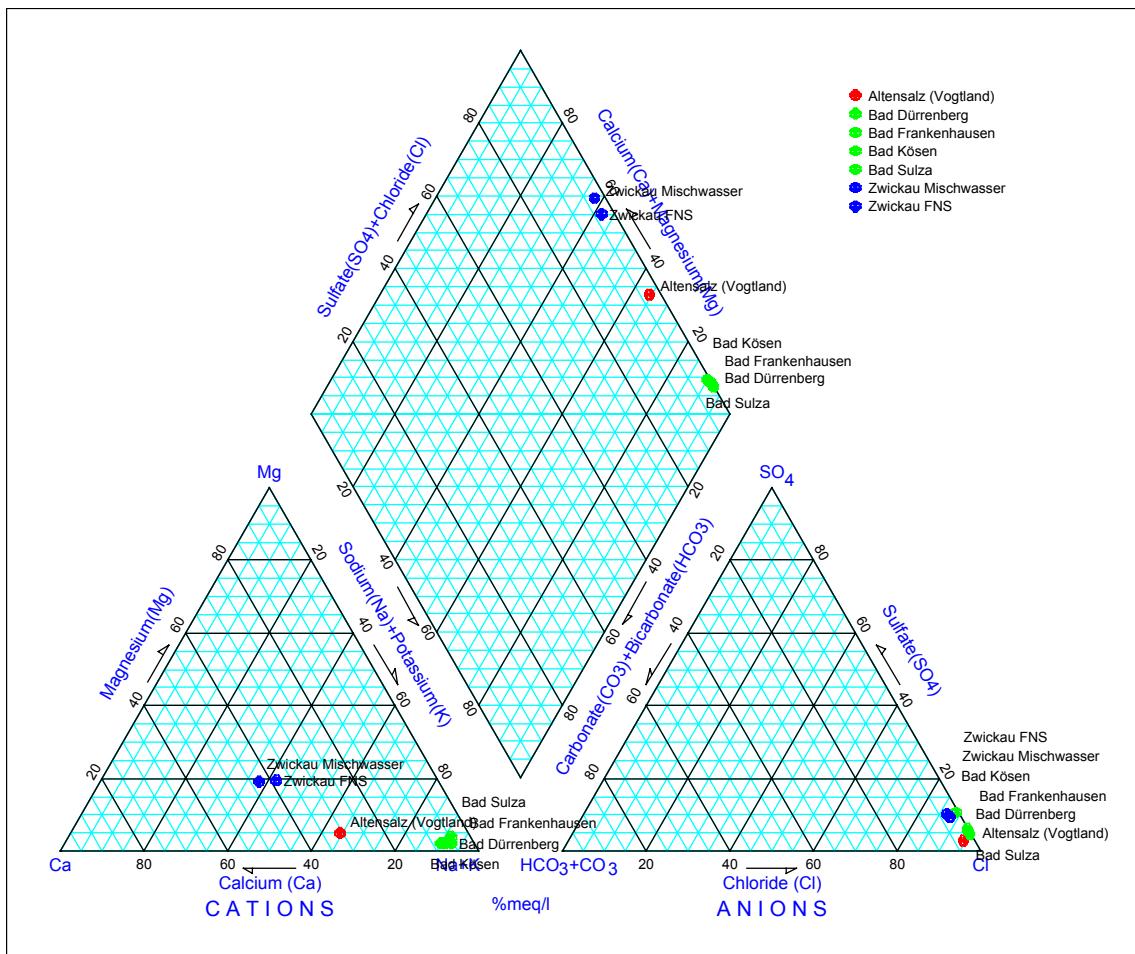
**Tabelle 12, Solquellen des Thüringer Beckens und des Vogtlandes - aus SCHRÄBER (1968) und CARLÉ (1975)**

Entnahmestandort		Altensalz (Vogtland)	Bad Dürrenberg	Bad Franken- hausen	Bad Kösen	Bad Sulza
Quelle			Solquelle	Schütt- schacht-Q.	Borlach-Q.	Kunst- graben Q.
Datum		1963	1900	16.11.65	16.03.60	03.11.60
pH		-	-	6,51	6,65	6,31
Li <sup>+</sup>		5,99	-	3,48	1,432	6,603
Na <sup>+</sup>		2384	34700	38760	16280	31560
K <sup>+</sup>		36,8	366	889,8	154,9	255,0
Mg <sup>2+</sup>		99,28	441	896,4	210,2	411,1
Ca <sup>2+</sup>		996,2	1795	1754	1251	2104
Sr <sup>2+</sup>		1,45	-	66,17	4,36	6,969
Mn <sup>2+</sup>		0,43	-	-	0,63	0,21
Fe <sup>2+</sup>		?	-	1,702	4,267	9,440
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		0,49	-	1,635	1,745	2,418
Ba <sup>2+</sup>		0,28	-	0,0135	0,8459	0,1764
Cl <sup>-</sup>		5452	54870	62120	24920	51240
Br <sup>-</sup>		1,22	51	16,23	0,61	14,03
I <sup>-</sup>		0,01	0,5	0,0981	0,0288	0,0271
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		226,8	4375	5487	4072	3477
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		0,67	-	4,175	3,581	2,519
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		272,8	160	281,8	297,8	220,2
Al		2,2	-	0,89	0,13	10,3

\*) in CARLÉ (1975) Angaben in mg/kg – Analysenwerte wurden 1:1 in mg/l übertragen, obwohl bei derart hohen Konzentrationen die Dichte >1g/cm<sup>3</sup> ist

Um den Chemismus der Wässer besser vergleichen zu können, wurden die beiden umfangreichsten Analysen (Tabelle 11, Analyse-Nr. 2 u. 3) zusammen mit Analysen von Mineralwässern des Thüringer Beckens und der

Solquelle Altensalz (Vogtland) in einem Piperdiagramm dargestellt (s. Tabelle 12 u. Abbildung 15).



**Abbildung 15, Vergleich des Chemismus von Grubenwässern des Zwickauer Reviers mit Solquellen des Thüringer Beckens und des Vogtlandes**

In Piper-Diagrammen werden nur die prozentualen Verhältnisse der Hauptionen in meq/l dargestellt, die absoluten Konzentrationen werden nicht berücksichtigt. Aus Tabelle 12 ist jedoch ersichtlich, daß die Gehalte an gelösten Stoffen zwar um eine Zehnerpotenz variieren, sich aber insgesamt auf hohem Niveau befinden. Abbildung 15 zeigt, daß die Mineralwässer des Thüringer Beckens im Piper-Diagramm relativ dicht beieinander liegen, Natrium und Chlorid sind die vorherrschenden Spezies. Die Grubenwässer des Zwickauer Steinkohlenreviers hingegen weisen ungefähr gleiche Anteile an Natrium, Calcium und Magnesium auf, auch hier ist Chlorid das

überwiegende Anion. Die Solquelle Altensalz liegt in ihrem Chemismus zwischen den Solquellen des Thüringer Beckens und den Grubenwässern aus Zwickau.

Schlußfolgernd muß bemerkt werden, daß sich die Wässer keinesfalls gleichen. Die extrem hohe Mineralisation der Grubenwässer läßt sich im Gegensatz zu der der Solen des Thüringer Beckens nicht allein aus der Laugung von Steinsalz erklären.

- Das Auftreten von Brom, Jod und Litium in einer Analyse (Tabelle 11, Analyse-Nr. 3) wird von SCHRÄBER ebenfalls als Anzeichen von Wässern gedeutet, die durch eine Salzlagerstätte beeinflußt sind. Leider liegen keine weiteren Analysen die diese Elemente einschließen vor, so daß die Aussagekraft dieser einzelnen Probe gering bleibt.
- Gegen die Hypothese der Migration salinarer Lösungen aus dem Thüringer Becken spricht die Tatsache, daß zumindest der GW-Strom der oberen GW-Stockwerke nach N gerichtet ist (BESSER 1997).
- Bereits BLÜHER (1960) beobachtete eine Abhängigkeit des Gehaltes an gelösten Stoffen von der Verweildauer des GW im Gebirge. Diese Tatsache, die von BEYER et al. (1981) mit mehreren Analysebeispielen belegt wird, ist das schwerwiegenste Argument für eine *in situ*-Laugung der Rotliegend-Formationen.

**Tabelle 13, Analysenbeispiel für ständig nachlaufende Wässer - aus BEYER et al. (1981)**

Schacht	Datum	Analyse-Nr.	pH	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	So <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	Fe <sup>3+</sup> [mg/l]	Mn <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	GH [°dH]
Wasserhaltungsschacht	20.03.54	A1	6,4	170	250	4,9	2,3	n.b.	50
Hoffnungsschacht	20.03.54	A2	7,2	415	307	4,2	2,0	n.b.	62
Bürgerschacht	20.03.54	A3	7,2	1410	461	4,0	1,4	n.b.	102
FNS	Aug 73	A4	7,2	5591	580	34	1	450	290

In Tabelle 13 sind Wasseranalysen der Wasserhaltungsschächte vor und nach Einführung der zentralen Wasserhaltung im FNS dargestellt (s. auch Kap. 10). Da im FNS auch die tieferliegenden Gruben des Karl-Marx-Werkes (KMW) und Martin-Hoop-Werkes (MHW) mit entwässert werden, ist die Mineralisation der Wässer erheblich höher.

**Tabelle 14, Analysenbeispiel für Standwässer - aus BEYER et al. (1981)**

Schacht	Datum	Analyse-Nr.	pH	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	So <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	Fe <sup>3+</sup> [mg/l]	Mn <sup>2+</sup> [mg/l]	GH [°dH]
FNS	19.07.54	A5	5,95	23780	840	375	12,2	995
FNS	20.10.54	A6	5,8	20600	n.b.	n.b.	n.b.	800
FNS	03.11.54	A7	5,3	18100	720	n.b.	n.b.	675

Beispiele für ausgesprochene Standwässer sind in Tabelle 14 dargestellt. Diese wurden bei Wiederausräumen des Tiefbauschachtes I (später FNS) angetroffen. Die Mineralisation ist um das vierfache höher als in Analyse A4 (Tabelle 13), wo der FNS bereits 13 Jahre als zentraler Wasserhaltungsschacht in Betrieb war. Leider sind in Tabelle 14 keine Teufenangaben zu den Probenahmepunkten verzeichnet. Die Zeitpunkte der Probenahmen lassen jedoch auf eine zunehmende Teufe bei der Aufwältigung des Schachtes schließen. Die abnehmenden Mineralisationen in den Analysen A6 und A7 werden von BEYER et al. (1981) mit dem Zufluß von Frischwasser (Mulden-Grund- und Oberflächenwasser) begründet.

**Tabelle 15, Analysenbeispiel für Standwässer - aus BEYER et al. (1981)**

Schacht	Datum	Analyse-Nr.	Abdampfrückstand [mg/l]	GV 600°C [mg/l]	pH	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	So <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	GH [°dH]	Dichte 20°C [g/ml]
MHW, III-Qu	27.08.76	A8	52928	36406	6,7	24495	519	4635	1696	1040	n.b.
MHW, III-Qu	20.01.77	A9	32057	25747	5,6	16766	1320	4275	860	796	1,022
MHW, III-Qu	26.04.77	A10	15172	12665	6,4	8875	381	1887	615	406	1,011

In Tabelle 15 ist ein weiteres Beispiel von im Bergbau angetroffenen Standwässern dargestellt. Die Gehalte an gelösten Stoffen nehmen in Analyse A9 und A10 deutlich ab. Infolge des beginnenden Abpumpen der Wässer verkürzt sich die Verweilzeit und damit verringert sich die Mineralisation.

**Tabelle 16, Analysenbeispiel für Waschwasser zur Aufbereitung der Kohle – aus BEYER et al. (1981)**

Probenahmeort	Datum	Analyse-Nr.	Abdampfrückstand [mg/l]	GV bei 600°C [mg/l]	pH	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	So <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	GH [°dH]
Waschwasser Aufbereitung	25.10.76	A11	8015	6516	6,5	3745	725	1115	160	193
Abwasser Auflandeteich	03.11.76	A12	4291	3818	6,5	2139	563	n.b.	n.b.	101
Sickerwasser am Damm Auflandeteich		A13	10575	8460	2,8	2870	3280	n.b.	714	261

Ein weiteres Indiz für die Anreicherung der Wässer an gelösten Stoffen zeigen die Analysen der Waschwässer in Tabelle 16. Zur Aufbereitung der Steinkohle wurde Muldewasser benutzt, dessen Mineralisation erheblich geringer angesetzt werden muß. Die Gesamthärte des Muldewassers schwankt zwischen 5 und 20 °dH. Die hohen Sulfatgehalte lassen sich mit Sulfiden in der Kohle und ihren begleitenden Peliten erklären, die durch den Zutritt von Sauerstoff und Wasser oxidieren und im Waschwasser gelöst werden. Hieraus erklärt sich auch der niedrige pH-Wert der Analyse A13. Interessant ist auch der Vergleich der Analysen A12 und A13. Beim Durchströmen des Dammes, welcher aus Haldenmaterial besteht, erhöht sich der Chloridgehalt sowie die Gesamthärte deutlich.

Die Gegenüberstellung der Fakte und Argumente, vor allem der Analysenergebnisse, führt zu dem Schluß, daß der Theorie der Anreicherung von versinkendem Oberflächenwasser an gelösten Stoffen der Vorzug gegeben werden muß. Ungeklärt bleibt jedoch, woher in einem salinarfreien Gebiet die extrem hohen Chlorid-Gehalte im GW stammen können.

## 10 Die Wasserhaltung der Grubenbaue des Zwickauer Steinkohlenreviers

Die Recherche der Wasserhaltung im Zwickauer Steinkohlenrevier erfolgte im Bergarchiv Freiberg des Sächsischen Staatsarchives. Neben BEYER et al. (1981) wurden zahlreiche Akten der Steinkohlenwerke gesichtet. Leider gibt es keinerlei vollständige Aufzeichnungen zu Sümpfung und Flutung der Grubenbaue. Die Daten mußten aus verschiedenen Quellen zusammengetragen werden und sind entsprechend lückenhaft. Zum Verständnis der folgenden Ausführungen sollen hier die Steinkohlenwerke (Stkw) des Zwickauer Revieres nach 1945 genannt werden.

