

**Gravimetrische Untersuchungen im Gipskeuper  
unter ingenieurgeologischen, tektonischen  
und umwelttechnischen Schwerpunkten**

Vom Fachbereich Geowissenschaften und Geographie  
der Technischen Universität Darmstadt  
genehmigte Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Naturwissenschaften  
(Dr.rer.nat.)

von

**Dipl.-Geol. H.Richard Schulz**  
aus Seeheim-Jugenheim

Referent : Prof. Dr. K. Fahlbusch  
Korreferenten: Prof. Dr. C. Gerstenecker  
Prof. Dr. G. Ebhardt

Tag der Einreichung: 11.01.1999  
Tag der mündlichen Prüfung: 28.06.1999

Darmstadt 2000

D17

1	Vorbemerkungen	1
2	Aufgabenstellung	1
3	Geographische und landschaftliche Übersicht	3
4	Erdgeschichtlicher Überblick	3
5	Geologische und stratigraphische Regionalübersicht	4
5.1	Unterer Keuper (ku)	5
5.1.1	Vitriolschiefer bis Obere Graue Mergel (ku1-ku3)	6
5.1.2	Oberes Zwischenmittel (ku3)	6
5.1.3	Lingula-Dolomite (ku3)	7
5.1.4	Grüne Mergel (ku3)	7
5.1.5	Grenzdolomit (ku3)	7
5.2	Mittlerer Keuper (km)	8
5.2.1	Grundgipsschichten	8
5.2.2	Bochinger Horizont	9
5.2.3	Dunkelrote Mergel	9
5.2.4	Bleiglanzbank	9
5.2.5	Mittlerer Gipshorizont	9
5.2.6	Engelhofer Platte	10
5.2.7	Estheriensschichten	10
5.2.8	Schilfsandstein	10
5.2.9	Untere Bunte Mergel	11
5.2.9.1	Dunkle Mergel	11
5.2.9.2	Rote Mergel	11
5.2.9.3	Lehrbergschichten	12
5.2.10	Kieselsandstein	12
5.2.11	Obere Bunte Mergel	12
5.2.12	Stubensandstein	13
5.2.12.1	Unterer Stubensandstein	13
5.2.12.2	Mittlerer Stubensandstein	14
5.2.12.3	Oberer Stubensandstein	14
5.2.13	Knollenmergel	14
5.3	Oberer Keuper (Rät)	14
5.4	Jura	14
5.4.1	Lias	15

5.5.	Kreide und Tertiär	15
5.6	Quartär	15
5.6.1	Talaue	15
5.6.2	Hangrutsche und Bergstürze	15
6	Gips und Anhydrit	16
6.1	Auslaugung von Calciumsulfat	16
7	Vorbemerkungen zur geologischen Bearbeitung und zur Darstellung in den Anlagen	16
7.1	Projekt Festhalle	19
7.1.1	Geologische Vorerkundung	20
7.1.2	Künstliche Aufschlüsse	20
7.1.2.1	Bohrungsbeschreibungen (BK 1 bis BK 17)	20
7.1.2.2	Pfahlbohrungen	42
7.1.3	Gemeinsame Interpretation der dargelegten Daten zur Festhalle	43
7.1.3.1	Zusammenfassung zu Stratigraphie und Lithologie	43
7.1.3.2	Wasseranalysen und Hydrogeologie	45
7.1.3.3	Bodenmechanische Versuche	46
7.1.3.4	Geologisches Modell	47
7.2	Testobjekt Talaue mit Bebauung	47
7.2.1	Geologische Oberflächenkartierung	48
7.2.2	Künstliche Aufschlüsse	48
7.2.2.1	Bohrungsbeschreibungen (BK 18 bis BK 26)	48
7.2.2.1.1	Walterichsschule	48
7.2.2.1.2	Regenüberlaufbecken Raidhalde	50
7.2.2.1.3	Bebauungsplan Raidhalde	52
7.2.2.1.4	Unterführung Siegelsberger Straße	52
7.2.2.1.5	Bauvorhaben Stadttangente; Ochsenbrücke und Stützmauer	55
7.2.2.1.6	Bauvorhaben Stadttangente; Fußgängerunterführung	58
7.2.3	Darstellung der geologischen Ergebnisse für die Bohrungen BK 22 bis BK 26	59
7.2.3.1	Stratigraphie und Lithologie	59
7.2.3.2	Wasseranalysen und Hydrogeologie	60
7.2.3.3	Bodenmechanik	60

7.3	Testobjekt Altablagerung	61
7.3.1	Geologische Oberflächenkartierung	61
7.3.2	Künstliche Aufschlüsse	61
7.3.3	Hydrogeologie	61
7.4	Geologisches Bild im engeren Bereich des Stadtgebietes Murrhardt	61
8	Gravimetrie	64
8.1.	Theorie	64
8.1.1	Physikalische Grundlagen	64
8.1.1.1	Gravitationsgesetz	64
8.1.1.2	Zentrifugalkraft	65
8.1.1.3	Gezeiten	65
8.1.1.4	Berechnungsgrundlagen	66
8.1.1.5	Freiluftreduktion ( $\Delta g_{FA}$ )	66
8.1.1.6	Bouguer-Reduktion ( $\Delta g_B$ )	67
8.1.1.7	Dichtebestimmung	67
8.1.1.8	Geländekorrektur ( $\Delta g_{TC}$ )	69
8.1.1.8.1	Geländekorrektur nach HAMMER (1939)	69
8.1.1.8.2	Geländekorrektur rechnerisch	70
8.1.1.9	Normalschwereberechnung	70
8.1.1.10	Anomalienberechnung	71
8.2	Geländearbeit	71
8.2.1	Geräte und Instrumente	71
8.2.2	Gravimetermessung	72
8.2.3	Geländekorrektur im Feld	72
8.2.4	Messpunktsicherung	72
8.2.5	Vermessungsarbeiten	73
8.2.6	Erfassen der Geländedaten	73
8.3	Auswertung	73
8.3.1	Erster Berechnungsschritt	74
8.3.2	Auswertung zu den einzelnen Messbereichen	74
8.3.2.1	Festhalle	74
8.3.2.1.1	Isoliniendarstellung	75
8.3.2.1.2	Profile	79
8.3.2.1.3	Zwischenergebnisse	84
8.3.2.2	Talau	85
8.3.2.2.1	Isoliniendarstellung	85
8.3.2.2.2	Profile	87
8.3.2.2.3	Zwischenergebnisse	89

8.3.2.3	Ergebnisse Festhalle verglichen mit Ergebnissen Talaue	89
8.3.2.3.1	Isoliniendarstellung	90
8.3.2.3.2	Profil	90
8.3.2.3.3	Zwischenergebnisse	91
8.3.2.4	Altablagerung	91
8.3.2.4.1	Isoliniendarstellung	92
8.3.2.4.2	Profile	93
8.3.2.4.3	Zwischenergebnisse	94
8.4	Detailauswertung	95
8.4.1	Messbereich Festhalle	95
8.4.1.1	Lokalfeld	95
8.4.1.2	Dichte aus den Bohrungen	97
8.4.1.2.1	Dichtewahl	97
8.4.1.3	Bestimmung der mittleren Dichte	99
8.4.1.3.1	Talbohrung BK 3	100
8.4.1.3.2	Hangbohrung BK 17	100
8.4.1.3.3	Vergleich der Ergebnisse BK 3 und BK 17	100
8.4.1.4	Versuch der Ableitung von Einzeldichten	101
8.4.1.4.1	Bohrung BK 3	101
8.4.1.4.2	Bohrung BK 17	101
8.4.1.4.3	Drei Bohrungen (BK 2, BK 6 und BK 14)	101
8.4.1.4.4	Zwölf Bohrungen	102
8.4.1.5	Schlussfolgerungen	102
8.4.2	Messbereich Talaue	103
8.4.2.1	Lokalfeld	103
8.4.2.2	Dichte aus den Bohrungen	104
8.4.2.2.1	Dichtewahl	104
8.4.2.3	Bestimmung der mittleren Dichte	104
8.4.2.4	Ergebnisse BK 8 und BK 18	104
8.4.2.5	Versuch der Ableitung von Einzeldichten	105
8.4.2.6	Schlussfolgerungen	105
8.4.3	Messbereiche Festhalle und Talaue	105
8.4.3.1	Lokalfeld	105
8.4.3.2	Dichte aus den Bohrungen	105
8.4.3.3	Bestimmung der mittleren Dichte	106
8.4.3.4	Schlussfolgerungen	106
8.4.4	Messbereich Altablagerung	106
8.4.4.1	Lokalfeld	106
8.4.4.2	Dichtewahl	107
8.4.4.3	Mittlere Dichte	108
8.4.4.4	Dichtezuordnung	108
8.4.4.5	Schlussfolgerungen	109

9	Software	109
10	Zusammenfassung aller Ergebnisse	109
10.1	Geologie	109
10.2	Gravimetrie	110
10.3	Soft- und Hardware	111
11	Literatur	112
11.1	Zitierte Literatur	112
11.2	Bearbeitete Literatur	116
11.3	DIN Normen	124
12	Verzeichnis der Symbole und Konstanten	125
13	Anlagen	127
13.1	Quellennachweis für die Anlagen	129
13.2	Abbildungsnachweis	130
13.3	Anlagenkopf	131

Anlage 9 auf beiliegender CD-ROM

Geologische Grunddaten (u.a. Bohrverzeichnisse) und Vorauswertung

Anlage 15 auf beiliegender CD-ROM

Gravimetrische Grunddaten und Auswertung

## **1 Vorbemerkungen**

Für die Möglichkeit der Durchführung von Messungen im Bereich geplanter Bauvorhaben der Stadt Murrhardt danke ich Herrn Pfender (Technischer Beigeordneter der Stadt Murrhardt). Auch für die mir überlassenen Ergebnisse der Baugrunduntersuchungen im Bereich der Stadt Murrhardt ist ihm zu danken.

Herrn Prof. Groten und Herrn Dr.-Ing. Becker (jetzt: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/Main) für das Überlassen des Gravimeters des Fachbereiches 12 Vermessungswesen der TU Darmstadt.

Herrn Dipl. Ing. Decker, Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, für das Überlassen von Schwerefestpunktangaben im Bereich Murrhardt.

Dem Geologischer Daten Service (Büro für geologische Ingenieurleistungen) Rosengarten, für die Nutzung der Software, soweit diese zu verwenden war. Ebenfalls ist diesem Büro zu danken, für das Benutzen der Vermessungsgeräte und des bodenmechanischen Labors.

Besonderen Dank gebührt meiner Frau Karin Kessler-Schulz, die mir bei der Geländearbeit, Laborarbeit und auch bei der organisatorischen Arbeit zur Seite stand.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Gerstenecker für die Diskussionen über die angewandte Gravimetrie.

Herrn Prof. Dr. rer. nat. Fahlbusch für die Betreuung der Arbeit und seine kritischen Anmerkungen.

## **2 Aufgabenstellung**

Die vorliegende Dissertation wurde durch mehrere praxisorientierte Problemstellungen im Gipskeuper von Baden-Württemberg angeregt. Hier stellt sich in vielfältiger Weise die Frage nach dem Grad der Auslaugung des Gipses und der Gefahr von möglichen Erdfällen. Erwähnt seien hier nur die oft aufwendigen Untersuchungen zur Gründung von Einzelbauwerken.

Nicht nur die Wahrscheinlichkeit von möglichen Senkungen oder gar Erdfällen stellen ein Problem dar, sondern auch die erhöhte Wasserwegsamkeit innerhalb der auslaugungsfähigen Gesteine. Diese Fragestellung spielt bei der Suche nach neuem Deponieraum in den betroffenen Gebieten eine mitentscheidende Rolle.

Es sollte zunächst untersucht werden, inwieweit die bei Bauvorhaben anfallenden geowissenschaftlichen Daten Rückschlüsse auf den Verkarstungsgrad zulassen. Hierzu wurden neben den Bohrungsergebnissen, die bodenmechanischen Parameter und die hydrochemischen und wenn vorhanden, die hydrophysikalischen Messergebnisse herangezogen.

Des Weiteren wurden einzelne geophysikalischen Methoden auf ihre Verwendbarkeit hin untersucht. Es sollte eine Methode angewendet werden, die weder durch elektrische noch magnetische Felder beeinflusst wird. Ferner sollten keine Schäden durch Erschütterungen an Gebäuden entstehen. Die Wahl fiel auf die Gravimetrie. Der Dichteunterschied zwischen Gips/Anhydrit auf der einen Seite und den umgebenden Ton- und Schluffsteinen ist groß

genug (min.  $0,3 \text{ g/cm}^3$ ), um bei einer Änderung der Mächtigkeit der einzelnen Einheiten, einen messbaren Schwereunterschied zu erhalten.

Ergebnisse von Gravimetermessungen, die ich im Rahmen meiner Tätigkeit bei der Firma Esso Erz GmbH, an Riffkörpern des Paläozoikums des Rheinischen Schiefergebirges durchführte, zeigten eine hochfrequente Änderung des Schwerefeldes. Dies konnte als mögliche Verkarstung gedeutet werden. Eine entsprechende Interpretation dieser Messungen unterblieb bei der damaligen Fragestellung (Erzkörpersuche). Diese Messungen wurden mit einem LaCoste & Romberg Gravimeter Modell G durchgeführt.

Geologisch handelte es sich dort bis an die Oberfläche anstehende devonische Riffkalke, eingebettet in die Tonschiefer des Devons. Es wurden dort entlang von Profilen auf der Erdoberfläche die Messungen durchgeführt. Diese Messanordnung erlaubt einen schnellen Messfortschritt.

In der vorliegenden Arbeit wurde unter anderem versucht, den Auslaugungsgrad des Gipses mit Hilfe von Gravimetermessungen abzuschätzen. Hierzu wurden verschiedene Rechenwege besprochen.

In einem zweiten Schritt sollte eine exaktere Berechnung der Reduktionen mit der vorliegenden Dichteverteilung, ermittelt aus Bohrungen, durchgeführt werden. Es galt festzustellen, welche Anzahl von Bohrungen nötig ist, um mit den gewonnenen Gravimetrieergebnissen eine detaillierte Bewertung durchzuführen.

Eine Messung des Schweregradienten (Messungen in zwei Ebenen) ist für die hier beschriebene Fragestellung zu zeitaufwendig, als dass sie später wirtschaftlich unter wettbewerbsmäßigen Bedingungen durchgeführt werden kann.

Ein LaCoste und Romberg Gravimeter Modell G wurde eingesetzt.

Eine weitere Aufgabenstellung ergab sich aus der Auswertung der vorliegenden Bohrungen im Bereich Murrhardt. Es deutete sich anhand der Bohrprofile an, dass tektonische Störungen im Tal der Murr liegen können. Es wurde versucht, die Existenz der vermuteten Störungen zu widerlegen oder nachzuweisen. Denkbar wäre auch ein Verbiegen der Bezugsebene (Grenzdolomit des Unteren Keupers), wie dies mehrfach in anderen künstlichen Aufschlüssen des Unteren Keupers beobachtet werden konnte.

Der Verfasser (SCHULZ 1986) hat mit Hilfe der Gravimetrie den Verlauf einer tektonischen Störungszone nachgewiesen. Unter Anwendung dieser Ergebnisse wurde versucht, ob der Nachweis einer möglichen Störung im Gipskeuper gelingt.

Bei der Bearbeitung von Altablagerungen (vorwiegend Hausmüllablagerungen vor 1972) tritt immer wieder die Frage auf, wie mächtig diese sind. Bisher mussten hierzu immer wieder die Ablagerungen durchteuft werden. Dabei besteht die Gefahr eines Verschleppens von möglichen Verschmutzungsherden. Es wurde mit Hilfe von Gravimetermessungen versucht, diese Frage ohne sichere Anhaltspunkte über die Untergrundsituation zu beantworten. Eine weitere Verifizierung dieser Fragestellung kann erst bei einer weiteren Bearbeitung dieser getesteten Altablagerung im Rahmen der orientierenden Erkundung von Altablagerungen in Baden-Württemberg erfolgen. Genauere Ergebnisse fehlen bis heute.

### 3 Geographische und landschaftliche Übersicht

Die Stadt Murrhardt befindet sich ca. 40 km nordöstlich von Stuttgart im Bundesland Baden-Württemberg. Es ist die nordöstlichste Gemeinde des Rems-Murr-Kreises (Anlage 1.1 und 1.2). Naturräumlich handelt es sich um den Schwäbisch-Fränkischen Wald innerhalb des süddeutschen Schichtstufenlandes.

Die Kernstadt Murrhardt liegt im tief eingeschnittenen Tal der Murr. Das Tal selbst ist im Bereich der Stadt Murrhardt durch die Einmündung des Dentelbaches in die Murr etwas geweitet. Die Talauflage der Murr ist größtenteils überbaut, während ein Großteil der Talauflage des Dentelbaches nicht bebaut ist (Erdfälle). Eine landwirtschaftliche Nutzung erfolgt vorzugsweise auf den Hochflächen. Die Talhänge sind mit Wald bestanden.

### 4 Erdgeschichtlicher Überblick

Geologisch liegt Murrhardt innerhalb der südwestdeutschen Großscholle (Anlage 2.1). Auf dem Gemarkungsgebiet stehen die Schichten vom Lias  $\alpha$  bis zu dem Bochinger Horizont des Mittleren Keupers an der Oberfläche an. Baugrundbohrungen erschließen in der Regel die Grundgipsschichten (km1) und/oder die verbleibenden Gipsauslaugungsreste (**GAR** nach Geologischem Landesamt Baden-Württemberg) bis zum Unteren Keuper (ku). Die amtliche Kartiergliederung Baden-Württembergs ist in der Anlage 3.3 Blatt 1 aufgeführt. Die Tiefbohrung der Firma Schweizer (EISENHUT 1971) erreichte innerhalb des Stadtgebietes mit einer Gesamttiefe von 124 m unter Ansatzpunkt die Schichten des Oberen Muschelkalkes bis zu den Trochiten-Schichten. Ob die letzten Meter dieser Bohrung in den Mittleren Muschelkalk gestellt werden können, ist nicht gesichert. Im Folgenden wird diese Bohrung als Bohrung Schweizer bezeichnet.

Die nächstgelegene Tiefbohrung in Allmersbach am Weinberge (Entfernung ca. 13 km) durchteufte den ganzen Muschelkalk, Buntsandstein und das Rotliegende. Darunter folgen die Schichten des Grundgebirges (GEYER & GWINNER 1986).

Gegen Ende des Juras ist das Gebiet endgültig Festland geworden. Es erfolgte ein Abtragen der Schichten bis zum Keuper. Nur als Relikte sind Teile des Lias  $\alpha$  nördlich und südlich von Murrhardt erhalten geblieben.

Das Umgestalten des Fluss-Systems (SIMON 1988) begann bereits im Eozän. Während des Miozäns erfolgten die tiefgreifenden Änderungen in der Fließrichtung zum heutigen Fluss-System (Anlage 5.1). Der Grund dieser Umprägung ist im Herausheben der Schwäbischen Alb und des Einbruches des Oberrheintalgrabens zu suchen.

In Zusammenhang mit dieser Umgestaltung des Fluss-Systems trat eine starke Eintiefung der Täler ein. Teilweise kam es zu Bergstürzen, die heute zum Teil offen zu Tage treten (Felsenmeer bei Murrhardt RW 35 43 35. und HW 54 26 20.) oder nur durch Bohrungen erschlossen sind (untersuchter Standort für ein Hochwasserrückhaltebecken im Oberlauf der Murr, GK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt RW 35 44 529 und HW 54 24 546).

Die quartäre Talfüllung kann eine Mächtigkeit von bis zu 13 m erreichen.

Besonders zur Zeit der letzten Eiszeit dürfte das unterschiedliche Auftauen und Gefrieren von nord- und südexponierten Hängen das abwechslungsreiche geologische Bild im Bereich

der Stadt Murrhardt geprägt haben. So ist der nordwestliche Teil gekennzeichnet durch Bodenfließen oder Bergstürze. Dies kann in Baugruben beobachtet werden. Auch drei hier beschriebene Bohrungen zeigen Schichten, die einen Bergrutsch oder -sturz wahrscheinlich machen.

Heute kommt es immer wieder zu größeren Hangrutschen, insbesondere nach starken Niederschlägen. Ein Hangkriechen ist in Teilbereichen zu beobachten. Einzelne Nivellementfestpunkte haben sich innerhalb von ca. 15 Jahren bis zu 10 cm in der Höhe verändert (TK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt).

Bis heute hält die Auslaugung der Grundgipsschichten an. Dies äußert sich durch flache, absinkende Erdmulden, oder schlagartige Erdfälle.

Das prägende tektonische Element in diesem Bereich ist die Neckar-Jagst-Furche (WEINLAND 1933). Sie zieht nördlich der Kernstadt (Anlage 2.4), etwas außerhalb der GK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt von West nach Ost. Ihr Verlauf ist im Gelände gut zu erkennen.

Bei der Neckar-Jagst-Furche (Anlage 2.2, 2.3, 2.4 und 2.5) handelt es sich um eine Grabenstruktur die sich nach HAGDORN und SIMON (1988), durch ganz Süddeutschland vom Schwarzwald bis zum Bayerischen Wald nachweisen lässt. Nach neueren Untersuchungen (DÜRR 1982) soll im Bereich der Neckar-Jagst-Furche die Grenze zwischen Saxothuringikum und Moldanubikum liegen.

Am Südrand dieser Struktur fallen die Schichten nach Norden, am Nordrand nach Süden hin ein. Es wird angenommen, dass neben der Absenkung es auch zu horizontalen Bewegungen gekommen ist. Als Konsequenz für die Altersstellung dieser Struktur, wäre die Grenze Saxothuringikum / Moldanubikum bis mindestens Jura, wenn nicht länger, aktiv gewesen. Jura liegt als Relikt innerhalb der größten Eintiefung auf den Kartenblättern TK 25 Blatt Nr. 6922 Wüstenrot und TK 25 Blatt Nr. 6923 Sulzbach an der Murr vor (Bereich Juxkopf, Hohe Brach).

Die Schichten des Lias  $\alpha$  sind jedoch auch südlich von Murrhardt außerhalb der Neckar-Jagst-Furche zu finden (Anlage 3.8). Die Schichtlagerung im Bereich Murrhardt zeigt die Anlage 2.6.

## **5 Geologische und stratigraphische Regionalübersicht**

Die für die Auswertung der Gravimetrieergebnisse notwendige ausführliche Schichtbeschreibung ist in der Anlage 9 dargestellt (Schichtenverzeichnis in Anlehnung an die DIN 4022 T 1 Ausgabe 1987). Die Erläuterungen der in den Bohrungen angetroffene Gesteinsabfolge sind im Abschnitt 7.1.2.1 und 7.2.2.1 ausführlich dargestellt. Auch für das Aufstellen des gravimetrischen Untergrundmodells wurden diese Daten verwendet (siehe 8.3 und 8.4).

Es werden hier nur die Schichten vom Unteren Keuper, die nicht natürlich aufgeschlossen sind, bis zum Knollenmergel beschrieben. Es wird zunächst die lithologische Abfolge dargestellt. Diese grobe Beschreibung richtet sich weitgehend nach Literaturangaben, insbesondere nach den Erläuterungen zur GK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt (EISENHUT 1971), eigenen Beobachtungen aus dem Gelände, aus Kartierungen und aus selbst durchgeführten Schürfen und Bohrungen. Die Gründe für das nicht komplette Auflisten aller zur Verfügung

stehender Bohrungen und Schürfe liegt darin, dass für das Verständnis der hier dargestellten Ergebnisse, die einen Zusammenhang zwischen der geologischen Situation und der durchgeführten gravimetrischen Messungen darlegen, die aufgeführten Bohrungen BK 1 bis BK 26 ausreichen (alle auf GK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt). Die Bohrungen mit durchgehender Gewinnung gekernter Proben sind nach DIN 4023 (1984) mit BK zu kennzeichnen. Weitere Bohrungen und Schürfe wurden nicht aufgeführt, da in deren Umfeld keine gravimetrische Messungen durchgeführt wurden.

Die genauere Beschreibung der erschlossenen Schichten geht aus den Erläuterungen zu den einzelnen Bohrungen hervor.

Die Bezeichnung Ton- und Schluffstein wird gewählt, wenn noch die primäre Schichtung erkennbar ist und keine Verstärkung zu beobachten ist. Der Übergang zu festem oder halbfestem Ton und Schluff ist teilweise fließend. Dieser Übergang kann auch in größerer Bohrtiefe noch nachgewiesen werden. Die vorliegenden Ton- und Schluffsteine haben keine starke Diagenese durchlaufen, so dass diese in der Regel der Bodenklasse 5, maximal 6, nach Einstufung entsprechend DIN 18300 (VOB Teil C, Ausgabe 1979) zuzuordnen sind.

Mergelstein (bis 35 % Kalkgehalt) wird in der regionalen Literatur als *Steinmergel* beschrieben. In der vorliegenden Beschreibung wird dieser Widerspruch durch eine kursive Schreibweise des Begriffes *Steinmergel* kenntlich gemacht, um den Bezug zu den bisherigen Veröffentlichungen zu gewährleisten. Der Begriff Mergel wird im Folgenden für einen Ton- oder Schluffstein mit einem geringen Kalkanteil verwendet. Eine Unterscheidung nach CORRENS (1949) fand nicht statt.

Durch die oben erwähnten Hangrutsche und Bergstürze ist der Einblick in das Anstehende erschwert. Die Aufschlussverhältnisse der einzelnen stratigraphischen Einheiten sind je nach Lithologie stark wechselnd.

Zu Ausfällungen von Gips kam es erdgeschichtlich zu verschiedenen Zeiten immer wieder. Es kam vereinzelt zur Bildung von Steinsalz. Erhaltene Salzkristalle wurden nicht nachgewiesen, jedoch konnten mehrfach Steinsalzkristallmarken gefunden werden.

## **5.1 Unterer Keuper (ku)**

Der Untere Keuper trägt auch den Namen Lettenkeuper. Der Untere Keuper ist nach der Tiefbohrung Schweizer auf dem Gebiet der Stadt Murrhardt ca. 18,60 m mächtig. In der folgenden Beschreibung dieser Abfolge werden die stratigraphischen Einheiten dargestellt. Es erfolgt keine Diskussion hinsichtlich der Grenzziehung, ob diese echte Zeitgrenzen (isochron) oder Faziesgrenzen (heterochron) darstellen. Auch eine Diskussion der Gliederung des Unteren Keupers in Unteren und Oberen Unter Keuper wird nicht geführt.

BRUNNER & BRUDER (1981) zeigen eine Übersicht von Standardprofilen des Unteren Keupers im nördlichen Baden-Württemberg (Anlage 3.5 und 3.9). Aus diesen ist ersichtlich, dass sich auf kurzen Strecken die Mächtigkeiten der einzelnen Schichteinheiten stark ändern können.

Die Beschreibung dieser Schichten im Raume Murrhardt beruht zunächst auf den Erläuterungen der GK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt (EISENHUT 1971). Die Darstellung wird ausführlicher, ab der Einheit, die vom Verfasser selbst an Bohrkernen aufgenommen wurde.

### 5.1.1 Vitriolschiefer bis Obere Graue Mergel (ku1-ku3)

Folgende Schichteinheiten werden vom Liegenden zum Hangenden nur kurz beschrieben. Die Gliederung erfolgt in Anlehnung an die Ausgaben der Geologischen Karten von Baden-Württemberg in diesem Raum (vgl. auch Anlage 3.5).

Obere Graue Mergel	<i>Hangend</i>
Anoplophora-Dolomite	
Unteres Zwischenmittel	
Anthrakonitbank	
Sandige Pflanzenschiefer	
ALBERTI-Bank	
Hauptsandstein	
Estheriensschichten	
Untere Dolomite	
Dolomitischer Mergelschiefer	
Blaubank	
Vitriolschiefer	<i>Liegend</i>

Der Vitriolschiefer bildet die Basis des Unteren Keupers. Er wird hier von einem gelblichen, weichen, schwach dolomitischen Mergelstein gebildet. Hierüber folgt die Blaubank, die aus gelblichen Dolomit und hellgrauem Kalkstein mit Schalenresten gebildet wird.

Die Unteren Dolomite und der Dolomitische Mergelschiefer werden in der Bohrung Schweizer (EISENHUT 1971) nicht separat beschrieben. Es handelt sich hier um einen hellgrauen Dolomit mit dolomitischem Tonstein. Es folgen die Estheriensschichten und die Vertretung des Hauptsandsteins in Form von hellbraunen, stark feinsandigen, glimmerhaltigen Mergel mit dunkelgrauen Tonsteinbröckchen, deren Form (kantig oder gerundet) nicht erwähnt ist. Das Auftreten des Hauptsandsteins wird nicht beschrieben.

Die ALBERTI-Bank wird aus einem graugelben Dolomit mit Estherienresten gebildet. Es folgt ein mittelgrauer, feinsandiger und glimmerhaltiger Mergelstein mit dunklen Tonsteinstückchen; diese Abfolge wird als Sandige Pflanzenschiefer eingestuft. Die Anthrakonitbank und das Untere Zwischenmittel sind in der Erläuterung der GK 25 Blatt 7023 Murrhardt nicht aufgeführt.

Die Anoplophora-Dolomite sind als hellgrauer Dolomit mit rötlichbraunem Tonstein beschrieben. Die Oberen Grauen Mergel werden nicht separat beschrieben.

### 5.1.2 Oberes Zwischenmittel (ku3)

Das Obere Zwischenmittel wurde in den Bohrungen BK 24 und BK 26(?) angetroffen. Soweit diese Einheit erschlossen wurde, handelt es sich um eine Wechsellage aus Dolomit mit Anhydritlinsen und Tonstein, der sich zum Teil leicht brechen lässt. Nach der Beschreibung der Bohrung Schweizer (EISENHUT 1971) wird das Obere Zwischenmittel aus dunkelgrauem, dolomitischem dünn-schichtigen Tonstein mit grüngrauen Mergellagen und Dolomitstückchen gebildet.

### **5.1.3 Lingula-Dolomite (ku3)**

Die Lingula-Dolomite bestehen nach der Beschreibung der Bohrung Schweizer (EISENHUT 1971) aus graugrünen, dolomitischen dünn-schichtigen Tonstein mit bis zu 4 cm großen Dolomitbröckchen.

Die Grenzziehung zum Hangenden ist im unverwitterten Material sehr schwer, da die Grünen Mergel im Bereich Murrhardt ähnlich wie die Lingula-Dolomite ausgebildet sind. Auffällig ist das Vorkommen von bis zu 0,65 m mächtigen Gips im Grenzbereich zu den Grünen Mergeln in der Bohrung BK 25. Einzelne Gips-/Anhydritlinsen sind immer wieder zu beobachten.

Bedeutend würde dies, dass bereits zur Zeit der Ablagerung der Lingula-Dolomite es zu hohen Verdunstungsraten und geringem Wasserzufluss kam, so dass sich bis zu 0,65 m mächtige Gipsbänke ausbilden konnten.

Die Lingula-Dolomite sind durch die Bohrungen BK 3(?), BK 10, BK 11, BK 12, BK 15, BK 24, BK 25 und BK 26(?) erschlossen und ausführlich in der Bohrungsbeschreibung und in der Anlage 9 zu den Bohrergebnissen dargestellt.

### **5.1.4 Grüne Mergel (ku3)**

Diese Einheit zeigt in der Bohrung Schweizer (EISENHUT 1971) einen graugrünen, dünn-schichtigen, dolomitischen Tonstein mit Dolomitbröckchen. Innerhalb dieser Abfolge kommt es immer wieder zu Gipseinschaltungen bzw. Gipslinsen und -knollen. Fasergips tritt ebenfalls auf. Lokal kann dieser Gips bereits ausgelaugt sein.

BRUNNER & BRUDER (1981) weisen für den Bereich Rudersberg (Profil 41) eine Gipslage nach (Anlage 3.9). In Bohrungen, die der Verfasser in der gleichen stratigraphischen Position, aber regional an anderer Stelle, geologisch bearbeitet hat, trat kein Gips in Form von Bänken auf. GAR (s. Seite 3) wurden ebenfalls keine beobachtet; oder verstütztes Material, was in beiden Fällen auf einen primär vorhandenen Gips schließen ließe. Es handelt sich somit nur um eine regional auf Rudersberg begrenzte Erscheinung. Die oben erwähnten Gipslinsen und -knollen treten jedoch großräumig immer wieder auf.

Außer in den Bohrungen BK 5, BK 7, BK 16, BK 20, BK 21 und BK 23 (Anlage 7.1, 7.2 und 7.3) wurden die Grünen Mergel in allen anderen Bohrungen erschlossen (siehe Anlage 9).

### **5.1.5 Grenzdolomit (ku3)**

Beim Grenzdolomit handelt es sich in der Bohrung Schweizer (EISENHUT 1971) um einen graugelben, harten und splitterigen Dolomit.

Der Grenzdolomit zeigt in den hier beschriebenen Bohrungen teilweise ein anderes Bild als in der Bohrung Schweizer. Besonders der allmähliche Übergang zwischen den Grundgips-schichten ist in einigen Bohrungen auffällig. Auch der Übergang zu den liegenden Grünen Mergel ist nicht immer sicher zu ziehen. Anders stellt sich das Material in einem Aufschluss dar (Steinbruch Michelbach/Bilz, GK 25 Blatt 6924 Gaildorf 1974) wo die Verwitterung unterschiedliche Bankungen erkennbar machte. Im bergfrischen Zustand lässt sich die Schichtung teilweise nicht sicher erkennen.

Der Grenzdolomit macht sich in den Bohrungen durch starken Kernverlust bemerkbar. Dies rührt durch die in ihm vorkommenden Gipseinschaltungen in Form von Linsen und Knollen her. Ist dieser Gips ausgelaugt, so ist ein Kerngewinn bei der Bohrung nahezu ausgeschlossen.

Ausführliche Darstellung auch hier in den Bohrungsbeschreibungen und den Schichtverzeichnissen (Anlage 9). In den Bohrungen BK 5, BK 7, BK 16, BK 20(?) und BK 21 ist dieser Horizont nicht erschlossen.

## **5.2 Mittlerer Keuper (km)**

Für die hier verwendete Beschreibung wird die Württembergische Kartiergliederung der geologischen Karten des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg zu Grunde gelegt. In der Anlage 3.3 ist diese Kartiergliederung der neuen stratigraphischen Gliederung (BRENNER & VILLINGER, 1981) gegenüber gestellt.

Ein schematisches Profil der Lithologie des Mittleren Keupers liefert EISENHUT (1974). Dies kann für den näheren Bereich um die Kernstadt Murrhardt übernommen werden (Anlage 3.6).

Es wird die komplette Abfolge von den Grundgipsschichten bis zum Knollenmergel beschrieben. Die Bohrungen erschließen nur den unteren Bereich des Mittleren Keupers, von den Grundgipsschichten bis zum Mittleren Gipshorizont. Bei der folgenden Beschreibung sind auch Ergebnisse von anderen geologischen Untersuchungen mit aufgeführt.

Die Abfolge bis zu den Estherienschichten wird als Gipskeuper (km1) bezeichnet (Anlage 3.7).

### **5.2.1 Grundgipsschichten**

Die Grundgipsschichten beginnen nicht unmittelbar mit Gipsbänken. Es ist immer wieder zu beobachten, dass diese Einheit an der Basis eine bis 0,6 m mächtige Ton- und Schluffsteinschicht aufweist. Die Farbe ist in der Regel braun. Diese Abfolge kann nicht als Gipsauslaugungsreste bezeichnet werden. Ähnliche Erscheinungen sind bei Bohrungen und Schürfen im Bereich Crailsheim und Schwäbisch Hall ebenfalls zu beobachten. Im Gamma-Log der Bohrlochgeophysik lässt sich diese Ton- und Schluffschicht nachweisen.