**Tabelle 17, Steinkohlenwerke des Zwickauer Revieres nach 1945**

Steinkohlenwerk		Ort	Teufe
ABW	VEB Stkw August Bebel	westlich der Mulde: Stadtkern, Schedewitz, Planitz, Bockwa	vom Ausstrich bis ca. - 300 mNN
KMW	VEB Stkw Karl Marx	östlich der Mulde: Oberhohndorf...	-270 bis - 465 mNN
MHW	VEB Stkw Martin Hoop	östlich des KMW: Mülsenfeld...	-404 bis - 675 mNN

Das ABW war bereits kurz nach Ende des 2. Weltkrieges ausgekohlt. Während das KMW 1967 stillgelegt wurde, arbeitete das MHW bis zur gesamten Einstellung des Bergbaus im Jahre 1978.

1948 existierten folgende Schächte zur Wasserhaltung des Zwickauer Steinkohlenrevieres:

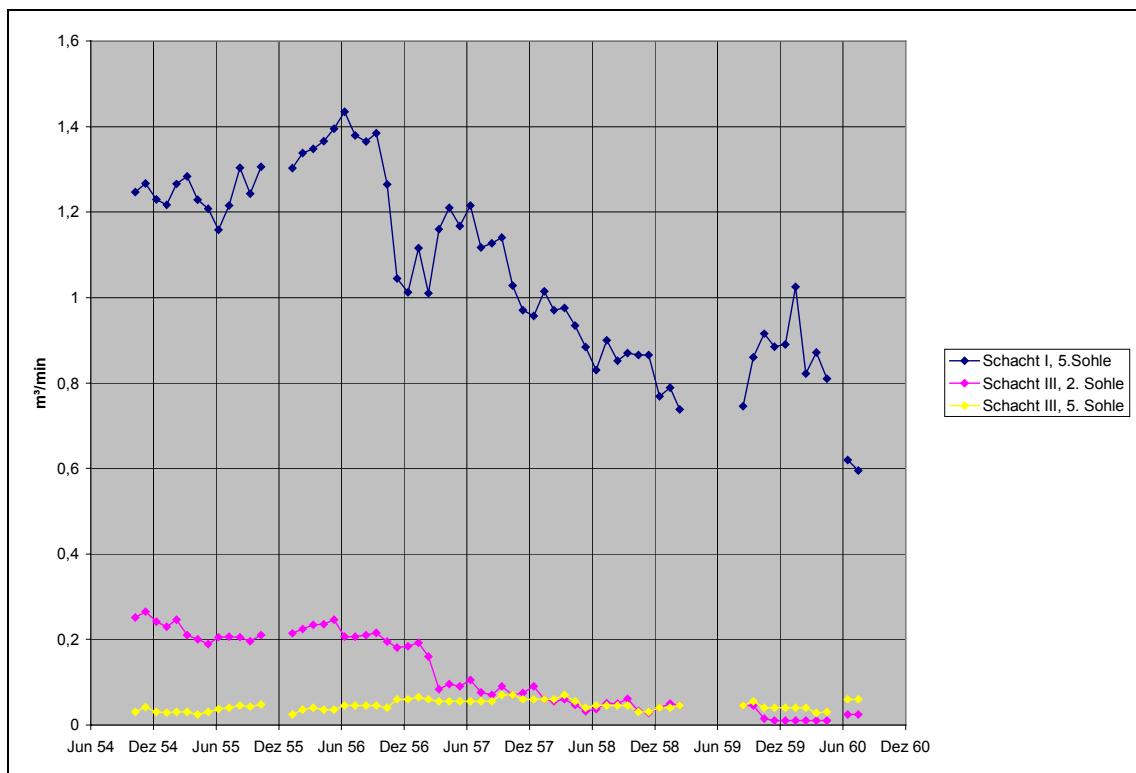
**Tabelle 18, Wasserhaltungsschächte vor Beginn der zentralen Grubenwasserhaltung**

Schacht	durchschnittl. gehobene Wassermenge [m <sup>3</sup> /min] <sup>1)</sup>	entwässerte Gebiete	Einstellungsdatum
Wasserhaltungsschacht	1,6 - 2	Bockwaer Senke	Sept. 1965
Hoffnungsschacht	1 - 1,7		Sept. 1965
Bürger-Schacht II	0,3 - 1,4	Planitz, Cainsdorf	Mai 1961
Karl-Marx-Schacht I	1,4	Karl-Marx-Grubenfeld	Aug. 1960
Karl-Marx-Schacht III	0,2 - 0,3		Aug. 1961

1) die stark schwankenden Angaben resultieren aus unterschiedlichen Quellen

Neben den gehobenen Wassermengen versickerte ein nicht kontrollierbarer Teil der Grubenwässer in das Tiefbauschachtfeld unter dem Stadtkern und die

vollständig versetzten Grubenbaue im westlichsten Teil des KMW (unmittelbar östlich der Zwickauer Mulde). Diese Wässer traten 1952 erstmalig im in Betrieb befindlichen KM-Grubenfeld in der Nähe des Karl-Marx-Schachtes III auf -271 mNN aus und bedrohten das südliche KM-Grubenfeld. Aus diesem Grund wurde im Jahre 1953 begonnen den ehemaligen Tiefbauschacht I (jetzt Friedrich Nickoley-Schacht – FNS) wieder auszuräumen, um die Standwässer an der W- und S-Flanke des KMW zu sämpfen. Der FNS wurde zum zentralen Wasserhaltungsschacht des Zwickauer Steinkohlenrevieres ausgebaut. Im Januar 1957 ging die Wasserhaltung im FNS in Betrieb. Im Laufe der folgenden Jahre gingen daraufhin die im KMW gehobenen Wassermengen auf 0,6 – 0,8 m<sup>3</sup>/min zurück (s. Abbildung 16). Seit 1959 wurden diese Wässer über einen Westquerschlag in einer Teufe von –250 mNN dem FNS zugeführt.



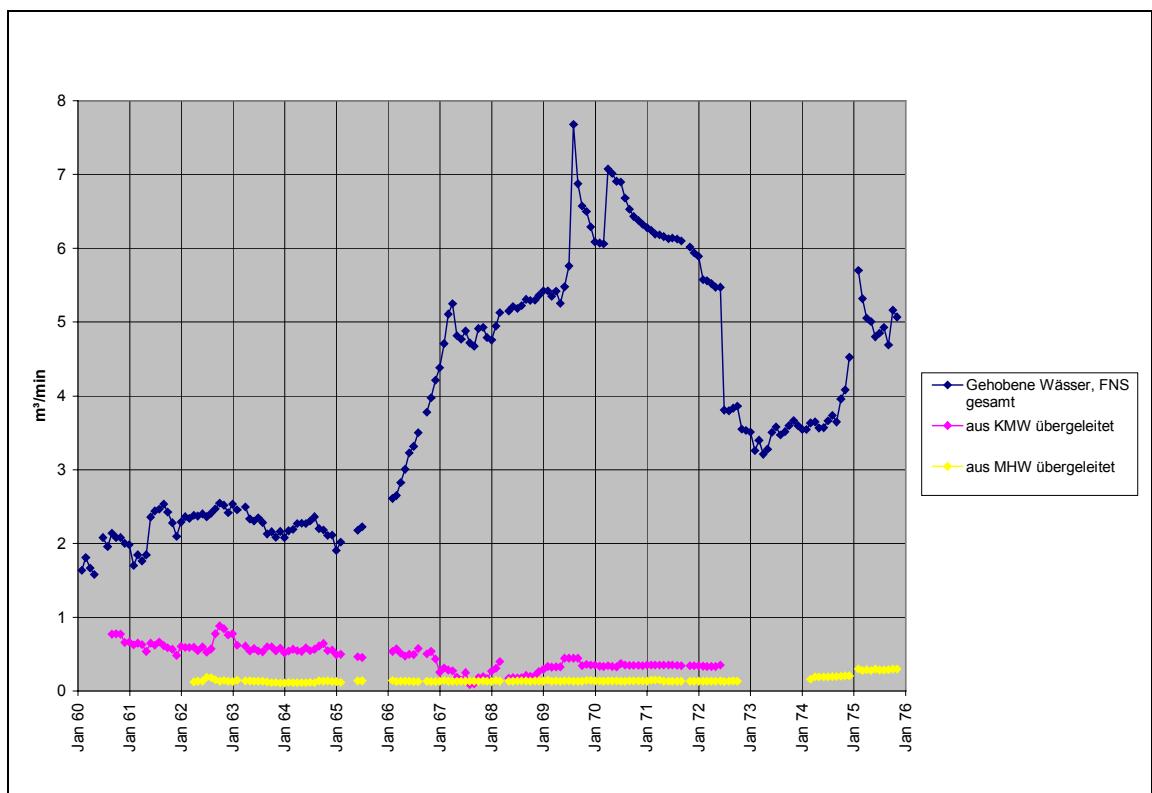
**Abbildung 16, Wasserhaltung im KMW 1954–60 – aus Archivunterlagen des Bergarchives Freiberg**

Im Mai 1961 wurde die Wasserhaltung im Bürgerschacht II eingestellt, die zuletzt ca. 0,7 m<sup>3</sup>/min betrug. Die Wässer wurden über die aufgewältigte 140-Strecke in einer Teufe von –318 mNN dem FNS zugeführt. Innerhalb eines

Monats erhöhte sich die gehobene Wassermenge im FNS um den Betrag des Bürgerschacht II (s. Abbildung 17).

Seit April 1962 wurden dem FNS sämtliche Grubenwässer des MHW zugeführt. Diese wurden zum Karl-Marx-Schacht III gepumpt und von dort ebenfalls über den Westquerschlag dem FNS zugeleitet. Die Wassermengen lagen bei ca.  $0,13 \text{ m}^3/\text{min}$ .

Zuletzt wurde die Wasserhaltung im Wasserhaltungsschacht und Hoffnungsschacht im September 1965 eingestellt. Dies führte zu einer allmählichen Erhöhung der Zuflüsse zum FNS, welche sich ungefähr ein Jahr später bei  $4,8 \text{ m}^3/\text{min}$  einpegelten (s. Abbildung 17). Geht man von einer Wasserförderung von im Schnitt  $2,8 \text{ m}^3/\text{min}$  in Wasserhaltungs- und Hoffnungsschacht (nach BEYER et al. 1981) aus, so entspricht das relativ genau der dem FNS zusätzlich zusitzenden Wassermenge (ohne die Zuflüsse von KMW und MHW). Leider liegen zur Wasserhaltung von Wasserhaltungs- und Hoffnungsschacht keine Monatswerte vor.



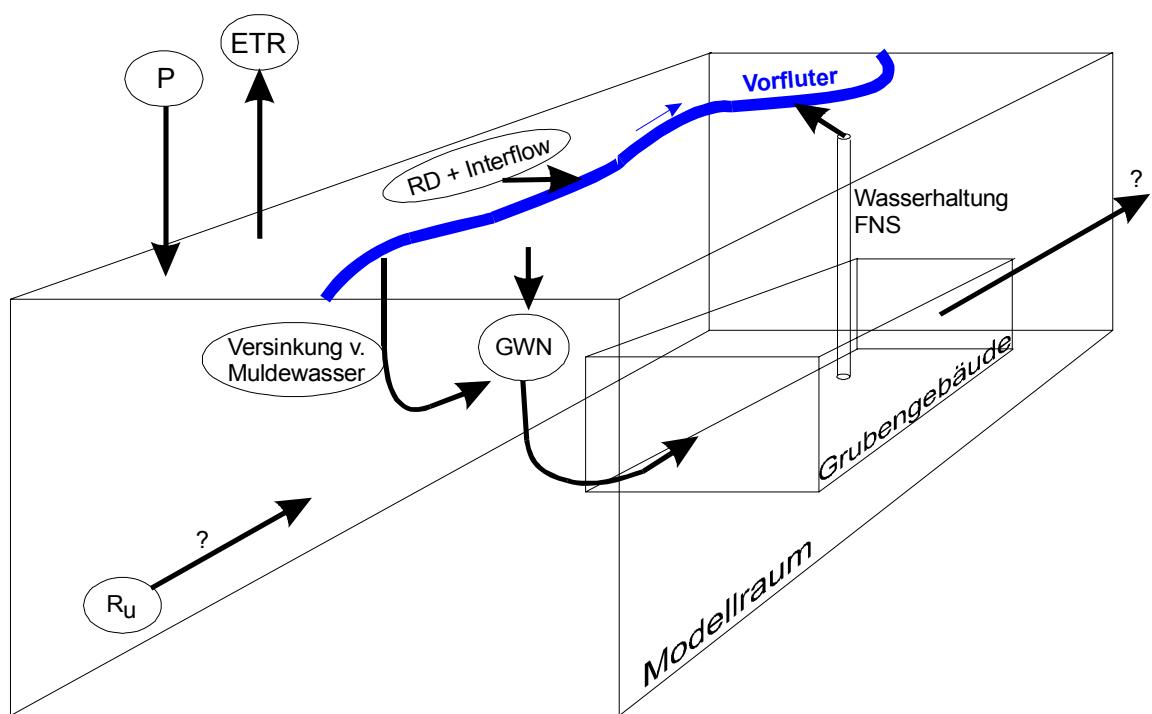
**Abbildung 17, zentrale Wasserhaltung im FNS 1960–75 – aus Archivunterlagen des Bergarchives Freiberg**

In Abbildung 17 fällt die abrupte Verringerung der gehobenen Wassermenge im Juli 1972 ins Auge. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Wasserhaltung im KMW eingestellt, d.h. die Wässer wurden dem FNS nicht mehr zugepumpt. Diese fehlende Wassermenge reicht für Abnahme der gesamten gehobenen Wässer um ca. 2 m<sup>3</sup>/min bei weitem nicht aus. Während die Zuflüsse zum FNS, die über verschiedene Sohlen und Wasserorte erfolgten, vor dem besagten Zeitpunkt nicht vollständig gemessen und teilweise nur geschätzt wurden, konnte nun eine Meßeinrichtung, deren Meßfehler mit +/- 5% angegeben wurde, eingerichtet werden. Das bedeutet, daß die Meßreihen in Abbildung 17 vor und nach Juli 1972 gesondert zu betrachten sind.

Aus dem oben genannten Fakt geht bereits hervor, daß die Zuverlässigkeit der Daten nicht sehr hoch einzuschätzen ist. Während relative Veränderungen von Wassermengen wahrscheinlich problemlos verwendet werden können, müssen absolute Mengen mit Vorsicht betrachtet werden.

## 11 Bilanzierung der Grubenwasserhaltung

Wie bereits erwähnt, wurde von WALTHER et al. (1998) der oberflächliche Wasserhaushalt mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung modelliert. Die GWN liegt für 23 Teilgebiete im Bilanzgebiet Zwickauer Mulde von 1966 bis 1996 in Monatswerten vor. Ausgehend von diesen Daten wurde versucht, die Grubenwasserhaltung des Steinkohlenrevieres Zwickau zu bilanzieren. Dabei ergibt sich für das Bilanzgebiet Zwickauer Mulde folgendes Modell:

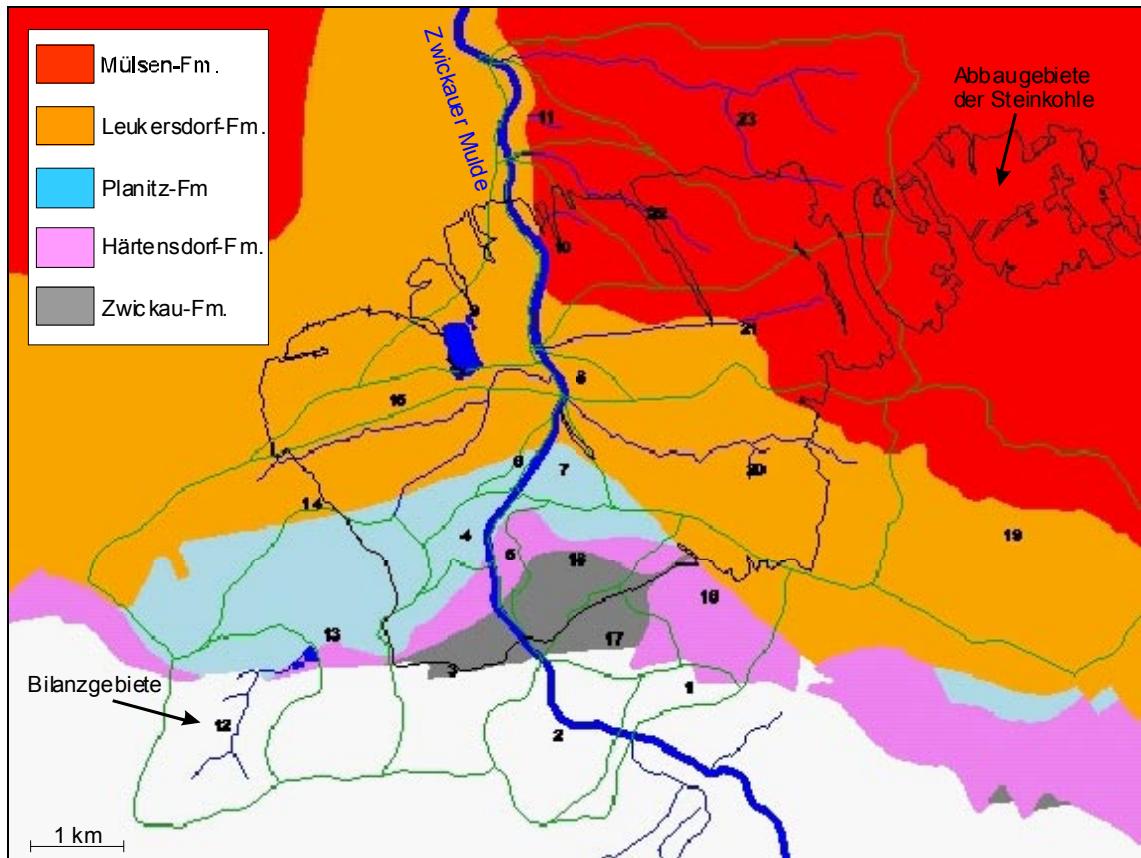


P: Niederschlag, R<sub>u</sub>: GW-Zustrom, RD: Direktabfluß, ETR: Verdunstung, GWN: Grundwassernaubildung

**Abbildung 18, 3D-Skizze des Bilanzgebietes Zwickauer Mulde**

Mit Hilfe der Bilanzierung der Grubenwasserhaltung soll untersucht werden, inwieweit die Vermutung zutrifft, daß die Grubenwässer hauptsächlich aus dem Ausstrichbereich der Steinkohlen-Fm. zufließen und von dort aus über auflässige oder versetzte Grubenbaue den tieferen Bereichen zusetzen. Zu diesem Zweck wurden die Ausstrichbereiche der Rotliegend- und Zwickau-Fm. den Verbreitungskarten aus WOLF & SCHALLER (1969) entnommen, digitalisiert und in einem Geographischen Informationssystem (TNTmips)

weiterbearbeitet. Die Teilgebietsabgrenzungen für das Bilanzgebiet Zwickauer Mulde aus WALTHER et al. (1998) wurden ebenfalls in das GIS übertragen. Es ergibt sich folgende Karte:



**Abbildung 19, geologische Karte des Bilanzgebietes Zwickauer Mulde (Känozoikum abgedeckt)**

Aus Abbildung 19 ist ersichtlich, daß die Abbaugebiete der Steinkohle vom Bilanzgebiet Zwickauer Mulde bis auf die tiefsten Grubenbaue des Mülzenfeldes recht gut abgedeckt werden. Im Süden reichen einige Bilanzteilgebiete über den südlichen Beckenrand der Vorerzgebirgssenke hinaus.

Die Bilanzierung der Grubenwasserhaltung sollte so erfolgen, daß der durch die zentrale Wasserhaltung gehobenen Wassermenge die den Grubenbauen zufließende gegenübergestellt wird. Die Ausgangsgrößen hierzu sind die von WALTHER et al. (1998) ermittelten Daten zur GWN. Die Modellskizze in Abbildung 18 macht allerdings deutlich, daß die GWN keinesfalls komplett den Grubenbauen zusetzt. Um eine Quantifizierung der Wassermengen zu ermög-

lichen, müssen bestimmte Annahmen getroffen werden, die eine Bilanzierung zulassen:

- (1) Als südliche Begrenzung des Bilanzgebietes wird der südliche Beckenrand festgelegt.

Die oberflächlichen Einzugsgebiete, die von WALTHER et al. (1998) ausgehalten wurden, reichen über den Beckenrand nach S hinaus (s. Abbildung 19). Im Bilanzgebiet 12 wird aber deutlich, daß der Vorfluter unmittelbar am Beckenrand nach E umbiegt. Aus diesem Grund wird angenommen, daß der Grundwasserstrom am Beckenrand gestaut wird, und dem Vorfluter zuströmt, d.h. nur in geringem Maße der Vorerzgebirgssenke zugeführt wird. Die Durchflußmessungen, die von WALTHER et al. (1998) durchgeführt wurden, zeigen außerdem, daß zwischen den Profilen 1 und 2 (Bilanzgebiet 2) kaum Wässer aus der Zwickauer Mulde ins GW infiltrieren.

- (2) Die GWN in den Ausstrichbereichen von Zwickau-, Härtendorf- und Planitz-Fm. setzen vollständig den Grubenbauen zu.

Diese Annahme wird anhand der Vermutung getroffen, daß die zentrale Wasserhaltung des Steinkohlenbergbaus den GW-Spiegel in diesem Bereich abgesenkt hat. In Kap. 10 wird beschrieben, daß die Wasserhaltung in der Bockwaer Senke, die seit 1940 existierte, nach Inbetriebnahme der zentralen Wasserhaltung des FNS 1965 eingestellt wurde und durch dies vollständig kompensiert wurde.

- (3) Die GWN in den Ausstrichbereichen der Leukersdorf- und Mülsen-Fm. wird über quartäre GWL bzw. oberflächennahe GWL dieser Fm. den Vorflutern zugeleitet. Diese GWL wurden durch den Absenkungstrichter der Wasserhaltung nicht erfaßt.

In diesem nördlichen Bereich des Bilanzgebietes sind quartäre Ablagerungen im Allgemeinen mächtiger und weiter verbreitet. Außerdem muß angenommen werden, daß die Transmissivität der Leukersdorf-Fm., die am Top aufgrund von Delithifizierung meist GW-führend ist, zum Liegenden hin

zunehmend geringer wird. Diese Modellannahme wird durch die zusitzenden Wassermengen in den tiefergelegenen Grubenbauen der Steinkohlenwerke KMW und MHW gestützt, die nur einen Bruchteil, der im SW befindlichen oberflächennahen Grubenbaue der ABW betragen (s. Abbildung 17). Die entsprechenden Bilanzgebiete werden durch Vorfluter (Reinsdorfer-, Pöhlauer-, Galgengrund-, Auerbacher Bach etc.), die der Zwickauer Mulde zufließen, flächendeckend entwässert (vgl. Abbildung 19).

- (4) Die gesamte GWN des Bilanzgebietes fließt entweder den Vorflutern innerhalb des Bilanzgebietes zu oder wird komplett durch die Grubenwasserhaltung erfaßt. Es existiert kein unterirdischer GW-Abstrom. Die von WALTHER et al. (1998) angestellten Wasserhaushaltsuntersuchungen weisen ein Bilanzdefizit infolge der noch unzureichend quantifizierten Muldewasserversickerung auf. KOLITSCH & GÖTTELMANN (1998) vermuten daher einen GW-Abstrom auf überregionalen Störungszonen. Leider konnten aufgrund der unzureichenden Datenlage keine gesicherten Aussagen getroffen werden. Weiterhin bleibt ungeklärt, inwieweit die Grubenwasserhaltung diesen GW-Abstrom beeinflußt hat.
- (5) Die Versickerung von Muldewasser ist auf die südlichen Ausstrichbereiche der Zwickau-, Härtendorf- und Planitz-Fm. beschränkt. Aufgrund der von WALTHER et al. (1998) vorgenommen Untersuchungen der Versinkung von Oberflächenwässern der Zwickauer Mulde kann diese Annahme problemlos getroffen werden.
- (6) Für die Menge der versinkenden Muldewässer wird in erster Näherung 4660 m<sup>3</sup>/d angenommen.  
Die Abschätzung der versinkenden Wassermenge stellt das größte Problem der Bilanzierung der Grubenwasserhaltung dar. Die Durchflußmessungen von WALTHER et al. (1998) ergaben eine Menge von 210 l/s\*km bzw. 37300 m<sup>3</sup>/d. Dieser Wert allein ergibt ungefähr das Vierfache der von der zentralen Wasserhaltung gehobenen Wassermenge. Das würde bedeuten, daß entweder die Modellannahme (4) falsch ist, oder die versickerte

Wassermenge zu hoch ist. Laut WALTHER et al. (1998) ist diese experimentell nicht abgesichert, da während der Messungen keine stationären Abflußbedingungen herrschten und einige Messungen gänzlich verworfen werden mußten. Da die Durchflußmessungen bei Niedrigwasser vorgenommen wurden, gelten die Ergebnisse auch nur für diese Bedingungen. Das hieße aber, das bei Mittel- und Hochwasser noch höhere Infiltrationsmengen in das GW zu erwarten wären.

Zur Präzisierung der von WALTHER et al. (1998) erzielten Ergebnisse zur Versinkung von Muldewasser wurden von ABRAHAM & BESSER (1999) Tracer- und Wasserhaushaltsuntersuchungen durchgeführt. Dabei wurde nur das Gebiet der potentiellen Versickerung in Zwickau-Schedewitz, APW Krebsgarten betrachtet. Es konnte ein wasserwegsames Kluftsystem nachgewiesen werden, außerdem konnte eine Infiltration aus der Mulde bestätigt werden. Die versinkende Wassermenge ist nach ABRAHAM & BESSER (1999) geringer als die von WALTHER et al. (1998) bestimmte. Die Quantifizierung der Uferfiltratanteile in den obersten GWL kann mit Hilfe des stabilen Sauerstoffisotops  $^{18}\text{O}$  bestimmt werden. Dazu sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig.

Neben der experimentellen Bestimmung wurde von WALTHER et al. (1998) die Versinkung von Muldewasser auch mit Hilfe eines Leakage-Konzeptes bei verschiedenen Kolmationsgraden des Flussbettes berechnet. Dabei ergab sich folgendes:

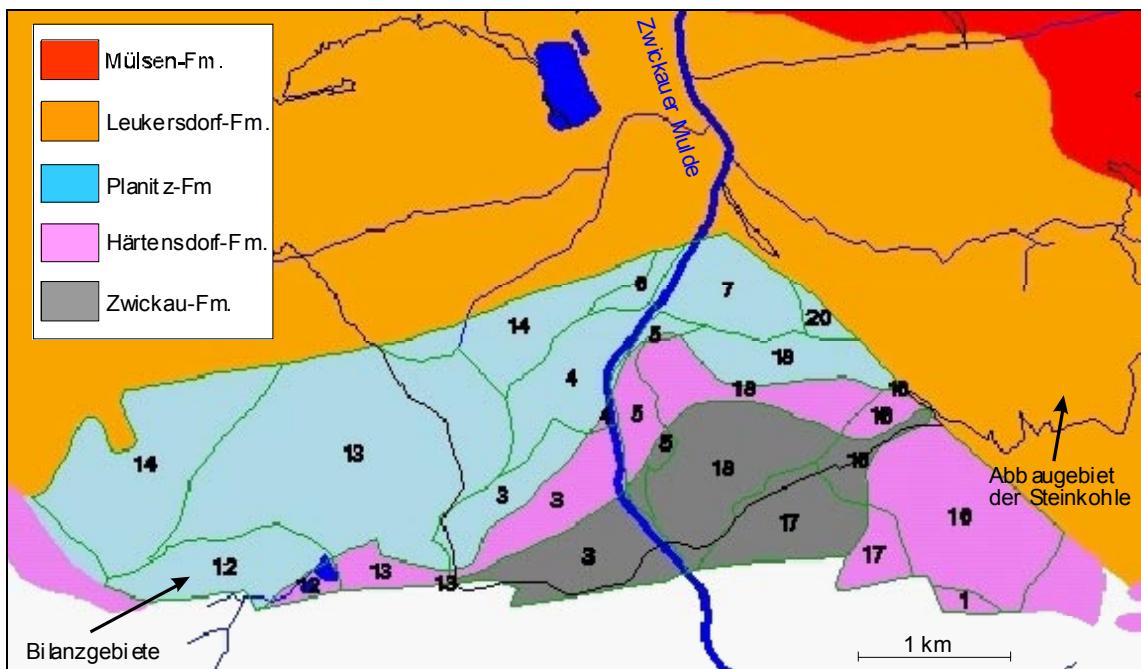
**Tabelle 19, Austauschmengen nach Leakage-Konzept - aus WALTHER et al. (1998)**

Kolmationsgrad	Hoch	Niedrig
Austauschmenge	4660 m <sup>3</sup> /d	46600 m <sup>3</sup> /d

Für die Bilanzierung wird der Wert für eine hohe Kolmation des Flussbettes angesetzt.