Es folgt dann eine bis zu 12 m mächtige Abfolge von Gipsstein, der im Berginneren noch als Anhydrit vorliegt. Diese Gipsabfolge kann regional durch graue Tonsteine und Dolomite unterbrochen sein. Einzelne Dolomitbänke halten großräumig durch. So können die in Anlage 3.7 dargestellten Dolomite  $\alpha$  bis  $\delta$  in nicht verstürzten Grundgipsschichten nachgewiesen werden. Im Bereich der hier beschriebenen Bohrungen ist der Gips derart abgelaugt, dass eine genaue Gliederung der Grundgipsschichten nicht mehr möglich ist.

Diese GAR sind sehr empfindlich gegenüber Wasser. Bei Aufnahme von Wasser quellen sie stark auf. Verbunden damit ist eine Abnahme der Kohäsion. Es kann dann zum Abgleiten von Gesteinsblöcken auf diesen zum Teil sehr dünnen Schichten kommen. In den Bohrungen ist dieses Material teilweise breiig und somit nicht mehr tragfähig.

Der lithologische Übergang zum Bochinger Horizont ist allmählich. So nimmt zunächst der Anteil an Ton- und Schluffsteinen zu. Der Gipsanteil tritt zurück.

Die Auslaugung der Grundgipsschichten hält noch heute an. Dies ist an verschiedenen Stellen durch rezente Senkungen und Erdfälle nachweisbar.

### **5.2.2 Bochinger Horizont**

Der Bochinger Horizont ist eine relativ eintönige Abfolge von Ton- und Schluffsteinen. Zwischengeschaltet sind vereinzelt Mergelsteine. Teilweise kann eine dünne Schichtung der Ton- und Schluffsteine beobachtet werden. Diese Einheit wurde in den Bohrungen BK 5, BK 7, BK 10, BK 11, BK 12, BK 13, BK 14, BK 15, BK 17, BK 21 und BK 23 (?) erschlossen.

### **5.2.3 Dunkelrote Mergel**

Die Dunkelroten Mergel bestehen aus mehr oder weniger kalkigen, zum Teil dünnschichtigen Ton- und Schluffsteinen. Rote Farbtöne herrschen in dieser Einheit vor. Allerdings können auch grüne Partien vorkommen. Auch kann der Feinsandgehalt in den oberen Metern zunehmen. In den Bohrungen BK 11, BK 12, BK 13, BK 14, BK 15, BK 16 und BK 17 wurde dieses Schichtpaket erschlossen.

### **5.2.4 Bleiglanzbank**

Hierbei handelt es sich um eine sehr geringmächtige (0,1 m - 0,15 m) hellgraue bis hellgraugrüne, harte und sandige Mergelsteinbank. Einen direkten Einblick im Gelände erhält man bei RW 35 47 330 und HW 54 25 860. Morphologisch tritt die Bleiglanzbank häufig als Vererbnungsfläche im Gelände auf. Namensgebend ist der Bleiglanzgehalt dieser Einheit. Die Bank wurde nur in der Bohrung BK 16 nachgewiesen (unter Vorbehalt).

### **5.2.5 Mittlerer Gipshorizont**

Es handelt sich bei dieser Schichtenfolge um Ton- und Schluffsteine von hauptsächlich graugrüner Farbe. Einzelne rote Partien können zwischengeschaltet sein. Auch kommen Mergelsteinbänke darin vor.

Gips kann in Lagen und in Knollen vorkommen. Die Schichtung ist zum Großteil fein ausgeprägt. Einzelne Schichtverbiegungen und Quelfalten sind im Gelände zu beobachten. Die Verfaltungen können auch als synsedimentäre Vorgänge aufgefasst werden, eine Eingengstektonik liegt nicht vor.

Oberflächennah liegt der Gips als GAR (vgl. Seite 3) vor. Durch die Wasserempfindlichkeit der GAR kann es im Bereich des Mittleren Gipshorizontes zu Ableitungen kommen (beobachtet im Frühjahr 1990).

Der Versuch einer detaillierten lithostratigraphischen Gliederung unternimmt BRUNNER (1988).

Der Mittlere Gipschizont ist nur in der Bohrung BK 16 erschlossen.

### **5.2.6 Engelhofer Platte**

Die Engelhofer Platte lässt sich im Gelände zum Teil gut verfolgen. Lediglich bei großen Hangschuttmächtigkeiten ist dies nicht möglich. Sie bildet wie die Bleiglanzbank eine Verebnungsfläche aus. Zum Teil ist eine Zweiteilung zu beobachten. Im unteren Bereich ist sie hart, feinsandig, wenig kalkig und glimmerhaltig. Die Farbe ist graugrün. Teilweise erinnert die Engelhofer Platte an den Schilfsandstein. Im Gegensatz zu diesem ist die Engelhofer Platte aber plattig ausgebildet. Der obere Teil ist nicht mehr so hart und ist kalkiger und wulstiger. Zwischengelagert kann ein grauer dolomitischer dünnschichtiger Tonstein sein.

Diese Einheit wurde in den beschriebenen Bohrungen nicht erschlossen.

### **5.2.7 Estherienschichten**

Diese Abfolge wird nochmals untergliedert in die Unteren Bunten Estherienschichten, Grauen Estherienschichten und die Oberen Bunten Estherienschichten. Ein Auskartieren dieser drei Einheiten ist im Gelände, bei der schlechten Aufschluss-Situation, nicht möglich.

Im Gegensatz zu den Erläuterungen zur GK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt muss von Gipseinlagerungen ausgegangen werden. Es handelt sich hierbei um einen Gips mit idiomorphen Gipskristallen. Durch einen Hangrutsch wurde dieser Gips in einer Klinge aufgeschlossen (GK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt, RW 35 48 46. und HW 54 28 16.) und beprobt (Mächtigkeit ca. 1,2 m). Über die Verbreitung dieser Gipseinschaltung kann keine Aussage gemacht werden.

Im übrigen setzen sich die Estherienschichten aus Mergeln, Mergel-, Schluff- und Tonsteinen zusammen. Letztere können dünnschichtig auftreten.

Die Mächtigkeit der Estherienschichten kann durch den Schilfsandstein reduziert sein (Anlage 3.2 und 3.7). Mit dieser Einheit schließt der eigentliche Gipskeuper (km1) ab. In den Bohrungen wurden die Estherienschichten nicht nachgewiesen.

### **5.2.8 Schilfsandstein**

Die Mächtigkeit des Schilfsandsteines schwankt im Untersuchungsgebiet zwischen 5 m und 30 m. Nach der GK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt können Schwankungen zwischen 0,5 m und 28 m auftreten. Die Liegendgrenze des Schilfsandsteins ist nicht isochron, sondern ist eine Faziesgrenze (Anlage 3.3). In den beobachteten Aufschlüssen handelt es sich um einen grünen, glimmerhaltigen, wechselnd festen Feinsandstein. Vereinzelt ist der grüne Sandstein braunrot geflammt. Die Klufflächen sind großflächig und weitständig. Im unmittelbaren Bodenbildungsbereich treten Spalten bis zu einer Weite von 0,3 m auf.

Die geringmächtige Ausbildung (Mindestmächtigkeit 0,5 m) wird im Gegensatz zu der mächtigen Flutfazies (bis 28 m) als Normalfazies bezeichnet. Die große Mächtigkeit kommt durch die Eintiefungen in die Estherienschichten zustande (Erosionsrinnen). Die Normalfazies wird bei REIFF (1938) als "Ausuferungsfazies" beschrieben. In der Normalfazies wird der Schilf-

sandstein oft übersehen. Teilweise ist in der rezenten Morphologie keine Verebnungsfläche ausgebildet. In der Flutfazies bildet er meist Geländestufen im Hang.

An der Basis des Schilfsandsteines treten vereinzelt Quellen auf. Es handelt sich hier zum Teil um sulfathaltiges Wasser. Der Sulfatgehalt kann von den Gipseinlagerungen an der Basis der überlagernden Unteren Bunten Mergel abgeleitet werden. Das Wasser sickert durch den Feinsandstein hindurch und tritt an der Grenze zu den Estherienschiefern als Schichtquelle aus.

Diese Schichten wurden mit keiner Bohrung anstehend erschlossen. Lediglich in der Bohrung BK 20 konnte eine abgeglittene Bank nachgewiesen werden. In Schürfen konnten im Hangschuttmaterial vereinzelt Bruchstücke nachgewiesen werden.

Über die Ablagerungsbedingungen berichten ausführlich BACHMANN, GWINNER & HINKELBEIN (1977); EISENHUT (1966); HAHN (1984); HELING (1965 und 1967); KRIMMEL (1980); LINCK (1949 und 1968); PATZELT (1964); THÜRACH (1888 und 1889); WURSTER (1964a, 1964b und 1972). Eine Diskussion kann entfallen.

### **5.2.9 Untere Bunte Mergel**

Eine weitere Untergliederung erfolgt hier, obwohl in der Geologischen Karte als km3u dargestellt. Im Gelände sind im Hangenden die Lehrbergschichten gut auszukartieren. Die Dunklen Mergel und die Roten Mergel sind teilweise gut zu erfassen. Bohrungen fanden in dieser Einheit nicht statt.

#### **5.2.9.1 Dunkle Mergel**

Es handelt sich hierbei um rote bis violette Ton- und Schluffsteine mit einem Feinsandanteil. An der Basis können Gipseinlagerungen vorkommen. Im Bereich westlich der Hunnenburg (GK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt RW 35 46 00. und HW 54 26 55.) wurde ein Fasergipshorizont (bis zu 20 cm mächtig), unmittelbar an der Oberfläche nachgewiesen. Hier kommt es auch immer wieder zu Hangrutschen, was durch das Vorhandensein dieses Gipses so nah an der Oberfläche erklärt werden kann. Gipsknollen, wie in der Erläuterung der Geologischen Karte von Murrhardt beschrieben, wurden im Gelände nicht beobachtet.

#### **5.2.9.2 Rote Mergel**

Die Roten Mergel (im Stuttgarter Raum auch "Rote Wand") bestehen aus roten zum Teil dolomitischen Ton- und Schluffsteinen. Untergeordnet kommen auch grüne Ton- und Schluffsteine vor. Dieser Farbumschlag geht in der Regel mit einem gewissen Sandanteil einher. Reine Mergelsteinbänke sind selten zu beobachten. Auf Gips weisen lediglich Lagen von weißen bis hellbraunen mehligem Auslaugungsrückständen (GAR) hin. Inwieweit es sich hier um begrenzte Einschaltungen handelt, oder um durchhaltende Bänke, kann nicht gesagt werden.

Auffallend sind eng begrenzte rote Bereiche zu den umgebenden grünen Schichten.

### **5.2.9.3 Lehrbergschichten**

Die Lehrbergschichten bilden den Abschluss der Unteren Bunten Mergel. Im Gelände sind drei harte Mergelsteinbänke zu beobachten. Typisch ist die Trockenrissbildung im oberen Bereich der Lehrbergbank. An diesen Trockenrissen kam es zur Abscheidung von Mangandendriten. Der untere Teil der Lehrbergschichten erscheint schaumig porös und besteht vorwiegend aus Schalenrümern. Die charakteristische helle Farbe und die oben genannten Kennzeichen erlauben es, diese Bank auch im Hangschutt eindeutig anzusprechen, und somit ihre Lage festzulegen. Lokal kann sie eine Verebnungsfläche ausbilden.

Hydrogeologisch sammelt sich Wasser an der Basis des Kieselsandsteines zu den Lehrbergschichten. Sind den einzelnen Bänken Ton- und Schluffsteine zwischengelagert, kann es zum Abgleiten von ganzen Schollen von Kieselsandstein kommen.

### **5.2.10 Kieselsandstein**

An der Basis des Kieselsandsteines sind gelbbraune, mittel- bis grobkörnige Sande zu beobachten. Teilweise kommen einzelne Schüttungskörper vor. Vereinzelt sind Kreuzschichtungen nachweisbar.

Einlagerungen von grünen Tonschmitzen oder glimmerreicherem Material kommen vor. Die Basis der harten Sandsteinbänke ist im Gelände relativ gut anhand der wulstigen Verwitterungsform zu verfolgen, während die Grenzziehung zu den Unteren Bunten Mergeln bei aufschlusslosem Gebiet erschwert ist, da es bereits noch im Horizont des Kieselsandsteins zu Wechsellagerung mit Ton- und Schluffsteinen kommt.

Bei RW 35 43 94. und HW 54 24 34. (GK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt) tritt der Kieselsandstein als entfestigter Mittelsand, knapp unterhalb der Grenze zu den Oberen Bunten Mergeln, auf. Er kann einfach abgegraben werden. Eine Schichtung ist hier nicht erkennbar.

Teilweise treten Löcher im Sandstein auf (Durchmesser bis 1 cm). Dies führte in Bayern zu der Bezeichnung Blasensandstein (Anlage 3.4). Diese Löcher lassen sich zwanglos durch das Herauswittern der Tonschmitzen, wie dies zum Teil vom Bearbeiter beobachtet wurde, erklären.

Vereinzelt versickert das heranströmende Oberflächenwasser von den Oberen Bunten Mergeln im Kieselsandstein. Teilweise ist auch zu beobachten, dass sich der ursprüngliche Wasseraustritt im Hangenden der Oberen Bunten Mergel befindet.

Würfelförmige Steinsalzpseudomorphosen wurden im Hangschutt unterhalb des Kieselsandsteins gefunden. Ihre Herkunft ließ sich nicht klären (vgl. HAGDORN & SIMON 1988).

Der Kieselsandstein wurde in keiner der hier beschriebenen Bohrungen durchteuft.

### **5.2.11 Obere Bunte Mergel**

Im Rahmen der Neugliederung (vgl. Anlage 3.3) des Mittleren Keupers wird der untere Teil zum Kieselsandstein und der obere Teil zum Stubensandstein gestellt. Für die Vergleichbar-

keit mit den bisherigen Veröffentlichungen und der Darstellung in der geologischen Karte wird diese Einheit hier beschrieben.

Die Oberen Bunten Mergel sind im Regelfall nicht gut aufgeschlossen. Es handelt sich um eine recht einheitliche Folge von Ton- und Schluffsteinen. Die beobachtete Farbe ist bei RW 35 44 055 und HW 54 24 365 (GK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt) graugrün und keineswegs bunt. Dies steht im Gegensatz zu den in den Erläuterungen zu EISENHUT (1971) beschriebenen recht einheitlichen rotbraunen Ton- und Schluffsteinen. Die dort beschriebene dünne Schichtung ("Schiefertone") kann auch in der graugrünen Abfolge beobachtet werden.

Weitere Angaben aus eigenen Beobachtungen können nicht gemacht werden.

## **5.2.12 Stubensandstein**

Der Stubensandstein wird im Raume Murrhardt nach der bisherigen Gliederung dreigeteilt. Auch diese Einheit unterliegt der stratigraphischen Neugliederung (BRENNER & VILLINGER, 1981). Eine ausführliche Darstellung liegt bei HAGDORN & SIMON (1988) vor.

Einzeldarstellungen liefern BRENNER (1973 und 1978), EISENHUT (1956, 1958 und 1967), GWINNER (1971), KRIMMEL (1980), LINCK (1946 und 1961), MÜLLER (1955), STOLL (1929), VOLLRATH (1928) und ZIMMERMANN (1953).

### **5.2.12.1 Unterer Stubensandstein**

Der Untere Stubensandstein wird aus harten Kalksandsteinen (Fleins) gebildet. Dieser Stein wurde an verschiedenen Stellen der Gemarkung Murrhardt abgebaut. Der Fleins-Horizont kann lokal zweigeteilt vorkommen. Meist ist der liegende Hauptfleins mächtiger ausgebildet als der hangende. Teilweise liegt der Hauptfleins nur als eine Wechsellagerung aus Mergel- und Tonsteinen mit zwischengeschalteten dünnen Kalksandsteinbänken vor.

Morphologisch bilden sich im Hangenden des Fleins Verebnungsflächen aus. An der Basis des Stubensandsteins sind vielfältige Quellaustritte zu beobachten. Vereinzelt werden diese Quellen noch heute zur Trinkwassergewinnung herangezogen.

An den Taloberkanten weiten sich die Klufflächen bis zu 0,5 m klaffende Spalten auf. Ob der Grund in der Lösung des kalkigen Bindemittels zu suchen ist, oder durch Hangabtriebskräfte hervorgerufen wird, kann nicht gesagt werden.

In mindestens einem rezenten Fall erfolgte ein plötzlicher Einbruch oberhalb des Unteren Stubensandsteins (Spechtshof RW 35 42 60. HW 54 29 35., TK 25 Blatt Nr. 6923 Sulzbach/Murr). Nach dem Einbruch war ein Hohlraum von ca. 2,4 m Tiefe und im Durchmesser von ca. 3,5 m entstanden. Auf dem Ackerboden war ein Loch von 1,0 m Durchmesser zu erkennen. Hier kann die Lösung des kalkigen Bindemittels als Erklärung herangezogen werden.

Verkieseltes Holz wird im Unteren Stubensandstein immer wieder angetroffen.

### **5.2.12.2 Mittlerer Stubensandstein**

Die Beschreibung des Mittleren Stubensandsteins erfolgt nach Literaturangaben, da diese Einheit schlecht aufgeschlossen ist. Die Morphologie ist in diesem Bereich meist unruhig und wellig. Die Gesteinsserie wird aus einer Wechsellagerung aus Ton-, Sand- und Mergelsteinen gebildet. Gelegentlich kommen nicht durchhaltende harte Horizonte vor. Insgesamt ist diese Einheit auf dem Gebiet der Stadt Murrhardt tiefgründig verwittert.

### **5.2.12.3 Oberer Stubensandstein**

Der Obere Stubensandstein ist die eigentliche Abfolge, die der ganzen Stufe den Namen gab. Es handelt sich hier um eine relativ einheitliche Folge von bindemittelarmen Grobsandsteinen, die früher als Streusand gewonnen wurden. Im oberen Bereich finden sich oft Pyritknollen. Auch Verfärbungen durch Eisen und Mangan sind zu beobachten.

### **5.2.13 Knollenmergel**

Der Knollenmergel ist im Bereich Murrhardt nur erschlossen, wenn er von Rät oder Lias geschützt ist. Das Gestein besteht aus rotbraunen bis violetten fast schichtungslosen Ton- und Mergelsteinen. Bei der Verwitterung zerfallen sie zu hochplastischen Tonen. Dies führt zu unruhiger Morphologie. Bei Zutreten von Wasser kann es zu Hangrutschungen kommen. Der Knollenmergel ist einer der bekanntesten Rutschhorizonte Süddeutschlands (Anlage 4.1).

Über den Knollenmergel, die Art der Rutschungen und ingenieurgeologische Bearbeitung berichten EINSELE & GIERER (1976), GEYER & GWINNER (1986), KLOPP (1957), KRAUSE (1966), LIPPMANN & ZIMMERMANN (1983), TRAUZETTEL (1962) und ZIEGLER (1985).

## **5.3 Oberer Keuper (Rät)**

Gelegentlich finden sich an der Obergrenze des Knollenmergels geringmächtige dunkelgraue dünnsschichtige Tone, die jedoch verrutscht sein können, und dann kaum von den hangenden Psilonotentonem zu unterscheiden sind. EISENHUT (1971) beschreibt im Bereich Kieselhof (Stadt Murrhardt) ein sicheres Rätvorkommen.

## **5.4 Jura**

Die Juravorkommen beschränken sich im Bereich Murrhardt auf den tektonisch tiefer liegenden Bereich der Neckar-Jagst-Furche und auf den südöstlichen Gemarkungsbereich um Kirchenkirnberg. Erhalten sind nur Schichten des Lias  $\alpha$ . Die ehemals überlagernden Schichten wurden abgetragen.

#### **5.4.1 Lias**

Der untere Teil des Lias  $\alpha$ , die Pylonotenschichten, bestehen überwiegend aus Tonen mit untergeordneten sandigen und kalkigen Anteilen. Die überlagernden Angulatenschichten zeigen in der Verwitterungszone einen zunächst gelben meist dünnplattigen Sandstein. Darüber folgen dunkelgraue dünnsschichtige Tonsteine, denen wiederum dickbankige Feinsandsteine folgen. Auf dem Blatt Murrhardt sind die Angulatenschichten nicht in ihrer Gesamtmächtigkeit erhalten.

#### **5.5. Kreide und Tertiär**

Am Ende des Jura wurde der beschriebene Raum Festland. Es erfolgte nun eine Abtragung. Durch den Einbruch des Oberrheintalgrabens im Tertiär wurde die Landschaft durch das Umprägen des Fluss-Systems nachhaltig verändert (Anlage 5.1). So tiefen sich die Wasserläufe in die zuvor überwiegend recht ausgeglichene Landoberfläche stark ein. Einher ging die Änderung der Fließrichtung von einer südöstlichen zu einer westlichen Richtung. Auch die Murr im Bereich westlich von Fornsbach macht hier einen scharfen Knick nach Westen (Anlage 1.1). Ausführlich wird die Veränderung des Fluss-Systems von SIMON (1988) dargestellt.

#### **5.6 Quartär**

Terrassenablagerungen lassen sich im Murrtal an zwei Schotterhorizonten belegen. Eine dritte Terrasse ist nicht sicher nachzuweisen. Bei der Erkundung des Baugebietes Diebsacker bei RW 35 42 919 und HW 54 27 726 wurde eine nur ca. 5 m über dem heutigen Talniveau liegende Terrasse in einem Schurf erschlossen.

##### **5.6.1 Talaue**

Die Talaue der Murr zeigt eine bis zu 13 m mächtige Talfüllung. Diese hohe Mächtigkeit für den Oberlauf der Murr ist wahrscheinlich nicht nur in der hohen Erosionsleistung der Murr und im Talzusub zu suchen, sondern auch in der Auslaugung der im Vorflutniveau liegenden Grundgipsschichten.

Die eigentlichen Talsedimente bestehen aus einer Wechselfolge von Kiesen, Sanden und Tallehmen. In diese können ganze Baumstämme eingelagert sein. Auch Schilffreste konnten in Teilbereichen beobachtet werden.

##### **5.6.2 Hangrutsche und Bergstürze**

Hangrutsche und Bergstürze sind an den Flanken des Murrtales zu beobachten. Die Bohrungen BK 19 und BK 20 erschließen vermutlich einen derartigen Hangrutsch. Bergstürze fanden im Bereich des Felsenmeeres (RW 35 43 35. und HW 54 26 20.) statt. Auch im Oberlauf der Murr konnte ein Bergsturz durch eine Bohrung nachgewiesen werden. Eine zeitliche Einstufung konnte nicht durchgeführt werden.

Auch heute ist nach starken Niederschlägen mit Bergrutschen zu rechnen (nachgewiesen Weihnachten 1993 und Frühjahr 1994). Teilweise ist die Hangbewegung auch an ein langsames Kriechen gebunden.

## **6 Gips und Anhydrit**

Wie aus der Schichtenbeschreibung hervorgeht, kommt Gips und Anhydrit immer wieder innerhalb der Keuperabfolge vor. Calciumsulfat tritt zum einen als dünner Plattengips von wenigen Zentimeter Mächtigkeit bis zu massiven Gipsgestein auf.

Einschaltungen als Linsen, Knollen oder weniger scharf begrenzte Gebilde kommen immer wieder vor. Auffällig ist das Vorhandensein von Fasergips senkrecht zur Schichtung. Dieser senkrecht verlaufende Fasergips muss als spätere Ausscheidung während der Diagenese betrachtet werden.

### **6.1 Auslaugung von Calciumsulfat**

Gips kommt im Arbeitsgebiet nur sehr selten an der Oberfläche vor. Ist dies dennoch der Fall, so ist zum einen das Wasserdargebot gering oder eine tektonische Störung führte zu einer Heraushebung des Gipses. Eine Untersuchung mit Hilfe von Wasserdurchlässigkeitstests (HEITFELD 1965, 1979 und HEITFELD & KOPPELBERG 1981) ist hier nicht sinnvoll möglich und wurde nicht angewandt.

Nicht immer können geoelektrische (Versorgungsleitungen) oder seismische Untersuchungen (Gebäudeschäden) zur Vorerkundung durchgeführt werden.

Um Aussagen zum möglichen Grad der Verkarstung der Grundgipsschichten zu treffen, wurden die vorliegenden chemischen Wasseranalysen aus allen bearbeiteten Bohrungen einheitlich umgerechnet und in Kurvendiagrammen dargestellt (Anlage 13.6 bis 13.8.). Hierbei wurden die einzelnen Parameter sowohl einzeln (Anlage 13.8) als auch gemeinsam dargestellt (Anlage 13.6 und 13.7). Die gemessenen Ergebnisse sind unter 7.1.3.2 und 7.2.3.2 erläutert.

## **7 Vorbemerkungen zur geologischen Bearbeitung und zur Darstellung in den Anlagen**

Es wurden von den 40 Bohrungen auf dem Gebiet der Stadt Murrhardt, die der Verfasser bearbeitet hat, nur 26 für die vorliegende Arbeit verwendet und dokumentiert. Diese Einschränkung wird für ausreichend gehalten, um eine Bearbeitung der gravimetrischen Untersuchungen durchzuführen. Dargestellt sind die Bohrungen, die unmittelbar im Bereich der gravimetrischen Messungen durchgeführt wurden oder in einer solchen Entfernung vom gravimetrischen Messnetz liegen, dass sie zur Interpretation der Gravimetrieergebnisse herangezogen werden können.

Ebenfalls wurden die 32 Schürfe, die der Verfasser auf dem Gebiet der Stadt Murrhardt aufgenommen hat, nicht detailliert dargestellt, da diese nur maximal 4 m unter Geländeoberkante (uGOK) reichten. Das gleiche gilt für die durchgeführten Rammkern- und Schlitzsondierungen.

Unter Punkt 5 (s.o.) wurde auf die gewonnenen Ergebnisse dieser hier nicht weiter aufgeführten Untersuchungen hingewiesen, sofern diese für die Erkenntnisse zur regionalen Geologie wichtig sind oder das Verständnis erleichtern.

Die Anlagen der geologischen Grunddaten (Anlage 9) sind für jede Bohrung in der Reihenfolge gleich aufgebaut und in der Anlage 8.1 erläutert. Es erfolgt zunächst die Beschreibung der Schichten nach DIN 4022 T 1 Ausgabe 1987 (Beispiel Anlage 8.2). Danach folgt eine Profildarstellung nach DIN 4023 Ausgabe 1984 der angetroffenen Schichten (Beispiel Anlage 8.3), teilweise wurden ähnliche Schichten zusammengefasst. Es wurde darauf verzichtet die einzelnen Wasserstände darzustellen. Aus Übersichtlichkeitsgründen wurde lediglich der höchste gemessene Grundwasserstand eingetragen. In der Beschreibung der einzelnen Bohrungen sind die unterschiedlichen Wasserstände aufgeführt. Die Zeichen nach DIN 4023 (1984) sind in Anlage 8.4 erläutert.

Wurde die Bohrung zu einer Grundwassermess-Stelle ausgebaut, so sind diese Beobachtungen in Anlage 9 aufgeführt (Beispiel Anlage 8.10 und 8.11).

Es folgt ein Kurvendiagramm (Beispiel Anlage 8.5), welches die Lagerung der Sedimente, deren Zustandsform, Wassergehalt, Farbe, Kalkgehalt, Manganoxidverfärbungen, FeOOH-Verfärbungen, organische Reste, Gips, Gipsauslaugungsreste (GAR, vgl. S. 3) und das Bohrverfahren darstellt. Die Angaben beruhen auf den Ergebnissen der Bohrungen und der Beschreibung des Bohrkernes. Dieses Kurvendiagramm wurde speziell für diese Arbeit entwickelt.

Im einzelnen wird mit der Kurve K 1 durch den Abstand zwischen Lagerungsdichte und Konsistenz ein optischer Abstand gewahrt, so dass sofort der Unterschied der klastischen Sedimente zwischen nicht bindigen und bindigem Material ins Auge fällt. Nach rechts nimmt der Grad der Festigkeit zu. Bei Fels wird unterschieden zwischen hart und klüftig. Hierbei werden auch kleine Auslaugungen unter der Rubrik klüftig eingetragen.

Treten engschichtige Konsistenzunterschiede auf, wie dies im Schichtenverzeichnis zum Beispiel mit weich bis halbfest für eine Schicht angegeben ist, so wurde die geringere Konsistenz dargestellt, da diese für den Verband verantwortlich ist.

Die Kurve K 2 zeigt den Wassergehalt des Bohrgutes. Dies ist nur möglich solange dieser nicht durch Zugabe von Wasser verfälscht ist. Eine Angabe muss bei Rotationskernbohrung demnach unterbleiben, da der primäre Wassergehalt nicht sicher festgestellt werden kann (Ausnahme BK 17, siehe dort).

Die Farben des Bohrgutes werden durch die Kurve K 3 dargestellt. Hier musste eine Beschränkung auf die wesentlichen Farben durchgeführt werden. So wurden zunächst ähnliche Farben zusammengefasst. Zum Beispiel wurde graugrün, d. h. überwiegend grau untergeordnet grün, mit grüngrau, entsprechend höherer grün Anteil und untergeordnet grau zu graugrün zusammengefasst. Dies bedeutet, dass eine Wertung des Farbanteiles, auf Grund der Farbreihenfolge, zugunsten einer übersichtlichen Gliederung, entfällt.

Auch werden bis auf dunkelgraugrün keine Dreifachangaben der Farbe angegeben. Es erfolgte eine Zusammenfassung zu den zwei Hauptfarben (hellrotbraun zu rotbraun). Letztlich wurden alle Farben mit einer Anzahl kleiner gleich 5 nicht extra aufgeführt. Die Möglichkeit diese Farben noch aufzuzeigen, ist durch die Angabe "andere Farbe" mit Angabe der Farbe im Diagramm gegeben.

Die Kurve K 4 zeigt die Verbreitung von kalkigen Partien an. Fehlt Kalk, so ist die Kurve nicht dargestellt. Das gleiche gilt sinngemäß für die Angaben Manganoxidverfärbungen, FeOOH-Verfärbungen und organische Reste. Die vergleichenden Anlagen 14.2 (Farbe des Bohrgutes) und 14.3 (Kalkgehalt) beruhen auf den Kurven K 3 und K4.

Die Kurve K 8 zeigt im Unterschied zu den übrigen Kurven nicht die Verbreitung von Gips auf, sondern markiert mit einem Dreieck das erste Auftreten von Gips in der beschriebenen Bohrung. Das Vorhandensein von Gipsauslaugungsresten (GAR) wird als Kurve dargestellt (analog zu K 4 bis K 7).

Das eingesetzte Bohrverfahren wird durch die Kurve K 10 dokumentiert. Es lässt Aussagen über die Festigkeit des Gebirges zu.

Die oben genannten Eigenschaften sind gegen die Tiefe der Bohrung am linken Rand des Diagramms und gegen die Höhe in Meter über Normal Null (NN) an der rechten Achse aufgetragen. Der Maßstab wurde so gewählt, dass alle hier beschriebenen Bohrungen im gleichen Maßstab für sich aufgetragen auf jeweils eine Seite passen. Die Genauigkeit der Eintragungen ist in der Regel auf 0,1 m genau durchgeführt, in Ausnahmen auf 0,05 m.

Die Kurven K 1 bis K 10 dienen sowohl der Beschreibung der einzelnen Bohrungen als auch der Vergleichbarkeit der Bohrungen untereinander in Abhängigkeit der NN-Höhe und des Einfallens der Schichten. Bei der Beschreibung der Bohrungen ist der Farbwechsel in den Mittelpunkt gestellt, da dieser am Bohrgut als erstes ins Auge fällt. Die vergleichende Interpretation ist unter 7.1.3 dargelegt.

Je nach Untersuchungsumfang folgt die Darstellung der Wasseranalyse im PIPER-Diagramm (Beispiel Anlage 8.6) und die notwendigen Umrechnungen in Tabellenform mit SCHOELLER-Diagramm (Beispiel Anlage 8.7). Parallel verlaufende Kurven im SCHOELLER-Diagramm bedeuten gleiche Ionenverhältnisse, unabhängig von den Konzentrationen. Die Berechnung des  $\text{HCO}_3^-$  - Gehaltes erfolgte aus dem m-Wert (Säurekapazität bis pH 4,3, siehe HÖLTING 1992). Nach dem Existenzdiagramm von  $\text{CO}_2$  und  $\text{HCO}_3^-$  ist dies nach HÜTTER (1992) möglich. Im Anschluss daran ist das Analyseergebnis in Tabellenform dargestellt (Beispiel Anlage 8.8). Werte, die die Grenzwerte nach der Trinkwasserverordnung (TVO) überschreiten, aber geogen bedingt sind, und unter diesem geogen bedingt erlaubten Grenzwert liegen, sind hellgrau unterlegt; wird auch dieser Wert überschritten, so ist er schwarz hinterlegt. Gibt es keinen geogen noch erlaubten Wert, außer dem Grenzwert, so wird beim Überschreiten des Grenzwertes der Messwert gleich schwarz hinterlegt.

Bei Überschreiten eines Grenzwertes wird dies kurz erläutert. Die Aussagen, welche anhand der Parameter abgeleitet werden können, sind in Anlage 13.1 in Tabellenform dargelegt.

Der Umfang der Analysen schwankt je nach den Auflagen der zuständigen Behörde. Anthropogen bedingte Beeinflussung des Wassers wird als vorhanden oder nicht vorhanden in der Anlage 13.4 (Spalte Umwelt) dargestellt.

Die Analysen wurden vom Chemischen Labor Dr. Beuthe (Oppenweiler) für die Bohrungen BK 1 bis BK 17 und BK 24 bis BK 26 durchgeführt. Die übrigen Analysen erfolgten durch das Institut für chemische Analytik Dr. Bürger (Esslingen). Die Analysenmethode für die einzelnen Untersuchungen sind in Anlage 13.3 aufgeführt.

Bei jüngeren Bohrungen wurden die hydrophysikalischen Parameter bei der Probennahme durch den Bearbeiter ermittelt (BK 20, BK 22 und BK 23). Ist dies durchgeführt, so ist dies in Anlage 9 hinter der Tabelle mit den Messwerten der chemischen Analyse aufgeführt (Beispiel Anlage 8.9).

Als letztes sind die bodenmechanischen Analysen dargestellt (Beispiel Anlage 8.12), wobei zunächst die Ergebnisse der Sonderproben nach DIN 4021 Ausgabe 1990 (Güteklasse 1) aufgeführt werden und dann die Ergebnisse der gestörten Proben folgen.

Die bodenmechanischen Untersuchungen wurden für die Bohrungen BK 3 und BK 4 vom Ingenieurbüro Voigtmann (Winnenden) durchgeführt. Die Rahmenscherversuche (Beispiel Anlage 8.13) an vier Proben wurden von der Firma Waschek (Günzburg) ausgeführt. Die restlichen bodenmechanischen Untersuchungen wurden vom Büro Geologischer Daten Service (Rosengarten-Rieden) durchgeführt und hier zum Teil vom Verfasser selbst. Die einschlägigen DIN-Normen wurden hierbei beachtet.