Aus diesen Modellannahmen ergibt sich ein Modellgebiet, für das die GWN bilanziert wurde (s. Abbildung 20). Die Polygone der geologischen Ausstriche wurden hierbei mit Hilfe eines GIS mit den Polygonen der Bilanzgebiete, die die

GWN-Werte in mm/m und mm/a enthalten, verschnitten. Daraufhin konnten die den Grubenbauen zufließenden Wassermengen ermittelt werden.



**Abbildung 20, Modellgebiet für die Bilanzierung der Grubenwasserhaltung (Känozoikum abgedeckt)**

Die Bilanzierung der Grubenwasserhaltung erfolgte für den Zeitraum von Juni 1967 – Mai 1972. Während für die GWN von 1966 bis 1996 durchgehend Daten existieren, mußte für die Wasserhaltung im Steinkohlenbergbau eine Periode mit in sich konsistenter Datenlage gefunden werden. Diese Periode beginnt nach der Aufgabe der Wasserhaltung in der Bockwaer Senke 1965 und dem damit verbundenen Anstieg der zum FNS zulaufenden Wassermengen und vor der Aufgabe der Wasserhaltung im KMW im Juli 1972 und der damit verbundenen Installation der neuen Meßeinrichtung der zentralen Wasserhaltung. Die Ergebnisse der Bilanzierung der Grubenwasserhaltung sind in Tabelle 20 dargestellt, die monatlichen GWN-Raten sind in Anlage 24 (CD-Rom) als Datei "Bilanz\_m.xls" enthalten.

**Tabelle 20, Bilanzgrößen der Bilanzierung der Grubenwasserhaltung**

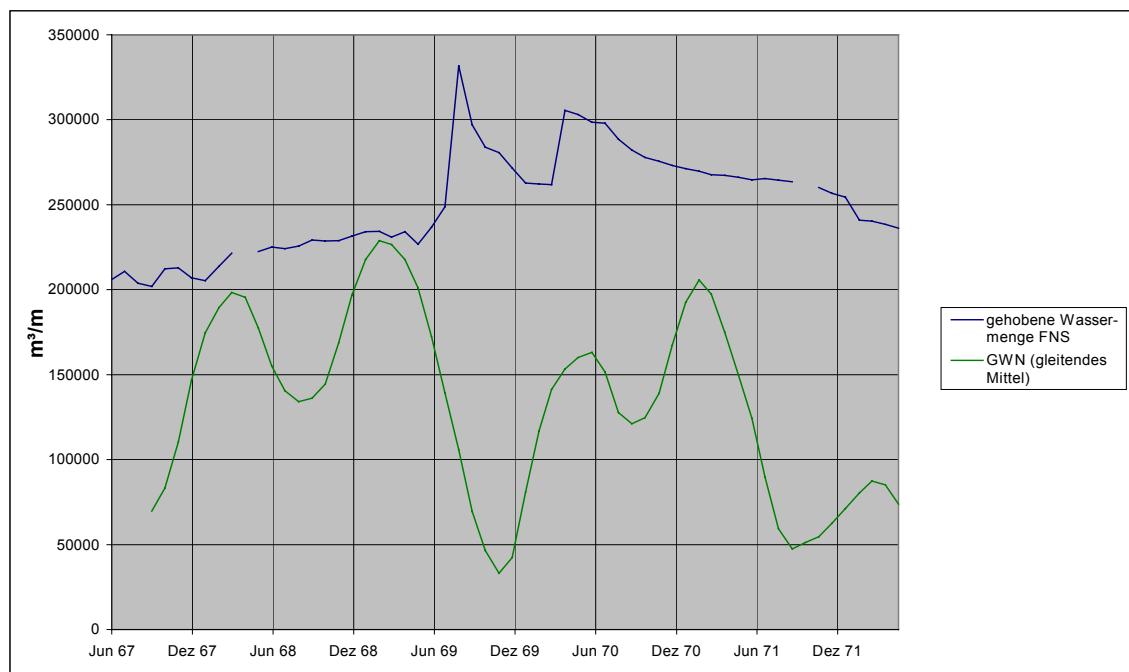
Bilanzgröße	Zeitraum		
	Jun1967-Mai1972 [m³/a]	1969 (max.) [m³/a]	1972 (min.) [m³/a]
GWN	$1,5627 \cdot 10^6$	$2,0664 \cdot 10^6$	$0,8084 \cdot 10^6$
Muldewasserversinkung		$1,7009 \cdot 10^6$	
Summe	$3,2636 \cdot 10^6$	$3,7673 \cdot 10^6$	$2,5094 \cdot 10^6$
Grubenwasserhaltung FNS		$3,0501 \cdot 10^6$	
Abweichung [%]	-6,5	-19,0	21,5

Die Bilanzierung erfolgte für den gesamten betrachteten Zeitraum, sowie für die Jahre mit minimaler und maximaler GWN-Rate. Dabei wurde die Grubenwasserhaltung in allen drei Fällen für den gesamten Zeitraum bilanziert, da bisher unklar ist, nach welchem Zeitraum die versickernden Oberflächenwässer die Grubenwasserhaltung erreichen. Ohne die Kenntnis dieses zeitlichen Versatzes kann der zur GWN äquivalente Zeitraum der Grubenwasserhaltung nicht bestimmt werden. Der Vergleich der Bilanzgrößen zeigt ein geringes Bilanzdefizit von -6,5% beim gesamten betrachteten Bilanzzeitraum. Die Abweichung von Minimum und Maximum bewegt sich ziemlich exakt in der gleichen Größenordnung von +/-20%.

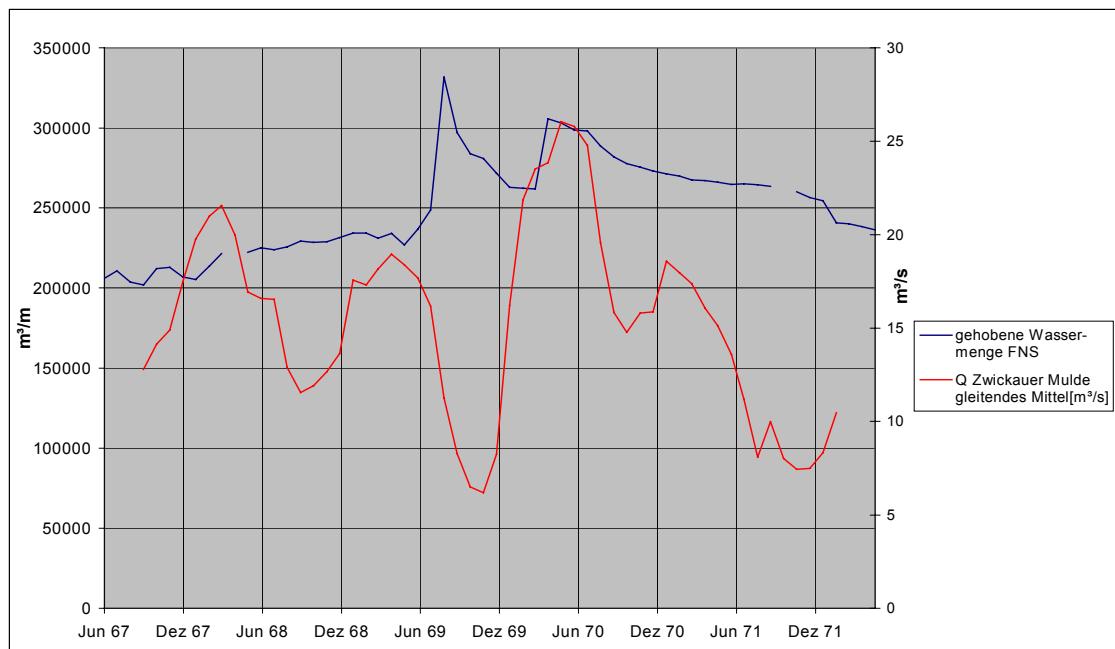
Betrachtet man die gehobenen Wassermengen des FNS im bilanzierten Zeitraum, so fallen zwei Peaks (August 1969 und April 1970, s. Kap. 10) auf, die folgende Ursache haben können:

- (1) Reaktion der Grubenwasserhaltung auf stark erhöhte Zuflüsse infolge erhöhter GWN (Starkregenereignisse etc.).
- (2) Reaktion der Grubenwasserhaltung auf stark erhöhte Zuflüsse infolge erhöhter Muldewasserversickerung (Hochwasserereignisse der Zwickauer Mulde).
- (3) Technologische Ursachen, die durch den Bergbau begründet sind (zusätzliche Sümpfungen etc.).

Die Recherche der Daten zur Grubenwasserhaltung konnte keine Erklärung dieser größeren gehobenen Wassermengen erbringen.



**Abbildung 21, Vergleich der GWN (gleitendes Mittel über 7 Stützstellen) mit der Grubenwasserhaltung**



**Abbildung 22, Vergleich des Mulde-Durchflusses am Pegel Zwickau-Pöhlitz (gleitendes Mittel über 7 Stützstellen) mit der Grubenwasserhaltung**

In Abbildung 21 und Abbildung 22 wurde die GWN des bilanzierten Gebietes und die Durchflüsse der Zwickauer Mulde am Pegel Zwickau-Pöhlitz der Grubenwasserhaltung gegenübergestellt. Um die starken monatlichen Schwankungen von GWN und Muldewasserdurchfluß zu unterdrücken, wurden gleitende Mittelwerte, welche die drei vorhergehenden und nachfolgenden Monate mit berücksichtigen, berechnet.

Ein Vergleich der Diagramme zeigt die zu erwartende starke Korrelation der GW-Neubildungsraten mit den Durchflüssen der Zwickauer Mulde. Die jahreszeitlichen Schwankungen zwischen Hochwässern und hohen GWN im Frühjahr und Niedrigwasser und niedrigen GWN im Spätsommer und Herbst sind deutlich erkennbar. Leider finden sich diese Schwankungen in der Grubenwasserhaltung nicht wieder. Daher muß angenommen werden, daß die gehobenen Wassermengen hauptsächlich technologischen Gegebenheiten angepaßt wurden. Jahreszeitliche Schwankungen der Zuflüsse zu den Grubenbauen waren entweder unerheblich oder mußten nicht durch veränderte Grubenwasserhaltung kompensiert werden. Die Ursachen für die erhöhte Grubenwasserförderung, die anhand der beiden Peaks deutlich wird, sind allem Anschein nach im Bergbau begründet.

## 12 Räumliches Modell der Zwickauer Steinkohlenlagerstätte

### 12.1 Modellierung von Flözkörpern

Von RENNER (1998) wurde mit Hilfe der 3D-Modellierungssoftware GOCAD ein Modell der Steinkohlenlagerstätte Zwickau, sowie der überlagernden Rotliegend-Fm. erstellt. Anhand von Übersichtsrissen wurden von RENNER (1998) die Basisflächen von 9 Steinkohlenflözen und die Hauptstörungen modelliert. Leider konnte aufgrund der vorhandenen Datenbasis (s. Tabelle 21) nicht das gesamte Grubengebäude modelliert werden. Es lagen nur Übersichtsrisse zu 9 der ca. 20 Flöze der Lagerstätte vor. Diese sind zudem teilweise unvollständig. Der östliche Teil der Lagerstätte (östlich der Blätter Planitz 4 und Zwickau 2) wurde überhaupt nicht erfaßt. Das hat Auswirkungen auf die folgende Weiterbearbeitung des Modells, die im einzelnen noch behandelt werden.

**Tabelle 21, Flözübersichtsrisse 1 : 5000 des Zwickauer Revieres**

Flöz	Blatt
Lehekohlenflöz	Planitz 4
Zachkohlenflöz I	Planitz 4
Zachkohlenflöz II	Planitz 4
Zachkohlenflöz II	Zwickau 2
Schichtenkohlenflöz II	Planitz 4
Schichtenkohlenflöz II	Zwickau 2
Rußkohlenflöz I	Planitz 4
Rußkohlenflöz I	Zwickau 2
Rußkohlenflöz II	Planitz 4
Tiefes Planitzer Flöz, unt. Abt.	Planitz 3
Tiefes Planitzer Flöz, unt. Abt.	Planitz 4
Tiefes Planitzer Flöz, unt. Abt.	Zwickau 2
Ludwigflöz, mittl. Abt.	Planitz 3
Ludwigflöz, mittl. Abt.	Planitz 4
Segen-Gottes-Flöz, ob. Abt.	Planitz 3
Segen-Gottes-Flöz, ob. Abt.	Planitz 4
Segen-Gottes-Flöz, ob. Abt.	Zwickau 1
Segen-Gottes-Flöz, ob. Abt.	Zwickau 2

Um weiterführende Aussagen treffen zu können, war es nötig, aus den Flözflächen Volumen zu erzeugen. Dazu wurden die in Tabelle 21 aufgeführten Flözrisse herangezogen. Diese Übersichtsrisse enthalten Angaben zu der

Mächtigkeit der Kohle und der Zwischenmittel. Addiert ergeben beide Werte die Gesamtmächtigkeit des abgebauten Flözes. Mit Hilfe von AtlasGIS (s. Kap. 13.2) wurden sämtliche Mächtigkeitspunkte der 9 Flöze digitalisiert. Dabei wurden der Hoch- und Rechtswert mit dem Digitalisierbrett abgegriffen und die Mächtigkeiten von Kohle und Zwischenmittel als Attribute zugewiesen. Allen Punkten wurde eine einheitliche Höhe von 300 mNN zugewiesen. Das war notwendig, da die genaue Höhe der einzelnen Punkte nicht bekannt war, und somit nicht die exakt gleiche Höhe zu den von RENNER (1998) modellierten Basisflächen realisiert werden konnte. Nachdem die Daten in eine GOCAD-Vset-Datei konvertiert wurden, war es möglich, jedem Punkt in GOCAD die exakte Höhe der Flözbasisfläche zuzuweisen. Danach wurden die Punkte um die jeweilige Flözmächtigkeit in Z-Richtung nach oben verschoben. Die Modellierung der Flözkörper ging danach folgendermaßen vonstatten:

- Kopieren der Flözbasisfläche.
- Heranziehen der kopierten Flöztopfläche an die über der Basisfläche schwebenden Mächtigkeitspunkte.  
Dadurch verliert die Topfläche ihre Form, d. h. es kommt zu Überschneidungen mit der Basisfläche. Die Topfläche liegt vor allem in Gebieten ohne Mächtigkeitsinformationen unter der Basisfläche.
- Vorgabe eines minimalen und maximalen Abstandes in Z-Richtung, in dem die Topfläche über der Basisfläche liegen darf.
- Erzeugung einer dritten Fläche aus den Grenzen der Basis- und Topfläche.
- Verbinden dieser drei Flächen zu einem geschlossenen Körper.  
GOCAD kann nur aus exakt geschlossenen Flächen das Volumen bestimmen. Daher dürfen die Basis- und Topflächen keine Unregelmäßigkeiten, die bei einer 3D-Modellierung leicht entstehen können, aufweisen.
- Wiederholung der Modellierungsschritte für jede Teilfläche des Flözes.