Insgesamt wurden 46 Bodenproben untersucht, davon 25 ungestörte Proben. Die Ergebnisse sind bei den entsprechenden Bohrungen erläutert bzw. als Gesamtdarstellung der ungestörten Proben in der Anlage 12 dargestellt. Die ausführliche Auflistung der Ergebnisse erfolgt in der Anlage 9 bei den entsprechenden Bohrungen. Der Umfang der bodenmechanischen Untersuchungen wurde unter Kostengesichtspunkten festgelegt. Das heißt, dass nicht immer alle, die auf dem Formular vorgesehenen Angaben (z.B. fehlendes Steifemodul, Korngröße etc), vorliegen.

Untersuchungen des Anhydritgehaltes wurden am Institut für Mineralogie der TU Darmstadt (Herr Dipl.-Min. R. Apfelbach) durchgeführt (Beispiel Anlage 8.14).

Die Ergebnisse der Rahmenscherversuche und der röntgenographischen Untersuchungen folgen bei den entsprechenden Bohrungen als letzte; in dem der Bohrung zugehörigen Teil der Anlage 9.

Die Vergleiche der einzelnen Bohrungen erfolgt zu jedem Projekt bezogen. Anschließend werden alle Bohrungen und deren Ergebnisse übergreifend interpretiert und gegliedert. Es folgt ebenfalls eine statistische Auswertung aller Bohrungen am Ende der Einzelprojekte

## **7.1 Projekt Festhalle**

Die Stadt Murrhardt plante die Errichtung einer Festhalle. In den Jahren vor 1990 war dieses Vorhaben aus den verschiedensten Gründen immer wieder gescheitert. Als Standort wurde ein Grundstück in der Kaiser-Ludwig-Straße ins Auge gefasst (vgl. Anlage 7.1). Zu einem Architektenwettbewerb sollte bereits eine Baugrunduntersuchung zur Verfügung stehen. Da der Standort für eine Tiefgarage auch alternativ unter einem Schulhof oder einem bestehenden Sportplatz zu diesem Zeitpunkt denkbar gewesen wäre, wurden dort ebenfalls je eine Bohrung (BK 4 und BK 8) niedergebracht.

Für die erste Phase der Erkundung wurden insgesamt 8 Bohrungen abgeteuft. Sie ergaben Auskunft über die Beschaffenheit des Untergrundes. Ein Gründungsvorschlag wurde erarbeitet. Eine Bohrung wurde zu einem Pegel ausgebaut.

Der Architektenwettbewerb wurde von einem Vorschlag gewonnen, der eine Bebauung des Hanges vorsah. Auf Grund dieses Modells wurde eine zweite Bohrphase durchgeführt. Hierbei wurden die Bohrungen BK 9 bis BK 17 abgeteuft und die Bohrung BK 9 zu einem zweiten Pegel ausgebaut.

Der Umriss der Festhalle geht aus der Anlage 10.2.6 Blatt 1 hervor. Die Lage der Bohrungen BK 1 bis BK 3 und BK 5 bis BK 17 sind in der Anlage 10.2.6 Blatt 2 dargestellt. Die vermessungstechnischen Grundlagen für die aufgeführten Bohrungen sind in der Tabelle der Anlage 11.1 zusammengefasst.

### **7.1.1 Geologische Vorerkundung**

Das untersuchte Gebiet befindet sich am südlichen Rand der Talaue der Murr (TK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt Mitte des Bauvorhabens RW 35 42 090 und HW 54 27 040). Nach Süden erfolgt der starke Anstieg des Gipskeuperhanges. Natürliche Aufschlüsse sind nicht vorhanden. Anhand einer leichten Verebnung kann die Lage der Bleiglanzbank im Gelände vermutet werden (Höhe bei ca. 300 m NN).

Der Baumbewuchs im Hang zeigt typischen Säbelwuchs. Auch einzelne kleine Unebenheiten deuten auf schwache Rutschungen innerhalb der Hangschuttdecke hin.

Einzelne Gebäude im Umfeld zeigen starke Rissbildungen auf (alte katholische Kirche, errichtet nach 1945). Auffällig ist ferner, der um ca. 4 cm abgesackte Boden im Außenbereich an der neuen katholischen Kirche, die selbst auf Pfählen (Länge ca. 11 m) gegründet wurde, und auch nach 30 Jahren keine baulichen Schäden aufweist.

Im östlichen Bereich zieht eine nur zeitweise wasserführende kleine Klinge in das Grundstück. Der Wasserlauf quert das Baugrundstück in einem künstlich angelegten Graben, der nicht zum Untergrund abgedichtet ist.

### **7.1.2 Künstliche Aufschlüsse**

Zur Erkundung des Baugrundes in der Talaue und im Hang wurden insgesamt 17 Bohrungen mit einer Gesamtbohrstrecke von 307 m abgeteuft. Die Lage der Bohrungen zur Festhalle geht aus Anlage 10.2.2 hervor. Im Folgenden werden die einzelnen Bohrungen beschrieben. Es folgt neben der reinen lithologischen Ansprache des Bohrgutes auch eine ausführliche Darstellung der Wasserverhältnisse. Ferner werden die Kurven K 1 bis K 10 erläutert.

Auch die Wasseranalysen werden, sofern mehrere aus einer Bohrung vorliegen, interpretiert, andernfalls nur angesprochen. Die bodenmechanischen Ergebnisse werden nur kurz erläutert, wenn Besonderheiten hinsichtlich der DIN 1055 Teil 2 (1976) auftreten. Die Ergebnisse der Dichtebestimmungen werden bei den Berechnungen der Bougueranomalien benötigt.

#### **7.1.2.1 Bohrungsbeschreibungen (BK 1 bis BK 17)**

Die notwendigen Anlagen zur Bohrungsbeschreibung sind zu Beginn jeder einzelnen Bohrung angegeben. Es werden aus Gründen der Lesbarkeit nicht die einzelnen Seiten inner-

halb der Anlage angegeben, sondern nur die Anlagennummer. Die Beschreibung richtet sich weitestgehend nach dem Aufbau der Anlage 9, wie diese in Anlage 8.1 erläutert wurde.

Die Bohrung **BK 1** (Anlage 9.1) erschließt zunächst eine 0,7 m mächtige Auffüllung, bestehend aus Mineralbeton und Schluff in steifer Konsistenz. Tallehm steht bis in eine Tiefe von 4,1 m in steifer, weicher und breiiger Konsistenz an. Der Sandanteil in dieser Abfolge wechselt. Es folgen 2 m locker gelagerter, schluffiger zum Teil sandiger Kies. Darunter folgt 1,2 m kiesiger, breiiger Schluff, der Holzreste enthält. Bis 10,1 m uGOK folgen Gipsauslaugungsreste (GAR). Bis 11,3 m uGOK folgt Gips der Grundgipsschichten. Bis zur Teufe von 11,6 m folgt ein Ton- und Schluffstein, dem Gips zwischengelagert ist. Es folgt der teilweise zellige Grenzdolomit. Die zellige Struktur deutet auf wahrscheinlich ehemals primär vorhandenen Gips hin. Bis zur Endteufe von 13,7 m uGOK folgen die Ton-, Schluffsteine und Dolomite des Unteren Keupers.

Kurzprofil BK 1:

0,7 m	284,36 m NN	Auffüllung
7,3 m	277,76 m NN	Talfüllung
10,1 m	274,96 m NN	GAR
11,6 m	273,46 m NN	Grundgipsschichten
13,7 m	Endteufe	Unterer Keuper

Der erste Gips wurde bei 7,8 m uGOK nachgewiesen. Er lag somit innerhalb der GAR.

Der erste Wasserzutritt erfolgte bei ca. 3 m uGOK und das Wasser stieg binnen 1 Stunde auf 1,98 m uGOK an. Wegen des Arbeitsendes konnte nicht länger der Anstieg des Wassers beobachtet werden. Der zweite Wasserzutritt trat bei 11,2 m uGOK zu und das Wasser stieg in 15 Stunden auf 1,3 m uGOK an, dies war gleichzeitig der höchste gemessene Wasserstand. Aus dem zuerst angetroffenen Wasserleiter wurde eine Wasserprobe gewonnen. Nach Absperren des Talauenwasserleiters und weiterem Vertiefen wurde aus dem Bereich des Grundgipses eine weitere Wasserprobe gewonnen. Bei der Tiefe der Wasserzutritte muss berücksichtigt werden, dass der Schluff relativ langsam das Wasser weiterleitet und somit einen tieferen Wasserzutritt vorspiegelt. Aus der Feuchte des Bohrgutes dürfte der Wasserzutritt bereits ab 1,7 m uGOK erfolgt sein. Wasserverluste im Bereich der Rotationskernbohrung traten keine auf.

Der erste Farbwechsel im Anstehenden erfolgt bei 1,4 m uGOK. Er geht einher mit einer Konsistenzänderung. Das Gleiche trifft für den nächsten Farbwechsel bei 2,0 m uGOK zu. Die folgenden Zustandsformänderungen schlagen sich in keiner Änderung eines anderen ausgewerteten Parameters nieder.

Die Farbänderung bei 4,1 m uGOK stimmt mit einer Änderung der Zustandsform überein. Das Auftreten von organischen Resten schlägt sich nicht in einer Farbänderung nieder; jedoch erfolgt ein Übergang von nichtbindigem zu bindigem Material. Das Ende der organischen Beimengungen wird bei 7,3 m uGOK erreicht. Es tritt ebenfalls bei dieser Tiefe ein Farbwechsel auf. Der folgende Farbwechsel bei 8,2 m uGOK schlägt sich in keiner Änderung eines anderen Parameters nieder.

Die Änderung der Farbe bei 9,0 m uGOK geht einher mit einer Zustandsform- und Wassergehaltsänderung. Die folgende Änderung des Wassergehaltes zieht eine Änderung der Zustandsform mit sich. Die Farbwechsel bei 11,5 m und 13,3 m uGOK korrelieren mit einer

Änderung der Zustandsform. Dazwischenliegende Farbwechsel bleiben ohne Auswirkungen auf die übrigen Parameter.

Nur in einem Fall ist eine auffällige Korrelation zwischen Wassergehalt und Zustandsform nachzuweisen (9,0 m bis 9,2 m uGOK).

Die Wasseranalyse BK 1 W 1 ergab ein normal erdalkalisches Wasser, hydrogenkarbonatisch-sulfatisch (Feld B) nach FURTAK & LANGGUTH (1967). Die sensitiven Parameter zeigen keine Auffälligkeiten. Der Wert für den spektralen Absorptionskoeffizienten bei 436 nm (SAK-436) wird nach TVO (Ausgabe 1990) überschritten, ebenso der Gehalt an Mangan.

Besonderheiten sind der niedrige Sulfatgehalt, verbunden mit einem niedrigen Calciumgehalt, und der geringen Gesamthärte. Der hohe Sauerstoffgehalt ist ebenfalls auffällig, wie die geringe Leitfähigkeit. Diese Angaben zeigen, dass das oberflächennahe Wasser sich nicht mit Wasser aus den Grundgipsschichten vermischt hat.

Die Wasseranalyse BK 1 W 2 ist durch die Entnahme aus der Tiefe als normalerdalkalisches überwiegend sulfatisches Wasser anzusprechen. Die Farbe (sensitiver Parameter) ist gelbstichig. Dies kann aber durch den Absorptionskoeffizienten SAK-436 nicht bestätigt werden. Der Sauerstoffgehalt nimmt gegenüber der Wasserprobe BK 1 W 1 ab und zeigt somit eine Abnahme durch den Einfluss von Oberflächenwasser an.

Die hohen Werte von Calcium, Magnesium, Sulfat und besonders Mangan sowie der Leitfähigkeit lassen sich zwanglos als geogen erklären. Sie stammen aus den Grundgipsschichten und den zwischengelagerten Dolomiten. Auffällig ist der Nachweis von Umweltparametern (Anlage 13.4 Blatt 1). Trägt man beide Analysen in ein SCHOELLER- Diagramm ein, sieht man sofort die Verschiedenartigkeit der beiden Wasserproben aus Bohrung BK 1.

Bodenmechanische Untersuchungen wurden bei dieser Bohrung nicht durchgeführt.

Die Bohrung **BK 2** (Anlage 9.2) zeigt bis in eine Tiefe von 0,8 m uGOK eine Auffüllung. In die steifen, überwiegend weichen und breiigen Tallehme ist zwischen 3,6 m uGOK und 4,7 m uGOK ein locker gelagerter Sand zwischengelagert. Holzreste sind bis 4,7 m uGOK nachweisbar. Die Tallehme werden bei 9,5 m uGOK von den weichen und breiigen GAR, in einer Mächtigkeit von einem Meter, abgelöst. Bis 11,6 m uGOK folgen die Grundgipsschichten als Wechsellagerung zwischen Ton-, Schluffstein und Gips. Der zunächst erbohrte Gips zeigt sich kompakt während er mit zunehmender Tiefe zellig wird.

Die folgenden Unteren Keuper-Schichten weisen ebenfalls noch Gipslagen und -linsen auf. Hierbei handelt es sich nur zum Teil um Fasergips.

Kurzprofil BK 2:

0,8 m	284,19 m NN	Auffüllung
9,5 m	275,49 m NN	Talfüllung
10,5 m	274,49 m NN	GAR
11,6 m	273,39 m NN	Grundgipsschichten
14,0 m	Endteufe	Unterer Keuper

Bei 9,5 m uGOK tritt der erste Gips auf. Er lag somit noch innerhalb der GAR.

Der erste Grundwasserzutritt erfolgte ab 2,5 m uGOK. Der Wasserspiegel stand nach Arbeitsende bei 0,88 m uGOK. Der zweite Wasserzutritt erfolgte bei ca. 12,0 m uGOK. Nach Arbeitsende wurde ein Wasserspiegel von 1,03 m uGOK gemessen. Beim Erreichen des Grenzdolomits tritt die zur Spülung verwendete Luft in das Nebengestein über. Dies ist ein Hinweis auf Spalten im Untergrund, die über eine gewisse Strecke miteinander in Verbindung stehen. An der Oberfläche konnte ein mögliches Aufsteigen von Luft nicht festgestellt werden.

Der erste Farbwechsel bei 1,6 m uGOK korreliert sowohl mit einem Wechsel des Wassergehaltes als auch mit einer Zustandsänderung. Der nächste Farbwechsel bei 2,5 m uGOK schlägt sich in der Änderung der Zustandsform nieder. Gleichzeitig treten organische Beimengungen auf. Bei 3,6 m uGOK tritt sowohl ein Farbwechsel als auch eine Zustandsänderung auf.

Das Fehlen organischer Reste korreliert lediglich mit dem Übergang von nicht bindigem zu bindigem Material. Die Zustandsformänderungen bis 10,2 m uGOK und der Farbwechsel bei 8,9 m uGOK schlagen sich in keiner Änderung eines anderen dargestellten Parameter nieder. Folgende Farbwechsel korrelieren bis zur Endteufe von 14,0 m uGOK: 10,2 m, 11,6 m und 12,1 m uGOK. Die übrigen Wechsel der Farbe oder der Zustandsform können bei keinem anderen Parameter nachvollzogen werden.

Die durchgeführte Wasseranalyse ergab ein normal erdalkalisches überwiegend sulfatisches Wasser (Feld C) nach FURTAK & LANGGUTH (1967).

Das Überschreiten der Grenzwerte der TVO (1990) für Calcium, Magnesium, Mangan und Sulfat sowie der Leitfähigkeit lassen sich zwanglos als geogen erklären. Sie stammen aus den Grundgipsschichten und den zwischengelagerten Dolomiten. Die Konzentration der Chloridionen deutet hier auf eine anthropogene Belastung hin. Dies wurde auch durch die Analyse auf Umweltparameter bestätigt (Anlage 13.4 Blatt 1). In diesem Zusammenhang ist ebenfalls der im Vergleich zu den anderen Bohrungen erhöhte AOX-Wert (AOX: adsorbierbare organische Halogenverbindungen) zu sehen.

Auffällig ist der hohe Sauerstoffgehalt des Wassers und der relativ geringe Mangangehalt, obwohl der Grenzwert für Mangan der TVO überschritten wird.

Bodenmechanische Untersuchungen wurden bei dieser Bohrung nicht durchgeführt.

Die Bohrung **BK 3** (Anlage 9.3) weist unter einer 0,6 m mächtigen Auffüllung weiche bis steife Tallehme bis 3,0 m uGOK auf. Darunter folgt bis 5,3 m uGOK locker gelagerter Talsand und Talkies. Es folgt weiter 1,4 m Tallehm mit wechselnder Konsistenz. Bis 11,1 m uGOK liegen die weichen GAR vor. Vereinzelt ist harter Ton- und Schluffstein eingeschaltet. Massiver Gips über eine größere Mächtigkeit ist nicht zu beobachten. Die Grundgipsschichten weisen an der Basis 0,4 m Ton- und Schluffstein auf. Es folgt der hier ebenfalls zellige Grenzdolomit. Bis zur Endteufe von 15,6 m uGOK folgt Ton-, Schluffstein und Dolomit, darin ist Gips in Linsen, Knollen und Lagen zu beobachten. Dünne Gipsschichten bestehen aus Fasergips.

Kurzprofil BK 3:

0,6 m	284,3 m NN	Auffüllung
6,7 m	278,2 m NN	Talfüllung
11,1 m	273,8 m NN	GAR
11,5 m	273,4 m NN	Grundgipsschichten
15,6 m	Endteufe	Unterer Keuper

Der erste Gips trat bei 7,2 m uGOK auf. Er lag somit innerhalb der Gipsauslaugungsreste (GAR).

Der erste Grundwasserzutritt erfolgte ab 2,0 m uGOK. Der Wasserstand stieg auf 1,25 m uGOK an. Ein zweiter Wasserzutritt war bei 7,5 m uGOK zu beobachten. Innerhalb der GAR stieg die zur Spülung verwendete Luft nicht mehr im Bohrloch auf. Dies erfolgte in einer harten Ton- und Schluffsteinschicht und ist als Hinweis auf die Klüftigkeit zu werten, die auch im Bohrkern festgestellt wurde. Dieser Abschnitt musste als Rotationskernbohrstrecke durchteuft werden.

Der Gehalt an organischen Resten schlägt sich in keiner Änderung eines anderen Parameters nieder. Bei 2,0 m uGOK korreliert deutlich der Wassergehalt mit der Zustandsformänderung. Der erste Farbwechsel tritt erst bei 3,0 m uGOK auf. Er korreliert mit der Änderung der Zustandsform.

Die beiden nächsten Farbwechsel bleiben ohne Auswirkung auf die übrigen dargestellten Parameter. Bei 6,7 m uGOK erfolgt neben dem Farbwechsel ein Wechsel in der Zustandsform. Gleichzeitig damit verbunden ist der Beginn des Auftretens von GAR. Der Farbwechsel bei 7,4 m und 8,8 m uGOK stimmt mit einer Änderung der Zustandsform überein. Die folgenden zwei Farbwechsel schlagen sich nicht in einem Wechsel eines anderen Parameters nieder.

Zwischen 11,1 m und 12,7 m uGOK korreliert jeder Farbwechsel mit einer Änderung der Zustandsform. Darunter tritt keine Korrelation bis zur Endteufe von 15,6 m uGOK auf.

In dieser Bohrung korrelieren in großen Teilen die Farb- und Zustandsformwechsel.

Wasserproben wurden nicht analysiert.

Es wurden zwei Sonderproben gewonnen und bodenmechanische Parameter bestimmt. Diese Proben wurden nicht im Labor des Büros Geologischer Daten Service (Rosengarten-Rieden) untersucht. Weil die Korndichte nur abgeschätzt wurde, kann keine Probe erschöpfend interpretiert werden. Die Angaben für die Wichten nass, unter Auftrieb und Trockenwichte liegen oberhalb der restlichen Proben zur Festhalle.

Der Porenanteil und die Porenzahl liegen deutlich niedriger als die übrigen Angaben zu diesen Parametern zum Projekt Festhalle. Die Zustandszahl weist den höchsten Wert zum Projekt Festhalle auf. Das Setzungsverhalten ist das geringste der untersuchten Proben (Anlage 12.2).

Die Bohrung **BK 4** (Anlage 9.4) liegt außerhalb des eigentlichen Bauvorhabens. Sie sollte eine Übersicht über die geologischen Verhältnisse unter dem angrenzenden Schulhof liefern, da es denkbar gewesen wäre, hier eine Tiefgarage zu errichten. Unter der Asphaltdecke folgt bis 1,2 m uGOK eine Auffüllung. Bis zu einer Tiefe von 7,6 m uGOK steht steifer bis breiiger

Tallehm an, der lediglich zwischen 3,1 m bis 3,7 m uGOK von Talsand unterbrochen ist. Darunter folgen 0,4 m harter Gips. Bis zu einer Tiefe von 11,5 m uGOK liegen die GAR vor. Die Grundgipsschichten schließen an der Basis mit einem 0,4 m mächtigen Ton- und Schluffstein ab. Der Grenzdolomit beinhaltet hier noch seine Gipsknollen.

Die folgenden Schichten des Unteren Keupers zeigen zunächst noch eine Wechsellagerung von Dolomit, Gips und Tonstein auf. Durch die Auslaugungen in diesem Bereich liegt das Bohrgut als Pseudogeröll vor. Der anschließende Ton- und Schluffstein ist hart und weist keinen Gips auf.

Kurzprofil BK 4:

1,2 m	284,21 m NN	Asphaltdecke, Auffüllung
7,6 m	277,81 m NN	Talfüllung
11,5 m	273,91 m NN	GAR
11,9 m	273,51 m NN	Grundgipsschichten
14,0 m	Endteufe	Unterer Keuper

Der erste Gips trat bei 7,6 m uGOK auf. Dieser harte Gips liegt somit über den eigentlichen GAR. Dies ist als Hinweis zu werten, dass noch größere harte Gipspartien, oder auch möglicherweise zusammenhängendes Gipsgestein, in den GAR vorliegen können.

Der Grundwasserzufluss erfolgt etwa bei 4,0 m uGOK im Bereich des Talsandes. Er stieg dann bis Arbeitsende auf 1,65 m uGOK an. Ein weiterer Anstieg erfolgte bis 1,49 m uGOK nach Fortsetzung der Arbeiten.

Der erste Farbwechsel unterhalb der Auffüllung korreliert bei 1,4 m uGOK mit einer Zustandsformänderung. Bevor der nächste Farbwechsel auftritt, treten Änderungen der Zustandsform auf. Der Wechsel der Farbe bei 3,7 m uGOK geht einher mit einem Wassergehalts- und Zustandsformwechsel. Die beiden folgenden Farbwechsel korrelieren mit einer Änderung der Zustandsform.

Erst der Farbwechsel bei 7,6 m uGOK korreliert wieder mit der Änderung der Zustandsform. Gleichzeitig ist bis zum nächsten Farbwechsel ein Kalkgehalt nachweisbar. Auch die Zustandsform ändert sich bei 8,0 m uGOK.

Bis zur Endteufe von 14,0 m uGOK korreliert der Farbwechsel bis auf einen Fall (bei 11,9 m uGOK) mit der Änderung der Zustandsform.

In dieser Bohrung korrelieren in großen Teilen die Farb- und Zustandsformwechsel.

Die erste Wasserprobe (BK 4 W 1) ergab ein normal erdalkalisches Wasser überwiegend hydrogencarbonatisch (Feld A) nach FURTAK & LANGGUTH (1967). Dies ist als Hinweis für das laterale Einsickern von Hangwasser zu deuten. Der Grenzwert für Mangan nach der TVO (Ausgabe 1990) wird überschritten. Auffällig ist die hohe Säurekapazität bis pH 4,3 (Anlage 13.1) und der hohe Chloridgehalt. Die daraus abgeleitete Vermutung einer anthropogenen Beeinflussung wurde durch die Analyse der Umweltparameter bestätigt (Anlage 13.4 Blatt 1).

Die tiefer genommene Wasserprobe (BK 4 W 2) liefert erwartungsgemäß ein normal erdalkalisches überwiegend sulfatisches Wasser (Feld C) nach FURTAK & LANGGUTH (1967). Die sensitiven Parameter Farbe und Trübung schlagen sich auch im SAK-436 (Anlage 13.1

und 13.2) nieder, der hier den höchsten gemessenen Wert aufweist. Auch die höchste Temperatur von 14,0 °C wurde hier gemessen.

Die hohen Werte von Calcium, Magnesium, Mangan und Sulfat sowie der Leitfähigkeit lassen sich zwanglos als geogen erklären (Grundgipsschichten und Dolomite). Die Analyse auf Umweltparameter konnte eine anthropogene Belastung nachweisen (Anlage 13.4 Blatt 1).

Trägt man beide Analysen in ein SCHOELLER-Diagramm ein, sieht man sofort die Verschiedenartigkeit beider Wasserproben.

Es wurden zwei Sonderproben gewonnen und bodenmechanische Parameter bestimmt. Als Besonderheit gegenüber den übrigen Proben tritt hier der höchste Wassergehalt für die Schrumpfgrenze auf (Anlage 12.1 Blatt 1, BK 4 S 1). Das Setzungsverhalten der Probe BK 4 S 2 ist stark ausgeprägt (Anlage 12.1, Blatt 4).

Die Bohrung **BK 5** (Anlage 9.5) wurde im Hang angesetzt. Unter einem Hanglehm von 2,5 m Mächtigkeit wurde fester Schluffstein erbohrt. Darunter folgt unverwitterter harter Ton- und Schluffstein.

Kurzprofil BK 5:

2,5 m	294,00 m NN	Hanglehm
8,8 m	287,70 m NN	Dunkelroter Mergel
11,2 m	Endteufe	Bochinger Horizont

Ein Wasserzutritt erfolgt bei ca. 4,0 m uGOK. Der Wasserstand wurde vor Absperrern des Wasserleiters mit 4,06 m uGOK gemessen.

Jeder Konsistenzwechsel äußert sich auch in einem Farbwechsel der Schichten. Beim Umrüsten auf Rotationskernbohrung trat harter Fels auf, der gleichzeitig einen Kalkgehalt aufwies.

Eine Wasseranalyse und bodenmechanische Untersuchungen wurden nicht durchgeführt.

Am Hangfuß wurde die Bohrung **BK 6** (Anlage 9.6) angesetzt. Sie zeigt unter einer dünnen Mutterbodenschicht bis 0,5 m uGOK eine Auffüllung. Bis 3,0 m uGOK folgen steife bis breiige Tallehme, die von einem 1,4 m mächtigen Talkies unterlagert werden. Es folgt bis 8,3 m uGOK Hanglehm. Erkennbar ist dieser anhand des Ausbleibens von Grau- und Brauntönen bei gleichzeitig vorhandenem Kalkgehalt. Unter dem Hanglehm folgen die GAR. Es folgen ab 9,3 m uGOK noch 2,5 m hartes Gipsgestein, das wieder unterlagert wird von einem harten Ton- und Schluffstein, dem untergeordnet Gips zwischengelagert ist. Der Grenzdolomit folgt bei 12,2 m uGOK. Ab 13,2 m uGOK folgt ein harter Ton- und Schluffstein.

Kurzprofil BK 6:

0,5 m	284,86 m NN	Auffüllung
4,4 m	280,96 m NN	Talfüllung
8,3 m	277,06 m NN	Hanglehm
9,3 m	276,06 m NN	GAR
12,9 m	273,16 m NN	Grundgipsschichten
13,3 m	Endteufe	Unterer Keuper

Der erste Gips trat innerhalb der Gipsauslaugungsreste (GAR) auf.

Zwei Wasserzutritte wurden während der Bohrarbeiten festgestellt (2,5 m und 8,4 m uGOK). Der höchste gemessene Wasserstand betrug 1,55 m uGOK.

Das Ende der Auffüllung bei 0,5 m uGOK macht sich durch einen Farbwechsel bemerkbar. Der zweite Farbwechsel bei 1,9 m uGOK geht einher mit einer Zustandsformänderung. Die dazwischenliegenden Wechsel der Zustandsform schlagen sich nicht in anderen Parametern nieder.

Die Wassergehalts- und Zustandsformwechsel bei 2,7 m uGOK sind nicht an einem Farbwechsel gebunden. Der Farbwechsel bei 4,4 m uGOK geht mit einer Zustandsänderung einher. Gleichzeitig kann ein Kalkgehalt nachgewiesen werden. Der bei 5,1 m uGOK zu verzeichnende Farbwechsel schlägt sich auch im Wechsel des Wassergehaltes nieder.

Bei 5,6 m und 6,4 m uGOK erfolgt jeweils neben einem Zustandsformwechsel auch ein Wechsel des Wassergehaltes. Bei 6,4 m uGOK hört auch der Kalkgehalt auf. Die Farbwechsel bei 8,3 m und 9,1 m uGOK korrelieren jeweils mit einer Zustandsformänderung. Gleichzeitig sind diese Tiefenangaben die Hangend- und Liegendgrenze einer kalkhaltigen Schicht.

Die restlichen Farbwechsel bis zur Endteufe von 13,3 m uGOK korrelieren mit keinem weiteren aufgezeichneten Parameter.

Bodenmechanische Untersuchungen wurden nicht durchgeführt.

Die Bohrung **BK 7** (Anlage 9.7) wurde im Bereich der kleinen östlichen Klinge angesetzt. Bis in eine Tiefe von 2,4 m uGOK steht steifer Tallehm an. Es folgt bis 6,1 m uGOK eine Hanglehmdecke von weicher bis steifer Konsistenz. Darunter folgt bis 10,4 m uGOK der Bochinger Horizont. Hier sind die ursprünglichen Ton- und Schluffsteine stark verwittert, jedoch ist zum Teil die primäre Schichtung noch erkennbar, und sie weisen eine weiche bis steife Konsistenz auf. Bis 13,5 m uGOK folgen die GAR mit halbfester bis breiiger Konsistenz. Bis zur Endteufe folgt eine Wechsellagerung von Gips, Ton- und Schluffstein, die in die Grundgipsschichten zu stellen ist.

Kurzprofil BK 7:

2,4 m	287,23 m NN	Tallehm
6,1 m	283,53 m NN	Hanglehm
10,4 m	279,23 m NN	Bochinger Horizont
13,5 m	276,13 m NN	GAR
15,2 m	Endteufe	Grundgipsschichten

Der erste Gips wurde mit der Hangendgrenze der GAR festgestellt.

Der erste Wasserzutritt trat bei 2,5 m uGOK auf. Ein Einpegeln war durch den Arbeitsablauf nicht gegeben. Der zweite Wasserzutritt erfolgte bei ca. 8,5 m uGOK auf. Der höchste gemessene Wasserstand wurde mit 5,22 m uGOK gemessen.

Mit dem Fehlen des organischen Gehaltes ändert sich auch die Farbe und der Wassergehalt. Der Farbwechsel bei 1,8 m und 2,4 m uGOK tritt mit dem Beginn und dem Ende der Manganoxidverfärbungen zusammen auf. Die folgende kalkige Schicht bis 3,1 m uGOK stimmt mit der Kurve für den Wassergehalt überein. Die Kurve des Wassergehaltes und der Zustandsform korrelieren bis zur Tiefe von 8,1 m uGOK. Der Farbwechsel bei 7,6 m uGOK fällt mit einer Änderung des Wassergehaltes und der Zustandsform zusammen, während der

Wechsel der Farbe bei 8,4 m uGOK nur mit dem Wechsel des Wassergehaltes übereinstimmt. Zwischen 8,4 m und 10,4 m uGOK fällt der Kalkgehalt mit zwei Farbwechseln zusammen. Bei 10,4 m uGOK tritt ein Farb- und Konsistenzwechsel ein, der mit dem ersten Auftreten von Gips und dem Einsetzen der GAR einhergeht. Eine gute Übereinstimmung der Kurven für die Zustandsform und den Farbwechsel bis 13,5 m uGOK ist augenscheinlich.

Bodenmechanische Untersuchungen wurden nicht durchgeführt.

Die Bohrung **BK 8** (Anlage 9.8) erschließt zunächst eine 0,6 m mächtige Auffüllung. Darunter folgt eine Wechsellagerung von steifen bis breiigen Tallehmen und locker gelagerten Talkiesen und -sanden bis zu einer Tiefe von 7,7 m uGOK. In diesen sind bis 3,8 m uGOK Holzreste eingelagert. Es folgen die GAR bis zu 10,7 m uGOK. Der Gips liegt in fester Form vor, wobei die einzelnen Gipssteine verbacken sind. Die Grundgipsschichten reichen bis 11,0 m uGOK. Der folgende Grenzdolomit erreicht hier eine Mächtigkeit von 0,9 m. Der obere Teil des Grenzdolomits besteht aus sandigem Tonstein und Dolomit, der sehr stark klüftig ist. Ein Kern konnte hier nicht gewonnen werden. Die Ansprache erfolgte anhand des Bohrkleins, welches beim Aufbohren durch die Spülung nach oben gelangte. Dies deutet wiederum auf Gipseinlagerungen im Grenzdolomit hin, die hier durch die Tallage stärker ausgelaugt sind. Auch innerhalb des folgenden Unteren Keupers wurde zwischen 12,6 m und 13,3 m uGOK kein Kern gewonnen. Hier deutet sich ebenfalls ein Gipsvorkommen in den Grünen Mergel an. Darunter folgt kompakter und harter Ton- und Schluffstein bis zur Endteufe von 13,4 m uGOK.

Kurzprofil BK 8:

0,6 m	284,25 m NN	Auffüllung
7,7 m	277,15 m NN	Talfüllung
10,7 m	274,15 m NN	GAR
11,0 m	273,85 m NN	Grundgipsschichten
13,4 m	Endteufe	Unterer Keuper

Der erste Gips trat bei 9,7 m auf und lag somit innerhalb der GAR.

Es erfolgte in dieser Bohrung nur ein Wasserzutritt bei ca. 1,5 m uGOK. Da die Bohrung zu einer Grundwassermess-Stelle mit Unterflurabschluss ausgebaut wurde, konnte während der Beobachtungsphase von 1990 bis 1992 dies als der niedrigste Wasserstand angenommen werden. Der höchste beobachtete Wasserstand lag bei 0,98 m unter der Pegelabschlusskappe der Firma Seba, gleich 283,73 m NN.

Der erste Farbwechsel im Anstehenden erfolgt bei 1,3 m uGOK. Er geht einher mit dem Ende der Manganfleckung, einem Wechsel des Wassergehaltes und der Zustandsform. Bis in eine Tiefe von 7,7 m uGOK bleiben die wenigen Wechsel in der Zustandsform ohne Auswirkungen auf den Verlauf der Kurve für den Wassergehalt und der Farbe.

Die Farbwechsel bei 7,7 m, 9,7 m, 10,7 m, 11,4 m und 13,3 m uGOK korrelieren mit Änderungen der Zustandsform. Andere Farbwechsel in diesem Bereich bleiben ohne Auswirkung auf die Zustandsform.

Die analysierte Wasserprobe BK 8 W 1 zeigt ein normal erdalkalisches Wasser überwiegend sulfatisch (Feld C) nach FURTAK & LANGGUTH (1967). Auffällig ist, dass der Grenzwert für die Farbe SAK-436 (Anlage 13.1 und 13.2) überschritten wird. Die hohen Werte von Cal-

cium, Magnesium, Mangan, Sulfat und der Leitfähigkeit lassen sich zwanglos als geogen bedingt bezeichnen.

Der Gehalt an Phosphor, im Vergleich zu den anderen Analysen lag etwas höher, jedoch noch weit unterhalb des Grenzwertes der TVO (Ausgabe 1990). Die Analyse auf Umweltparameter konnte eine anthropogene Belastung nachweisen (Anlage 13.4).

Bodenmechanische Untersuchungen wurden keine durchgeführt.