Die eigentliche Interpolation geschieht mittels einem für GOCAD entwickelten "Discrete Smooth Interpolator" (DSI). Bei der Interpolation werden sowohl die Mächtigkeitspunkte, als auch der minimale und maximale Abstand der zu

interpolierenden Fläche berücksichtigt. Es gibt in GOCAD immer mehrere Möglichkeiten der Konstruktion von geologischen Körpern. Tests verschiedener Verfahren ergaben aber, daß das oben beschriebene das effektivste und zuverlässigste ist.

Oft sind auf den Übersichtsrissen in größeren Gebieten keine Informationen über die Mächtigkeit verzeichnet. Vor allem Flözkörper, die vor dem 20. Jahrhundert abgebaut wurden, enthalten keine Mächtigkeitsangaben. In solchen Fällen wurde die durchschnittliche Mächtigkeit geschätzt, und die Topfläche um diesen Betrag über die Basisfläche angehoben. Das bedeutet, daß der Flözkörper eine einheitliche Mächtigkeit besitzt.

## 12.2 Integration des Versatzes

Um eine räumliche Verteilung des Versatzes der Steinkohlenflöze in das Modell zu integrieren, wurde eine intensive Datenrecherche betrieben. Unter anderem wurden das Bergarchiv Freiberg, das Oberbergamt Freiberg, das Bergamt Chemnitz, GVV Zwickau und die Fa. U. Haller und Partner aus Zwickau befragt. Leider blieb die Suche nach Grubenrissen, die den Versatz enthalten, ergebnislos. In BEYER et al. (1981) wird darauf hingewiesen, daß im Zwickauer Steinkohlenrevier kein einheitliches Urrißwerk existierte. Vor 1945 hatte jede Grube ein eigenes Markscheiderisches Rißwerk. Danach wurden nur noch für das KMW und das MHW vollständige Urrißwerke angelegt. Diese Rißwerke konnten im Bergarchiv Freiberg eingesehen werden. Sie sind im Maßstab 1 : 1000 dargestellt, die Übersichtsrisse, auf denen das Modell beruht, jedoch im Maßstab 1 : 5000. Der zeitliche Aufwand der Übertragung der Daten in das Modell wäre enorm. Zu den Grubenbauen unter dem Stadtgebiet, die aufgrund der Senkungen von besonderem Interesse sind, wurden keinerlei brauchbare Rißwerke gefunden.

Um den Versatz dennoch in das Modell integrieren zu können, wurde eine andere Methodik gefunden. Die in Tabelle 21 aufgeführten Übersichtsrisse enthalten das Jahr, in dem der jeweilige Flözbereich abgebaut wurde. Die

Entwicklung des Versatztechnologie im Zwickauer Steinkohlenrevier ist in RUDOLPH (1982) und BEYER et al. (1981) ausführlich beschrieben.

Um das Jahr 1850 herrschte im Zwickauer und Lugau-Oelsnitzer Steinkohlenrevier rückwärtsgerichteter Pfeilerbruchbau vor. Nachteilig an diesem Abbauverfahren waren die hohen Abbauverluste, die aus teilweisem vorzeitigen Nachbrechen des Daches resultierten sowie die hohe Brandgefahr. Im Jahre 1884 wurde im Lugauer Revier erstmalig Handvollversatz angewandt. Die Berge wurden per Hand in den Abbau geschaufelt. Es handelte sich dabei um aus dem Abbau mitgewonnene Berge sowie zugeführte Fremdberge aus Streckenauffahrungen, Halden- und Waschberge. Seit 1895 wurde der Handversatz überschlemmt, um eine bessere Brandsicherheit zu gewährleisten und Wetterkurzschlüsse zu vermeiden. Um die Jahrhundertwende wurde in fast allen Steinkohlenwerken des Zwickauer Steinkohlenrevieres Handvollversatz angewandt. Besonders mächtige Flöze, wie z.B. das Rußkohlenflöz am Wilhelmschacht I wurden in zwei Scheiben abgebaut, wobei die untere Scheibe nach dem Abbau voll versetzt und die obere Scheibe im Bruchbau gewonnen wurde.

Im Jahre 1903 wurde im Vertrauenschacht der Spülversatz eingeführt. Der Grund dafür waren die Senkungen im Stadtgebiet, die mit dieser Versatzmethode in Grenzen gehalten werden sollten. Beim dem Versatzgut handelte es sich um Waschberge, vermischt mit miozänen Sanden, die aus Dänkritz zugeführt wurden. Später wurde auch Filterkohlenschlamm versetzt. Der Spülversatz blieb jedoch auf die Grubenbaue unter dem Stadtgebiet (bis 1945 hauptsächlich im Besitz des Erzgebirgischer Steinkohlen-Aktienverein – Estav) beschränkt.

Der Blasversatz wurde im Jahr 1924 erstmalig im Oelsnitzer Revier angewandt. 1927 wurde er in den Altgemeindeschächten und 1933 in den Tiefbauschächten im Zwickauer Revier eingeführt. Im MHW konnte sich der Blasversatz jedoch erst ab 1957 als vorherrschendes Versatzverfahren durchsetzen. In den letzten Jahren des Bergbaus wurde der Blasversatz wegen seiner Brandsicherheit und Wirtschaftlichkeit zum vorherrschenden Versatzverfahren.

Wenn die bergbaulichen Einwirkungen auf die Oberfläche es zuließen, kam auch Bruchbau zum Einsatz. Dabei wurde das Dach planmäßig zu Bruch

geworfen. 1926 wurde der Strebbruchbau im Oelsnitzer Revier erstmalig erfolgreich angewandt. Er wurde jedoch erst ab 1947 in größerem Maße betrieben. Zwischen 1957 und 1974 betrugen die Anteil an Versatzverfahren im MHW ca. 60% Blasversatz, 30% Bruchbau und 10% Handversatz. Danach ging der Bruchbau zugunsten des Blasversatzes auf ca. 18% zurück.

In untergeordnetem Maße wurde Blindortversatz betrieben. Hierbei handelt es sich um ein Teilversatzverfahren, bei dem die Berge zum Teil aus mitgeführten Begleitstrecken eingebracht wurden.

Da zu keiner Zeit des Steinkohlenbergbaus ein Versatzverfahren ausschließlich angewandt wurde, ist die Integration des Versatzes in das Modell nicht unproblematisch. In der Regel mußte die in einem gewissen Zeitraum vorherrschende (aber nicht ausschließliche) Versatzmethodik auf alle zu dieser Zeit abgebauten Flözflächen übertragen werden. In einzelnen Fällen sind in RUDOLPH (1982) Flözbereiche namentlich erwähnt, so daß in diesen Abschnitten der in das Modell eingetragene Versatz korrekt ist.

### **12.3 Ableitung von Absenkungsfaktoren**

Laut KRATZSCH (1997) ist die Absenkung (Baufeldkonvergenz) flözartiger Lagerstätten von folgenden Einflußgrößen abhängig:

- Abbauteufe  
Je größer die Teufe des Baufeldes ist, desto größer ist auch der überlagernde Gebirgsdruck.
- Biegesteifigkeit des Hangenden  
Ist die Biegesteifigkeit des Gebirges hoch, kann es von den stehengebliebenen Pfeilern besser gehalten werden. Ein relativ weiches Hangendes wird durch Biegeverformung ausweichen.
- Bettung des Hangenden  
Frühzeitig tragender, schnell härtender Versatz nimmt die Auflast des Hangenden besser auf, und die Baufeldkonvergenz bleibt geringer.
- Flözmächtigkeit und Versatzfeldhöhe

Je höher die Flöz- oder Versatzsäule ist, desto mehr muß sich das Hangende durchbiegen, bevor es die Unterlage tragfähig verdichtet hat.

- Breite des Hohlraumes und Größe des Abbaufeldes  
Eine größere Spannweite des Hangendblockes führt zu größerer Durchbiegung.
- Abbaugeschwindigkeit und Gewinnungszeit  
Ist die Abbaugeschwindigkeit hoch, bleibt die Konvergenz bis zum Einbringen des Versatzes gering.
- Beschaffenheit des Liegenden  
In BEYER et al. (1981) ist erwähnt, daß es im Zwickauer Steinkohlenrevier zu Aufwölbungen des Liegenden und Querschnittsverengungen von Schächten und Strecken infolge von Entlastung oder Wasseraufnahme der Gesteine kam.
- Zusammendrückbarkeit der Pfeiler
- Stillstandszeiten im Abbau

Außerdem spielen die tektonischen Verhältnisse im Zwickauer Revier eine entscheidende Rolle bei der Einschätzung der Oberflächensenkungen.

Mit Hilfe des Modells des Grubengebäudes soll die theoretische Senkung des Gebirges berechnet, und mit den tatsächlichen, an der Oberfläche gemessenen, verglichen werden. Es war jedoch nicht möglich alle oben aufgeführten Parameter zu berücksichtigen und mit einer finiten Elemente Modellierung zu simulieren (s. VOGEL 1993). Statt dessen wurde die Senkung des Grubengebäudes in erster Näherung anhand von Senkungsfaktoren für verschiedene Versatzmethoden berechnet. Die Senkungsfaktoren sind in Tabelle 22 dargestellt.

**Tabelle 22, Senkungsfaktoren verschiedener Autoren**

Versatzverfahren	BEYER et al. (1981)	RUDOLPH (1982)	REUTHER (1989)	Modell
Handvollversatz	0,7 - 0,8	0,5		0,7
Spülversatz	0,4	0,07	0,2 - 0,3	0,2
Blasversatz	0,5 - 0,7		0,5	0,6
Bruchbau	0,8- 0,9			0,9

Die Angaben von BEYER et al. (1981) und RUDOLPH (1982) haben den Vorteil, daß sie auf Beobachtungen des Zwickau-Oelsnitzer Steinkohlenbergbaus beruhen. Der Absenkungsfaktor, den RUDOLPH (1982) für den Spülversatz angibt, erscheint im Hinblick auf die Bergschäden im Stadtgebiet von Zwickau allzu optimistisch. In der letzten Spalte der Tabelle 22 sind die für das Modell abgeleiteten Absenkungsfaktoren eingetragen.

Die softwaretechnische Umsetzung der Integration des Versatzes erfolgte mittels der Erzeugung von Regionen auf den Flöztopflächen. Jede Region entspricht einer der vier in Tabelle 22 dargestellten Versatzart. Innerhalb jeder Region konnte dann der entsprechende Senkungsfaktor als "Property" zugewiesen werden. Um die Gesamtsenkung an der Oberfläche zu modellieren, wurde eine Fläche in einer Höhe von 300 mNN erzeugt, die sämtliche Flöze horizontal überdeckt. Die "Properties" der einzelnen Flöze können in GOCAD vertikal von einer Fläche auf eine andere projiziert werden. Jeder triangulierte Punkt der "Client"-Fläche (die die "Property" erhalten soll), greift dabei in Z-Richtung die "Property" der anderen Fläche ab. D.h., je enger die Vermaschung der "Client"-Fläche ist, desto genauer werden die Property-Daten auf sie projiziert. Aus rechentechnischen Gründen wurden die Punkte dieser Senkungsfläche in einem Abstand von ca. 40m gelegt.

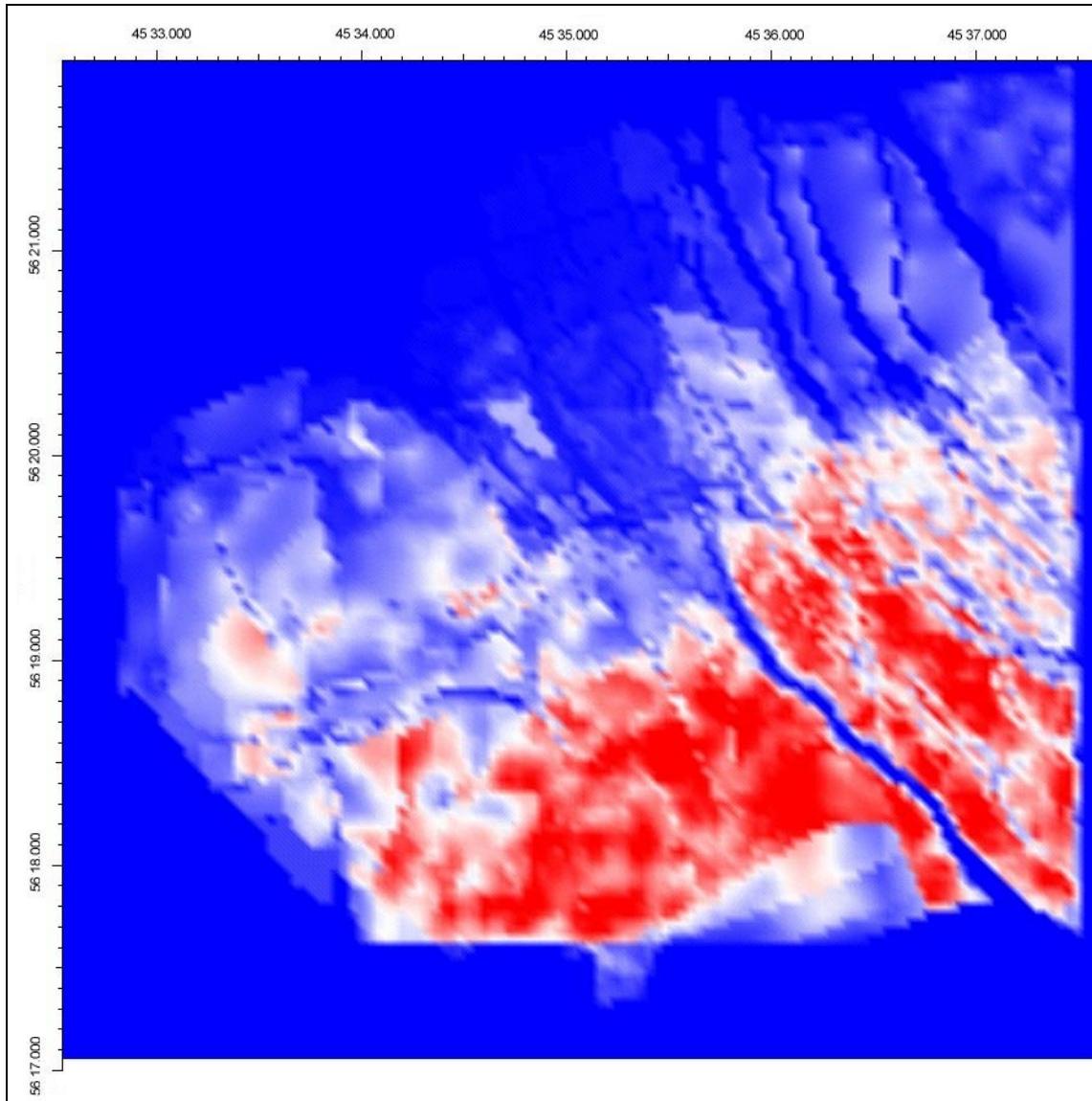
Mit demselben Verfahren wurden die Höhen der Flöztop- und Flözbasisflächen der Senkungsfläche zugewiesen. Mit Hilfe des folgenden Scripts konnte schließlich der Gesamtsenkungsbetrag auf jedem Punkt der Senkungsfläche berechnet werden:

$$\begin{aligned}\text{Senkung} = & \ (Z_{\text{top}} \text{ Flöz 1} - Z_{\text{basis}} \text{ Flöz 1}) * \text{Senkungsfaktor Flöz 1} + \\ & (Z_{\text{top}} \text{ Flöz 2} - Z_{\text{basis}} \text{ Flöz 2}) * \text{Senkungsfaktor Flöz 2} + \dots\end{aligned}$$

Das Ergebnis dieser Berechnung ist in Abbildung 23 dargestellt. Die Abbildung zeigt die Senkungsfläche mit den absoluten Senkungsbeträgen in Form von "Properties".