Die Bohrung **BK 9** (Anlage 9.9) wurde im Abstand von ca. 2,3 m von der Bohrung BK 2 durchgeführt und zum Pegel ausgebaut.

Unter einer 1,1 m uGOK mächtigen Auffüllung folgt bis zu einer Tiefe von 9,5 m uGOK eine Wechsellagerung von Tallehm, -sand und -kies. Auffällig sind hier die darin eingelagerten Gipsbrocken. Bis 11,5 m uGOK reichen die GAR. Im Bereich des Grenzdolomits tritt ein Kernverlust auf. Der gewonnene Grenzdolomit ist teilweise kavernös, was auf ausgelaugten Gips zurückgeführt werden kann. In den liegenden Ton- und Schluffsteinen ist immer wieder Gips eingelagert. Auffällig ist die rötliche Farbe des Gipses.

Kurzprofil BK 9:

1,1 m	283,88 m NN	Auffüllung
9,5 m	275,48 m NN	Talfüllung
11,5 m	273,48 m NN	GAR
14,0 m	Endteufe	Unterer Keuper

Grundgipsschichten konnten keine nachgewiesen werden. Der erste Gips trat schon innerhalb der Talablagerungen auf.

Der Wasserzutritt erfolgte bei ca. 2,0 m uGOK. Der höchste gemessene Wasserstand während der Bohrarbeiten betrug 1,14 m uGOK. Der höchste Wasserstand im Bohrloch betrug 0,93 m uGOK und lag somit bei 284,05 m NN.

Der erste Farbwechsel im Anstehenden erfolgt bei 1,7 m uGOK. Er fällt mit dem Ende der Manganoxidverfärbungen zusammen. Der letzte Wechsel im Wassergehalt bei 2,0 m uGOK drückt sich in keinem anderen Parameter aus. Bis 5,5 m uGOK erfolgen zwei Zustandsformänderungen, die sich in den anderen Parameter nicht bemerkbar machen.

Bis 7,0 m uGOK korreliert jeder Farbwechsel mit einer Zustandsformänderung. Der folgende Farbwechsel bei 7,6 m uGOK tritt ohne eine Änderung eines anderen Parameters auf. Bei 9,5 m uGOK erfolgt gleichzeitig eine Farb- und Zustandsformänderung. Die folgenden zwei Farbwechsel ziehen keine Änderung der Zustandsform mit sich. Der kurze Nachweis eines Kalkgehaltes zwischen 11,35 m und 11,5 m uGOK wird jeweils von einem Farbwechsel begrenzt.

Von den verbleibenden Farbwechsel bis zur Endteufe von 14,0 m uGOK korrelieren nur noch zwei mit einer Zustandsformänderung (11,5 m und 12,3 m uGOK). Der unruhige Verlauf der Farbkurve beruht auf dem Kernverlust im Grenzdolomitbereich.

Die analysierte Wasserprobe BK 9 W 1 zeigt ein normal erdalkalisches Wasser überwiegend sulfatisch (Feld C) nach FURTAK & LANGGUTH(1967). Auffällig ist, dass der Grenzwert für die Oxidierbarkeit überschritten wird. Dies deutet auf einen erhöhten organischen Gehalt im

Wasser hin. Die hohen Werte von Calcium, Magnesium, Mangan, Sulfat und der Leitfähigkeit lassen sich zwanglos als geogen bedingt bezeichnen. Weshalb der Eisenwert den Grenzwert der TVO (Ausgabe 1990) überschreitet, kann anhand des Einzelergebnisses nicht gesagt werden.

Die Analyse auf Umweltparameter konnte eine anthropogene Belastung nachweisen (Anlage 13.4 Blatt 1).

Bodenmechanische Untersuchungen wurde keine durchgeführt.

Die Bohrung **BK 10** (Anlage 9.10) wurde am Hangfuß im Bereich der kleinen östlichen Klinge angesetzt. Es wird zunächst eine 0,3 m mächtige Auffüllung erschlossen. Darunter folgt bis 3,6 m uGOK weicher bis breiiger Hanglehm. Es folgt ein größtenteils zu Schluff verwitterter Schluffstein. Jedoch liegt zwischen 4,0 m und 4,7 m uGOK ein verstürzter Ton- und Schluffstein vor, der zu Kies- bis Sandkorngröße verwittert ist. Die Ursache für diese Verstellung liegt in der darunter liegende Auslaugung der Grundgipsschichten. Ab 7,0 m uGOK folgen die Residualschichten des Grundgipses. Diese GAR weisen hier eine weiche Konsistenz auf. Ab 11,4 m bis 11,7 m uGOK steht hartes Gipsgestein an. Darunter folgt eine Wechselabfolge von Ton- und Schluffstein mit Dolomit von 0,7 m Mächtigkeit. Bis 12,7 m uGOK tritt ein Kernverlust auf. Bis 13,0 m uGOK folgt der Grenzdolomit. Bis zur Endteufe folgen die Schichten des Unteren Keupers in der Form von Ton-, Schluffstein und Dolomiten. Gips kommt bis ca. 16,5 m uGOK vor.

Kurzprofil BK 10:

0,3 m	285,30 m NN	Auffüllung
3,6 m	282,00 m NN	Hanglehm
7,0 m	278,60 m NN	Bochinger Horizont
11,4 m	274,20 m NN	GAR
12,3 m	273,30 m NN	Grundgipsschichten
18,6 m	Endteufe	Unterer Keuper

Der erste Gips trat im oberen Teil der GAR auf.

Der erste Wasserzutritt erfolgte bei ca. 2,3 m uGOK. Der zweite Wasserzutritt erfolgte bei ca. 10 m uGOK. Er stieg dann bis auf 2,13 m uGOK an. Aus beiden Wasserleitern wurde je eine Wasserprobe gewonnen.

Der erste Farbwechsel im Anstehenden erfolgt in 0,7 m uGOK. Er geht einher mit einer Wassergehaltsänderung. Der Kalkgehalt endet bei 1,6 m uGOK; gleichzeitig erfolgt ein Wechsel im Wassergehalt. Der folgende Farbwechsel bei 1,9 m uGOK korreliert mit einer Änderung der Zustandsform und des Wassergehaltes.

Die nächsten drei Farbwechsel bis 4,7 m uGOK stimmen jeweils mit einer Zustandsformänderung überein. Die nächsten drei Farbwechsel treten ohne Änderungen anderer aufgeführter Parameter auf. Ab einer Tiefe von 11,5 m uGOK bis zur Endteufe von 18,6 m uGOK ist die Korrelation zwischen dem Verlauf der Zustandsform und der Farbe wechselnd. Teilweise stimmen die Änderungen überein. Auffällig ist eine Schicht mit einem Kalkgehalt. Diese Schicht verursacht jeweils an der Hangend- und Liegendgrenze einen Wechsel der Farbe und der Zustandsform.

Die Analyse der Wasserprobe BK 10 W 1 zeigt ein normal alkalisches Wasser überwiegend hydrogencarbonatisch (Feld A) nach FURTAK & LANGGUTH (1967). Auffällig bei der Analyse sind die sensitiven Parameter für Farbe und Trübung. Dies mag mit einem erhöhten organischen Anteil zusammenhängen, auf den die Parameter Oxidierbarkeit und AOX hinweisen. Der erhöhte Mangangehalt kann geogen interpretiert werden, während der Eisengehalt in dieser Höhe in keiner anderen Wasserprobe auftritt, und eine Erklärung nicht gegeben werden kann, da auch keine Umweltparameter nachgewiesen werden konnten. Auffällig ist der lokal etwas höhere Nitratwert und Ammoniumwert. Dies kann mit der Haltung von Tieren im angrenzenden Schrebergartenbereich erklärt werden.

Die Wasserprobe BK 10 W 2 wurde aus größerer Tiefe gewonnen. Erwartungsgemäß handelt es sich um ein normal erdalkalisches Wasser überwiegend sulfatisch (Feld C) nach FURTAK & LANGGUTH (1967). Auffällig ist, dass die Farbe SAK-436 (Anlage 13.1 und 13.2) den Grenzwert überschreitet. Auch der Wert der Oxidierbarkeit übersteigt den Grenzwert der TVO (Ausgabe 1990). Dies ist möglicherweise auf den Gehalt an DOC (Dissolved Organic Carbon) zurückzuführen. Auffällig ist der nach wie vor erhöhte Gehalt an Ammonium. Hinzu kommt die Überschreitung des Grenzwertes von Nitrit.

Auffällig ist ebenfalls die niedrige Säurekapazität bis pH 4,3. Das Überschreiten der Grenzwerte für Calcium, Mangan, Sulfat und der Leitfähigkeit lässt sich hier zwanglos auf geogene Faktoren zurückführen.

Beim Vergleich beider aus der Bohrung BK 10 analysierten Wasserproben im SCHOELLER-Diagramm erkennt man sofort die Verschiedenheit der Wässer.

Das Steifemodul der Bodenprobe BK 10 S 1 weist eine hohe Setzungsrate auf. Die Korngrößenanalyse zeigt keine enge Verteilungskurve auf. Der festgestellte Wassergehalt ist der höchste in den Bohrungen Festhalle. Die Zustandsform ist demnach auch als breiig einzustufen. Der Porenanteil bzw. Porenzahl zeigen entsprechend hohe Werte auf.

Der festgestellte Reibungswinkel im Rahmenscherversuch beträgt  $22,07^\circ$  und eine Kohäsion von  $31,95 \text{ kN/m}^2$ .

Die Bohrung **BK 11** (Anlage 9.11) wurde im unteren Hangbereich angesetzt. Zuvor wurde ein Zugangsweg aufgeschoben. Der Ansatzpunkt liegt somit ca. 0,75 m unter dem ursprünglichen Gelände. Das abgeschobene Material bestand aus einer dünnen Mutterbodenschicht und Hanglehm. Die folgenden Meterangaben gehen von der neuen Geländeoberkante aus.

Der Hanglehm liegt bis 4,8 m uGOK in weicher bis halbfester Konsistenz vor. Darunter folgt eine Abfolge aus Schluff, der als Verwitterungsprodukt der ehemaligen Schluffsteine aufzufassen ist (Dunkelrote Mergel und Bochinger Horizont). Die Konsistenz ist steif bis überwiegend fest. Von 9,8 m bis 12,4 m uGOK liegen die GAR in halbfester bis weicher Konsistenz vor. Es folgt bis zu einer Tiefe von 15,0 m Gipsstein. Der Übergang zum Grenzdolomit ist nicht scharf zu ziehen, da eine zunehmende Dolomitisierung der Ton- und Schluffsteine zu beobachten ist.

In den Grenzdolomit sind von 15,6 m bis 15,9 m uGOK grauweiße Gipsknollen eingeschaltet. Der folgende Tonstein von 0,8 m Mächtigkeit zeigt noch geringe Gipseinschlüsse. Bis 17,0 m uGOK folgt ein klüftiger Tonstein, der an der Basis eine Fasergipslage aufweist. Bis zur Endteufe herrschen Tonsteine vor. Vereinzelt sind noch im weiteren Unteren Keuper rötliche Gipslinsen festzustellen.

Kurzprofil BK 11:

4,8 m	283,72 m NN	Hanglehm
6,1 m	282,42 m NN	Dunkelrote Mergel
9,8 m	278,72 m NN	Bochinger Horizont
12,4 m	276,12 m NN	GAR
15,3 m	273,22 m NN	Grundgipsschichten
18,8 m	Endteufe	Unterer Keuper

Der erste Gips trat an der Liegendgrenze der GAR auf.

Der einzige Wasserzutritt trat bei 11,7 m uGOK auf. Nach Ende der Bohrarbeiten pegelte sich der Wasserspiegel bei 8,7 m uGOK ein.

Der erste Farbwechsel korreliert mit keiner anderen Kurven. Der Farbwechsel bei 2,0 m uGOK ist gleichzeitig eine Änderung der Konsistenz und des Wassergehaltes. Gleichzeitig treten kalkige Partien auf. Der nächste Farbwechsel bei 3,3 m uGOK geht mit einem Konsistenzwechsel einher. Gleichzeitig ist ein Kalkgehalt nicht mehr nachzuweisen. Es treten nun Manganoxidverfärbungen auf, die bis zum Farbwechsel bei 4,8 m uGOK zu beobachten sind. Ein Konsistenzwechsel tritt bei dieser Tiefe ebenfalls auf.

Bei 5,7 m uGOK tritt neben dem Farbwechsel auch ein Wassergehalts- und Konsistenzwechsel auf. Das Bohrgut weist ab hier einen Kalkgehalt auf. Die nächsten Farbwechsel schlagen sich nicht in den anderen untersuchten Parametern nieder. Bei 6,8 m uGOK endet der Kalkgehalt; gleichzeitig ändert sich die Farbe und die Konsistenz. Bis 8,8 m uGOK ist keine Korrelation festzustellen. Die Farbwechsel bei 8,8 m und 9,8 m uGOK korrelieren mit einer Änderung der Konsistenz. Der Kalkgehalt ist ab 8,8 m uGOK wieder nachzuweisen. Ab 11,5 m uGOK tritt kein Kalkgehalt mehr auf. Gleichzeitig ändert sich die Farbe, Konsistenz und der Wassergehalt. Die Farbwechsel bei 12,0 m und 12,4 m uGOK dokumentieren sich ebenfalls mit einem Konsistenzwechsel. Die Liegendgrenze der GAR ist bei 12,4 m uGOK erreicht.

Mit zunehmender Tiefe ist nur ein Farbwechsel beim Einsatz des Rotationsbohrverfahrens festzustellen.

Die Wasseranalyse ergab ein erdalkalisches Wasser überwiegend sulfatisch (Feld C) nach FURTAK & LANGGUTH (1967). Auffällig ist lediglich die erhöhte Oxidierbarkeit. Die übrigen Parameter, die den Grenzwert der TVO (Ausgabe 1990) überschreiten (Magnesium, Mangan und Sulfat), können geogen erklärt werden.

Es wurden vier ungestörte Bodenproben gewonnen. Eine Probe wurde durch die Firma Waschek (Günzburg) in einem Rahmenscherversuch untersucht, der einen geringen Reibungswinkel von  $10,49^\circ$  liefert. Auffällig an den Bodenmechanikparametern ist die hohe Kornwichte der Probe BK 11 S 4. Auch ist bei dieser Probe der niedrigste Wassergehalt der Schrumpfgrenze zu beobachten. Der Wassergehalt an der Fließgrenze ist auffällig hoch für die Proben BK 11 S 1 und BK 11 S 4. Daraus lässt sich unmittelbar die erhöhte Plastizitätszahl für beide Proben herleiten.

Die Sättigungszahl ist für die beiden beschriebenen Proben ebenfalls der geringste aller untersuchter Bodenproben zum BV Festhalle.

Wie die Bohrung BK 11 liegt die Bohrung **BK 12** (Anlage 9.12) im Hangbereich. Unter einer dünnen Mutterbodenschicht, folgt bis in eine Tiefe von 2,3 m uGOK steifer Hanglehm. Darunter folgen die Verwitterungsprodukte der Schluffsteine der Dunkelroten Mergeln und des Bochinger Horizonts. Teilweise erkennt man noch die primäre dünne Schichtung. Das Material liegt in der Hauptsache als steifer bis fester Schluff vor. Auch innerhalb der Dunkelroten Mergel traten GAR als dünne Bänder auf. Die folgenden Schichten sind ebenfalls als Verwitterungsprodukt zu werten. Die bindigen Böden weisen eine steife Konsistenz auf.

Es folgen von 12,0 m bis 13,0 m uGOK Gips der Grundgipsschichten, der über eine Strecke von 0,4 m einen Kernverlust aufweist. Darunter folgen bis 13,9 m uGOK die weichen GAR. Bis 18,9 m uGOK steht der Gips der Grundgipsschichten an, der wiederum einen Kernverlust von 0,7 m aufweist.

Bis 19,7 m uGOK folgt der teilweise mit Gipslinsen durchsetzte Grenzdolomit. Auch die Grünen Mergel des Unteren Keupers weisen noch Gipslinsen und -lagen bis 22,1 m uGOK auf. Bis zur Endteufe von 22,8 m uGOK kommt kein Gips vor.

Kurzprofil BK 12:

0,1 m	292,14 m NN	Mutterboden
2,3 m	289,94 m NN	Hanglehm
8,3 m	283,94 m NN	Dunkelrote Mergel
12,0 m	280,24 m NN	Bochinger Horizont
13,0 m	279,24 m NN	Grundgipsschichten (tw. Kernverlust)
13,9 m	278,34 m NN	GAR
18,9 m	273,34 m NN	Grundgipsschichten (tw. Kernverlust)
22,8 m	Endteufe	Unterer Keuper

Der erste Gips trat unterhalb des Bochinger Horizontes auf. Die GAR sind in die bestehenden Grundgipsschichten zwischengeschaltet. Die Kernverluste innerhalb des Gipsgesteins und die dazwischen vorkommenden GAR weisen eine unregelmäßige Verkarstung nach.

Der erste Wasserzutritt erfolgte ab 3,6 m uGOK, wobei durch den Bohrfortschritt nicht ein Einpegeln abgewartet werden konnte. Der zweite Wasserzutritt folgte im Bereich der Rotationskernbohrung. Da hier keine Flowmetermessung erfolgte, kann nichts über die Tiefe des Wasserzutritts ausgesagt werden. Der höchste Wasserstand wurde während des Abteufens der Bohrung mit 7,5 m uGOK gemessen. Zuvor war das Wasser bei 8,1 m uGOK zugetreten, und stieg auf den genannten Wert an. Ob dies wirklich ein gespannter Wasserleiter ist muss auf Grund der Verschlechterung der Konsistenz bezweifelt werden, da der Zufluss in Sanden schneller erfolgt.

Der erste Farbwechsel bei 1,3 m uGOK fällt mit einer Änderung des Wassergehaltes und dem Ende der Manganoxidverfärbungen zusammen. Bei 2,3 m uGOK liegt der nächste Farbwechsel vor, der wieder mit einer Änderung des Wassergehaltes einhergeht. Gleichzeitig wird das Bohrgut kalkig. Bei 3,3 m uGOK erfolgt ebenfalls neben einem Farbwechsel eine Änderung des Wassergehaltes. Das Ende des Kalkgehaltes bei 4,3 m uGOK fällt ebenfalls mit einem Farbwechsel zusammen.

Der Farbwechsel bei 5,0 m uGOK geht einher mit einer Änderung der Zustandsform und dem Nachweis eines Kalkgehaltes. Bei 6,5 m uGOK erfolgt die Änderung der Farbe, der Konsistenz und des Wassergehaltes. Das gleiche Bild tritt bei einer Tiefe von 7,1 m uGOK auf, jedoch zusätzlich mit dem Ende des Kalkgehaltes. Der Zustandsformwechsel bei 8,3 m

uGOK fällt mit einem Wechsel der Farbe zusammen. Auch bei 9,5 m uGOK korreliert der Farbwechsel mit einem Zustandsformwechsel; gleichzeitig tritt ein Kalkgehalt auf. Erst bei 12,0 m uGOK korrelieren die Farbwechsel wieder mit der Konsistenzkurve auffällig bis in eine Tiefe von 18,9 m uGOK. Die dann folgenden Farbwechsel schlagen sich in keiner Änderung eines anderen ausgewerteten Parameters nieder.

Die Wasseranalyse ergab ein erdalkalisches Wasser hydrogencarbonatisch-sulfatisch (Feld B) nach FURTAK & LANGGUTH (1967). Auffällig ist lediglich die erhöhte Oxidierbarkeit, die sich möglicherweise auch im Überschreiten des Grenzwertes für die Farbe SAK-436 widerspiegelt (erhöhter organischer Anteil).

Es wurden drei ungestörte und zwei gestörte Bodenproben gewonnen. Auffällig bei der Korngrößenanalyse ist die große Spanne der festgestellten Korndurchmesser. Von den drei ungestörten Proben wies eine einen geringen Porenanteil bzw. Porenzahl auf. Eine ungestörte Probe wurde von der Firma Waschek (Günzburg) im Rahmenschergerät untersucht.

Die Probe BK 12 S 1 fällt durch geringe Wassergehalte an den Konsistenzgrenzen auf. Die Untersuchungen im Rahmenschergerät ergeben einen Reibungswinkel von 31,73°. Die Kohäsion liegt bei 14,46 kN/m<sup>2</sup> auf geringem Niveau.

Aus dieser Bohrung wurden ebenfalls durch röntgenographische Untersuchungen Angaben über den Gehalt an Gips und Anhydrit gewonnen (Probenbezeichnung DA im Schichtenverzeichnis). Der Anhydrit ist nahezu in Gips umgewandelt. Quellfähige Mineralien konnten keine nachgewiesen werden.

Bedingt durch das Anlegen eines Standplatzes für das Bohrgerät, befindet sich der Ansatzpunkt der Bohrung **BK 13** (Anlage 9.13) 1,0 m unter der ursprünglichen Geländeoberkante. Die Bohrung zeigt bis in eine Tiefe von 3,5 m uGOK Hangsedimente auf. Darunter folgen die Verwitterungsprodukte der Schluff- und Tonsteine der Dunkelroten Mergel. Die Konsistenz wechselt von weich bis fest. Mit zunehmender Tiefe geht der Verwitterungsgrad zurück. Die erbohrten Ton- und Schluffsteine zerfallen grusig und bröckelig. Teilweise sind GAR in dünnen Lagen zu beobachten. Ab 11,3 m uGOK folgt bis ca. 15,2 m uGOK der Bochinger Horizont. Die Grenzziehung ist durch die angetroffene wirre Lagerung nicht möglich. Die Konsistenz und der Wassergehalt ändern sich mit zunehmender Nähe zu den GAR von fest zu weich und von trocken zu nass. Die GAR stehen bis 18,0 m uGOK in steifer, weicher und zum Teil in breiiger Konsistenz an. Es folgen die Grundgipsschichten mit Ton-, Schluffsteinen und Gips. Der Gips kommt sowohl klüftig, angelaut, als auch hart und kompakt vor. Zwischengeschaltet kommen Partien von GAR oder Kernverlusten vor. Im oberen Teil des Grenzdolomits tritt ein Aufarbeitungshorizont auf. Hierbei handelt es sich um zerbrochenen Dolomit der wieder mit einem dolomitischen Bindemittel verkittet ist (brekziöse Struktur). Der Grenzdolomit zeigt in seinem unteren Bereich Gipslinsen auf. Bis zur Endteufe von 25,5 m uGOK tritt immer wieder Gips in Lagen oder Linsen auf. Fasergips ist auf senkrechten Klüften zu beobachten.

Kurzprofil BK 13:

3,5 m	292,10 m NN	Handlehm
11,3 m	284,30 m NN	Dunkelrote Mergel
15,2 m	280,40 m NN	Bochinger Horizont
16,5 m	279,10 m NN	GAR
22,8 m	272,80 m NN	Grundgipsschichten mit GAR und Kernverlusten
25,5 m	Endteufe	Unterer Keuper

Der erste Gips trat bei 16,5 m uGOK auf.

Deutliche Wasserzutritte waren während der Bohrarbeiten nicht festzustellen. Im Folgenden sind die Wasserstände bei erreichter Bohrtiefe aufgeführt, wie sie vor Beginn der Arbeiten morgens gemessen wurden:

Bohrtiefe 11 m uGOK	Wasserstand 8,2 m uGOK
Bohrtiefe 13 m uGOK	Wasserstand 4,9 m uGOK
Bohrtiefe 18,4 m uGOK	Wasserstand 13,2 m uGOK
Bohrtiefe 23,0 m uGOK	Wasserstand 11,95 m uGOK, Hilfsverrohrung 0-16,2 m
Bohrtiefe 25,5 m uGOK	Wasserstand 11,9 m uGOK, Hilfsverrohrung 0-18,4 m

Erst der dritte Farbwechsel bei 2,0 m uGOK korreliert mit anderen Parametern (Wassergehalt, Zustandsform). Das erste Auftreten eines Kalkgehaltes stimmt mit einer Zustandsformänderung und einer Zunahme des Wassergehaltes zu nass überein. Die Abnahme des Wassergehaltes bei 3,5 m und 3,8 m uGOK geht mit einer Verbesserung der Konsistenz einher (von breiig zu fest). Bei 3,5 m uGOK erfolgt ebenfalls ein Farbwechsel und bei 3,8 m uGOK hört der Kalkgehalt auf, um bei 4,0 m uGOK wieder einzusetzen.

Bei 4,5 m uGOK erfolgt ein Wechsel in der Farbe, Wassergehalt und Konsistenz. Bei dem Wassergehaltswechsel bei 4,7 m uGOK erfolgt ebenfalls ein Konsistenzwechsel und der Kalkgehalt ist nicht mehr nachweisbar. Schon bei 4,8 m uGOK erfolgt wieder ein Konsistenzwechsel, der jetzt mit einem Farbwechsel und dem Nachweis eines Kalkgehaltes einhergeht. Bei 5,2 m uGOK erfolgt neben einem Farbwechsel auch ein Konsistenzwechsel. Der Kalkgehalt ist ab 5,8 m nicht mehr nachweisbar; bei gleicher Tiefe erfolgt ein Farbwechsel und Wassergehaltsabnahme. Das Auftreten eines Kalkgehaltes bei 6,5 m uGOK korreliert mit einer Verbesserung der Konsistenz. Die Abnahme der Konsistenz bei 7,2 m uGOK von halbfest auf breiig geht einher mit einer Wassergehaltszunahme und einem Farbwechsel. Die Wassergehaltswechsel bei 7,9 m uGOK und 8,0 m uGOK äußern sich nicht in Änderungen anderer aufgeführter Parameter.

Ein Kalkgehalt konnte ab 8,5 m uGOK nicht mehr nachgewiesen werden; gleichzeitig ändert sich die Farbe und eine Zunahme der Konsistenz ist zu beobachten. Der enge Farbwechsel zwischen 7,9 m und 8,1 m uGOK schlägt sich nur zum Teil in der Konsistenz nieder. Ein Kalkgehalt ist ab 8,1 m uGOK wieder nachweisbar. Zwei Wechsel bei 9,7 m und 9,9 m uGOK treten bei den drei Parametern Konsistenz, Wassergehalt und Farbe auf. Der Farbwechsel bei 10,9 m uGOK geht einher mit dem Ende des Kalkgehaltes und des Wassergehaltes. Bei 11,3 m uGOK ist ein Kalkgehalt wieder nachweisbar. Es tritt ebenfalls ein Farb- und Wassergehaltswechsel auf.

Der Kalkgehalt ist bis 12,0 m uGOK nachzuweisen. Es ändern sich bei dieser Teufe ebenfalls die drei Parameter Konsistenz, Wassergehalt und Farbe. Bei 12,6 m uGOK tritt wieder ein Kalkgehalt auf und es ändern sich wiederum die drei vorgenannten Parameter. Der Farbwechsel bei 13,9 m uGOK tritt mit einer Änderung der Konsistenz und des Wassergehaltes auf. Die Abnahme des Wassergehaltes bei 14,5 m uGOK geht einher mit der Verbesserung der Konsistenz. Mit dem Auftreten der GAR ab 15,4 m uGOK geht ein Farbwechsel einher. Ab 16,0 m uGOK ist kein Kalkgehalt mehr nachzuweisen. Zwischen 16,0 m und 16,5 m uGOK liegt ein höherer Wassergehalt vor. Es folgt die Abnahme der Konsistenz. Bei 16,5 m uGOK tritt erstmals Gips auf, es erfolgt ein Farbwechsel und ein Kalkgehalt ist nachweisbar.

An der Basis der GAR bei 18,0 m uGOK erfolgt ein Wechsel von vier weiteren Parametern: Kalkgehalt, Farbe, Wassergehalt und Konsistenz. Der nächste Farbwechsel bei 18,3 m uGOK geht einher mit dem Wechsel der Zustandsform zu klüftig, einem Nachweis von Kalk und verursachte eine Änderung des Bohrverfahrens. Das Ausbleiben eines Kalkgehaltes bei 18,9 m uGOK geht einher mit einer Farbänderung und einem Zustandsformwechsel von klüftig auf hart.

Im weiteren Verlauf korreliert nur noch die Einschaltung von GAR gut mit einem Konsistenzwechsel. Der Verlauf der Kurve der Farbänderungen lässt sich nur bei 20,5 m und 22,8 m uGOK noch mit Änderungen anderer Parameter (GAR, Kalkgehalt) in Verbindung bringen.

Die Wasseranalyse der Wasserprobe BK 13 W 1 ergab ein normal erdalkalisches Wasser überwiegend hydrogencarbonatisch (Feld A) nach FURTAK & LANGGUTH (1967). Auffällig ist das Überschreiten des Grenzwertes für die Oxidierbarkeit und der Farbe SAK-436 nach TVO (Ausgabe 1990).

Insgesamt wurden fünf Bodenproben gewonnen, wobei drei Proben ungestört waren. Als Besonderheit tritt lediglich bei der BK 13 S 1 die hohe Sättigungszahl auf.

Die Ergebnisse des Rahmenscherversuches zeigen einen Reibungswinkel von 31,5° und eine Kohäsion von 54,87 kN/m<sup>2</sup> auf.

Unter einer 0,7 m mächtigen Mutterbodenschicht folgt in der Bohrung **BK 14** (Anlage 9.14) bis 2,6 m uGOK Hangschutt und -lehm. Darunter folgen die zum Teil zu Ton und Schluff verwitterten Ton- und Schluffsteine der Dunkelroten Mergel bis 8,2 m uGOK. Auffällig sind immer wieder vorkommende GAR. Die Zustandsform ist steif bis fest. Der Wassergehalt schwankt zwischen feucht und fast trocken. Darunter folgen verwitterte Ton- und Schluffsteine bis 9,2 m uGOK. Es folgt eine 0,2 m mächtige steife Ton- Schlufflage mit einem Anteil von 40% GAR. Darunter folgt bis 10,3 m uGOK ein halbfester Ton- und Schluff, der ein Verwitterungsprodukt der Ton- und Schluffsteine ist. Bis 11,9 m uGOK folgt ein Ton- und Schluffstein, der zu Sandkorngröße zerfällt.

Es folgen 4,3 m feuchte GAR von steifer Konsistenz. Darunter treten 1,2 m verstrüzte Ton- und Schluffsteine auf, die größtenteils zu steifen Ton und Schluff verwittert sind. Zwischengeschaltet sind GAR. Bis 18,0 m uGOK folgen weiche GAR mit Gips. Es folgt eine 0,1 m mächtige Dolomitlage. Es folgen weitere 0,3 m GAR und darunter 1,8 m Gips mit zwischenlagerten Ton- und Schluffsteinen. Bis 20,9 m uGOK folgt eine überwiegend aus Dolomit bestehende Wechsellagerung mit Ton- und Schluffsteinen. Bis 21,9 m uGOK folgt Gips, mit an der Basis zunehmenden Tonstein und Dolomit.

Bis 22,3 m uGOK folgt der Grenzdolomit, der hier im oberen Bereich einen brekziösen, primären Aufarbeitungshorizont aufweist. Die untere Partie weist Gipslinsen und Gipslagen auf. Bis zur Endteufe von 24,6 m uGOK folgen harte Tonsteine mit einzelnen rötlichen Gipslinsen bis zu einem Zentimeter Durchmesser.

Kurzprofil BK 14:

0,1 m	295,16 m NN	Mutterboden
2,6 m	292,66 m NN	Handlehm/-schutt
8,2 m	287,06 m NN	Dunkelrote Mergel
11,9 m	283,36 m NN	Bochinger Horizont
16,2 m	279,06 m NN	GAR

17,4 m	277,86 m NN	Grundgipsschichten
18,4 m	276,86 m NN	GAR
21,9 m	273,36 m NN	Grundgipsschichten
24,6 m	Endteufe	Unterer Keuper

Der erste Gips trat innerhalb der GAR bei 17,4 m uGOK auf. Die Wechselfolge GAR und Grundgipsschichten zeigen deutlich die unregelmäßige Verkarstung des Gipses in diesem Bereich des Hanges auf.

Deutliche Wasserzutritte waren während der Bohrarbeiten nicht festzustellen. Im Folgenden sind die Wasserstände bei erreichter Bohrtiefe aufgeführt, wie sie vor Beginn der Arbeiten morgens gemessen wurden:

Bohrtiefe 6,0 m uGOK	Wasserstand 4,93 m uGOK
Bohrtiefe 13,7 m uGOK	Wasserstand 13,87 m uGOK
Bohrtiefe 17,5 m uGOK	Wasserstand 13,80 m uGOK, Hilfsverrohrung 0-14,1 m
Bohrtiefe 18,6 m uGOK	kein Wasserstand, Hilfsverrohrung 0-18,6 m
Bohrtiefe 24,6 m uGOK	Wasserstand 22,07 m uGOK, Hilfsverrohrung 0-18,6 m

Mit Ende der Mutterbodenschicht bei 0,7 m uGOK ist eine Änderung der Zustandsform verbunden. Der nächste Farbwechsel bei 1,5 m uGOK geht mit einer Änderung des Wassergehaltes und der Zustandsform einher. Der Übergang zu einer lockeren Lagerung bei 2,0 m uGOK fällt mit dem Beginn des Kalkgehaltes zusammen; ein Farbwechsel oder Wassergehaltswechsel findet nicht statt.

Der Übergang zu bindigem Material bei 2,6 m uGOK spiegelt sich im Wechsel der Farbe und des Wassergehaltes wider. Der nächste Farbwechsel bei 3,6 m uGOK geht einher mit einer Änderung der Zustandsform. Die dünne schokoladenbraune Schicht bei 4,8 m uGOK macht sich nicht in einer Änderung des Wassergehaltes oder der Zustandsform bemerkbar.

Die Farbwechsel bei 5,0 m und 6,3 m uGOK sind jeweils mit einem Wassergehalts- und Zustandsformwechsel verbunden. Mit Ende des Kalkgehaltes bei 7,8 m uGOK ist eine Farbänderung und eine Änderung der Zustandsform verbunden. Die folgende Farbänderung bei 8,2 m uGOK korreliert mit keinem weiteren dargestellten Parameter. Von 9,0 m bis 9,2 m uGOK tritt wieder ein Kalkgehalt auf, der am Top mit einer Farb-, Wassergehalts- und Zustandsformänderung einhergeht. An der Basis korreliert das Ende des Kalkgehaltes nur mit einem Farbwechsel und einer Änderung der Zustandsform.

Der folgende Farbwechsel bei 10,3 m uGOK korreliert nur mit einer Zustandsänderung, während der Wechsel der Farbe bei 11,9 m uGOK neben der Änderung der Zustandsform auch mit dem Beginn der GAR einher geht. Der Farbwechsel bei 13,9 m uGOK fällt nur in etwa mit dem Beginn eines Kalkgehaltes bei 14,2 m uGOK zusammen. Ab 16,8 m uGOK konnte kein Kalkgehalt nachgewiesen werden. Dies korreliert mit einem Farbwechsel. Die Zunahme des Wassergehaltes bei 17,4 m uGOK und die Abnahme bei 18,0 m uGOK geht einher mit einer Zustandsformänderung.

Der folgende unruhige Verlauf der Kurve für die Farbänderung und Zustandsform korreliert recht gut. Der Kalkgehalt und die GAR sind an diese Farbwechsel gebunden. Ab 18,4 m uGOK lassen sich die Farbwechsel bis zur Endteufe von 24,6 m uGOK in der Kurve für die Zustandsform nicht mehr beobachten.