Abschließend wurde die Senkungsfläche um den jeweiligen Senkungsbetrag abgesenkt und mittels DSI geglättet. Ein Isolinienplot wurde in GOCAD erzeugt

und in das Geographische Informationssystem TNTmips importiert. Dadurch kann der Senkungstrichter auf eine topographische Karte des Stadtgebietes von Zwickau übertragen werden (s. Anlage 23).



**Abbildung 23, GOCAD Snapshot – modellierte Senkungsbeträge an der Oberfläche**

blau: geringe Senkungsbeträge, rot: große Senkungsbeträge

#### 12.4 Bewertung der modellierten Oberflächenabsenkung

In der Anlage 22 ist die tatsächliche Absenkung der Tagesoberfläche dargestellt. Sie wurde von der Gruppenmarkscheiderei Zwickau durch Revier-nivellements, die in regelmäßigen Abständen durchgeführt wurden, ermittelt.

Die Daten wurden vom Sächsischen Oberbergamt freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Der Isolinienintervall beträgt 1m. Anlage 23 enthält die modellierte Absenkung der Tagesoberfläche mit einem Isolinienabstand von 2m.

Während die tatsächliche maximale Absenkung über dem Grubengebäude ca. 9m beträgt, wurde die modellierte mit 14,3m berechnet. Außerdem enthält das Modell nur die 9 mächtigsten und am weitesten verbreiteten Flöze. Das Zwickauer Steinkohlenrevier umfaßt aber ca. 20 Flöze (s. Kap. 2.1.1). Die modellierten Absenkungsbeträge sind demnach zu hoch. Der Grund hierfür ist in der in Kap. 12.3 erläuterten Methodik der Modellierung der Gebirgssenkung zu suchen. Dieser Methodik liegt die Annahme zugrunde, die Absenkung des Flözkörpers würde sich vollständig bis an die Oberfläche durchpausen, ohne die Mächtigkeit des überlagernden Gebirges zu berücksichtigen.

In Bezug auf die Senkungsbeträge sind der Modellierung mit GOCAD also Grenzen gesetzt. Nicht so bei der Modellierung der Geometrie des Flözkörpers. Ein Vergleich der Anlagen 22 und 23 zeigt, daß der Verlauf der Isolinien von tatsächlichem und modelliertem Absenkungstrichter durchaus ähnlich ist. Die Bereiche Bockwaer Senke und das Stadtgebiet westlich der Zwickauer Mulde zeigen eine relativ gute Übereinstimmung. Östlich der Mulde wird der Verlauf der Isolinien von zwei Störfaktoren beeinflußt:

- (1) Die Oberhohndorfer Hauptverwerfung wird im Modell als breiter flözleerer Bereich nicht abgesenkt. Daher entsteht ein Sattel im Absenkungstrichter, der nicht den Gegebenheiten entspricht. Allerdings zeigt Anlage 22, daß diese Verwerfung eine Zone geringerer Absenkung darstellt.
- (2) Durch das Fehlen von Übersichtsflözrisse im E der Lagerstätte werden die Isolinien bei der Interpolation hier wieder geschlossen. Die weitere Erstreckung des Absenkungstrichters nach E kann bei der Modellierung nicht berücksichtigt werden.

Der Absenkungstrichter über der Innenstadt Zwickaus konnte mit dem Modell nicht nachvollzogen werden. Gerade im nordöstlichen Bereich der Lagerstätte

macht sich die ungünstigen Datenlage (fehlende Übersichtsrisse, Abschätzung des Versatzes etc.) als besonders störend bemerkbar.

Die Bewertung der Methodik der Modellierung von Absenkungen der Tagesoberfläche mit GOCAD führt zu folgendem Ergebnis: Die Methodik ist in Anbetracht der Geometrie des modellierten Absenkungstrichters als richtig zu betrachten. Zur Simulation von Absenkungsbeträgen (z.B. über geplanten und projektierten Bergwerken) ist eine finite Elemente-Methodik nach VOGEL (1993) sicher vorzuziehen. Eine überschlägige Abschätzung von Senkungen ist mit GOCAD jedoch aufgrund der schnellen und unkomplizierten Handhabung durchführbar.

## 12.5 Modellierung des Resthohlraumvolumens

Die modellierten Flözkörper (s. Kap. 12.1) wurden nun für die Abschätzung des Resthohlraumvolumens herangezogen. Um die verschiedenen im Zwickauer Steinkohlenbergbau angewandten Versatzarten zu berücksichtigen, mußten Faktoren gefunden werden, die den Anteil des Restvolumens am ursprünglichen Volumen der Flözkörper repräsentieren. Es wurden folgende Annahmen getroffen:

**Tabelle 23, Faktoren zur Berechnung des Resthohlraumvolumens**

Versatzart	Absenkung (1 - Absenkungsfaktor)	Porosität des Versatzes	RV-Faktor
Bruchbau	0,1	1	0,1
Handversatz	0,3	0,35	0,11
Spülversatz	0,8	0,1	0,08
Blasversatz	0,4	0,35	0,14

Die Senkung des Hangenden in den abgebauten Flözkörper muß vom ursprünglichen Volumen desselben abgezogen werden. In diesem Faktor ist ebenfalls die Tatsache enthalten, daß auch bei Vollversatz das zu versetzende Volumen nicht vollständig im Versatzbergen ausgefüllt werden konnte. Diese Hohlräume wurden bei der Absenkung des Hangenden zuerst geschlossen. Weiterhin muß die Porosität des Versatzes berücksichtigt werden. Dieser ist bei Bruchbau, wo ja kein Versatz eingebracht wurde, gleich eins. Der Spülversatz

kann als bereits zum Großteil wassergesättigtes Material nur noch geringe Wassermengen aufnehmen. Daher wurde die Porosität, die ja der wasser-auffüllbaren Porosität entspricht, mit 0,1 festgelegt. Da über die Versatzmaterialien von Hand- und Blasversatz nur ungenaue Angaben zur Verfügung standen, wurden beide Porositäten mit 0,35 angegeben. Aus diesen Überlegungen ergeben sich die in Tabelle 23 aufgeführten Restvolumen-Faktoren. Sie umfassen einen Bereich von 0,08 bis 0,14. In BEYER (1981) wo ebenfalls Überlegungen zum Resthohlraumvolumen angeführt wurden, wird mit einem Faktor 0,1 gerechnet.

Die neun modellierten Steinkohlenflöze des Zwickauer Revieres bestehen aus jeweils bis zu 50 Teilflächen pro Flöz, wobei aus jeder dieser Teilfläche ein geschlossener Körper erzeugt werden mußte, um das Volumen zu bestimmen (s. Kap. 12.1). Enthielt eine dieser Flächen verschiedene Versatzarten, so mußten die den Versatzarten entsprechenden Teilvolumina ermittelt werden. Dazu wurden in GOCAD zwei Verfahren angewandt:

- Zerschneiden des Flözkörpers entlang der Grenze der Versatzzonen und Erzeugen neuer getrennter Flözkörper
- Ermittlung der Volumenanteile der verschiedenen Versatzarten über ihre Flächenanteile am Flözkörper

Die erstgenannte Methode, die zwar exakte Ergebnisse erzeugt, stellte sich bald als zu zeitaufwendig heraus. Das größte Problem bildete wie bereits erwähnt, die Tatsache, daß sich nur aus exakt geschlossenen Flächen das Volumen ermitteln läßt. Die zweite Methode lieferte für Berechnung der Restvolumina hinreichend genaue Ergebnisse mit wesentlich geringerem Modellierungsaufwand.

In Anlage 24 sind die Gesamt- und Restvolumina aller Flözkörper als Datei "rv\_all\_Fl.xls" enthalten. In Tabelle 24 sind die Ergebnisse der Volumenberechnung aufgeführt. Leider umfaßt das Modell nicht die gesamte Zwickauer Steinkohlenlagerstätte, so daß die hier ermittelten Volumina nicht das gesamte Grubengebäude repräsentieren. Außerdem sind andere Resthohlräume wie

Schächte, Ausrichtungsbaue, Begleitstrecken und andere Auffahrungen nicht berücksichtigt.

**Tabelle 24, Gesamt- und Restvolumina der Flöze**

Flöz	ausgekohlte Volumina [m <sup>3</sup> ]	Restvolumina [m <sup>3</sup> ]
Lehekohlenflöz	4,7267*10 <sup>6</sup>	0,4815*10 <sup>6</sup>
Zachkohlenflöz 1	2,5448*10 <sup>6</sup>	0,2675*10 <sup>6</sup>
Zachkohlenflöz 2	10,7018*10 <sup>6</sup>	1,1114*10 <sup>6</sup>
Schichtenkohlenflöz	23,1495*10 <sup>6</sup>	2,3621*10 <sup>6</sup>
Rußkohlenflöz 1	10,3069*10 <sup>6</sup>	1,0643*10 <sup>6</sup>
Rußkohlenflöz 2	17,5646*10 <sup>6</sup>	1,8254*10 <sup>6</sup>
Tiefes Planitzer Flöz	40,5675*10 <sup>6</sup>	4,4909*10 <sup>6</sup>
Ludwigflöz	11,3921*10 <sup>6</sup>	1,1150*10 <sup>6</sup>
Segen-Gottes-Flöz	7,6112*10 <sup>6</sup>	0,7569*10 <sup>6</sup>
<b>gesamt</b>	<b>128,5651*10<sup>6</sup></b>	<b>13,4750*10<sup>6</sup></b>

In Tabelle 25 ist die Berechnung des gesamten Resthohlraumvolumens der Grubenbaue der Zwickauer Steinkohlenlagerstätte dargestellt, die einzelnen Schritte werden im folgenden erläutert.

**Tabelle 25, Schritte der Berechnung des Resthohlraumvolumens**

			m <sup>3</sup>
<b>a</b>	Gesamtvolume des Modells	<b>a</b>	<b>128,5651*10<sup>6</sup></b>
<b>b</b>	Restvolume des Modells	<b>b</b>	<b>13,4750*10<sup>6</sup></b>
<b>c</b>	insgesamt geförderte Kohlemenge	<b>c</b>	<b>210*10<sup>6</sup></b>
<b>d</b>	Gesamtvolume der Abbaufächen	$d = c * 1 \text{ t/m}^3 * 1,25$	<b>262,5*10<sup>6</sup></b>
<b>e</b>	Gesamtrestvolume der Abbaufächen	$e = b * d / a$	<b>27,5128*10<sup>6</sup></b>
<b>f</b>	ursprüngliches Volumen der Begleitstrecken	$f = d * 0,25$	<b>65,625*10<sup>6</sup></b>
<b>g</b>	Restvolume der Begleitstrecken	$g = f * 0,1$	<b>6,5625*10<sup>6</sup></b>
<b>h</b>	ursprüngliches Volumen der Ausrichtungsbaue	$h = d * 0,02$	<b>5,25*10<sup>6</sup></b>
<b>i</b>	Restvolume der Ausrichtungsbaue	$i = h * 0,5$	<b>2,625*10<sup>6</sup></b>
<b>j</b>	<b>gesamtes Restvolume der Lagerstätte</b>	$j = e + g + i$	<b>36,7003*10<sup>6</sup></b>

Um das Resthohlraumvolumen der gesamten Lagerstätte zu ermitteln wurden die Volumina des Modells auf die insgesamt geförderte Kohlemenge aus BEYER et al. (1981) bezogen. Demnach sind ca. 50% der Abbaufächen im Modell erfaßt. Um das Volumen der Flözzwischenmittel zu berücksichtigen, wurde das Gesamtvolume der Abbaufächen um ein Viertel erhöht (s. Tabelle 25, Zeilen c und d). Das so ermittelte Gesamtvolume aller Abbaufächen der

Lagerstätte wurde mit den Volumina des Modells ins Verhältnis gesetzt um das Gesamtrestvolumen aller Abbaufächen zu ermitteln. Danach wurden die Restvolumina der Abbaubegleitstrecken und Ausrichtungsbaue hinzugefügt. Aus Angaben von BEYER et al. (1981) wurde festgelegt, daß 25% des Gesamtvolumens der Grubenbaue aus Abbaubegleitstrecken und 2% aus Vorrichtungsbauen, die der Erschließung der Lagerstätte dienten, stammen. Da die Begleitstrecken nach dem Abbau zu Bruch geworfen wurden, konnte der gleiche Faktor wie bei im Bruchbau abgebauten Flözbereichen angesetzt werden. Die Ausrichtungsbaue sind nicht in jedem Fall verbrochen oder verfüllt worden. Außerdem wird in BEYER (1981) von Querschnittsverengungen der Grubenbaue infolge von Druckentlastung und Quellung des Nebengesteines berichtet. Daher wurde ein überschlägiger Wert von 50% des ursprünglichen Volumens angesetzt.

Nach dieser überschlägigen Berechnung muß ein Volumen von 36,7 Mio m<sup>3</sup> bei der Flutung aufgefüllt worden sein.

## 12.6 Prognose der Dauer der Flutung

Die Flutung der Grubenbaue des Zwickauer Revieres begann 1980. Leider ist kein genaueres Datum bekannt. In RICHTER et al. (1994) ist dokumentiert, daß der erste Überlauf des Grubengebäudes 1992 erfolgte. Nach GÖTTELMANN (in BRAUSE & FISCHER 1996) ist die Flutung des Grubengebäudes seit Juli 1995 abgeschlossen. Dieser Zeitpunkt wurde anhand veränderter Fördermengen der Abwasserpumpwerke Silberhof und Krebsgarten postuliert.

Die erste Prognose des Flutungszeitraumes unternahm BEYER et al. (1981). Aus dem Volumen der ausgebrachten Steinkohle berechnete BEYER et al. (1981) mit dem bereits angesprochenen Faktor 0,1 das Resthohlraumvolumen und setzte dem die durch die Wasserhaltung durchschnittlich gehobene Wassermenge gegenüber. Er prognostizierte einen Zeitraum bis zum Ende der Flutung von ca. 8 Jahren.

Die nun folgende Abschätzung des Flutungszeitraumes beruht im Gegensatz zu der BEYERs auf einer größeren Datenbasis:

- Hinreichend genaue räumliche Verteilung der Versatzarten,
- Zuordnung von Restvolumenfaktoren entsprechend des jeweiligen Versatzes,
- Berücksichtigung der Ausrichtungsbaue und Begleitstrecken,
- Bilanzierte Zuflußmengen aus zeitlich und räumlich aufgelösten Grundwasserneubildungsraten und Muldewasserversinkungen.

(Das Gesamtvolumen der Lagerstätte mußte weiterhin geschätzt werden.)

Die daraus abgeleitete Prognose geht von einem Flutungszeitraum von 11 Jahren und 3 Monaten aus (s. Tabelle 26)

**Tabelle 26, Prognose des Flutungszeitraumes der Grubenbaue**

Resthohlraumvolumen	$36,7003 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
versinkende Wassermengen	$3,2636 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$
Dauer der Flutung des Grubengebäudes	<b>11,2 a</b>

Bei den versinkenden Wassermengen handelt es sich um die in der Bilanzierung der Grubenwasserhaltung ermittelten Mengen (s. Tabelle 20). Der Flutungszeitraum korrespondiert recht gut mit dem Zeitpunkt des ersten Überlaufens des Grubengebäudes. Dieses Ergebnis führt zu dem Schluß, daß sowohl die bilanzierte versinkende Wassermenge wie auch das modellierte Resthohlraumvolumen die richtige Größenordnung besitzen und damit der methodische Ansatz beider Berechnungen richtig ist.

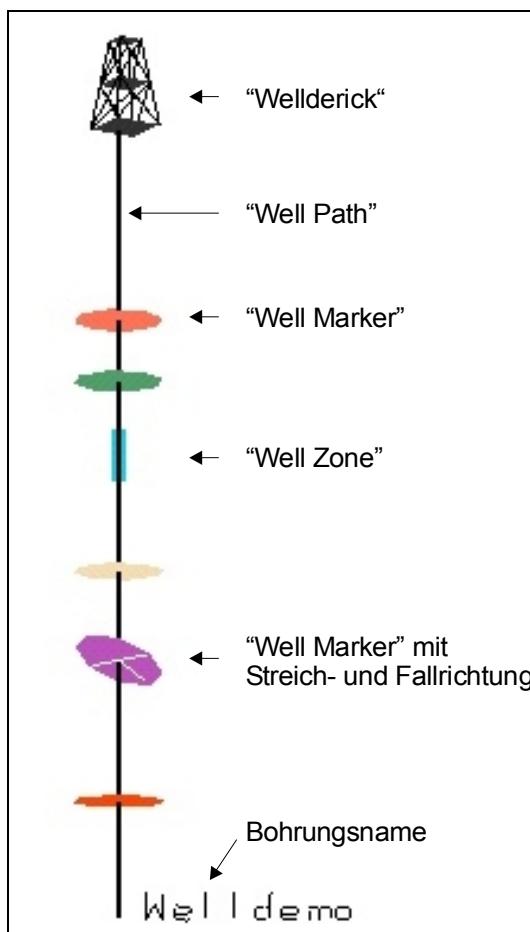
Im Gegensatz zu einem numerischen Modell zur Simulation der Flutung konnten in diesem 3D-Modell Abstands-, Fließ- und Sickergeschwindigkeiten nicht berücksichtigt werden. Der Aufbau eines numerischen Modells kann jedoch nur aus einem dreidimensionalen geometrischen Modell heraus erfolgen.

## 13 Software - Entwicklung

### 13.1 Entwicklung einer Schnittstelle zwischen MS-Access und GOCAD

Im Rahmen dieser Arbeit sollte eine Software entwickelt werden, die es auf schnelle und einfache Weise ermöglicht, Bohrungsdaten für die 3D-Modellierung mit GOCAD zur Verfügung zu stellen. Die Bohrungsdaten, die in einer MS-Access Datenbank aufbereitet sind, sollten mit Hilfe der Software in eine GOCAD-lesbare Textdatei konvertiert werden.

In GOCAD sind verschiedene verschiedene Möglichkeiten der Darstellung einer Bohrung realisiert (vgl. CHENG 1997):



**Abbildung 24, Bohrungsdarstellung in GOCAD**

- Der "Well Path" bestimmt den Verlauf der Bohrung vom Ansatzpunkt bis zur Endteufe.

- “Well Marker” sind Punkte auf dem “Well Path”, die eine Eigenschaft (z.B. Schichtgrenze) repräsentieren.
- “Well Zones” sind Abschnitte auf dem “Well Path” die eine Eigenschaft (z.B. Schichtpaket) repräsentieren.
- “Well Curves” enthalten zumeist geophysikalische Daten, die in Form eines Logs neben dem “Well Path” dargestellt werden.

Der Datenimport in GOCAD wird mit ASCII-Dateien realisiert. Diese bestehen aus einem Kopf (Header), der Name und Art des zu importierenden Objektes überibt, und einem zweiten Teil, der die geometrischen Informationen des Objektes enthält. In einigen Fällen wird in der ASCII-Datei auf eine weitere, binäre Datei verwiesen. So werden “Well Curves” z.B. in der ASCII-Datei geometrisch definiert, in einer dazugehörigen Binärdatei ist das entsprechende Log gespeichert.

Die hier entwickelte Software beschränkt sich auf die Erzeugung von “Well Markern”. Um die entsprechenden Informationen aus einer Datenbank extrahieren zu können, muß diese eine festgelegte Struktur besitzen. Diese Struktur ist in Abbildung 25 dargestellt.

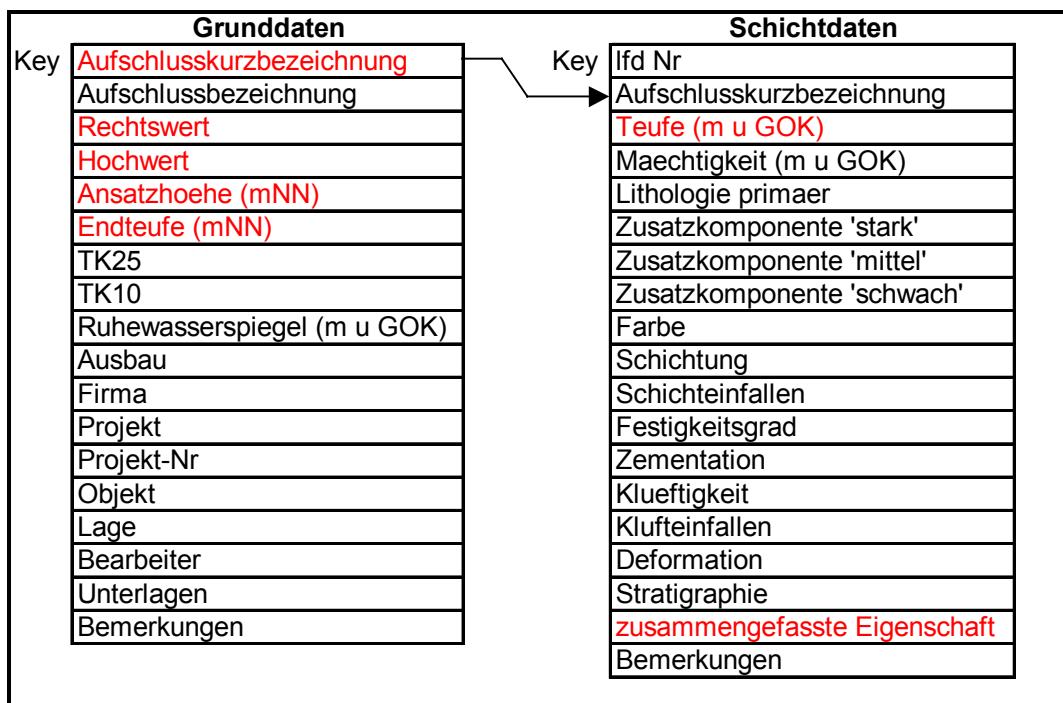
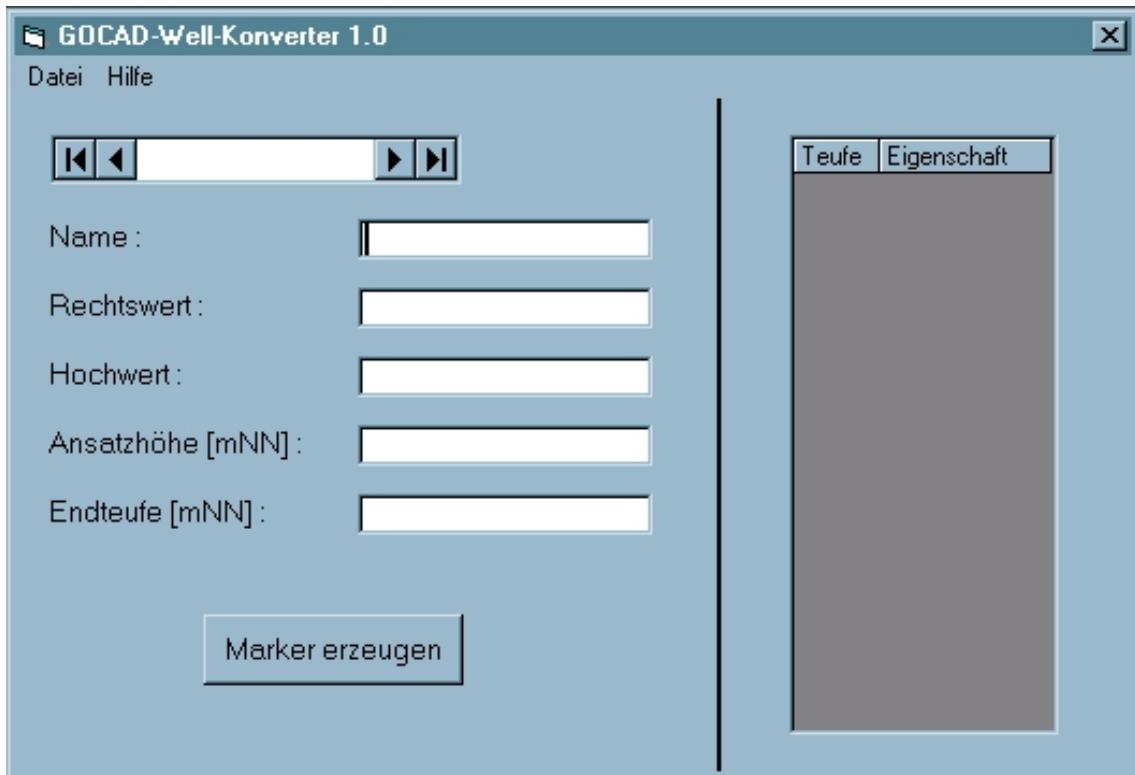


Abbildung 25, Struktur der MS-Access-Bohrungsdatenbank

Die Datenbank besteht aus zwei Tabellen, wobei die Datenbanktabelle "Grunddaten" alle allgemeinen Angaben der Bohrung beinhaltet, und die Datenbanktabelle "Schichtdaten" das Schichtenverzeichnis enthält. Mit Hilfe dieser Struktur kann in einem relationalem Datenbankmodell wie MS-Access eine Redundanz der Daten vermieden werden. In MS-Access muß ein sogenanntes Key-Feld definiert werden, das eindeutige (nicht mehrmals auftretende) Daten enthält. Die Verknüpfung der Datenbanktabellen wurde mittels einer  $1 \rightarrow \infty$  Verknüpfung realisiert. Einem Datensatz der Tabelle "Grunddaten" (eine Bohrung) werden ein bis mehrere Datensätze der Tabelle "Schichtdaten" (lithologische Einheiten) zugeordnet. Die Verknüpfung wird erst durch das Konvertierungsprogramm vorgenommen und geschieht über das Datenfeld "Aufschlusskurzbezeichnung", d.h. diese Bezeichnung muß in beiden Datenbanktabellen identisch sein. Die in Abbildung 25 rot dargestellten Datenfelder werden vom Konvertierungsprogramm gelesen und in die ASCII-Datei übertragen. Alle anderen Datenfelder sind optional. Die Datenbank wurde so aufgebaut, daß sie nicht nur zum Datenexport zu GOCAD verwendet werden kann, sondern zur Erfassung von Bohrungsdokumentationen allgemein. Zu diesem Zweck wurde eine Eingabemaske erstellt, die die Dateneingabe erleichtern soll. Es ist durchaus möglich, der Datenbank Felder oder Tabellen hinzuzufügen.

Das Datenfeld "zusammengefasste Eigenschaft" beinhaltet die in GOCAD zu modellierenden Marker. Vor der Konvertierung der Bohrungsdaten sollten klare Vorstellungen über den zu modellierenden Körper existieren. Es ist sicher wenig sinnvoll, jeder Schicht der Datenbanktabelle "Schichtdaten" einen Marker zuzuordnen. Das Schichtprofil der Bohrung sollte in Bereiche gleicher Eigenschaften zerlegt werden, indem jedem Datensatz der Tabelle "Schichtdaten" (d.h. jeder Schicht einer Bohrung) im Datenfeld "zusammengefasste Eigenschaft" eine eindeutige Bezeichnung zugeteilt wird. Als ein Beispiel könnte den Schichten eines Bohrungsprofils die jeweiligen stratigraphischen Einheiten zugewiesen werden. Das Konvertierungsprogramm faßt dann alle benachbarten Schichten, die derselben stratigraphischen Einheit angehören zusammen und erzeugt einen Marker an der Basis dieser Einheit. GOCAD erkennt gleiche Marker in verschiedenen Bohrungen und mit diesen Markern

lassen sich Flächen modellieren. Das Datenfeld "zusammengefasste Eigenschaft" kann natürlich auch geophysikalische oder hydrogeologische Parameter enthalten.