Die Wasseranalyse ergab ein erdalkalisches Wasser überwiegend sulfatisch (Feld C) nach FURTAK & LANGGUTH (1967). Auffällig ist die erhöhte Oxidierbarkeit, die sich möglicherweise auch im Überschreiten des Grenzwertes für die Farbe SAK-436 widerspiegelt (erhöhter organischer Anteil). Der Wert für SAK-254 (Anlage 13.1 und 13.2) weist den höchsten gemessenen Wert aller hier aufgeführten Wasserproben auf. Der Parameter AOX zeigt einen hohen Wert für den untersuchten Raum auf.

Der erhöhte Magnesiumgehalt, sowie das Überschreiten der Grenzwerte nach TVO für Mangan und Sulfat, sind geogen bedingt. Der Parameter Nitrit überschreitet den Grenzwert der TVO ebenfalls. Der Nitratgehalt ist für den Bereich Festhalle der zweithöchste. Der Grund ist möglicherweise in den, auf NN bezogen, höher liegenden bewirtschafteten Gärten zu suchen.

Bodenmechanische Untersuchungen wurden an zwei ungestörten und drei gestörten Proben gewonnen. Auffällig ist die hohe Sättigungszahl. Die beobachteten Setzungen im Oedometer der Probe BK 14 S 1 sind hoch, während die der Probe BK 14 S 2 gering sind.

Die Bohrung **BK 15** (Anlage 9.15) weist unter einer 0,4 m mächtigen Mutterbodenschicht bis zu 4,7 m uGOK Hanglehm von weicher bis halbfester Konsistenz. Darunter folgt bis 5,5 m uGOK halbfester, teilweise sandiger und kiesiger Schluff der Dunkelroten Mergel. Es handelt sich hierbei um Verwitterungsprodukte der anstehenden Schluffsteine. Der folgende Bochinger Horizont besteht ebenfalls aus Schluff und sandigen und kiesigen Beimengungen. Die Konsistenz nimmt mit zunehmender Tiefe von halbfest zu weich ab. Eine Wechselfolge aus GAR und Gipsstein der Grundgipsschichten folgt ab 9,0 m uGOK.

Der Grenzdolomit wird bei 12,4 m uGOK erreicht. Er weist noch Gipsknollen auf. Bis zur Endteufe von 15,8 m uGOK folgen Schluff- und Tonsteine des Unteren Keupers. Zwischengeschaltet in diese Folge sind Dolomite. Gips tritt als Fasergips und Gipslinsen auf.

Kurzprofil BK 15:

0,4 m	285,50 m NN	Mutterboden
4,7 m	281,20 m NN	Hanglehm
5,5 m	280,40 m NN	Dunkelrote Mergel
9,0 m	276,90 m NN	Bochinger Horizont
12,4 m	273,50 m NN	Wechselfolge GAR, Grundgipsschichten
15,8 m	Endteufe	Unterer Keuper

Der erste Gips trat unterhalb des Bochinger Horizontes auf. Es liegt hier eine Wechselfolge von Gipsstein und GAR vor.

Deutliche Wasserzutritte waren während der Bohrarbeiten unterhalb ca. 5 m uGOK nicht festzustellen. Der erste Wasserzutritt erfolgte an der Basis des Hanglehmes. Im Folgenden sind die Wasserstände bei erreichter Bohrtiefe aufgeführt, wie sie vor Beginn der Arbeiten morgens gemessen wurden:

Bohrtiefe 5,3 m uGOK	Wasserstand 1,20 m uGOK
Bohrtiefe 11,0 m uGOK	Wasserstand 5,50 m uGOK, Hilfsverrohrung 0 - 8,4 m
Bohrtiefe 14,2 m uGOK	Wasserstand 2,10 m uGOK, Hilfsverrohrung 0-12,3 m
Bohrtiefe 15,8 m uGOK	Wasserstand 2,30 m uGOK, Hilfsverrohrung 0-12,3 m

Erst der Farbwechsel bei 2,0 m uGOK schlägt sich in einer Änderung der Konsistenz nieder. Der Beginn eines Kalkgehaltes konnte ab dieser Tiefe nachgewiesen werden. Der nächste Farbwechsel bei 2,3 m uGOK geht einher mit einer Änderung der Zustandsform, des Wassergehaltes, dem Ende des Kalkgehaltes und dem Beginn von FeOOH-Flecken.

Bei 3,6 m uGOK erfolgt gleichzeitig ein Farbwechsel und eine Änderung der Zustandsform. Der Wassergehaltswechsel bei 6,2 m uGOK geht einher mit einer Änderung der Zustandsform. Die Farbwechsel zwischen 9,0 m und 10,9 m uGOK korrelieren mit Änderungen der Zustandsform. Weitere Korrelationen zwischen Zustandsform und Farbe sind bis zur Endteufe nicht festzustellen.

Die Wasserprobe BK 15 W 1 ergab ein normal-erdalkalisches Wasser überwiegend hydrogencarbonatisch (Feld A) nach FURTAK & LANGGUTH (1967). Auffällig ist lediglich das Überschreiten der Grenzwerte für die Oxidierbarkeit und Mangan nach TVO (Ausgabe 1990). Der sehr hohe Wert für Mangan kann nicht erklärt werden.

Die aus größerer Tiefe gewonnene Wasserprobe zeigt ein normal erdalkalisches Wasser überwiegend sulfatisch (Feld C) nach FURTAK & LANGGUTH (1967). In dieser Wasserprobe wurde der höchste beobachtete Borwert im Stadtbereich der Stadt Murrhardt nachgewiesen. Der Chloridgehalt weist im Gegensatz zu den anderen Bohrungen zum BV Festhalle einen erhöhten Wert auf. Der Kaliumgehalt und Natriumgehalt gehören jeweils zu den drei höchsten, welche im Stadtgebiet der Stadt Murrhardt gemessen wurden.

Trägt man beide Analysen in ein SCHOELLER-Diagramm ein, sieht man sofort die Verschiedenartigkeit beider Wasserproben.

Die Analyse der Wasserproben auf umweltrelevante Parameter ergaben keine Hinweise auf eine anthropogene Beeinflussung des Wassers. Somit muss angenommen werden, dass die Gehalte an Bor, Kalium, Natrium und Chlorid geogener Natur sind. Dies würde bedeuten, dass es bei der Ablagerung von Gips auch zur Ausscheidung von Stein- und Kalisalz gekommen sein muss.

Unter einer sehr mächtigen Mutterbodenschicht von 0,8 m folgt in der Bohrung **BK 16** (Anlage 9.16) eine nur 0,7 m mächtige Hangschuttdecke von halbfester Konsistenz. Darunter folgen die unterschiedlich verwitterten Schluff- und Tonsteine des Mittleren Gipshorizontes. Ein Kalkgehalt ist größtenteils vorhanden. Mit zunehmender Tiefe geht das Material in Ton- und Schluffsteine über. Vereinzelt sind GAR zu beobachten.

Die Bleiglanzbank kann nicht sicher angesprochen werden, da im fraglichen Bereich der Verwitterungsgrad zunimmt. Aus dem gleichen Grund ist die Hangendgrenze der folgenden Dunkelroten Mergel nicht gesichert festzulegen. Unterhalb des Wasserzutrittes ist der Schluffstein durchweg entfestigt und tritt als Schluff auf. Bei der Endteufe von 25,0 m uGOK wurden noch immer die Schichten der Dunkelroten Mergel erbohrt, die hier in weicher Zustandsform vorliegen.

Kurzprofil BK 16:

0,8 m	314,82 m NN	Mutterboden
1,5 m	314,12 m NN	Hangschutt/-lehm
14,0 m	301,62 m NN	Mittlerer Gipshorizont mit GAR
14,3 m	301,32 m NN	Bleiglanzbank
25,0 m	Endteufe	Dunkelrote Mergel

GAR deuten auf ehemals vorhandenen Gips hin; Gips wurde aber in der Bohrung nicht beobachtet.

Der einzige Wasserzutritt erfolgte bei ca. 18,0 m uGOK. Ein Wasserstand von 15,45 m uGOK wurde nach Ende der Bohrarbeiten festgestellt.

In der Beschreibung der Kurven wird der Wassergehalt nicht berücksichtigt, da sich dieser nur an einer Stelle ändert. Die Bohrung konnte komplett als Rammkernbohrung durchgeführt werden. Auf eine Hilfsverrohrung konnte verzichtet werden.

Der erste Farbwechsel bei 0,8 m uGOK fällt mit einem Konsistenzwechsel zusammen. Der Farbwechsel bei 1,1 m uGOK geht mit dem Beginn eines Kalkgehaltes einher. Der Farbwechsel bei 1,5 m uGOK korreliert mit der Abnahme der Konsistenz. Die erneute Änderung der Zustandsform bei 1,7 m uGOK fällt mit dem Ende des Kalkgehaltes zusammen. Der Farbwechsel bei 2,0 m uGOK ist an eine Zustandsänderung gebunden. Der nächste Farbwechsel bei 2,3 m uGOK korreliert mit einer Änderung der Zustandsform und dem Beginn eines neuerlichen Kalkgehaltes.

Bei 3,7 m uGOK tritt eine Farbänderung und eine Zustandsänderung auf. Die nächste Farbänderung bei 4,3 m uGOK fällt mit dem Fehlen eines Kalkgehaltes zusammen. Der Farbwechsel bei 5,5 m uGOK geht mit einer Zustandsformänderung und dem Nachweis eines Kalkgehaltes einher. Bei 6,5 m uGOK ändert sich die Farbe und die Zustandsform. Erst der Farbwechsel bei 7,8 m uGOK ist mit einer Änderung zweier anderer untersuchter Parameter verbunden, dem Fehlen des Kalkgehaltes und dem Auftreten von FeOOH-Verfärbungen. Der Farbwechsel bei 8,9 m uGOK erfolgt mit dem Nachweis eines Kalkgehaltes. Die folgenden beiden engen Farbwechsel bei 9,0 m und 9,2 m uGOK treten zusammen mit einer Zustandsformänderung auf.

Lediglich der Farbwechsel bei 14,0 m uGOK korreliert mit einer Änderung der Zustandsform. Zwischen 16,4 m und 18,85 m uGOK ist jeder der fünf Farbwechsel mit einer Zustandsformänderung verbunden. Das Ende der FeOOH-Verfärbungen fällt ebenfalls mit einem Farbwechsel bei 18,6 m uGOK zusammen.

Das Fehlen eines Kalkgehaltes bei 19,2 m uGOK, der neuerliche Nachweis ab 19,6 m uGOK und bei 20,0 m uGOK fällt jeweils mit einer Änderung der Zustandsform zusammen. Ein Farbwechsel erfolgt ebenfalls bei 19,6 m und 20,0 m uGOK. Der Kalknachweis ab 20,6 m uGOK geht einher mit einer Farbänderung. Erst die Farbänderung bei 22,0 m uGOK fällt mit einer weiteren Änderung eines Parameters zusammen, dem Fehlen eines Kalkgehaltes. Der Farbwechsel bei 24,0 m uGOK lässt sich letztmals bei dieser Bohrung mit einer Zustandsformänderung korrelieren.

Das Ergebnis der Wasseranalyse BK 16 W 1 zeigt ein normal erdalkalisches Wasser überwiegend hydrogencarbonatisch (Feld A) nach FURTAK & LANGGUTH (1967). Es werden nur die Parameter Farbe SAK-436 (Anlage 13.1 und 13.2) und die Oxidierbarkeit nach den Grenzwerten der TVO (Ausgabe 1990) überschritten.

Die Bohrung **BK 17** (Anlage 9.17) wurde mit einem Bohrgerät auf einem Raupengestell durchgeführt, da der Bohransatzpunkt auch mit einem geländegängigen Fahrzeug nicht erreicht werden konnte. Dieses Bohrgerät war schwächer ausgelegt, als die bisher verwendeten Bohrgeräte, deshalb musste schon frühzeitig auf Rotationskernbohrung umgerüstet wer-

den. Er wurde allerdings bis 26,6 m uGOK ohne Wasserspülung gebohrt, so dass bis zu dieser Teufe der Wassergehalt angegeben werden kann.

Die Bohrung weist unter einer 0,4 m dicken Mutterbodenschicht bis zu einer Tiefe von 3,8 m Hanglehm auf. Darunter folgt je nach Verwitterungsgrad Schluff oder Schluffstein der Dunkelroten Mergel. Vereinzelt sind GAR zu beobachten. Der Sandanteil besteht aus plattigen Schluffsteinstückchen. Ab 20,9 m uGOK stehen die halbfesten bis weichen Schichten des Bochinger Horizontes an.

Bis 26,6 m uGOK folgen die GAR. Darunter steht unterschiedlich stark angelaugtes Gipsgestein der Grundgipsschichten an. Ab 30,0 m uGOK tritt ein harter Ton- und Schluffstein auf, der noch zu den Grundgipsschichten gestellt werden muss. Der 0,7 m mächtige Grenzdolomit weist Gipsknollen auf. Bis zur Endteufe von 31,5 m uGOK weist der Tonstein wenige Gipslinsen auf.

Kurzprofil BK 17:

0,4 m	304,14 m NN	Mutterboden
3,8 m	300,74 m NN	Hanglehm
20,9 m	283,64 m NN	Dunkelrote Mergel
24,5 m	280,04 m NN	Bochinger Horizont
26,6 m	277,94 m NN	GAR
30,3 m	274,24 m NN	Grundgipsschichten
31,0 m	273,54 m NN	Grenzdolomit
31,5 m	Endteufe	Unterer Keuper

Der erste Gips trat bei 24,5 m uGOK auf.

Deutliche Wasserzutritte waren während der Bohrarbeiten unterhalb 11,9 m uGOK nicht festzustellen. Die Wasserstände konnten immer erst morgens gemessen werden, da während der Bohrarbeiten keine sichere Tiefe des Wasserzutritt festgestellt werden konnte. Im Folgenden sind die Wasserstände bei erreichter Bohrtiefe aufgeführt, wie sie vor Beginn der Arbeiten morgens gemessen wurden:

Bohrtiefe 4,3 m uGOK	kein Wasserstand
Bohrtiefe 7,5 m uGOK	kein Wasserstand
Bohrtiefe 15,0 m uGOK	Wasserstand 11,4 m uGOK, Hilfsverrohrung 0-7,7 m
Bohrtiefe 18,0 m uGOK	Wasserstand 11,4 m uGOK, Hilfsverrohrung 0-7,7 m
Bohrtiefe 19,0 m uGOK	kein Wasserstand, Hilfsverrohrung 0-18,0 m
Bohrtiefe 20,0 m uGOK	kein Wasserstand, Hilfsverrohrung 0-18,0 m
Bohrtiefe 23,0 m uGOK	Wasserstand 18,4 m uGOK, Hilfsverrohrung 0-22,5 m
Bohrtiefe 27,5 m uGOK	Wasserstand 20,2 m uGOK, Hilfsverrohrung 0-25,5 m
Bohrtiefe 31,5 m uGOK	Wasserstand 20,0 m uGOK, Hilfsverrohrung 0-25,5 m

Der erste Farbwechsel bei 0,4 m uGOK fällt mit einem Wassergehaltswechsel zusammen. Mit dem nächsten Farbwechsel bei 2,3 m uGOK ist der Beginn eines Kalkgehaltes und der Beginn von FeOOH- und Manganverfärbungen verbunden. Der Farbwechsel bei 3,5 m uGOK fällt mit dem Ende der FeOOH- und Manganverfärbung und einer Zustandsformänderung zusammen. Bei 3,8 m uGOK korreliert der Farbwechsel mit einem Wechsel der Zustandsform und des Wassergehaltes.

Der nächste Farbwechsel bei 4,7 m uGOK fällt mit dem Fehlen eines Kalkgehaltes zusammen. Bei 5,0 m uGOK treten wieder FeOOH-Verfärbungen auf; gleichzeitig damit ein Farbwechsel. Bei 6,7 m uGOK ist der Farbwechsel mit dem Beginn eines Kalkgehaltes verbunden. Die Änderung der Farbe bei 8,4 m uGOK geht einher mit dem Auftreten von FeOOH-Verfärbungen. Bei 9,0 m uGOK hören diese wieder auf und es erfolgt dann wieder ein Farbwechsel.

Mit dem Fehlen eines Kalkgehaltes bei 9,8 m uGOK ist wiederum ein Farbwechsel festzustellen. Bei 11,0 m uGOK tritt eine Änderung des Wassergehaltes, verbunden mit einer Farbänderung und einem Kalknachweis, auf. Das Ausbleiben des Kalkgehaltes ab 12,7 m uGOK ist mit dem Beginn von FeOOH-Verfärbungen verbunden. Andere beschriebene Parameter zeigen keine Änderung.

Ab 15,1 m uGOK treten keine FeOOH-Verfärbungen auf. Gleichzeitig ist allerdings ein Kalkgehalt wieder nachweisbar; der Wassergehalt ändert sich ebenfalls. Erst bei 18,2 m uGOK tritt wieder eine Korrelation zwischen den Parametern auf. So ändern sich hier die Farbe, Wassergehalt und Zustandsform. Mit dem Fehlen eines Kalkgehaltes bei 18,5 m uGOK tritt eine Zustandsform- und Wassergehaltsänderung auf.

Der Farbwechsel bei 19,5 m uGOK korreliert mit der Abnahme der Konsistenz und der Zunahme des Wassergehaltes. Der nächste Farbwechsel bei 20,0 m uGOK tritt zusammen mit einer Zustandsformänderung und dem Auftreten eines Kalkgehaltes auf. Bei 20,9 m uGOK ist sowohl ein Farbwechsel als auch eine Änderung der Zustandsform zu beobachten. Der Kalkgehalt endet bei einer Tiefe von 21,8 m uGOK. Gleichzeitig ändert sich die Farbe und die Zustandsform.

Mit dem erneuten Auftreten eines Kalkgehaltes bei 22,6 m uGOK und dem Fehlen ab 24,5 m uGOK korreliert jeweils ein Farbwechsel. Bei der letztgenannten Tiefe tritt ebenfalls erstmals Gips und GAR auf. Mit dem Ende der GAR bei 26,6 m uGOK ist eine Farbänderung und ein Wechsel in der Zustandsform zu beobachten.

Die folgenden Änderungen der Kurven für die Farbe und die Zustandsform korrelieren nicht.

Wasserproben und Bodenproben wurden hier keine gewonnen.

### **7.1.2.2 Pfahlbohrungen**

Die Lage der Pfahlbohrungen und die Nummerierungen der Pfähle gehen aus den Anlagen 10.2.3 und 10.2.6 Blatt 3 hervor. Als Grundlage dienten die eingemessenen Achsen des Bauwerkes (Anlage 10.2.1).

Die geologischen Ergebnisse der Pfahlbohrungen sind nur beschränkt zu interpretieren. Dies ist durch die Aufschlussmethode bedingt. Durch die Störung des Bohrgutes kann eine exakte Angabe der Tiefenlage der einzelnen stratigraphischen oder auch lithologischen Einheiten nicht sicher erfolgen.

Es wurde deshalb auf einen Versuch, die Aufzeichnungen des Bohrmeisters stratigraphisch oder lithologisch zuzuordnen, verzichtet.

Sicher hingegen sind die Angaben für Werte über das erste Auftreten des Gipses und ein Wechsel zur Bodenklasse 6 und 7 nach DIN 18300 durch den notwendigen Bohrwerkzeugwechsel.

Die Felsoberfläche (Anlage 10.2.5) deutet auf einen unterschiedlichen Verwitterungsgrad hin. Die Ursache kann in den unterschiedlich starken primären Gipsbeimengungen zu suchen sein. Wenn dieser Gips heraus gelöst wurde, kann mit einer Rammkernbohrung der verwitterte Fels noch gefördert werden. Erst beim Erreichen von unverwitterten Partien ist ein Wechsel des Bohrwerkzeuges notwendig.

Das erstmalige Auftreten von Gips wurde, auf Anweisung des Bearbeiters, vom Bohrmeister dokumentiert, so dass diese Ergebnisse mit in das geologische Untergrundmodell einfließen können.

### **7.1.3 Gemeinsame Interpretation der dargelegten Daten zur Festhalle**

Die Datengewinnung erfolgte aus 17 Bohrungen, wobei die Bohrung BK 4 weit außerhalb des realisierten Bauwerks zu liegen kam und deshalb nicht weiter berücksichtigt wurde. Die Bohrung BK 8 floss nicht in die Betrachtung der Hangprofile (Anlage 10.2.6 Blatt 4 und Blatt 5) ein, da es sich hier um eine Bohrung in Tallage handelt (Anlage 11.2).

Die Streichlinienkarte Grenze Unterer Keuper / Grundgipsschichten wurde aus den Bohrungen BK 1 bis BK 18 erstellt (Anlage 10.2).

Zusätzlich wurden die Ergebnisse der 64 Pfahlbohrungen hinsichtlich des Auftretens von erstem Gipsgestein und das Erreichen der Felsoberfläche des Unteren Keupers (Grenzdolomit) ausgewertet (Anlage 10.2.4 und 10.2.5).

Die in der Anlage 10.2.7 dargestellten Profile P 1 bis P 5 beruhen auf den Kernbohrungen zur Baugrunderkundung. Sie wurden senkrecht zum Verlauf der Profile auf die Profillinie projiziert. Zuvor wurden insgesamt 15 Profile sowohl Nord-Süd als auch West-Ost verlaufend erstellt. Es zeigte sich aber, dass hierdurch keine qualitativ besseren Aussagen gemacht werden können. Im Gegenteil, durch das mehrfache Verwenden einer Bohrung in verschiedenen Schnitten kann es zu schwer interpretierbaren "Ergebnissen" kommen, die lediglich durch die Projektion entstanden sind.

In die Profile ist das erste Auftreten von Gips und der Felsoberfläche bei den Pfahlbohrungen in der Anlage 10.2.8 eingetragen. Diese Linien beruhen auf der erstellten Isolinienkarten (Anlagen 10.2.4 und 10.2.5).

Die gleichen Profile dienen der Darstellung in Anlage 10.2.9. Hier wurden die Tiefen der Wasserprobennahme in Abhängigkeit des Wassertypes nach FURTAK & LANGGUTH (1967) eingetragen.

#### **7.1.3.1 Zusammenfassung zu Stratigraphie und Lithologie**

Für die dargelegten Ergebnisse und Folgerungen wird die Anlage 10 mit allen Unteranlagen benötigt.

Es wurden junge Talablagerungen und Hanglehm, der aus den unterlagernden Schichten des Gipskeupers hervorgegangen ist, erschlossen. Weiter wurden die Schichten des Unteren Keupers bis zum Mittleren Gipshorizont des Mittleren Keupers erbohrt. Alle stratigraphischen Einheiten wurden nicht gemeinsam in einer Bohrung erschlossen, so dass Interpolationen notwendig wurden.

Deutlich wird hierbei, dass es selbst bei einem so dichten Bohrungsnetz Probleme bereitet, sichere Aussagen über die Fläche und die Tiefe wichtiger Horizonte zu treffen. Ein Hang im Bereich der Grundgipsschichten kann nicht sicher erkundet werden, wenn die Bohrungen einen zu großen Abstand aufweisen.

Besonders auffällig im Hangbereich ist, dass im Gegensatz zum sonst zu beobachteten Schichteinfallen zum Tal hin, hervorgerufen durch das Auslaugen des Gipses, im Bereich der Bohrung BK 17 eine im Berg stärker reduzierte Gipsmächtigkeit auftritt (Profil P 2). Dies zeigt einmal mehr, dass der Gips unregelmäßig ausgelaugt wird. Hieraus erwächst die Problematik der unsicheren Aussagen über die Gipsverbreitung, Gipsauslaugung und Wasserführung im Bereich der zu untersuchenden Fläche.

Der Nachweis der Felsoberkante bei den Bohrpfahlbohrungen deckt sich recht gut mit der Grenze Grundgipsschichten/Unterer Keuper. Das erste Auftreten von Gips in den talwärts gelegenen Pfahlbohrungen liegt innerhalb der GAR bzw. Talsedimenten nach den Bohrergebnissen der Erkundungsbohrungen. In Profil P 4 steigt die "Gipsoberfläche" zunächst zum Hang hin stark an. Innerhalb des Hangfußes erfolgte jedoch eine stärkere Auslaugung, so dass hier die Gipsoberkante erst tiefer zu liegen kommt. Weiter bergwärts ist ein Ansteigen dieser Grenze wieder zu beobachten. Das Gleiche ist in Profil P 3 festzustellen. Diese hier geschilderten Feststellungen können in Profil P 5 nur andeutungsweise beobachtet werden.

In Profil P 1 ist zunächst eine in den Hang hin abnehmende Gipsmächtigkeit zu beobachten, die dann erst wieder ansteigt. Profil P 2 zeigt ein gänzlich anderes Bild. So fällt hier die Fläche des ersten Auftretens von Gips zunächst zum Berg hin ein. Im Bereich des Hangfußes nimmt die Mächtigkeit abrupt zu, um dann bergwärts wieder abzunehmen.

Normalerweise geht man aber immer von einer Zunahme der Gipsmächtigkeiten bergwärts aus, wie dies in der Anlage 4.2 dargestellt ist. Hier zeigt es sich aber, dass bei einer genügend engen Aufschlussdichte, auch andere Feststellungen gemacht werden können und ingenieurgeologisch beachtet werden müssen.

Hier spielt das den Hang herabfließende Regenwasser eine entscheidende Rolle. Diese Wässer sickern im Bereich der verstürzten Gipskeuperschichten in den Hang ein. Dort wird durch den geringen Ionengehalt des Niederschlagwassers der Gips im Berg gelöst und weggeführt. Das Wasserdargebot für die Auslaugung ist stark abhängig von dem Grad der Verwitterung des überlagernden Materials.

Es ist anzunehmen, dass der kleine Vorfluter im Bereich der Klinge um BK 7 (Anlage 7.1 Blatt 2) die Auslaugung verstärkt. Wahrscheinlich hat dieser im Bereich des offenen und nicht abgedichteten Grabens im geplanten Baubereich in den Untergrund infiltriert, und somit die verbliebene Restmächtigkeit des Gipses reduziert (siehe Bereich BK 3 - BK 6 Profil P 1; Anlage 10.2.8 Blatt 1).

Hinsichtlich der Verzahnung von Talsedimenten und Hanglehm wird deutlich, dass der Hanglehm möglicherweise vor der Ablagerung der Talsedimente weitgehend erodiert wurde

(Flussgeschichte) und somit älter als die jüngsten Talablagerungen ist. Es ist hierdurch auch denkbar, dass das in den Talsedimenten zirkulierende Wasser durch die abdichtende Wirkung des Hanglehmes erschwert in den Berg eindringen kann. Die beiden Pegel BK 8 und BK 9 zeigten während der Beobachtungsphase immer eine Fließrichtung zum Tal.

Die Kurven K 1 bis K 10 (Anlage 9 zu jeder einzelnen Bohrung) weisen zwar lokal einen Zusammenhang zwischen Farbe, Zustandsform und Konsistenz nach, lassen sich jedoch nicht gut mit denen anderer Bohrungen korrelieren. Dies deutet ebenfalls darauf hin, dass der geologische Bau in einem Gipskeuperhang komplizierter aufgebaut ist als in der Anlage 4.2 dargestellt.

Auffällig ist ebenfalls, dass in den südlicheren Bohrungen (höhere Überdeckung des Gipses) ein Kalkgehalt nicht häufiger auftritt als bei den zum Tal hin gelegenen (Anlage 14.3). Allerdings tritt hier auch eine Ausnahme auf: Die Bohrung BK 16 weist keine kalkigen Partien auf. Eine Korrelation der Profile ist mit Hilfe des Kalkgehaltes nicht möglich.

Die Farbe ist ebenfalls nicht geeignet eine sichere Korrelation durchzuführen (Anlage 14.2) zeigt, da diese anscheinend vom Wasserdargebot, dessen Sauerstoffgehalt und dem hieraus resultierenden Verwitterungsgrad resultiert. Bei RW 35 43 92. und HW 54 24 25. (GK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt) konnte ein roter Tonstein im Anschnitt mit rundem Querschnitt innerhalb eines gelbgrüngrauen Tonsteins beobachtet werden.

### **7.1.3.2 Wasseranalysen und Hydrogeologie**

Die analysierten Wasserproben aus den Bohrungen BK 1 bis BK 18 weisen erwartungsgemäß bei größerem Abstand des Wassers von den Grundgipsschichten geringere Gesamtionenengehalte auf (Anlage 10.2.9). Die Umweltparameter zeigen auf, dass das Wasser in der Talaue zumeist anthropogen beeinflusst ist (Anlage 13.4 Blatt 1). Hierbei ist auch auffällig, dass der obere Wasserleiter aus der Bohrung BK 1 keine, während der tiefere eine anthropogene Belastung, aufweist.

Diese durchweg geringen Ionengehalte im Wasserdargebot der Hangbohrungen stützen die Vermutung, dass dieses Wasser als Niederschlagswasser verstärkt in den Hang eindringt und die Auslaugung verstärkt.

Nach einem Niederschlag waren aus den Entwässerungsrohren, die in den Hang während der Bauphase eingebracht waren, starke Wasseraustritte zu beobachten (Mitteilung Herr Architekt Jung). Dieses Wasser konnte nur oberhalb in den Hang eingedrungen sein, da die Baugrube mit einem abgedichteten Graben vor heranschießendem oberflächlichen Hangwasser geschützt wurde.

Im oberen Bereich der Talablagerungen können durchaus Wässer des Types A und B nach FURTAK & LANGGUTH (1967) auftreten. Die tieferen Wässer sind durchweg als normal erdalkalisches überwiegend sulfatisches Wasser (Typ C) anzusehen. Der Verlauf der Kurven in den SCHOELLER-Diagrammen (Anlage 13.10) weist geringe Unterschiede innerhalb der einzelnen Typen auf. Bei der Gliederung nach Tallage und Hanglage (Anlage 11.2) fallen sofort die nicht dem Typ C zuzuordnenden Wässer auf (Anlage 13.9 Blatt 1).

Eine gute Übereinstimmung zwischen der gemessenen Leitfähigkeit und dem Wassertyp nach FURTAK & LANGGUTH (1967) ist zu beobachten (Anlage 13.9 Blatt 2). Dies gilt aller-

dings nur für Wässer, die nicht anthropogen mit einer Ionenlösung verunreinigt sind (siehe BK 4 W 1).

Die Leitfähigkeit lässt bei Vor-Ort-Messungen bereits eine Aussage hinsichtlich der zu erwartenden Betonaggressivität und des Wassertyps zu. Ergänzend sind die Messungen des pH-Wertes, Temperatur und Redoxpotential sinnvoll, um eine erste Einstufung des ange-troffenen Wassers durchzuführen (z.B. Anlage 9.22 Blatt 9).

Teilweise zeigen einzelne chemische Parameter eine abrupte Zunahme in den Analysen. Die umgebenden Wasserproben lassen diesen Sprung nicht erwarten (z.B. Eisengehalt). Ausführlich sind die Ergebnisse der Wasseranalysen bei der Bohrungsbeschreibung aufgeführt, bzw. in den Graphiken der Anlagen 13.6, 13.7 und 13.8 in Kurvendiagrammen dargestellt.

Auffällig ist der erhöhte Borgehalt in der Wasserprobe BK 15 W 2 (Anlage 13.8 Blatt 12), der sich nicht auf eine anthropogene Beeinflussung zurückführen lässt. Dies ist auch der insgesamt höchste Wert, der im Raume Murrhardt festgestellt wurde. In der gleichen Probe ist ebenfalls ein erhöhter Chloridwert festzustellen. Ob diese beiden Werte auf die Sedimentation von Boraten und Steinsalz hinweisen, kann nicht sicher beantwortet werden. Dass es zum Ausscheiden von Steinsalz gekommen ist, beweisen immer wieder vorkommende Steinsalzkristallmarken innerhalb des Mittleren Keupers.

Dass Borate innerhalb des Gipses zur Ablagerung gekommen sein müssen, zeigt deutlich der Verlauf der Kurve für Bor und Sulfat in Anlage 13.7 Blatt 4. Calcium, Magnesium und Sulfat beeinflussen die Leitfähigkeit am meisten (Anlage 13.7 Blatt 2).

Es sollte hier exemplarisch gezeigt werden, welche Aussagen hinsichtlich der Gipsablaugung und des Stoffgehaltes im Wasser gemacht werden können, wenn auch nur die von der Unteren Wasserbehörde in Baden-Württemberg vorgeschriebenen Analysen durchgeführt werden.

Weitere Aussagen zu den Wasseranalysen und der Hydrogeologie müssen hier unterbleiben, da der Schwerpunkt der Arbeit auf die gravimetrischen Messungen im Vergleich zum geologischen Modell gelegt wurde.

### **7.1.3.3 Bodenmechanische Versuche**

Auffällig ist bei allen zum Projekt Festhalle untersuchten ungestörten Bodenproben, dass die Feuchtwichte durchweg niedriger bis zum Teil deutlich niedriger liegt als dies in der DIN 1055 T 2 (1976) als Tabellenwert vorgegeben wird. Der Verlauf der festgestellten Feuchtwichte entspricht allerdings den in DIN 1055 T 2 (1976) angegebenen Werten (Anlage 12.1 Blatt 1) für die Feuchtwichte.

Dass hieraus die Trockenwichte und die Wichte unter Auftrieb auch betroffen ist, ergibt sich von selbst. Die Kornwichte bewegt sich zwischen  $26 \text{ kN/m}^3$  und  $27 \text{ kN/m}^3$ , wobei die Probe BK 11 S 4 deutlich über diesen Werten zu liegt.

Der Porenanteil ist in der Probe BK 10 S 1 deutlich erhöht, was die geringe Feuchtwichte erklärt. Zum Teil liegt eine Wassersättigung der Proben vor. Der Wassergehalt der Probe BK 10 S 1 ist am höchsten, was durch den hohen Porenanteil zu erklären ist.

Der Schwankungsbereich des Wassergehaltes an der Ausrollgrenze schwankt nicht so stark wie der der Fließgrenze. Die Zustandsform der gesamten Proben schwankt zwischen breiig und fest.

Diese teilweise unterschiedlichen bodenmechanischen Parameter (Anlage 9 zu den Bohrungen) weisen ebenfalls auf die Auflockerung im Hangbereich hin (durchweg geringe Feuchtwichte). Der unterschiedliche Wassersättigungsgrad und der zum Teil hohe Porenanteil zeigen die deutlichen Unterschiede des Bodenmaterials.

Erklärbar wird dies durch den unterschiedlichen Verwitterungsgrad und das Verstürzen der Schichten.

#### **7.1.3.4 Geologisches Modell**

Die zuvor aufgelisteten Ergebnisse stützen die Aussage hinsichtlich der Kompliziertheit des Aufbaues eines Gipskeuperhanges. Es lassen sich hier keine einfachen stratiformen Aussagen hinsichtlich der Wasserwegsamkeit, der bodenmechanischen Parameter und der Lithologie treffen. Auch die Ableitung der bodenmechanischen Parameter aus Tabellen ist hier nicht erlaubt.

Die Wasseranalysen und die bodenmechanischen Ergebnisse stützen die Aussage, dass Wasser in den Hang eindringt. Dies erzeugt eine unterschiedliche Auslaugung innerhalb des Hanges, bei stärkerem Auslaugen im Hangfußbereich.

Aus diesen Ergebnissen heraus muss hier festgestellt werden, dass das zu erstellende Rechenmodell für die Gravimetrie die komplizierten Untergrundbefunde nur vereinfacht darstellen kann, da maximal fünf Gesteinsdichten zur Verfügung stehen. Zwei Dichten werden schon für die Unterscheidung Gips/Anhydrit benötigt, während eine für einen wassergefüllten Hohlraum verwendet werden muss.

## **7.2 Testobjekt Talaue mit Bebauung**

Mehrere Bauprojekte der Stadt Murrhardt liegen im Bereich der Talaue oder am Übergang zum angrenzenden Hang. Hierbei stellt sich immer wieder die Frage nach der Mächtigkeit der Talauensedimente und dem Auslaugungsgrad der unterlagernden Grundgipsschichten.

Insgesamt wurden hierzu 9 Bohrungen ausgewertet. Hier werden für die einzelnen Bereiche ein geologisches Modell erarbeitet und abschließend die Situation dargelegt. Die geschilderten geologischen Verhältnisse haben nur eine engräumige Bedeutung und lassen sich nicht über weite Strecken belegen. Sie zeigen aber deutlich die denkbaren Untergrundsituationen auf.

Die vermessungstechnischen Grundlagen für die aufgeführten Bohrungen sind in der Tabelle der Anlage 11.1 zusammengefasst.

### **7.2.1 Geologische Oberflächenkartierung**

Infolge des Fehlens eines ausgeprägten Reliefs (anthropogen überformt) oder von Anschnitten sind hier keine detaillierte Aussagen möglich. An älteren Gebäuden lassen sich jedoch zum Teil Gebäudeschäden infolge von ungleichmäßigen Setzungen erkennen. Dies kann ein Hinweis auf noch stattfindende Gipsauslaugung im Untergrund sein.

Im Stadtbereich von Murrhardt sind immer wieder kleinere Erdfälle zu beobachten (Hörschbachschule RW 35 41 15. HW 54 27 13., nördliche Siegelsberger Straße RW 35 42 84. HW 54 27 52.). Hier muss eine geringere Überdeckung mit jungen Talsedimenten über den Grundgipsschichten angenommen werden.

### **7.2.2 Künstliche Aufschlüsse**

Es wurden hier Bohrungen zu folgenden Bauprojekten der Stadt Murrhardt ausgewertet:

- Anbau Walterichsschule (1 Bohrung)
- Regenüberlaufbecken Raidhalde (2 Bohrungen)
- Bebauungsplan Raidhalde (1 Bohrung)
- Unterführung Siegelsberger Straße (2 Bohrungen)
- Stadttangente (3 Bohrungen)

Die Bohrungen wurden für diese Arbeit zur besseren Beschreibung neu bezeichnet. Sie erhielten die Bezeichnungen BK 18 bis BK 26. Die ausführlichen ingenieurgeologischen Empfehlungen zum geplanten Bauwerk sind hier nicht aufgeführt.

Die Lage der Bohrung BK 18 geht aus den Anlagen 1.3 und Anlage 7.1 Blatt 1 hervor. Die Bohrungen BK 19 bis BK 21 liegen im Bereich des nördlichen Murrthal-Hangfußes (Anlage 1.4 und 7.2). Die verbleibenden Bohrungen BK 22 bis BK 26 liegen näher zum eigentlichen Stadtkern von Murrhardt (Anlage 1.5 und 7.3)

#### **7.2.2.1 Bohrungsbeschreibungen (BK 18 bis BK 26)**

##### **7.2.2.1.1 Walterichsschule**

Die Bohrung *BK 18* (Anlage 9.18) befindet sich in unmittelbarer Nähe zum Bauvorhaben Festhalle. Sie sollte den Untergrund für einen Anbau an die Walterichsschule erkunden.

Es folgt unter einer 0,6 m mächtigen Auffüllung bis 0,85 m uGOK ein steifer, feuchter und sandiger Ton und Schluff. Danach tritt der Sandanteil bis in eine Tiefe von 1,5 m uGOK zurück und der Ton und Schluff nimmt eine weiche Konsistenz an. Bis in eine Tiefe von 7,5 m uGOK erfolgt eine Wechselfolge von Schluff und Sand. Bis 9,3 m uGOK herrschen die Psammite und Psephite vor. Darunter folgt eine dünne grobkiesige Ton- und Schluffschicht. Der Kies besteht aus Gipsgesteinsresten. Es folgen mit einer Mächtigkeit von einem Meter Gips und Gipsresiduen. Der folgende Dolomit ist zunächst klüftig und hart. Teilweise sind linsengroße Hohlräume zu beobachten, die wahrscheinlich ehemals mit Gips gefüllt waren.

Der folgende Ton- und Schluffstein ist stark klüftig. Dies äußert sich im 70 % Kernverlust und der Verlust der Spülungsluft bis 12,5 m uGOK. Dies ist als Ergebnis von Gipsauslaugungen

in diesen Bereichen zu interpretieren. Es folgt ein angewitterter und klüftiger Ton- und Schluffstein. Ab 13,2 m uGOK folgt ein harter Ton- und Schluffstein.

Kurzprofil BK 18:

0,6 m	284,60 m NN	Auffüllung
9,3 m	275,90 m NN	Talfüllung
10,0 m	275,20 m NN	GAR
11,0 m	274,20 m NN	Grundgipsschichten
14,0 m	Endteufe	Unterer Keuper

Der erste Gips trat ab 9,8 m uGOK auf.

Der erste Wasserzutritt ist bei ca. 2,0 m uGOK zu beobachten. Der zweite Wasserzutritt erfolgte bei ca. 7,5 m uGOK und der letzte bei ca. 12,0 m uGOK im Bereich des Kernverlustes. Der Wasserspiegel pegelte sich bei 2,12 m uGOK nach Ende der Bohrarbeiten ein.

Der erste Farbwechsel geht einher mit der Änderung des Kalkgehaltes, des Wassergehaltes und der Zustandsform. Dies lässt sich mit dem Beginn des Anstehenden erklären. Der nächste Farbwechsel erfolgt bei 1,5 m uGOK. Dieser korreliert mit der Zunahme des Wassergehaltes und der Zustandsform. Der Beginn des organischen Gehaltes bei 5,9 m uGOK und das Ende des Kalkgehaltes bei 9,3 m stimmen je mit einem Farbwechsel überein.

Ab 11,0 m uGOK korreliert jeder Farbwechsel mit der Änderung der Zustandsform.

Beide Wasseranalysen weisen ein normal erdalkalisches Wasser überwiegend sulfatisch (Feld C) nach FURTA & LANGGUTH (1967) nach. Beide Proben zeigen den höchsten Phosphorgehalt aller untersuchten Wasserproben im Stadtgebiet Murrhardt. Das Überschreiten des Grenzwertes nach der TVO (1990) für Ammonium und der Farbe SAK-436 für die Probe BK 18 W 1 ist auffällig. Die hohen Gehalte von Calcium, Magnesium, Mangan und Sulfat lassen sich, wie die erhöhte Leitfähigkeit geogen, erklären.

Die Wasserprobe BK 18 W 2 zeigt eine erhöhte Oxidierbarkeit (Überschreiten des Grenzwertes). Die übrigen erhöhten Gehalte (Calcium, Magnesium, Mangan und Sulfat) und die erhöhte Leitfähigkeit sind geogen bedingt.

Einen Nachweis einer anthropogenen Beeinflussung ergaben die Analyseergebnisse der Umweltparameter nicht (Anlage 13.4 Blatt 2).

Ungestörte Proben konnten aufgrund der Bodenverhältnisse nicht gewonnen werden.

Die angetroffene geologische Situation schließt sich nahtlos an die Ergebnisse der Bohrung BK 8 an (vgl. Seite 34). Die Talfüllung liegt hier den GAR auf. Reste von Gips können nachgewiesen werden. Durch die Lage mehr zur Talmitte hin kam es hier eher zur Ablagerung von Psammiten und Psephiten. Der Gips selbst tritt nicht mehr als hartes Gipsgestein auf.

Das Ergebnis der Bohrung ist typisch für diesen Talbereich.

### 7.2.2.1.2 Regenüberlaufbecken Raidhalde

Die Bohrung **BK 19** (Anlage 9.19) weist unter einer 0,3 m dicken Mutterbodenschicht einen Hanglehm auf. Dieser reicht bis in eine Tiefe von 15,4 m uGOK. Es folgt ein 0,9 m mächtiger Hangschutt bestehend aus stark verwitterten Ton- und Schluffstein. Die Grundgipsschichten stehen nur noch als Relikt an (0,1 m). Darunter folgt ein harter Dolomit, der ab 17,0 m von einem verwitterten Ton- und Schluffstein bis zur Endteufe von 18,0 m uGOK unterlagert wird.

Kurzprofil BK 19:

0,3 m	287,39 m NN	Mutterboden
15,4 m	272,29 m NN	Hanglehm
16,3 m	271,39 m NN	Hangschutt
16,4 m	271,29 m NN	Grundgipsschichten
18,0 m	Endteufe	Unterer Keuper

Der Gips wurde lediglich in einer dünnen Lage an der Basis der Grundgipsschichten nachgewiesen. Es erfolgte kein Wasserzutritt.

Der Farbwechsel bei 2,1 m uGOK geht einher mit dem Ende der Manganoxidfleckung. Der nächste Wechsel der Farbe deckt sich mit dem Ende des Kalkgehaltes und der FeOOH-Fleckung. Gleichzeitig steigt der Feuchtegrad an. Die beiden Farbwechsel bei 12,0 m uGOK und 12,5 m uGOK stimmen mit einer Änderung der Zustandsform überein. Die folgenden Farbwechsel korrelieren mit keinem anderen Parameter. Erst bei 16,3 m uGOK stimmt die Änderung der Zustandsform mit dem Auftreten des Kalkgehaltes überein. Der nächste Farbwechsel bei 12,4 m uGOK deckt sich mit der Änderung des Wassergehaltes. Der letzte Farbwechsel bei 17,0 m uGOK schlägt sich auch in einer Änderung des Kalkgehaltes, Feuchtegrad und Zustandsform nieder.

Eine Wasseranalyse konnte mangels Wasser nicht durchgeführt werden. Es wurde eine Sonderprobe gewonnen und im Labor untersucht. Große Abweichungen zu den übrigen Proben sind nicht nachweisbar (Anlage 12.1).

Die Bohrung **BK 20** (Anlage 9.20) wurde nur wenige Meter von der Bohrung BK 19 abgeteuft. Unter einer 0,5 m mächtigen Mutterbodenschicht folgen bis in 11,0 m uGOK Hangschuttsedimente, überwiegend bestehend aus Hanglehm, untergeordnet als Hangschutt. Es können darin eindeutig Stubensandstein- und Schilfsandsteinstücke nachgewiesen werden. Es folgen 3,4 m mächtige GAR in breiiger und weicher Konsistenz. Darunter lässt sich bis 17,8 m uGOK das Bodenmaterial nicht eindeutig zuordnen. Der folgende Dolomit ist wegen der Tiefenlage dem Unteren Keuper zuzuordnen.

Kurzprofil BK 20:

0,5 m	286,64 m NN	Mutterboden
11,0 m	276,14 m NN	Hanglehm, -schutt
14,4 m	272,74 m NN	GAR
17,8 m	269,34 m NN	GAR ??
18,0 m	Endteufe	Unterer Keuper

Der Grenzdolomit lässt sich nicht in der erwarteten Tiefe nachweisen (siehe BK 19). Ebenfalls konnte kein Gips festgestellt werden.

Der erste Wasserzutritt erfolgte in einer Feinsandsteinlage bei ca. 10 m uGOK. Das gewonnene Wasser ist ein normal erdalkalisches Wasser überwiegend hydrogencarbonatisch (Feld A) nach FURTAK & LANGGUTH (1967). Nach den Grenzwerten der TVO (1990) werden die Parameter Oxidierbarkeit, Mangan und Nitrit überschritten. Der Nitritwert ist der höchste hier beobachtete. Ein weiterer Wasserzutritt erfolgte bei ca. 12,5 m uGOK. Eine chemische Analyse des tiefer zugetretenen Wassers wurde nicht durchgeführt. Die gemessenen hydrophysikalischen Parameter sind in Anlage 9.20 Blatt 11 dokumentiert.

Mit dem Farbwechsel bei 0,5 m uGOK treten auch Manganoxid- und FeOOH-Flecken auf. Die Änderung der Zustandsform bei 2,5 m uGOK geht einher mit dem Auftreten eines Kalkgehaltes und dem wiederholten Nachweis von FeOOH-Flecken. Bei 3,7 m uGOK ist wieder eine Zustandsformänderung zu beobachten. Diese fällt mit dem Ende der FeOOH-Fleckung zusammen. Bei 4,3 m uGOK ändert sich der Feuchtegrad sowie die Zustandsform. Ein Kalkgehalt kann nicht mehr nachgewiesen werden.

Der enge Farbwechsel bei 5,9 m uGOK und 6,0 m uGOK stimmt mit dem Nachweis eines Kalkgehaltes und der Gesteinshärte überein. Der Farbwechsel bei 5,9 m uGOK schlägt sich auch im Wassergehalt nieder. Auch der Farbwechsel bei 6,3 m uGOK stimmt mit einer Wassergehaltsänderung überein. Der Farbwechsel bei 7,0 m uGOK geht einher mit einer Zustandsformänderung.

Der folgende Farbwechsel bei 7,7 m uGOK schlägt sich in keinem anderen dargestellten Parameter nieder. Die folgenden Farbwechsel bei 8,8 m und 9,4 m uGOK schlagen sich auch in einer Änderung der Zustandsform nieder. Bei 10,2 m uGOK ist mit der Veränderung des Wassergehaltes eine Änderung der Zustandsform verbunden.

Die wiederholte Änderung des Wassergehaltes bei 10,4 m uGOK ist mit einer Farbänderung verbunden. Der Farbwechsel bei 10,5 m uGOK schlägt sich nicht in einem Wechsel eines anderen Parameters nieder.

Der Wechsel der Farbe bei 11,0 m uGOK geht einher mit einem Wechsel der Zustandsform und des Wassergehaltes. Die Farbwechsel bei 13,0 m und 14,4 m uGOK können mit einer Zustandsformänderung in Zusammenhang stehen. Gleichzeitig ist bei dem letztgenannten Farbwechsel ein Kalkgehalt nachzuweisen. Der Farbwechsel bei 17,6 m uGOK schlägt sich auch in einer Zustandsform- und Wassergehaltsänderung nieder. Der letzte Farbwechsel bei 17,8 m uGOK korreliert wiederum mit einer Zustandsformänderung.

Die geologische Situation in diesem Bereich wird geprägt durch mächtige Hanglehne und untergeordnet Hangschutt. Darin kann zweifelsfrei Material aus dem Schilfsandstein und Stubensandstein nachgewiesen werden. Das geringe Auftreten von Gips in der Bohrung BK 19 und das Fehlen des Gipses in Bohrung BK 20 deuten auf ein nahezu vollständiges Ablaugen des Gipses hin. Auffällig ist ferner das Fehlen von GAR in der Bohrung BK 19. Im Gegensatz hierzu steht das mächtige Auftreten von GAR in der Bohrung BK 20.

Eine mögliche und wahrscheinliche Erklärung ist, dass sich der Vorfluter in diesem Bereich (RW 35 41 98. und HW 54 27 50.) in den Gips eingeschnitten hat, so dass der tiefste Punkt bereits in den Schichten des Unteren Keupers lag. Der dann erfolgte Hangrutsch hat möglicherweise die bereits durch die Verkarstung im Zusammenhalt geschwächten, noch vorhandenen Gipsreste und Gipsresiduen zur damals morphologischen tiefsten Stelle verbracht. Der Zeitpunkt des Ereignisses lässt sich auf Grund der vorliegenden Daten nicht festlegen.

Die in der GK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt dargestellten, hangparallelen Störungen im angrenzenden nördlichen Hang, müssen bezweifelt werden. Vielmehr ist die wirre Lagerung der Gesteinspartien auf unterschiedliche Hangrutsche und Bergstürze zurückzuführen. Von den zwei gewonnenen und untersuchten ungestörten Proben weist als Besonderheit die Probe BK 20 S 1 eine geringe Sättigungszahl verbunden mit einer relativ hohen Porenzahl auf (Anlage 12.1 Blatt 3).

#### 7.2.2.1.3 Bebauungsplan Raidhalde

Die Bohrung **BK 21** (Anlage 9.21) erschließt unter einer 0,2 m mächtigen Mutterbodenschicht eine Auffüllung, deren Mächtigkeit nicht bestimmt werden konnte (Ziegelsteinrest). Diese Auffüllung geht in Hanglehm und -schutt über, der bis in eine Tiefe von 4,7 m uGOK ansteht. Bis zur Endteufe von 7,0 m uGOK wird der verwitterte Ton- und Schluffstein des Bochinger Horizontes erschlossen.

Kurzprofil BK 21:

0,2 m	297,16 m NN	Mutterboden
4,7 m	292,66 m NN	Hangschutt und -lehm
7,0 m	Endteufe	Bochinger Horizont

Gips trat in der Bohrung nicht auf, obwohl Gipslagen an anderer Stelle im Raume Murrhardt im Bochinger Horizont beobachtet wurden. Wasserzutritte wurden keine festgestellt.

Der erste Farbwechsel bei 3,15 m uGOK geht einher mit einer Zustandsformänderung. Auch der Farbwechsel bei 3,6 m uGOK stimmt mit einer Änderung der Zustandsform überein. Gleichzeitig ist ab dieser Tiefe ein Kalkgehalt nachweisbar. Ein letztes Übereinstimmen zwischen einem Farbwechsel und Zustandsform, Wassergehalt und Kalkgehalt liegt bei 4,7 m uGOK vor.

Die Bohrung hatte lediglich zur Aufgabe festzustellen, ob innerhalb des Hangschuttes und des darunter Anstehenden ein Wasserzutritt erfolgt. Bodenmechanische Parameter wurden nicht bestimmt.

#### 7.2.2.1.4 Unterführung Siegelberger Straße

Die Bohrung **BK 22** (Anlage 9.22) weist unter einer Auffüllung von 0,8 m Talablagerungen bis in eine Tiefe von 10,10 m uGOK auf. Diese fluviatilen Sedimente setzen sich aus Psephiten, Psammiten und Peliten zusammen. Eine laterale Verzahnung dieser Einheiten innerhalb der Talauie ist wahrscheinlich. Es folgen die GAR der Grundgipsschichten. In diesem Bereich handelt es sich um weiche bis breiige Residualtone, die durch die Ablaugung der Gipsschichten entstanden sind.

Ab einer Tiefe von 14,4 m uGOK folgt neben weichem GAR harter Dolomit. Dieser Dolomit wurde zerbohrt. Die Bruchstücke weisen noch sichtbare kleine Hohlräume (Linsengröße) auf, die durch Weglösen des Gipses aus dem Gestein entstanden sein können. Durch das Zerbohren und des unsteten Bohrfortschrittes konnte die Grenze zum Unteren Keuper nicht einwandfrei festgelegt werden. Die Schichten der Grünen Mergel des Unteren Keupers konnten ab einer Tiefe von 14,4 m uGOK nachgewiesen werden.

Kurzprofil BK 22:

0,8 m	285,35 m NN	Auffüllung
10,1 m	276,05 m NN	Talfüllung
13,1 m	273,05 m NN	GAR
14,4 m	271,75 m NN	Grundgipsschichten/Grenzdolomit
14,5 m	Endteufe	Unterer Keuper

Einzelne Gipsbrocken lagen innerhalb der GAR vor (ca. 12 m uGOK). Der erste Wasserzutritt erfolgte ab ca. 1,5 m uGOK innerhalb der Talablagerung. Ein weiterer Wasserzutritt erfolgte bei ca. 10,5 m uGOK. Es wurde lediglich der obere Wasserleiter beprobt, da dieser für das Bauvorhaben der maßgebliche war. Bereits die Bestimmung der hydrophysikalischen Parameter vor Ort ließen ein ungewöhnliches Ergebnis der chemischen Analysen erwarten.

Der erste Farbwechsel bei 1,4 m uGOK geht einher mit einer Änderung der Zustandsform, des Wassergehaltes und dem Auftreten eines Kalkgehaltes. Bei 2,4 m uGOK ist beim Farbwechsel das Fehlen des Kalkgehaltes und eine Zustandsformänderung zu beobachten. Die nächsten Farbwechsel bei 5,65 m und 6,9 m uGOK korrelieren mit der Änderung der Zustandsform. Der Farbwechsel bei 7,3 m uGOK äußert sich nicht in der Änderung eines anderen dargestellten Parameters.

Die letzten drei Farbwechsel (10,1 m; 13,1 m und 14,4 m uGOK) korrelieren mit der Änderung der Zustandsform.

Bei der Bestimmung der hydrophysikalischen Parameter wurde eine sehr hohe Leitfähigkeit und ein ungewöhnlicher pH-Wert (Anlage 9.22 Blatt 9) des gepumpten Wassers der BK 22 festgestellt. Hierauf wurden die Messgeräte überprüft bzw. neu geeicht. Bei der Wiederholungsmessung ergaben sich die gleichen Werte. Eine Überprüfung des Leitfähigkeitswertes des Dentelbachwassers ergab keinen Hinweis auf eine mögliche Übersalzung des Bachwassers.

Die chemische Analyse des Wassers aus der Bohrung BK 22 bestätigte die erzielten Ergebnisse (Anlage 13.8 Blatt 2). Im Rahmen des Pegelablesens wurde die Leitfähigkeit nochmals geprüft. Es konnte die hohe Leitfähigkeit nicht bestätigt werden (15.04.1996, 2360  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Hierbei handelte es sich allerdings um eine Schöpf- und nicht wie zuvor um eine Pumpprobe.

Auffällig ist die hohe Oxidierbarkeit in Verbindung des DOC, der Säurekapazität bis pH 4,3 und der Adsorbierbarkeit bei SAK-254 (Anlage 13.8 Blatt 3, Blatt 4 und Blatt 5). Dies kann auf Huminstoffe und/oder Ligninsulfonsäure nach HÜTTER (1992), zurückgeführt werden.

Außergewöhnlich stark überschritten nach der TVO (1990) werden die Werte für Calcium und Kalium. Auch der hohe Natrium und Ammoniumgehalt ist auffällig. Der hohe Sulfatgehalt lässt sich geogen erklären. Die Gesamthärte ist die höchste, die im Stadtgebiet Murrhardt im Rahmen dieser Arbeit festgestellt wurde, während der Magnesiumgehalt den niedrigsten der analysierten Werte darstellt.

Die niedrigen Temperaturen lassen sich durch die Oberflächennähe des Wassers und Außentemperaturen um den Gefrierpunkt erklären. Die Bohrung wurde zu einer Grundwassermess-Stelle ausgebaut und klargepumpt.

Nach der Einstufung des Wassers nach FURTAK & LANGGUTH (1967) handelt es sich um ein normal erdalkalisches Wasser überwiegend hydrogencarbonatisch (Feld A).

Das Setzungsvermögen der untersuchten ungestörten Bodenprobe BK 22 S 1 ist hoch (Anlage 12.2).

Unter einer 0,4 m mächtigen Mutterbodenschicht folgen in der Bohrung **BK 23** (Anlage 9.23) bis in eine Tiefe von 6,5 m uGOK Talablagerungen, die hier als Tallehme vorliegen. Darunter folgen die Schichten des Bochinger Horizontes. Diese Einstufung ist nicht ganz gesichert. Ab 7,8 m uGOK stehen die angelaugten Grundgipsschichten an. Eine weitere Vertiefung dieser Bohrung sollte nach dem Willen des städtischen Sachbearbeiters nicht stattfinden.

Kurzprofil BK 23:

0,4 m	286,21 m NN	Mutterboden
6,5 m	280,11 m NN	Talablagerung
7,8 m	278,81 m NN	Bochinger Horizont?
9,2 m	Endteufe	GAR

In Bohrung BK 23 trat ein Wasserzutritt ab 2,5 m uGOK auf. Bis zur Endteufe wurde kein weiterer Wasserzutritt beobachtet.

Der erste Farbwechsel bei 1,0 m uGOK geht einher mit einer Änderung des Wassergehaltes. Die Farbänderung bei 2,0 m uGOK korreliert mit einer Änderung der Zustandsform und dem Ende der Manganoxid- und FeOOH-Flecken. Der Farbwechsel bei 2,4 m uGOK ist mit einem Wechsel des Wassergehaltes verbunden. Bei 3,4 m uGOK ist sowohl ein Farbwechsel als auch eine Änderung der Zustandsform zu beobachten.

Der darauf folgende Farbwechsel bei 3,6 m uGOK stimmt mit dem Auftreten eines Kalkgehaltes überein. Der nächste Wechsel der Farbe bei 3,85 m uGOK korreliert mit der Änderung der Zustandsform und des Wassergehaltes. Das Fehlen des Kalkgehaltes stimmt wiederum mit einem Farbwechsel bei 3,85 m uGOK überein.

Erst der Farbwechsel bei 8,2 m uGOK korreliert mit einer Zustandsformänderung. Der letzte Farbwechsel bei 8,5 m uGOK wird dokumentiert durch eine Änderung der Zustandsform und des Feuchtegrades.

Die hydrophysikalischen Parameter der Bohrung BK 23 (Anlage 9.23 Blatt 10) und die Ergebnisse der chemischen Analyse zeigen für Murrhardter Verhältnisse keine Besonderheiten auf. Die Leitfähigkeit der Analyse von 2680  $\mu\text{S}/\text{cm}$  kann auf die Auslaugung des Gipses und des Einsickerns gipshaltiger Wässer in die Talsedimente zurückgeführt werden.

Die Wasseranalyse ergab ein normal erdalkalisches Wasser überwiegend sulfatisch (Feld C) nach FURTAK & LANGGUTH (1967). Das Überschreiten der Grenzwerte der TVO (1990) für Calcium, Mangan, Sulfat und die Leitfähigkeit können geogen erklärt werden. Auffällig ist der hohe Natriumgehalt (Anlage 13.8 Blatt 7).

Die niedrigen Temperaturen lassen sich durch die Oberflächennähe des Wassers und Außentemperaturen um den Gefrierpunkt erklären. Die Bohrung wurde zu einer Grundwassermess-Stelle ausgebaut und klargepumpt.

Die Auswertung der bodenmechanischen Untersuchungen ergab, dass die ungestörte Probe BK 23 S 1 eine Schichtgrenze aufwies. Auffällig ist hier die hohe Wichte nass, verbunden mit einem geringen Sättigungsgrad (Anlage 12.1 Blatt 3).

Die Bohrungen BK 22 und BK 23 wurden im Talbereich angesetzt. Es zeigt sich hier, dass die Bohrung BK 22 eine mächtige Talfüllung erschließt, während die Bohrung BK 23 nur eine reduzierte Mächtigkeit der jungen Ablagerungen aufweist. Darunter folgt in der Bohrung BK 23 der anstehende Gipskeuper.

Durch diese beiden Bohrungen kann gesagt werden, dass im Talflankenbereich ein steiles altes Relief durch die jungen Talablagerungen maskiert ist. Ferner ist der Grenzdolomit mit großer Sicherheit in diesem Bereich ebenfalls mit Gipslinsen durchsetzt gewesen. Durch die Verkarstung des harten Grenzdolomites musste die Bohrtechnik auf Rotationskernen umgerüstet werden. Dies bewirkte ein Zerbohren des Felses, und es war nicht möglich eine exakte Grenzziehung Grundgipsschichten zu Unterem Keuper durchzuführen.

Die ungefähre Lage des Grenzdolomites deckt sich allerdings recht gut mit der Lage in den Bohrungen zur Stadttangente (Anlage 10.3.1). Das Einfallen der Schichten ist nach Südwesten gerichtet (Anlage 10.3).

#### 7.2.2.1.5 Bauvorhaben Stadttangente; Ochsenbrücke und Stützmauer

Die Bohrung **BK 24** (Anlage 9.24) zeigt unter einer 3,8 m mächtigen Auffüllung eine Wechsellagerung von Talsanden und -kiesen bis in eine Tiefe von 9,6 m uGOK. Tallehm folgt bis in eine Tiefe von 13,0 m uGOK, in den eine 0,5 m mächtige Kiesschicht zwischengelagert ist. Eine dünne Schicht GAR folgt bis 13,3 m uGOK. Eine 0,3 m dicke Ton- und Schluffsteinschicht folgt. Zwischengeschaltet sind dünne Bereiche aus Dolomit und Mergelstein. Darunter folgt der Grenzdolomit des Unteren Keupers. Die Grenzziehung zu den liegenden Grünen Mergel ist durch den hohen Kernverlust zwischen 13,9 m und 14,8 m uGOK erschwert.

Die Schichten der Grünen Mergel reichen bis 16,4 m uGOK. Darunter folgen die Lingula-Dolomite bis 18,7 m uGOK. Bis zur Endteufe von 20,4 m uGOK folgt das Obere Zwischenmittel des Unteren Keupers.

Kurzprofil BK 24:

3,8 m	283,33 m NN	Auffüllung
13,0 m	274,13 m NN	Talfüllung
13,3 m	273,83 m NN	GAR
13,6 m	273,53 m NN	Grundgipsschichten
20,4 m	266,73 m NN	Unterer Keuper

Der erste Gips tritt ab 16,4 m uGOK auf. Er liegt demnach unterhalb der Grünen Mergel innerhalb der Lingula-Dolomite des Unteren Keupers. Der erste Wasserzutritt wurde unterhalb der Auffüllung bei 3,8 m uGOK beobachtet. Der zweite Wasserzutritt erfolgte innerhalb der GAR. Der Wasserspiegel stieg dann auf ca. 3,2 m uGOK an. Dieses Wasser wurde aus zwei Tiefen beprobt, um eine mögliche Veränderung hinsichtlich der vermuteten anthropogenen Beeinflussung festzustellen (Pumpprobe).

Die Beschreibung der Parameterkurven erfolgt erst ab der Basis der Auffüllung in 3,8 m uGOK. Erst der zweite Farbwechsel bei 5,5 m uGOK korreliert mit einem anderen Parameter, hier dem Wassergehalt. Die nächsten drei Farbwechsel bei 6,0 m uGOK, 6,5 m uGOK und 7,5 m uGOK korrelieren jeweils mit einer Zustandsformänderung.

Der Farbwechsel bei 8,8 m uGOK lässt sich mit dem Auftreten eines Kalkgehaltes erklären. Eine Änderung anderer Parameter bei dem Farbwechsel bei 9,1 m uGOK ist nicht zu beobachten. Der Farbwechsel bei 9,6 m uGOK geht einher mit einer Zustandsformänderung von nicht bindigem zu bindigem Material.

Bei 11,6 m uGOK und 12,1 m uGOK erfolgt jeweils ein Farbwechsel. Beide Änderungen gehen auf eine Zustandsformänderung zurück. Der Farbwechsel bei 13,0 m uGOK ist mit einer Zunahme des Wassergehaltes verbunden. Zwischen 13,0 m und 13,9 m uGOK treten häufige Zustandsänderungen und Farbwechsel auf, die zum Teil miteinander korrelieren.

Bei 14,8 m uGOK und 15,6 m uGOK korreliert die Zustandsform und der Farbwechsel miteinander. Das Auftreten von Manganoxidflecken im Tiefenintervall 18,4 m und 19,4 m uGOK stimmt jeweils mit einem Farbwechsel überein.

Die Wasserprobe BK 24 W 1 überschreitet lediglich die Grenzwerte für die Oxidierbarkeit und für Mangan nach der TVO (1990). Die hohe Oxidierbarkeit rührt von organischen Einschaltungen her, die bei dem Bauprojekt bis zu Baumstammgröße nachgewiesen werden konnten. Das Wasser ist nach FURTA & LANGGUTH (1967) als ein normal erdalkalisches hydrogencarbonatisch-sulfatisches Wasser (Feld B) einzustufen.

Die Wasserprobe BK 24 W 2 überschreitet folgende Grenzwerte nach der TVO (1990): Leitfähigkeit, Calcium, Magnesium (geogen bedingt nach TVO noch erlaubt), Mangan und Sulfat. Alle Überschreitungen können als geogen bedingt angesehen werden. Das Wasser ist ein normal erdalkalisches überwiegend sulfatisches Wasser nach FURTA & LANGGUTH (1967) anzusprechen (Typ C). Eine anthropogene Belastung konnte die Analyse auf Umweltparameter nachweisen (Anlage 13.4 Blatt 2).

Die Wasserprobe BK 24 W 3 wurde aus dem gleichen Wasserleiter wie BK 24 W 2 gewonnen. Die Entnahmetiefe lag lediglich tiefer. Bis auf Mangan überschreiten die gleichen Parameter die Grenzwerte der TVO (1990) wie in der höher gelegenen Probe. Auch in dieser Wasserprobe konnten Umweltparameter nachgewiesen werden (Anlage 13.4 Blatt 2).

Es wurde eine ungestörte Probe gewonnen und im bodenmechanischen Labor untersucht. Auffällig ist die geringe Kornwichte. Der gesamte Porenanteil ist gering, wobei die Wassersättigung hoch liegt (Anlage 12.1 Blatt 4).

Unter einer 0,8 m mächtigen Auffüllung folgt in der Bohrung **BK 25** (Anlage 9.25) bis in 1,7 m uGOK ein weicher Tallehm. Bis in eine Tiefe von 8,0 m uGOK folgen Talkiese, mit Talsand-Einschaltungen. Darunter folgen weiche und steife Tallehme bis 10,0 m uGOK. Ein 0,3 m mächtiger Dolomit folgt.

Bis 10,5 m uGOK liegen GAR vor. Darunter folgen bis 12,2 m uGOK die Grundgipsschichten. Hier folgt ein 0,6 m mächtiger Hohlraum (Bohrgestänge fiel durch). Darunter folgt ein Beton (Injektionsbeton?). In diesem Bereich konnte das Aufsteigen von Luftblasen in verschiedenen, die Bohrung umgebenden Wasserpfützen, beobachtet werden (Luft wurde zur Spülung verwendet). Ab 13,0 m uGOK steht der Grenzdolomit an. Durch starken Kernverlust lässt sich die Grenze zu den grünen Mergel nicht sicher fassen. Innerhalb der Grünen Mergel tritt sporadisch Gips auf.

Am Top der Lingula-Dolomite ist eine 0,65 m Gipslage nachweisbar. Darunter folgt wieder ein harter Tonstein. Einzelne Gipsknollen können auch hier beobachtet werden.

Kurzprofil BK 25:

0,8 m	285,35 m NN	Auffüllung
10,0 m	276,15 m NN	Talfüllung
12,2 m	273,95 m NN	Grundgipsschichten / GAR
12,8 m	273,35 m NN	Hohlraum
13,0 m	273,15 m NN	Beton
17,65 m	Endteufe	Unterer Keuper

Der erste Gips trat ab 10,3 m uGOK auf. Der Wasserzutritt erfolgte ab 2,5 m uGOK. Wie in der Bohrung BK 24 wurden aus dem gleichen Wasserleiter zwei Wasserproben gewonnen. Eine anthropogene Beeinflussung wurde nachgewiesen.

An der Basis der Auffüllung beginnen die Manganflecken. Sie enden mit dem nächsten Farbwechsel bei 1,7 m uGOK. Es ist bei gleicher Teufe auch eine Zustandsformänderung festzustellen. Bei dem nächsten Farbwechsel (3,0 m uGOK) ist kein anderer Parameterwechsel zu beobachten.

Bei 3,2 m uGOK erfolgt neben einem Farbwechsel auch eine Änderung der Zustandsform. Gleichzeitig ist Kalkgehalt nachzuweisen. Dieser hört bei 3,6 m uGOK auf, ohne dass ein anderer Parameter sich verändert. Der Farbwechsel bei 5,4 m uGOK ist mit dem Wechsel von nicht bindigem Material zu bindigen Material verbunden.