**Abbildung 26, Oberfläche des Programmes "GOCAD-Well-Konverter"**

Die Programmierung der Software wurde mit Visual Basic 5.0 durchgeführt, die Programmoberfläche des Konvertierungsprogrammes ist in Abbildung 26 dargestellt. Nachdem eine Datenbank geöffnet wurde (Menüzeile Datei → Öffnen), wird eine Verbindung zur Datenbanktabelle "Grunddaten" hergestellt. Die zur Konvertierung notwendigen Daten werden auf der linken Seite der Oberfläche dargestellt. Mit dem Datenbanksteuerelement bewegt man sich durch die Datensätze. Nach Auswahl der zu konvertierenden Bohrung wird die Schaltfläche "Marker erzeugen" angeklickt. Daraufhin wird eine Datenbankabfrage der Datenbanktabelle "Schichtdaten" mittels SQL (structured query language) durchgeführt. Auf der rechten Seite erscheinen nun die Teufenlagen und Namen der gefundenen Marker. Diese Daten werden zuletzt in eine ASCII-Datei mit der Extension ".wl" gespeichert (Menüzeile Datei → Speichern). Microsoft-Office Software ist hierzulande meist in der deutschen Version

installiert, das bedeutet, daß die Delimiter Kommas sind. Der Konvertierungsprogramm nimmt die Umwandlung der Kommas in Punkte unabhängig von der Art der Dezimaltrennung der Inputdaten vor.

Erste Anwendungen dieses Programmes ergaben, daß vor allem bei großen Datenmengen die Prozedur etwas langwierig ist, da jede Bohrung separat konvertiert werden muß. Also wurde in einem zweiten Schritt das Programm um eine Schleife ergänzt, die sämtliche Bohrungen einer Datenbank in einem Arbeitsgang konvertiert. Allerdings müssen bei der Konvertierung auftretenden Fehler in der Datenbank übergegangen werden, d.h. entsprechende Datensätze werden nicht konvertiert. Diese Datensätze werden in einer zusätzlichen Textdatei zusammen mit der Art des Fehlers abgelegt, und können nach der Behebung des Fehlers mit dem oben beschriebenen Programm nachträglich konvertiert werden.

Die Ausgabe-Datei hat folgende Struktur:

```
GOCAD Well 0.01
HEADER {
*name:Welldemo
}
WREF x y z
DPLN 0
VRTX x y z
VRTX x y zET
MRKR Markername1 1 zT
MRKR Markername2 2 zT
:
:
MRKR MarkernameN N zT
END
```

**Abbildung 27, Beispiel einer GOCAD-wl Datei**

Rot sind die der Datenbank entnommenen Informationen dargestellt. Zu beachten ist, daß die Teufenwerte z und z<sub>ET</sub> in m über NN angegeben werden, die Teufen der Marker z<sub>T</sub> hingegen in m unter GOK (vgl. CHENG 1997).

### 13.2 Entwicklung einer Schnittstelle zwischen AtlasGIS und GOCAD

Infolge der Digitalisierung der Mächtigkeitsdaten der Steinkohlenflöze des Zwickauer Steinkohlenrevieres war es notwendig, ein Programm zu schreiben, das mit AtlasGIS digitalisierte Punkte in ein GOCAD-lesbares Format umwandelt. Bei der Digitalisierung von Punkten in AtlasGIS werden zwei Attribute abgefragt, die dem Hoch- und Rechtswert des jeweiligen Punktes zugewiesen werden. Es handelt sich dabei um zwei Charakter-Felder mit den Namen „\_NAME“ und „\_NAME2“. Dem Feld „\_NAME“ muß die Z-Koordinate des Punktes zugewiesen werden. Dabei ist zu beachten, daß die Dezimaltrennung mit Punkt erfolgt, da GOCAD eine englischsprachige Software ist. Im Feld „\_NAME2“ kann jedem Punkt eine weitere Eigenschaft zugewiesen werden, die in GOCAD als „Property“ verwendet werden kann. Sowohl Zahlen als auch Text sind in dazu geeignet.

In AtlasGIS werden die geographischen Informationen in einer binären Datei mit der Extension „.agf“ gespeichert. Mit Hilfe eines Import/Export-Tools in AtlasGIS kann diese in eine Textdatei mit der Extension „.bna“ umgewandelt werden. Dazu muß in der MS-DOS Eingabeaufforderung von AtlasGIS folgender Befehl eingegeben werden:

**ie\_eingabedatei.agf\_ausgabedatei.bna/\_obna/\_names\_2\_/tab**  
( \_ = Leerzeichen)

Die ausgegebene Datei kann nun mit Hilfe des Konvertierungsprogrammes in eine GOCAD-Vset-Datei umgewandelt werden. Das Programm fragt zuerst, ob Properties (zusätzliche Eigenschaften) mit digitalisiert wurden. Danach erfolgt die eigentliche Konvertierung und Ausgabe einer Datei mit der Extension „.vs“.

In Anlage 24 (CD-Rom) befinden sich die Setup-Dateien zur Installation der gesamten oben genannten Software, sowie die Quellcodes in Form von pdf-Dateien, die mit der kostenlosen Software „Acrobat-Reader“ gelesen werden können.

## Literaturverzeichnis

ABRAHAM, T. & BESSER, H.-U. (02/1999): Tracerversuche zur Kontrolle möglicher natürlicher Abflüsse aus Problembereichen der Bergbaufolgegebiete im Mulde-Tal in Zwickau. – HGC GmbH & HGN Hydrogeologie GmbH, unveröff. Bericht

BANKWITZ, P.; GROSS, U. & BANKWITZ, E. (1993): Krustendeforrmation im Bereich der Finne-Kyffhäuser-Gera-Jachymov-Zone. – Z. geol. Wiss., Berlin **21** (1/2) S. 3-20

BAUER,M.; HÄNIG, D. & SEIDEMANN, O. (1997): Ergebnisbericht Reflexionseismik, Gravimetrie Stadtgebiet Zwickau (Erforschung des rezenten Hebungs- und Senkungsmusters und der Horizontalverschiebung in der Region Oelsnitz-Zwickau). –Geophysik GGD mbH, Leipzig, unveröff. Bericht, 26 S.

BESSER, H.U. (1996a): Ergebnisdokumentation Altlastenmodellstandort (MOST) Zwickau, Stufe 2. – HGN Hydrogeologie GmbH, NL Dresden, unveröff. Bericht

BESSER, H.U. (1996b): Komplexuntersuchung zu Auswirkungen des ehemaligen Steinkohlenbergbaus im Raum Oelsnitz-Zwickau (Phase 1), Teilaufgabe 7.6 – Hydrogeologische und hydrologische Arbeiten. – HGN Hydrogeologie GmbH, NL Dresden, unveröff. Bericht

BESSER, H.U. (1997): Komplexe Altlastenuntersuchung des Schutzgutes Grundwasser im Betrachtungsraum unter Berücksichtigung vorhandener Altlasten – Teilstufe 3/1 GW-Monitoring, Parameterermittlung, geohydraulisches Modell. – HGN Hydrogeologie GmbH, NL Dresden, unveröff. Bericht, 100 S.

- BESSER, H.U. (1998): Aufbau eines geologischen Modells für den Untergrund des Altlastenmodellstandortes Zwickau (F/E-Vorhaben 1997 des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. – HGN Hydrogeologie GmbH, NL Dresden, unveröff. Bericht, 29 S.
- BEYER, C et al. (1981): Bergschadenskundliche Analyse im Raum Zwickau. – VEB Spezialkombinat Wasserbau, Kombinatsbetrieb Baugrund Berlin, Produktionsbereich Zwickau & VEB Steinkohlenkokereien „August Bebel“, Betriebsteil „Martin Hoop“, Zwickau, unveröff.
- BLÜHER, H.-J. (1960): Zur Hydrogeologie des Oberkarbons und Rotliegenden im westlichen Erzgebirgischen Becken. – Zeitschrift für angewandte Geologie, **9/8**, S. 909-929
- BRAUSE, H. & FISCHER, M. (1996): Komplexuntersuchung zu Auswirkungen des ehemaligen Steinkohlenbergbaus im Raum Oelsnitz-Zwickau (Phase 1). – Sächsisches LfUG, Sächsisches OBA, Freiberg, unveröff. Bericht, 106 S.
- BRAUSE, H. (1997): Geologie, Bergbau und Bergbaufolgeprobleme im Raum Zwickau-Oelsnitz. – Exkurs.f. u. Veröfftl. GGW, Berlin **199**, S. 7-13
- CARLÉ, W. (1975): Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa – Geologie, Chemismus, Genese. – Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, 643 S.
- CHENG, A. (1997): GOCAD TUTORIAL 1. – ASGA, Nancy, 5. Aufl., unveröff., 322 S.
- DÖRING, H.; HOTH, K. & KAHLERT, E. (1988): Gegenwärtiger Stand der litho- und sporenstratigraphischen Gliederung des Zwickauer Siles. – Freiberger Forschungshefte. Leipzig **C 419**, S. 18-29

- FISCHER, F. (1991): Das Rotliegend des ostthüringisch – westsächsischen Raumes (Vorerzgebirgs-Senke, Nordwestsächsischer Vulkanitkomplex, Geraer Becken). - unveröff. Dissertation, TU Bergakademie Freiberg, 172 S.
- HOTH, K. (1984): Ressourcenpotential Steinkohle DDR; Geologie der Einzelvorkommen, 4. Zwickau-Mülsener Teilsenke. – Archiv des LfUG Freiberg, unveröff., 25S.
- JORDAN, H. & WEDER, H-J. (1995): Hydrogeologie – Grundlagen und Methoden. - 2. Auflage, Enke Verlag Stuttgart, 603 S.
- KOLITSCH, S. & GÖTTELMANN, U. (1998): Komplexuntersuchungen des ehemaligen Steinkohlenbergbaus im Raum Oelsnitz-Zwickau (Phase 2), Abschnitt 4.2: Hydrologische und hydrogeologische Aufgaben (Abschlußbericht). – TU Bergakademie Freiberg, unveröff. Bericht, 136 S.
- KRATZSCH, H. (1997): Bergschadenkunde. – 3. ergänzte Auflage, Deutscher Markscheider-Verein e.V., Bochum, 844 S.
- LANGE, T. (1998): Ein GOCAD-3-D-Modell des tektonostratigraphischen Baues im Steinkohlenrevier Zwickau als Grundlage für die Ermittlung von Bergbaufolgeschäden., - unveröff. Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg, 51 S.
- MIETZSCH, H. (1877): Geologische Profile durch das Kohlenfeld von Zwickau. - Beiblatt zur Geologischen Specialkarte des Königreiches Sachsen, Leipzig
- PIETZSCH, K. (1962): Geologie von Sachsen. - 2., unveränd. Auflage, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, S. 225-235 u. 259-276

- RENNER, A. (1998): GOCAD-3D-Modellierung des tektonostratigraphischen Baues von Karbon und Rotliegend im Untergrund von Zwickau – Grundlagen für Bergschadensanalyse und Hydrogeologie. – Unveröff. Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg, 99 S.
- REUTHER, E.-U. (1989): Lehrbuch der Bergbaukunde mit besonderer Berücksichtigung des Steinkohlenbergbaus. – Erster Band, 11. Auflage, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 812 S.
- RICHTER, H. et al. (1994): Untersuchungen zur Klärung der hydrogeologischen Verhältnisse für den Bereich der Bockwaer Senke. – C-W-H mbH, Gruna/Sa., unveröff. Bericht
- RÖSLER, H.J.; PÄLCHEN, W.; OSSENKOPF, W. & TAUBERT, P. (1967): Die Kohlentonsteine aus dem Steinkohlenbecken von Zwickau-Oelsnitz, Freital-Döhlen (bei Dresden) und Doberlug. – Freiberger Forschungshefte, Leipzig **C 211**, 146 S.
- RUDOLPH, K. (1982): Die wissenschaftlich-technische Entwicklung des Steinkohlenbergbaus unter Tage im Zwickau-Oelsnitzer Revier unter besonderer Berücksichtigung des VEB Steinkohlenwerk „Martin Hoop“. – Unveröff. Dissertation, TU Bergakademie Freiberg, 174 S.
- SCHNEIDER, J.; LANGE, T. & GAITZSCH, B. (1996): Studie zur Datenerfassung und Visualisierung des in Bergbaurissen des Zwickau-Oelsnitzer Revieres enthaltenen bruchtektonischen Inventars., - unveröff. Bericht, Freiberg, 37 S.
- SCHRÄBER, D. (1968): Zur Kenntnis der Sole im Zwickauer Steinkohlenrevier. – Zeitschrift für angewandte Geologie, **14/8**, S. 431-439

SIEGERT, Th. (1901): Erläuterungen zur geologischen Specialkarte des Königreichs Sachsen., Section Zwickau Werdau, Bl. 111, 2. Auflage Leipzig, 142 S.

SPERLICH, O.; WÜNSCH, R. & SCHNEIDER, J. (02/1999): Bericht Bohrkernaufnahmen der Mülsen-Fm./Oberrotliegend II IAA Helmsdorf/Crossen. – Interner Bericht an die WISMUT GmbH, TU Bergakademie Freiberg, 20 S.

VOGEL, H.-R. (1993): Grundlagenuntersuchungen zur räumlichen Simulation der Auswirkungen von Bruch- und Versatzbau in flözartigen Lagerstätten auf das Grubengebäude. – Dissertation, Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger, 168 S.

WALTHER, J.; HENTSCHEL, M.; LENGERT-BECKER, I. & PRUGGMAYER, H (1998): Wasserhaushaltsuntersuchungen im Raum Zwickau-Oelsnitz (Abschlußbericht). – WASY Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH NL Dresden, unveröff. Bericht, 120 S.

WOLF, L. & SCHALLER, R. (1969): Darstellung des Kenntnisstandes Erzgebirgisches Becken 1968/69. – VEB Geologische Forschung und Erkundung, Betriebsteil Freiberg, unveröff. Bericht, 10 S., 45 Teilkarten

## **Erklärung**

Hiermit versichere ich, daß ich die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne fremde Hilfe und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Matthias Kater

Freiberg, den 31.05.1999