Der Farbwechsel bei 8,0 m uGOK tritt zusammen mit einem Wechsel des Wassergehaltes und einer Änderung der Zustandsform auf. Die kurz darauf folgenden Farbwechsel bei 8,2 m, 9,6 m und 9,9 m uGOK geht mit einer Zustandsformänderung einher. Der Farbwechsel bei 10,0 m uGOK stimmt mit einem Wechsel der Zustandsform und des Wassergehaltes überein. Alle folgenden Farbwechsel bis 14,0 m uGOK stimmen mit einer Änderung der Zustandsform überein, das heißt jedoch nicht, dass jeder Wechsel der Zustandsform mit einem Farbwechsel übereinstimmt.

Von 14,0 m uGOK bis zur Endteufe von 17,65 m uGOK treten weitere Farbwechsel auf.

Beide Wasseranalysen ergaben ein normal erdalkalisches Wasser überwiegend sulfatisch (Feld C) nach FURTAK & LANGGUTH (1967). Beide Analysen zeigen, dass die Grenzwerte nach TVO (1990) für folgende Parameter überschritten werden: Leitfähigkeit, Calcium, Magnesium (geogen bedingt noch erlaubt) und Sulfat.

Zusätzlich zeigt die zur Erdoberfläche näher liegende Wasserprobe (BK 25 W 1) eine erhöhte Oxidierbarkeit, einen erhöhten Kaliumgehalt und ein Überschreiten der Grenzwerte für Mangan und Nitrit. Der erhöhte DOC-Wert ist ebenfalls auffällig. Eine anthropogene Beeinflussung konnte allerdings nicht nachgewiesen werden.

Die gewonnenen Zahlenwerte der bodenmechanischen Untersuchungen zeigen keine außergewöhnlichen Ergebnisse auf.

Die Korrelation der Talsedimente, selbst über eine so kurze Entfernung wie bei diesen Bohrungen ist nur eingeschränkt möglich. Auffällig ist das Vorhandensein von einer Spalte in Bohrung BK 25. Der Beton in dieser Tiefe deutet auf ein Unterqueren der Murr bei der Pfahlgründung des Parkhauses hin. Die drei Beobachtungen, Spalte, Beton und das Aufsteigen von Luft, die zur Spülung verwendet wurde, weisen auf ein einige zehner Meter weit reichendes Spaltensystem hin.

Das Auftreten von Gips innerhalb der Lingula-Dolomite in der hier festgestellten Mächtigkeit muss als engräumige lokale Ablagerung betrachtet werden. In Bohrung BK 24 tritt der Gips in dieser Mächtigkeit nicht auf, jedoch ist dort eine Wechsellagerung von Dolomit und Gips nachzuweisen. Anlage 3.9 Blatt 2 zeigt ein Profil bei Rudersberg (BRUNNER & BRUDER, 1981), wo ebenfalls im Unteren Keuper Gips nachgewiesen wurde. Hieraus lässt sich möglicherweise eine schon vor dem Ablagern der Grundgipsschichten regionale Ausscheidung von Gips im höheren Unteren Keuper ableiten. Weitere Untersuchungen hierzu müssen unterbleiben, da die genannten Beobachtungen in Bohrungen auftraten. Oberflächennah wäre zweifellos auch dieser Gips bereits abgelaut.

In den bisherigen Bohrungen im Raume Murrhardt ist diese Gipsschicht im Unteren Keuper nicht erschlossen. Als Konsequenz aus diesen Ergebnissen muss in Zukunft die Erkundung des Untergrundes bis in diese Region führen. Im konkreten Fall wurde die Ochsenbrücke auf einen tieferen Horizont gegründet als das bereits erstellte Parkhaus.

#### 7.2.2.1.6 Bauvorhaben Stadttangente; Fußgängerunterführung

Die Bohrung **BK 26** (Anlage 9.26) zeigt unter einer 1,2 m mächtigen Auffüllung bis in eine Tiefe von 6,1 m uGOK eine Wechselfolge aus Tallehm und Talkies. Bis 9,9 m uGOK folgen halbfeste, feste, steife und weiche Hanglehme. Bis 13,6 m uGOK folgen GAR. Darunter erfolgt der Übergang von den GAR zu den stark verwitterten Grundgipsschichten.

Durch den hohen Anteil des Kernverlustes bis 15,0 m uGOK kann die Grenzziehung Grundgipsschichten, Grenzdolomit und Grüne Mergel nicht sicher erfolgen. Es folgt bis 19,6 m uGOK ein harter Tonstein, vereinzelt mit Gips. Der Nachweis von Dolomit konnte bis zu dieser Tiefe mit Feldmethoden nicht geführt werden. Lediglich die letzten 0,4 m bis zur Endteufe von 20,0 m uGOK sind als Dolomit anzusprechen. Die stratigraphische Feingliederung des Unteren Keupers in diesem Gebiet muss hier als nicht gesichert angesehen werden, da während der Bohrarbeiten nur das Erreichen des Unteren Keupers und der darin möglicherweise enthaltenen Gipslagen von Interesse war. Die hier vorgenommene Gliederung erfolgte erst nach der Auswertung der übrigen Bohrungen.

Kurzprofil BK 26:

1,2 m	286,7 m NN	Auffüllung
6,1 m	281,8 m NN	Talablagerung
9,9 m	278,0 m NN	Hanglehm
13,6 m	274,3 m NN	GAR
14,2 m	273,7 m NN	Grundgipsschichten und GAR
20,0 m	Endteufe	Unterer Keuper

Ab 3,5 m uGOK war ein Wasserzutritt zu beobachten. Ein weiterer Wasserzutritt war im Bereich des Grenzdolomites zu beobachten. Gips war erst in den Schichten des Unteren Keupers nachzuweisen.

Der erste Farbwechsel unterhalb der Auffüllung bei 1,6 m uGOK geht einher mit dem Fehlen des Kalkgehaltes und dem Beginn einer Manganoxidfleckung. Der darauffolgende Farbwechsel bei 2,0 m uGOK korreliert mit einer Zustandsformänderung und dem Ende der Manganfleckung.

Der Farbwechsel bei 2,9 m uGOK geht mit einem Übergang zu nicht bindigem Material einher. Erst der Farbwechsel bei 4,8 m uGOK fällt mit einer Änderung der Zustandsform zusammen. Bei 6,1 m uGOK geht ein Farbwechsel mit einer Änderung des Wassergehaltes und der Zustandsform einher. Gleichzeitig tritt eine FeOOH-Fleckung auf, die bei 6,7 m uGOK endet. Gleichzeitig tritt ein Kalkgehalt auf und die Zustandsform ändert sich.

Der Farbwechsel bei 7,0 m korreliert mit einer Zustandsformänderung, während der folgende Farbwechsel bei 9,3 m uGOK mit dem Fehlen des Kalkgehaltes und einer Änderung des Wassergehaltes zusammentrifft. Der Farbwechsel bei 9,9 m uGOK geht einher mit einer Änderung der Zustandsform, des Wassergehaltes und des Auftretens eines Kalkgehaltes.

Bis in eine Tiefe von 14,2 m uGOK korreliert der Wassergehalt und die Zustandsform. Bis zur Endteufe von 20,0 m treten noch fünf Farbwechsel auf.

Beide Wasseranalysen ergaben ein normal erdalkalisches Wasser überwiegend sulfatisch (Feld C) nach FURTAK & LANGGUTH (1967), wobei die Wasserprobe BK 26 W 1 einen deutlich niedrigeren Sulfatgehalt aufweist.

Die Analyse der Wasserprobe BK 26 W 1 zeigt einen hohen Anteil von oxidierbarem Material und einen hohen Anteil an DOC. Der Magnesiumgehalt überschreitet zwar den normalen Grenzwert, bleibt jedoch unterhalb des geogen noch erlaubten Grenzwertes. Das gleiche gilt für den Kaliumgehalt. Deutlich überschritten wird der Manganengehalt im Wasser. Der Grenzwert für Nitrit wird ebenfalls überschritten. Auffällig ist ferner der Chloridgehalt, der zwar noch unterhalb des Grenzwertes der TVO (1990) bleibt, jedoch geogen nicht erklärbar ist. Eine anthropogene Beeinflussung konnte nachgewiesen werden (Anlage 13.4 Blatt 2).

Die Wasseranalyse BK 26 W 2 überschreitet für folgende Parameter die Grenzwerte der TVO (1990): Leitfähigkeit, Oxidierbarkeit, Calcium, Mangan, Nitrit und Sulfat. Magnesium bleibt noch unterhalb des geogen bedingt erlaubten Wertes.

Durch die Lage am Rande des Murrtales ergibt sich eine Wasserführung im Untergrund, die die Zustandsform der GAR nicht nennenswert beeinflusst. Jedoch tritt auch immer wieder Gips im Unteren Keuper auf, wenn auch nicht so kompakt wie in der Bohrung BK 25.

### **7.2.3 Darstellung der geologischen Ergebnisse für die Bohrungen BK 22 bis BK 26**

Es wurde bewusst auf die Darstellung der Ergebnisse der Bohrungen BK 18 bis BK 21 verzichtet. Die Bohrung BK 18 schließt mit ihrem Ergebnis nahtlos an die gemachten Beobachtungen zur Bohrung BK 8 des Bauvorhabens Festhalle an. Die drei Bohrungen BK 19 bis BK 21 liefern zu unterschiedliche Ergebnisse, die mit anderen Beobachtungen unvereinbar sind.

#### **7.2.3.1 Stratigraphie und Lithologie**

Die Bohrungen BK 22 und BK 23 zeigen, dass das Murrtal hier eine steile nördliche Talflanke aufweist, was in diesem Bereich sicher durch das Umprägen des Fluss-Systems bedingt ist. Hangrutsche wurden hier bisher nicht einwandfrei nachgewiesen. Der östliche Hang nördlich der Bohrungen weist allerdings eine hohe Mächtigkeit an Hangschutt, bestehend aus Stubsandstein-, Kieselsandstein- und Schilfsandsteinbruchstücken, auf.

Die Bohrungen BK 24 bis BK 26 machen deutlich welchen Einfluss der heutige Verlauf der Murr auf die Zustandsformen der Schichten ausübt. Bohrung BK 26 weist bessere Zustandsformen für die GAR auf, als dies in den Bohrungen BK 24 und BK 25 der Fall ist.

Die Zusammensetzung der Talauensedimente wechselt naturgemäß zwischen bindigem und nichtbindigem Material. Die Übergänge können dabei auch fließend sein. Auffallend ist der zum Teil hohe organische Anteil (u. a. Baumstämme).

Der Zerklüftungsgrad des anstehenden Unteren Keupers ist im Grenzbereich zu den Grundgipsschichten hoch. Diese Tatsache wird als Auslaugung des im Grenzdolomit ehemals vorhandenen Gipses gewertet.

Auffällig ist das Auftreten von massivem Gips in den Lingula-Dolomiten des Unteren Keupers. Dies muss, wie bereits oben erwähnt, als lokale Besonderheit betrachtet werden. Genaue Untersuchungen würden möglicherweise die Auswertungen von Bohrungen auf dem Gebiet der Stadt Murrhardt ermöglichen, jedoch stehen hier datenrechtliche Gründe entgegen.

### **7.2.3.2 Wasseranalysen und Hydrogeologie**

Auffällig bei den chemischen Wasseruntersuchungen sind die Analysen der Wasserproben BK 22 W 1, BK 26 W 1 und mit Einschränkungen BK 26 W 2. Eine anthropogene Beeinflussung ist hier nachgewiesen (Anlage 13.4 Blatt 2) oder wahrscheinlich (Industriebetriebe).

Der jeweils angetroffene Wasserleiter wird bis auf drei Fälle (Anlage 13.11 Blatt 1 und 2) von der Ablaugung der Grundgipsschichten geprägt (Anlage 13.11 Blatt 3). Die Leitfähigkeit deutet auf eine starke Abhängigkeit vom Gehalt an gelöstem Calciumsulfat hin. Sie kann auch hier als Grobeinstufung für das gewonnene Wasser herangezogen werden.

Der Wert der Leitfähigkeit muss mit der jeweiligen geologischen und hydrogeologischen Situation in Einklang stehen, um diese Parallelisierung zwischen Wassertyp nach FURTAK & LANGGUTH (1967) ableiten zu können, wie die Messwerte der hydrophysikalischen Parameter am Wasserleiter der Bohrung BK 22 W 1 zeigen. Hier konnte bereits vor Ort festgestellt werden, dass die gemessenen Werte zwar richtig, jedoch in ihrer Größenordnung nicht dem natürlichen Umfeld zuzuordnen sind.

### **7.2.3.3 Bodenmechanik**

Auch hier fällt auf, dass die Feuchtwichte der Bodenarten unterhalb der nach DIN 1055 Teil 2 (1976) genannten Werten liegen (Anlage 12.1 Blatt 3). Lediglich in einem Fall stimmt der festgestellte Werte mit dem Literaturwert überein (BK 19 S 1). Die hohe Wichte nass bei der Probe BK 23 S 1 lässt sich nicht erklären.

Der Wassergehalt an der Fließgrenze liegt in der Mehrzahl der hier betroffenen Sonderproben der Bohrungen BK 19 bis BK 25 etwas höher, die berechnete Schrumpfgrenze niedriger als für alle übrigen Proben (Anlage 12.1 Blatt 4).

### **7.3 Testobjekt Altablagerung**

Es ist immer wieder zu beobachten, dass ehemalige Deponieflächen in Klingen angelegt wurden. Das alte Relief ist dann nicht mehr in der Landschaft erkennbar, und somit lässt sich das Volumen der Ablagerung in der Regel nicht mehr feststellen, sofern keine älteren Stereoluftbilder herangezogen werden können.

Aus dieser Überlegung heraus wurde die Altablagerung Fließenklinge (Anlage 1.6) mit in die Arbeit aufgenommen. Es wurden dort zwar gravimetrische Messungen durchgeführt (siehe 8.3.2.4 und 8.4.4), die dann mit den Ergebnissen von Sondierungen verglichen werden sollten. Dies fand bisher aus verwaltungstechnischen Gründen nicht statt.

#### **7.3.1 Geologische Oberflächenkartierung**

Neben einer Hangschuttdecke, deren Mächtigkeit bis über 4 m reichen kann, kommt die Altablagerung im Grenzbereich Estherenschichten, Schilfsandstein (Weganschnitte) und Untere Bunte Mergel zu liegen. Dies deckt sich mit den Angaben in der GK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt.

#### **7.3.2 Künstliche Aufschlüsse**

Künstliche Aufschlüsse liegen keine vor.

#### **7.3.3 Hydrogeologie**

Am östlichen Ende gelangt ein nur zeitweise wasserführender Bach in den Bereich der alten Deponie. Auf dieser fließt er bis er nach ca. 70 m Fließstrecke darin versickert. Wasser tritt dann wieder an der Basis der Deponie im Westen aus, wobei die austretende Wassermenge deutlich höher ist als die im Osten zutretende. Dies deutet auf eine Anströmung des Deponiekörpers im Untergrund hin.

### **7.4 Geologisches Bild im engeren Bereich des Stadtgebietes Murrhardt**

Das hier skizzierte geologische Bild beruht auf den hier beschriebenen, durch den Bearbeiter durchgeführte Untersuchungen. Andere zugängliche Untersuchungen konnten nicht mit berücksichtigt werden, da diese in der stratigraphischen Einstufung zu unsicher waren (z.B. Grundgips als Oberen Muschelkalk bezeichnet).

Diese Darstellung gilt nur für den Bereich der Kernstadt Murrhardt. Auf anderen Teilen der Markung Murrhardt (170 km<sup>2</sup> Fläche) sieht das geologische Bild gänzlich anders aus.

Es erscheint sinnvoll, eine Unterteilung der Bohrungen nach der Anlage 11.2 durchzuführen. Hierbei wird der Tatsache Rechnung getragen, dass in der Talaue vorwiegend junge Sedimente mit noch unterlagernden Grundgipsschichten vorkommen, und es im Hangbereich zu weitaus komplizierteren Lagerungsverhältnissen kommt; insbesondere dort, wo der Grundgips noch einer Auslaugung unterliegt.

Zunächst sollen die jungen Talsedimente angesprochen werden. Die bindigen Sedimente werden durch den hohen Wasserstand in ihrer Zustandsform verschlechtert, während die Sande und Kiese locker gelagert vorliegen. Beides bereitet Probleme bei der Gründung von Bauwerken, zumal Holz, in Form von Baumstämmen, und Schilfstöcke im Sediment vorkommen können.

Wenn noch Grundgipsschichten unterhalb der Talsedimente auftreten, kann es zu Erdfällen kommen oder auch zu langsamen Einsenkungen. Liegen weiche und breiige GAR vor, so können diese durch die Auflast eines Bauwerkes, wenn dessen Grenztiefe in den Talsedimenten nicht erreicht wird, noch erhebliche Setzungen hervorrufen.

Das in diesen jungen Sedimenten zirkulierende Wasser kann im oberen Bereich durch Einfluss von Oberflächengewässern (Murr) oder durch eindringenden Niederschlag durchaus eine Untersättigung an Calciumsulfat aufweisen. Dies ist allerdings nur ganz engräumig zu sehen. Die Regel ist vielmehr, dass dieses Wasser mit den unterlagernden Gipsschichten oder auch GAR in Berührung kam und dann einen Gipsgehalt aufweist.

Ein weiteres Problem stellt die Verunreinigung des Talwassers dar. Ob dies nun durch Industriebetriebe oder defekte Kanalrohre hervorgerufen wird, ist hier nicht von Belang. Allerdings kann anhand der Umweltparameter (Anlage 13.4) beobachtet werden, dass der tiefere Wasserleiter eine Belastung aufweist, während der oberflächennähere keine Hinweise auf eine Ursache der Verschmutzung des Wassers liefert (BK 1, BK 24).

Nach dem Gipsrelief im Bereich der Festhalle (Bohrungen BK 1 bis BK 17) zu urteilen, tritt ein Teil des zuströmenden Hangwassers in den Talwasserleiter über.

Die Ergebnisse zeigen, dass ein einfaches hydrogeologisches Modell für den Untergrund der Stadt Murrhardt nicht zu erstellen ist, da hier durch Vermischung von den oben genannten Eintragungen und dem auch auf kurze Strecken wechselnden Durchlässigkeitsbeiwerte (abhängig von der Korngröße) zu große Unwägbarkeiten auftreten.

Die Hangbohrungen und Talsedimentbohrungen weisen nach, dass der in die Talsedimente hineinreichende Hang sehr steil ist. Die Gründe hierfür sind in der Umprägung der Landschaft durch das Fluss-System zu suchen (vgl. 5.5 und Anlage 5.1).

Die Hangbohrungen wiederum zeigen die Kompliziertheit eines Gipskeuperhanges auf. So einfach wie es SCHÄLICHE (1972) in seiner Gliederung für einen Gipskeuperhang (Anlage 4.2) darstellt ist die Situation im Raum Murrhardt nicht. Im Gegensatz zu seiner angenommenen Abnahme der Gipsmächtigkeiten, muss hier im Bereich des Gipskeupers bei über-tieften Tälern davon ausgegangen werden, dass durch die Auflockerung des Hanges, bedingt durch die Kippneigung der Schichten mangels Gesteinsgedrucks, Wasser in diesen eindringt und infolge des geringen Ionengehaltes den Gips verstärkt löst. Ist dann das Wasser nahezu gipsgesättigt, kann eine weitere Lösung des Gipses zum Tal hin nicht mehr erfolgen. Ein gering gesättigter Talwasserleiter kann möglicherweise deshalb nicht zutreten, da ein geringdurchlässiger Hanglehm dem Gips auflagert und so vor einer Auslaugung schützt.

Die besondere Problematik bei der Erkundung eines Gipshanges liegt in der ungleichmäßigen Auslaugung des Gipses. So lieferten hier die Bohrpfehlbohrergebnisse teilweise andere Gipsoberflächen als dies auf Grund der doch schon recht dichten Erkundung zu erwarten war (Anlage 10.2.8).

Zur Schichtlagerung im Bereich Murrhardt herrscht nur in sofern Einigkeit, dass die Gesteine durch die Nähe zur Neckar-Jagst-Furche tektonisch gestört vorliegen. Zum Teil konnten vermutete Störungen nicht nachgewiesen werden. Dass die Schichtlagerung nicht einfach sein kann, deutet bereits die Anlage 2.6 an. Auch die Auswertung der Schichtlagerungskarte (Anlage 10.1), gewonnen aus allen hier aufgeführten Bohrungen, an der Grenze Grundgips-schichten/Grenzdolomit, lässt eine einheitliche Interpretation für das Stadtgebiet der Stadt Murrhardt nicht zu.

Betrachtet man nur den Bereich der Bohrungen BK 1 bis BK 18 (Anlage 10.2), ist man versucht anzunehmen, dass die Aufwölbung nördlich von Waltersberg (Anlage 2.6) hier am Talrand (BK 5 und BK 17) sein Ende findet. Ob dies der Fall ist, kann mangels weiterer Bohrungen im Südwesten nicht mit letzter Sicherheit gesagt werden.

Inwieweit die Verbiegungen des Grenzdolomithorizontes im Bereich der Festhalle auf tektonische Beeinflussung oder durch die Abnahme der Auflast im Talbereich bedingt sind, kann nicht entschieden werden.

Da die Schwierigkeit der Korrelation im Bereich der Grundgipsschichten und des Unteren Keupers bekannt war, wurde versucht, durch die graphische Darstellung von 10 Parametern eine Korrelation zu erzielen (Kurve K 1 bis K 10, Anlage 9 zu jeder Bohrung). Die Ergebnisse lassen hier keine Korrelationen über weite Bereiche zu. Dies ist als Hinweis dafür zu werten, dass das anstehende Material stark durch die Vorgänge einer tiefwirkenden Verwitterung verändert wurde.

Abschließend noch eine kurze Bewertung der chemischen Wasseranalysen, solange die Parameter geogen bedingt sind. Der hohe Gehalt an Calcium und Sulfat lässt sich zwanglos auf den vorhandenen Gips zurückführen. Der Magnesiumgehalt beruht auf die primären Einschaltungen von Dolomit innerhalb des Gipses (Anlage 3.7). Der erhöhte Natriumgehalt in Bohrung BK 15 Wasserprobe W 2 kann auf feinverteiltes Steinsalz hindeuten, während in der Bohrung BK 22 eine anthropogene Beeinflussung vorliegt.

Der durchweg hohe Mangengehalt des Wassers wird erklärt mit einem primären Mangengehalt der Dolomite. Das Manganion hat einen ähnlichen Durchmesser wie das sonst vorhandene Magnesiumion. Dies wird besonders deutlich bei Schürfungen im Bereich des oberflächlich anstehenden Dolomits im Unteren Keuper in der Hohenloher Ebene. Hier befindet sich immer unterhalb einer angewitterten Dolomitbank eine zunächst schwarze Schicht, die durch Manganverfärbungen erklärt werden kann.

Dass Bor bei der Bildung von Gips mit ausgeschieden wird, ist bekannt. Allerdings fällt hier die Probe BK 15 W 2 ebenfalls durch einen deutlich erhöhten Borgehalt auf.

Diese ganzen Ergebnisse deuten auf relativ komplizierte geologische, hydrochemische und hydrogeologische Verhältnisse im Bereich der Stadt Murrhardt hin. Dies gilt ebenfalls für den Zeitraum der Ablagerung des Gipses (Lingula-Dolomite des Unteren Keupers) als auch die heutige Situation hinsichtlich der Schichtlagerung und der Bildung von Fasergipsen.

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird geprüft, inwieweit die Gravimetrie Aussagen über den Auslaugungsgrad des Gipses treffen kann. Hierzu werden die dargelegten Ergebnisse zum Vergleich herangezogen.

## 8 Gravimetrie

Es wurden in drei Bereichen gravimetrische Messungen (Schweremessungen) durchgeführt. Es handelt sich hierbei um die drei unter 7.1 bis 7.3 beschriebenen Bereiche im Stadtbereich und nahem Umfeld von Murrhardt.

Bevor auf die Ergebnisse im einzelnen eingegangen wird, erfolgt eine kurze Vorstellung der Methode.

### 8.1 Theorie

#### 8.1.1 Physikalische Grundlagen

In diesem Abschnitt solle nur auf die einfachen physikalischen Zusammenhänge, welche für die Messung der Erdschwere relevant sind, eingegangen werden. Auf eine ausführliche Herleitung und mathematische Beweisführung der angewendeten Formeln und Gesetze muss im Rahmen dieser Arbeit verzichtet werden. Auf folgende Literatur wird verwiesen: MILITZER und WEBER (1984), GARLAND (1979), SCHICK und SCHNEIDER (1973) und TELFORD et al. (1976). Zum Verständnis sind folgende mathematische Lehrbücher und Formelsammlungen zu empfehlen: SIGL (1973) und BRONSTEIN SEMENDJAJEW (1979).

##### 8.1.1.1 Gravitationsgesetz

Betrachtet man die Erde als ruhende, bezüglich ihrer Dichte homogene und isotrope Kugel, so wirkt ausschließlich das Newtonsche Gravitationsgesetz auf die zu messende Schwerebeschleunigung. In Abb. 1 ist das Gesetz dargestellt.

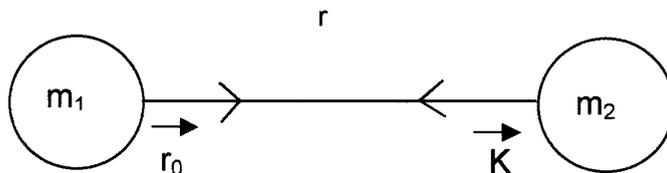


Abb. 1

Die Kraft, die die Masse  $m_1$  auf die Masse  $m_2$  ausübt, ist die Gravitationskraft  $\vec{K}$ ; diese ist abhängig von der Masse  $m_1$  und  $m_2$  sowie dem Quadrat des Abstandes  $r$  umgekehrt proportional. Da hier die Vektordarstellung des Gesetzes gezeigt ist, muss der Einheitsvektor  $\vec{r}_0$  mit in die Betrachtung aufgenommen werden. Er zeigt hier von der Masse  $m_1$  zur Masse  $m_2$ , so dass in der folgenden Formelschreibweise für den Einfluss von  $m_1$  auf  $m_2$  die Schwerebeschleunigung ein negatives Vorzeichen erhält:

$$-\vec{K} = f \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{r}_0 \quad (\text{Gl. 1a}) \quad \text{oder} \quad \vec{K} = -f \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{r}_0 \quad (\text{Gl. 1b})$$

Die Erde weist, wie bisher angenommen, keine Kugelgestalt auf, sondern gleicht eher einem Rotationsellipsoid, das die äquatoriale Halbachse mit  $a = 6378,388$  km und die polare Halbachse  $c = 6356,911$  km besitzt. Der Geoid weicht maximal um  $\pm 50$  m von diesem Bezugskörper ab (TELFORD et al. 1976).

### 8.1.1.2 Zentrifugalkraft

Die Erde ist, wie oben angenommen, kein ruhender Körper, sondern sie bewegt sich um ihre Rotationsachse, so dass die Zentrifugalkraft bei der Berechnung der Schwerkraft ebenfalls berücksichtigt werden muss. Die Zusammenhänge sind in der Abbildung 2 dargestellt.

Die Zentrifugalkraft  $\vec{F}$  an einem Punkt P der Erdoberfläche, ist abhängig vom Abstand  $\vec{r}_s$  von P von der Rotationsachse der Erde und der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$ . Als Gleichung ergibt sich:

$$\vec{F} = m\omega^2\vec{r}_s \quad (\text{Gl. 2})$$

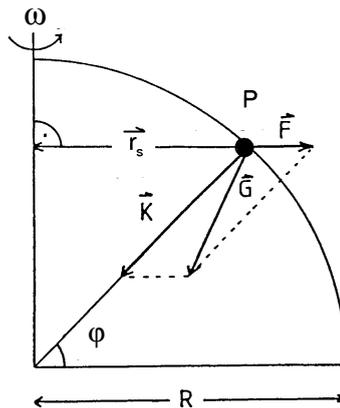


Abb. 2

Da  $\vec{r}_s$  in Richtung auf die Rotationsachse Null zustrebt und an dieser Null wird, ist es sinnvoll  $\vec{r}_s$  breitenabhängig darzustellen:

$$\vec{r}_s = R \cos \varphi \quad (\text{Gl. 3})$$

$$\vec{F} = m\omega^2 R \cos \varphi \quad (\text{Gl. 4})$$

Die Schwerkraft  $\vec{G}$  ergibt sich aus der Vektoraddition von K und F.

$$\vec{G} = \vec{K} + \vec{F} \quad (\text{Gl. 5})$$

Die Definition der Erdbeschleunigung  $\vec{g}$  lautet:

$$\vec{g} = \frac{\vec{G}}{m} \quad (\text{Gl. 5a})$$

Die Zentrifugalbeschleunigung beträgt am Äquator  $0,0338 \text{ m/s}^2$ . Dies ist gleichzeitig der Maximalwert.

### 8.1.1.3 Gezeiten

Die Erde wurde bisher als Rotationsellipsoid, das um seine kleinere Achse rotiert, betrachtet. Zur genauen Berechnung der Erdschwere ist es notwendig, den Einfluss von Himmelskörpern auf den Erdkörper zu berücksichtigen. Es reicht hier aus, den Einfluss von Mond und Sonne, die in erster Linie für die Meeresgezeiten verantwortlich sind, zu berücksichtigen. Die

Position dieser Himmelskörper zum Messpunkt ist hierfür rechnerisch zu bestimmen. Geeignete vereinfachte mathematische Formeln zur Berechnung der Gezeiten der festen Erde liefert LONGMAN (1959).

Der Gezeitenlauf während der Messtage ist in der Anlage 15.6 aufgeführt.

#### 8.1.1.4 Berechnungsgrundlagen

Zur Berechnung von Anomalien der Schwerebeschleunigung  $g$  müssen Reduktionen und Korrekturen angewandt werden, um die einzelnen Messergebnisse zu vergleichen. Die unter 8.1.1.1 bis 8.1.1.3 genannten Bedingungen sind in der Natur nicht verwirklicht. So wechselt schon mit der Höhe einer Mess-Station über NN der Abstand  $r_s$  und damit die Schwerebeschleunigung; auch ist die Erde bezüglich ihrer Dichte nicht homogen und isotrop.

Die folgenden Berechnungen gelten nur für Messungen auf dem Festland und Übertage. Für Bohrloch-, See-, Flug- und Untertagemessungen gelten teilweise andere Rechenverfahren. Als einheitliche Bezugsfläche wird in der Regel Normal Null gewählt. Dies kann je nach Aufgabenstellung jedoch variieren. Es können aber horizontale, geneigte und gekrümmte Zwischenniveaus (Abb. 4) gewählt werden.

#### 8.1.1.5 Freiluftreduktion ( $\Delta g_{FA}$ )

Da die Messungen nicht auf dem Bezugsniveau gemacht werden, müssen sämtliche Messwert auf eine Bezugsfläche reduziert werden (Abb. 3).

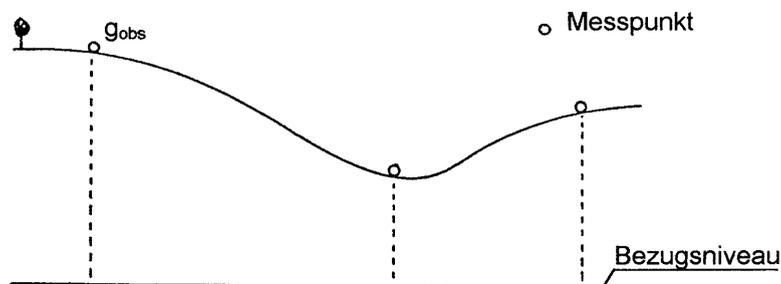


Abb. 3

Die Reduktion erfolgt unter Berücksichtigung, dass die Schwerebeschleunigung der Erde mit der Höhe abnimmt. Die Abnahme pro Höhenmeter wird mit Hilfe des Freiluftgradienten berechnet, der mit ausreichender Genauigkeit für die Praxis  $-3,086 \mu\text{m/s}^2$  pro Höhenmeter über der Bezugsfläche beträgt. Als Formel für die Freiluftreduktion kann angegeben werden:

$$\Delta g_{FA} = 3,086h \mu\text{m/s}^2 \quad h \text{ in m} \quad (\text{Gl. 6})$$

Wenn man die Reduktion auf  $0,1 \mu\text{m/s}^2$  genau berechnen will, so muss die Höhenmessung auf 3 cm genau sein. Bei der Freiluftreduktion werden die zwischen dem Bezugsniveau und Messpunkthöhe liegenden Gesteinsmassen nicht berücksichtigt. Man nimmt hier an, dass die Höhendifferenz von Luft erfüllt ist; daher auch der Name Freiluftreduktion.

### 8.1.1.6 Bouguer-Reduktion ( $\Delta g_B$ )

Die Bouguer-Reduktion hat zur Aufgabe, die bei der Freiluftreduktion nicht berücksichtigten Gesteinsmassen zwischen Messpunkthöhe und Bezugsniveau in die Berechnung einzubringen. Als Modell dient eine allseitige unbegrenzte ebene Platte mit der Mächtigkeit der Messpunkthöhe abzüglich der Höhe des Bezugsniveaus. Bei der Betrachtung der Geländekorrekturen (8.1.1.8) bis zu einer Entfernung von 20 km vom Messpunkt ist bei der Bouguer-Platte die Erdkrümmung nicht zu berücksichtigen. Als Formel ist folgender Ausdruck anzuwenden:

$$\Delta g_B = 2 \pi f \rho h \quad \text{in } \mu\text{m/s}^2 \quad (\text{Gl. 7}) \quad \text{für in } 10^3 \text{ kg/m}^3, h \text{ in m}$$

Das Problem bei der Bouguer-Reduktion ist die Wahl der richtigen Dichte (siehe 8.1.1.7) für die Bouguer-Platte. In Gebieten mit schwach ausgeprägter Morphologie oder bei Spezialaufnahmen, wird mit einer Einheitsdichte gearbeitet. Es sind allerdings auch Zwischenniveaus mit unterschiedlicher Dichte üblich, welche eben oder gekrümmt sein können, die bei ausgeprägten Relief oder verschiedener Dichte im Untergrund angewendet werden (Abb. 4). Bei der Anwendung einer falschen Dichte kann es zur Korrelation mit der Morphologie kommen (siehe 8.1.1.7).

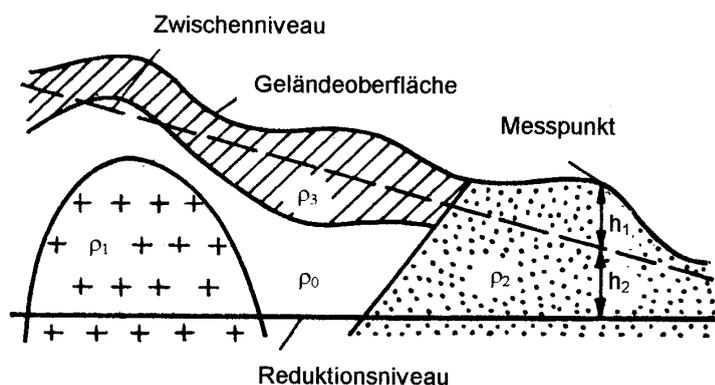


Abb. 4

### 8.1.1.7 Dichtebestimmung

Bei der Bouguer-Platten-Reduktion stellt sich die Frage nach der zu verwendenden Dichte. Für die Erstellung großräumiger Schwerekarten wird die mittlere Dichte  $\rho = 2,67 \text{ g/cm}^3$  angesetzt, um Bouguer-Schwerekarten untereinander zu vergleichen. Bei Lokal- oder Regionalaufnahmen bietet sich an, die wahre Dichte des Untergrundes zu bestimmen (wie hier geschehen) und die Bouguer-Reduktion mit dieser Dichte durchzuführen.

In der Literatur sind Tabellen vorhanden, die die Dichten von unterschiedlichen Gesteinen im Oberflächenbereich angeben. Mit diesen in der Regel angenäherten Dichten kann aus einer graphischen Darstellung der Dichte, abhängig von der Tiefe, die einzusetzende Dichte erhalten werden. Es ist allerdings dabei der etwaige Mineralgehalt des Gesteins zu berücksichtigen. So hat ein Sandstein aus basischen Komponenten eine höhere Dichte als ein Sandstein, der überwiegend aus Quarzkörnern besteht (gleiches Porenvolumen vorausgesetzt).

Man kann auch aus der gravimetrischen Aufnahme die Dichte ableiten. Dazu muss man wissen, dass sich eine falsche Dichte dadurch bemerkbar macht, dass die Kurve der

Bouguer-Anomalie mit der Topographie korreliert. Um dies festzustellen, müssen mehrere Reduktionen mit unterschiedlicher Dichte durchgeführt werden und dann als Kurven mit der vorhandenen Topographie graphisch dargestellt werden. Die Kurve mit der richtig gewählten Dichte folgt der Topographie am wenigsten (Abb. 5) (Verfahren nach NETTLETON in WALACH 1982).

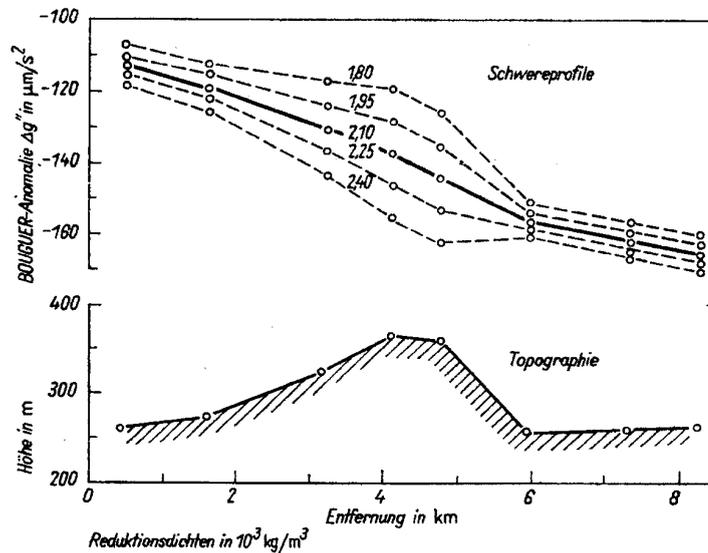


Abb. 5

Eine analytische Variante für das graphische NETTLETON-Verfahren liefert JUNG (1953):

$$\rho = \rho_N + \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta g_i'' - \overline{\Delta g_i''})(h_i - \overline{h_i})}{2\pi f \sum_{i=1}^n (h_i - \overline{h_i})^2} \quad (\text{Gl. 8})$$

Die Methode nach PARASNIS (1962) setzt ein Zwischenniveau bei der Bouguer-Reduktion voraus. Hierbei wird angenommen, dass die Dichte bis zum Zwischenniveau richtig gewählt wurde und nur bis zu diesem die Bouguer-Reduktion ausgeführt wird. Daraus folgt, dass die Bouguer-Anomalie im Zwischenniveau näherungsweise Null gesetzt werden kann.

$$\Delta g'' = \Delta g' - 2\pi\rho h_1 = 0 \quad (\text{Gl. 9})$$

Aus diesem Formelansatz lässt sich nun die Dichte aus der Freiluftanomalie und der Reduktionshöhe berechnen:

$$\rho = \frac{\Delta g'}{2\pi f h_1} \quad (\text{Gl. 10})$$

Eine Eingrenzung der Dichtewerte ist mit Bohrungen zu erreichen, bei denen ungestörte Proben (Güteklasse 1 nach DIN 4021 Ausgabe 1990) gewonnen werden, und deren Dichte bestimmt wird (DIN 18125 T 1 Ausgabe 1986).

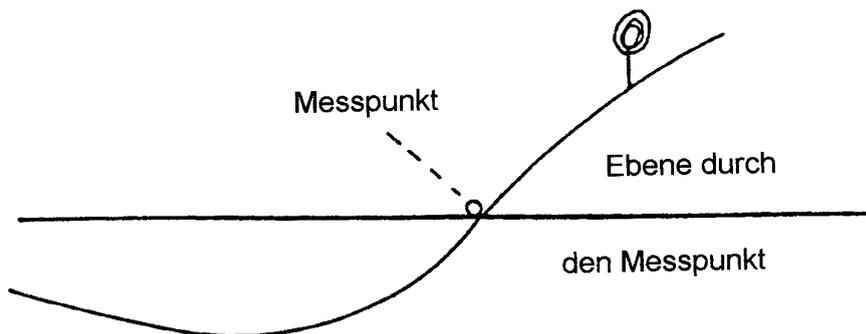
### 8.1.1.8 Geländekorrektur ( $Dg_{TC}$ )

In dieser Arbeit wird größtenteils die Abkürzung TC für terrain correction, statt dem Begriff Geländekorrektur, verwendet.

#### 8.1.1.8.1 Geländekorrektur nach HAMMER (1939)

Die Aufgabe der Geländekorrektur besteht darin, den Einfluss von Massenunterschieden im Bereich des Messpunktes rechnerisch zu beseitigen. Dies geschieht dadurch, dass Täler gedanklich aufgefüllt und Berge abgetragen werden (Abb. 6).

Abb. 6



Bei der manuellen Berechnung kommen Kreisringschablonen zum Einsatz, die unterschiedliche Radien und Sektorenzahlen aufweisen. Neben dem Verfahren von SCHLEUSENER (1940), welches nur auf einer achtstrahligen Aufteilung des Geländes beruht, ist noch das Verfahren nach HAMMER (1939) zu erwähnen; dieses arbeitet in Abhängigkeit der Radien auf einer Sektoreneinteilung von 4 bis 12 Sektoren (Abb. 7 a).

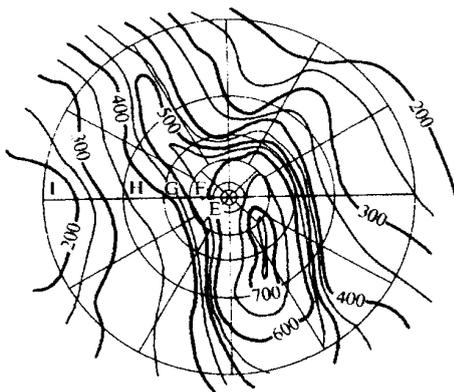


Abb. 7 a Kreisringschablone

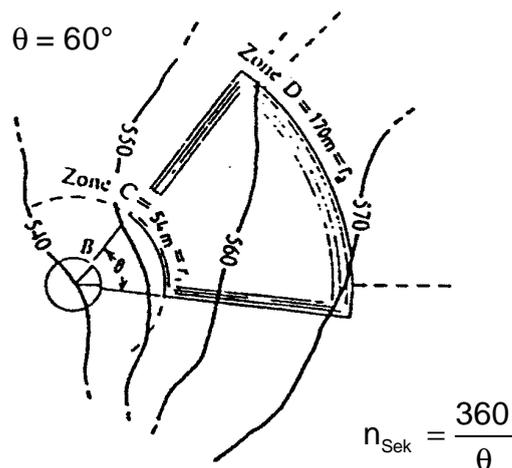


Abb. 7 b ein Sektor der D-Zone

Es wurde im Rahmen dieser Arbeit die Methode nach HAMMER (1939) gewählt. Die Berechnung erfolgte in folgenden Schritten: Es wird eine Folie mit der entsprechenden Kreisringschablone mit dem Zentrum auf den Messpunkt gelegt, der in eine topographische Karte (entsprechender Maßstab) eingetragen ist, dessen Geländeumgebung korrigiert werden soll.

Jetzt schätzt man die mittlere Höhe eines jeden Sektors ab, bildet die Höhendifferenz  $\Delta h$  zwischen der Messpunkthöhe  $h_p$  und der mittleren Höhe eines jeden Sektors  $h_{Si}$  (Abb. 7b). Mit der folgenden Formel lässt sich nun der Einfluss der näheren und bei Bedarf der weiteren Umgebung berechnen:

$$\delta_{TC} = \frac{2\pi}{n_{\text{Sek}}} f\rho(r_a - r_i + \sqrt{r_i^2 + \Delta h^2} - \sqrt{r_a^2 + \Delta h^2}) \quad (\text{Gl. 11a})$$

Die so erhaltenen  $\delta_{TC}$ -Werte jeden Sektors summiert man auf und erhält das entsprechende  $\Delta g_{TC}$  eines Messpunktes. Nur bei einem extremen Geländere relief ergeben sich Werte bei einem Radius bis 170 m von mehr als  $20 \mu\text{m/s}^2$ .

### 8.1.1.8.2 Geländekorrektur rechnerisch

Hierbei wird das Gelände einmalig in Quader zerlegt und digital erfasst. Die Berechnung erfolgt nach der folgenden Formel, die nicht im Hochgebirge gilt:

$$\delta g_{\text{Top}} = 2fpb^2 \frac{h_i^2}{r_d^3} \quad (\text{Gl. 11b})$$

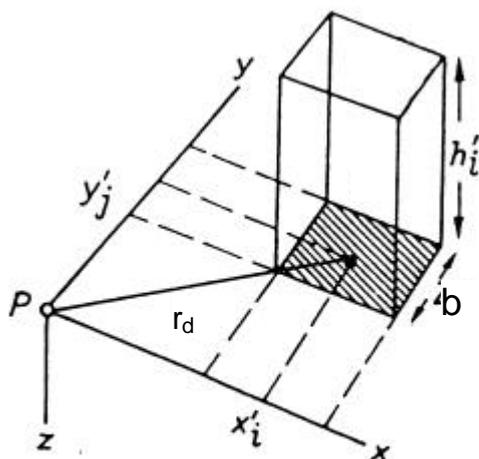


Abb. 8

### 8.1.1.9 Normalschwereberechnung ( $g_0$ )

Die Normalschwereberechnung dient dazu, die tatsächlich gemessene Schwere mit der theoretisch herrschenden Erdbeschleunigung im Bezugssystem zu vergleichen. Man bedient sich hier folgender Formel:

$$\gamma_0 = \gamma_{\ddot{A}} \frac{1 + k \sin^2 \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (\text{Gl. 12})$$

Es wurde das Geodätische Referenzsystem 1980 (MORITZ 1980) verwandt, da dieses für die Bouguer-Anomalien-Karte für Baden-Württemberg als Grundlage dient und somit der Vergleich der gewonnenen Messwerte mit der Karte ermöglicht.

Dieser Berechnungsvorgang berücksichtigt die unter 8.1.1.1 und 8.1.1.2 genannten physikalischen Bedingungen.

### 8.1.1.10 Anomalienberechnung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Freiluftanomalie (Gleichung 13)  $\Delta g'$  und die Bouguer-Anomalie (Gleichung 14)  $\Delta g''$  berechnet.

$$\Delta g' = g_{\text{obs}} + \Delta g_{\text{FA}} - \gamma_0 \quad (\text{Gl. 13})$$

$$\Delta g'' = g_{\text{obs}} + \Delta g_{\text{FA}} + \Delta g_{\text{TC}} - \Delta g_{\text{B}} - \gamma_0 \quad (\text{Gl. 14})$$

Bei der Interpretation der Freiluftanomalie ist es hinderlich, dass diese mit der Topographie korreliert. Die Bouguer-Anomalie zeigt dieses Verhalten bei Verwendung der korrekten Oberflächendichte nicht.

## 8.2 Geländearbeit

### 8.2.1 Geräte und Instrumente

Für die verschiedenen Messreihen wurden folgende Geräte benutzt:

- 1 Gravimeter LaCoste-Romberg G 258 (LCR G 258)
- 1 konkaver Teller
- 2 Batteriesätze
- 1 Tragekoffer
- 1 Voltmeter
- 1 Ladegerät
- 1 ebene Stahlplatte
- 1 kurze Metallstab
- 1 langer Metallstab

Vermessungsgeräte zur Positionierung:

- 1 Vermessungsgerät Kern mit Distomat
- 1 Reflektor
- Wegstreckenzähler
- verschiedene Stative
- Neigungsmesser

Weitere übliche Geländeutensilien sind:

- diverse Aufschriebe
- Farbe
- Spaten
- Maßband
- Uhr

### **8.2.2 Gravimetermessung**

Die Funktionsweise des Gravimeters ist z. B. bei TELFORD et al. (1976) beschrieben.

Vor den Gravimetermessungen wurde das Gelände begangen, die Messpunkte festgelegt und markiert. Bei steilem Gelände wurde eine Ebene geschaffen, um den Messteller oder die Stahlplatte mit entsprechenden Stab platzieren zu können.

Im zweiten Schritt wurden die Messungen durchgeführt. Hier wurden zwei Möglichkeiten des Einsatzes des Voltmeters gewählt. Die Anzeige des Voltmeters wurde so gewählt, dass die Anzeige des Voltmeters sich zwischen -2 und +2 mV bewegte. Somit bleibt die Ablesegenauigkeit unter  $0,05 \mu\text{m/s}^2$ . Das Ergebnis der Ablesung wurde bis zur zweiten Stelle nach dem Komma abgelesen (Nonius) bei fünf Stellen vor dem Komma, und notiert (siehe Rohdaten Anlage 15.7.1 bis 15.7.3).

Es wurde gleichzeitig die Uhrzeit auf die Minute notiert. Zur Driftbestimmung wurde in Abständen von ca. 1 Stunde das Gravimeter an der Basisstation abgelesen. Hierdurch kann die Drift des Gerätes bei der Auswertung rechnerisch auf den Zeitabschnitt zwischen den Messungen der Basis-Station berücksichtigt werden.

Um die absolute Erdschwere bestimmen zu können, wurden die Messungen an den Schwerefestpunkt in Murrhardt, Stadtteil Fornsbach, angeschlossen. Dies gilt nicht für die Messungen für die Altablagerung Fließenklinge.

### **8.2.3 Geländekorrektur im Feld**

Nach den Messungen wurde die Geländekorrektur im Gelände durchgeführt. Hierzu wurde im Radius von 17 m (nach HAMMER 1939) um den Messpunkt das Gelände begangen und der relative mittlere Höhenunterschied mit einem Neigungsmesser bestimmt und in eine entsprechende Schablone eingetragen. Diese Methode wurde auch zur Auswertung herangezogen, da eine gute Übereinstimmung mit den Vermessungsdaten vorlag.

Auf gleiche Weise wurden die Höhenunterschiede im Radius bis 54 m (nach HAMMER 1939) im Gelände bestimmt. In der Auswertung ergab sich aber, dass eine Bestimmung mit den vorhandenen Höhenmessungen und daraus errechneter Isolinienkarte (siehe 8.2.5) sicherer war.

### **8.2.4 Messpunktsicherung**

Die Messpunkte wurden gesichert, um mindestens eine Kontrollmessung durchführen zu können. Hierzu wurden die Punkte nicht nur mit Farbe markiert (siehe 8.2.2). In schwierig

zugänglichem Gebiet wurden zusätzlich mit einem Signalband der Punkt gekennzeichnet. Auch das Auspflocken jedes zweiten Punktes wurde in Teilbereichen durchgeführt. Für die Messfolge C1 bis C31 wurde jeder Messpunkt ausgepflockt.

### **8.2.5 Vermessungsarbeiten**

Die Höhenmessung erfolgte mit Hilfe in der Nähe liegender Nivellementpunkte. Der größte Abschlussfehler der Höhenmessung betrug 1,2 cm bei der langen Talschleife. Lediglich die Höhenmessungen im Bereich der Altablagerung Fließenklinge musste mangels Höhenfestpunkte mit relativen Höhenunterschieden ausgewertet werden (siehe 8.3.2.4). Durch diese Höhenmessung ist eine Genauigkeit der Schwereanomalie von  $\pm 0,04 \mu\text{m/s}^2$  gewährleistet (siehe 8.1.1.5).

Die Lage der Messpunkte wurde bei der Höhenmessung mit bestimmt. Als Anschluss dienten örtlich vorhandene Polygonpunkte nach dem Gauß-Krüger-System. Die Abweichung bewegte sich bei maximal 5 cm bei der längsten Messreihe (Talaue).

### **8.2.6 Erfassen der Geländedaten**

Alle Geländedaten wurden in Feldblätter eingetragen. Nach Messende wurden diese Daten in ein Feldreinblatt übertragen.

Eine erste Grobauswertung erfolgte mit Hilfe eines Taschenrechnerprogramms, um Messfehler oder Zahlendreher aufzuspüren. Der Gezeiteneinfluss wurde hierbei nicht berücksichtigt.

## **8.3 Auswertung**

Nach Vorliegen der Software (siehe 9) erfolgte die genaue Auswertung der Messergebnisse. Hierbei erwies es sich als erforderlich, die Software weiter zu modifizieren und auch neue Berechnungsmöglichkeiten vorzusehen. Die einzelnen Möglichkeiten der Auswertung sind unter der Beschreibung der Software detailliert aufgezeigt. Im Folgenden erfolgt die Interpretation der Ergebnisse je nach Stand der Berechnungen nach den Projekten separat.

Die Anlagen für die folgenden Auswertungen sind als Anlage 15 auf CD-ROM zusammengefasst. Abschließende Darstellungen zur Auswertung sind als normale Anlagen dem Textband beigelegt. Ergebnisse, die wichtig zur Detailinterpretation sind, sind als Verkleinerungen in den Text mit eingefügt.

Die verwendeten Roh- und Grunddaten sind in Tabellenform in der Anlage 15.7 (Gravimetriedaten und Vermessungsergebnisse) aufgeführt. Als Rohdaten sind die Gravimeterableseung als Zahlenfolge, Uhrzeit und Datum anzusehen. Als Grunddaten werden die Koordinaten, Höhen und die Geländekorrektur angesprochen.

Die eigentliche Auswertung ist in zwei Schritte aufgeteilt (siehe 8.3 und 8.4). So werden in einem ersten Schritt die Berechnungen ohne und mit Berücksichtigung des Regionalfeldes durchgeführt. Als Regionalfeld wird in der vorliegenden Arbeit das Feld bezeichnet, das aus der Karte der Bougueranomalien Baden-Württembergs entnommen wurde (Anlage 15.1). Es

wird hier geprüft, ob mit dieser Art von Auswertungen bereits Aussagen gemacht werden können, die die detaillierte Fragestellung zu den Projekten betreffen. Die Bezeichnung Lokalfeld wird in dieser Arbeit für das engräumige Feld im Umfeld der Messungen verwendet. Es wird aus den Messergebnissen abgeleitet.

### **8.3.1 Erster Berechnungsschritt**

Es wurden zunächst alle Rohdaten und Grunddaten, bestehend aus den einzelnen Messreihen, zu Berechnungsgrunddaten aufbereitet. Hierbei wurde der Gezeiteneinfluss bei den Messungen berücksichtigt. Der Gezeitenverlauf während der einzelnen Messperioden geht aus der Anlage 15.6 hervor. Berechnet wurden die Gezeiten nach LONGMAN (1959). Ferner wurde die Gerätedrift, zwischen dem Anmessen der Basisstationen ermittelt und linear auf die Messpunkte aufgeteilt. Hierbei trat in einem Fall eine maximale Drift von  $0,24 \mu\text{m/s}^2$  bei Kontrollmessungen auf. Wegen dieser großen Drift wurde diese Messreihe nicht bei der Auswertung berücksichtigt. Die übrigen festgestellten Driftanteile des Gravimeterganges betragen maximal  $0,09 \mu\text{m/s}^2$ . Ferner erfolgte eine Berechnung der Geländekorrektur (TC für Terrain Correction) nach HAMMER (1939).

Diese Grunddaten wurden zu den Projekten Festhalle, Talaue, Festhalle mit Talaue und Altablagerung zusammengefasst. Als nächster Schritt wurden die Mehrfachmessungen für einen Messpunkt gemittelt. Aus diesen Projektdaten wurden wiederum Profile zusammengestellt. Die Anomalienberechnungen konnten nun auf der Grundlage der Projekte und der Profile erfolgen.

Unter 8.3.2 werden die Ergebnisse aus diesen ersten Berechnungen dargestellt. Hierbei wird ebenfalls der Einfluss des Regionalfeldes auf die Berechnungsergebnisse geprüft.

### **8.3.2 Auswertung zu den einzelnen Messbereichen**

Im Folgenden werden die Messreihen zur Festhalle, Talaue, Talaue mit Festhalle und Altablagerung einzeln beschrieben. Zum Abschluss der einzelnen Projekte wird eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse gegeben.

#### **8.3.2.1 Festhalle**

Eine der Messreihen wurde 1992 durchgeführt, nachdem ein Entwurf mit Hangbebauung den Architektenwettbewerb gewann und weitere Hangbohrungen durchgeführt wurden. Nachdem allerdings der Gemeinderat der Stadt Murrhardt beschlossen hatte, in der Talaue das Gebäude zu errichten, wurden hier 1994 nochmals Messungen durchgeführt.

Bei beiden Messreihen wurde an einem Schwerefestpunkt des Schweremessnetzes von Baden-Württemberg angeschlossen, so dass hier die beiden zu unterschiedlichen Zeiten durchgeführten Messreihen miteinander vergleichbare Ergebnisse lieferten.

Die Lage des Messgebietes geht aus der Anlage 15.2.1 Blatt 1 hervor. In Anlage 15.2.1 Blatt 2 ist der Rahmen der folgenden flächenhaften Darstellungen eingetragen. Zur besseren Orientierung sind die Flurstücksgrenzen in die Isolinien-Darstellung mit eingearbeitet. Zur Auswertung kamen hier insgesamt 186 Messpunkte, die mindestens zweimal jedoch maximal viermal angemessen wurden.

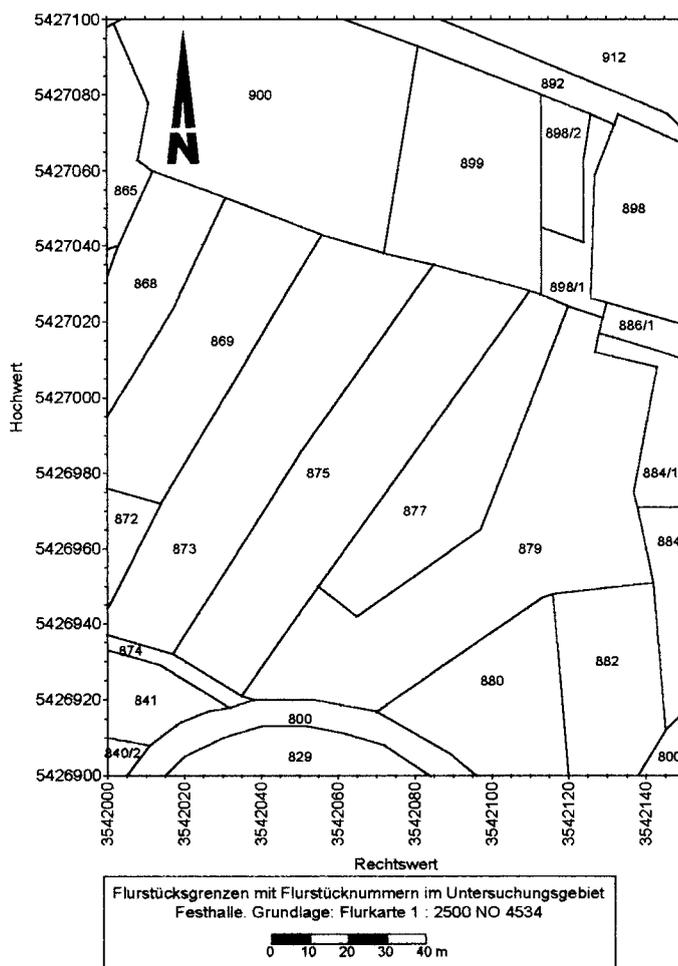
Die Anordnung der Punkte im Gelände erfolgte nicht regelmäßig. Der Grund hierfür liegt in der Zugänglichkeit (z. B. Bewuchs) und der damals vorliegenden Morphologie. Die Flurstücke 877 und 879 (Anlage 15.2.1 Blatt 3) waren nicht zugänglich (Gartennutzung und Ziegenweide). Auch sollte geprüft werden, welche Aussagen zu treffen sind, wenn die Punktanordnung unregelmäßig ist, da häufig nicht die ideale Gitteranordnung der Messpunkte im Gelände möglich ist.

Die Messpunktlage und -bezeichnung ist aus der Anlage 15.2.2 zu entnehmen. Die Lage der einzelnen Profile (FP 1 bis FP 5) geht aus der Anlage 15.2.3 hervor. Die Anlage 15.2.4 zeigt die Lage der Messpunkte und die der Bohrungen im Untersuchungsgebiet.

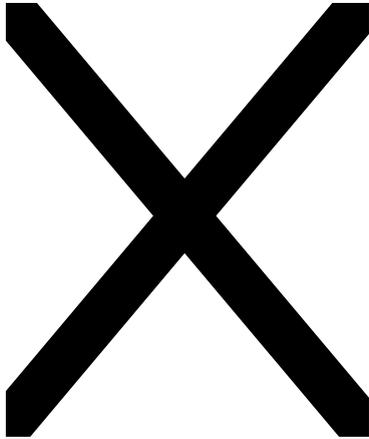
Der nördliche Bereich des Geländes gehört der flachen Talau der Murr an, während der südliche stark ansteigt (Anlage 15.2.5). Diese ausgeprägte Morphologie ließ eine gesicherte Eingrenzung der Dichte durch die Messungen erwarten (siehe 8.1.1.7 und Abb. 6). Die Morphologie ist bei jeder Profildarstellung, in der Regel überhöht, dargestellt.

### 8.3.2.1.1 Isoliniendarstellung

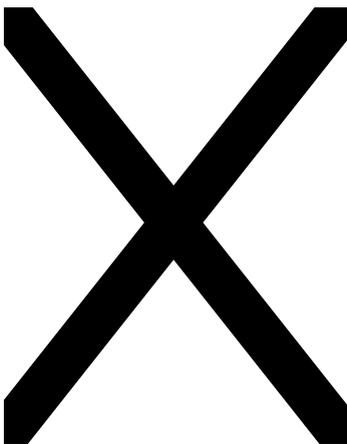
Der Umfang der Bougueranomalienberechnungen ist bei den zwei Messreihen zur Festhalle ausführlicher dargestellt, als bei den folgenden Projekten. Dies soll veranschaulichen, weshalb einzelne Berechnungsmöglichkeiten bei den übrigen Projekten nicht nochmals dargestellt wurden, obwohl sie berechnet wurden. Zur Konstruktion der Isolinien wurde das Softwareprodukt SURFER Version 5.0 der Firma Golden Software Inc. verwendet. Es wurde die Methode Kriging gewählt und darauf geachtet, dass bei allen Darstellungen die gleichen Parameter des Krigings beibehalten wurden, um eine Vergleichbarkeit der Isoliniendarstellungen zu gewährleisten. Treten Striche senkrecht zur Isolinie auf, so zeigen diese die Richtung hin zum niedrigeren Niveau. Die Beschriftung der Isolinien ist so angebracht, dass, wenn der Zahlenwert lesbar ist, die höheren Werte oberhalb des Zahlenwertes auftreten; sinngemäß die niedrigeren unterhalb des lesbaren Zahlenwertes.



verkleinerte Anlage 15.2.1 Blatt 3



verkleinerte Anlage 15.2.6 Blatt 1



verkleinerte Anlage 15.2.6 Blatt 2

Eine erste Berechnung der Bougueranomalie, mit dem Reduktionsniveau von 0 m NN und mit einer Dichte von  $2,67 \text{ g/cm}^3$ , ohne Berechnung der Geländekorrektur (im folgenden mit TC abgekürzt) und ohne Berücksichtigung des Regionalfeldes ergibt eine gute Übereinstimmung der errechneten Bouguerschwere mit der dargestellten Bouguerschwere in der Karte der Bouguer-anomalie von Baden-Württemberg (Anlage 15.1). Das Ergebnis zeigt die Anlage 15.2.6 Blatt 1. Ein grober Rechen- oder Ablesefehler kann somit ausgeschlossen werden.

Hier deutet sich im Bereich der Flurstücksgrenzen der Flurstücke 873, 875 und 899 (Anlage 15.2.1 Blatt 2 und Blatt 3 und Anlage 15.2.6 Blatt 1) an, dass eine geringere Dichte im Untergrund vorhanden sein muß. Dieses grobe Bild wird auch bei der Berechnung der Bougueranomalie mit TC, die mit der gleichen Dichte berücksichtigt wird, bestätigt. Zwar nimmt der unterschied der Bouguerschwere nach dem Betrag ab, wie bei der Berücksichtigung der TC zu erwarten ist, jedoch wird die betroffene Fläche die eine geringere Bouguerschwere aufweist größer (Anlage 15.2.6 Blatt 2).

Berücksichtigt man bei der ersten Berechnung (ohne TC) das Regionalfeld so ist eine gewisse Beruhigung der Isolinien im Talbereich zu beobachten (Anlage 15.2.6 Blatt 3).

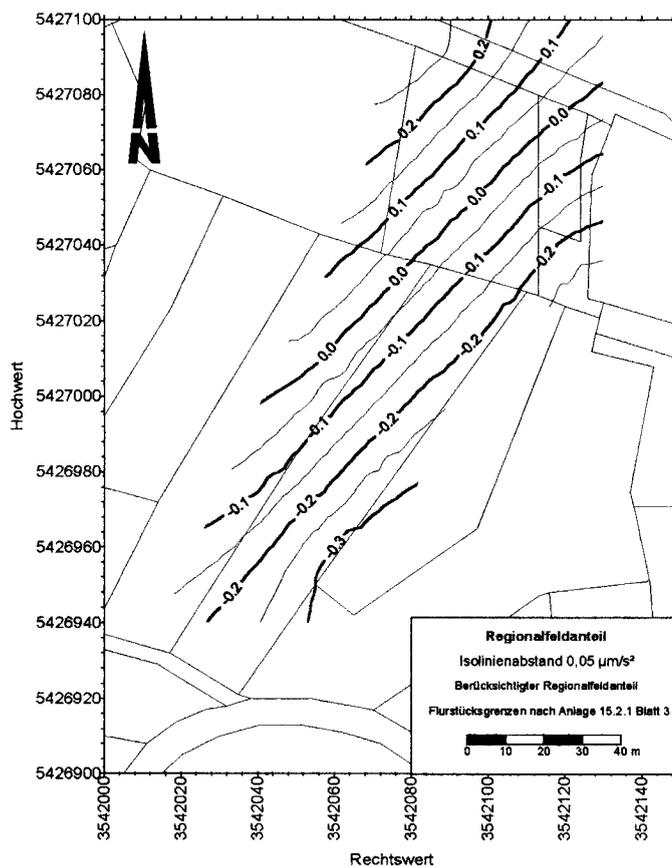
Als frei von jeglicher Drift wurde der Punkt mit den Gauß-Krüger-Koordinaten RW 35 42 075 und HW 54 27 030 ausgewählt. Das Regionalfeld wurde aus der Bouguer-anomalienkarte von Baden-Württemberg (Anlage 15.1) gewonnen. Der Gradient der Bouguer-anomalie beträgt nach Norden  $0,555 \mu\text{m/s}^2$  auf 100 m und nach Westen  $0,588 \mu\text{m/s}^2$  auf 100 m Strecke. Der Anteil des Regionalfeldes an den Messergebnissen geht aus Anlage 15.2.6 Blatt 5 hervor.

Berechnet man die Bouguer-anomalie unter Berücksichtigung des Regionalfeldes und der TC mit der gleichen Dichte  $2,67 \text{ g/cm}^3$ ,

so tritt erstmals ein leichtes Schwerehoch im Bereich um die Bohrung BK 5 und BK 14 (Anlage 15.2.4 und Anlage 15.2.6 Blatt 4) auf.

Die Ergebnisse der Freiluftanomalie berechnet ohne und mit Berücksichtigung des Regionalfeldanteils (Anlage 15.2.6 Blatt 6 und Blatt 7) zeigen keine Auffälligkeiten, da sie dem Verlauf der Morphologie folgen. Dies kann zunächst als Hinweis für das Fehlen von größeren oberflächennahen Hohlräumen interpretiert werden.

Auffällig bei allen durchgeführten Bougueranomalieberechnungen, ob mit TC oder ohne, ob mit Regionalfeld oder ohne, ist das lokale Hoch östlich der Bohrung BK 3.



verkleinerte Anlage 15.2.6 Blatt 5

Der Einfluss der TC geht aus Anlage 15.2.7 Blatt 1 hervor. Deutlich zu erkennen ist das steilere Gelände im Bereich der Flurstücksgrenzen 873, 899 und 900, das sich durch einen höheren Wert der TC bemerkbar macht. Um die oben beschriebene geringe Bougueranomalie im Bereich des Überganges zur Talau zu erklären, könnte auch eine zu gering ange-setzte Schwerewirkung durch die TC angenommen werden. Aus diesem Grunde wurde ein zweites Mal die Gelände-korrektur für die gesamten Messpunkte für das Projekt Festhalle neu berechnet. Gravierende Abweichungen traten keine auf, so dass die hier verwendeten TC Werte als gesichert angesehen werden müssen.

Für die Fernwirkung wurde aus der TK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt ein quaderförmiges Morphologiemodell konstruiert und nach 8.1.1.8.2 Gleichung 11b berechnet. Es konnte nachgewiesen werden, dass im gesamten Gebiet ab einem Abstand von 200 m vom Messpunkt, die Schwerewirkung des Geländes praktisch die gleiche war, und somit in die Betrachtung nicht einfluss.

Der Verlauf der gemessenen Schwere ohne Berücksichtigung des Regionalfeldes weist im Hangbereich auf keine außergewöhnliche Messergebnisse hin (Anlage 15.2.7 Blatt 2), während im Talauenbereich keine durchhaltende Korrelation mit der Morphologie festzustellen ist (Vergleich Anlage 15.2.5). Bei der Berücksichtigung des Regionalfeldes tritt im Talbereich ein Minimum an gemessener Schwere auf (Anlage 15.2.7 Blatt 3).

Die bisherige Auswertung hat gezeigt, dass der Grund für die Störwirkung des Schwerefeldes relativ oberflächennah vorhanden sein muß (Lokales Hoch im Bereich östlich der Bohrung BK 3). Geologisch lässt sich hierfür das Auslaugen des Gipses und das Verstürzen der Deckschichten als Grund nennen. Aus diesem Grunde wurde angenommen, dass die

gemessenen Werte und die daraus berechneten Unterschiede in der Bougueranomalie im Tiefenintervall von der Geländeoberfläche bis 270 m NN ihre Ursache haben. Daher wurden für die folgenden Betrachtungen das Zwischenniveau 270 m NN als Reduktionsebene herangezogen. Nach Anlage 10.1 ist ab dieser Teufe gesichert mit den Schichten des Unteren Keupers, auch im weiteren Umfeld, zu rechnen.

Für die Berechnungen wie unter den Anlagen 15.2.8 und 15.2.9 dargestellt, wurden hier, neben Berechnungen mit Berücksichtigung des Regionalfeldes, auch noch unterschieden, ob die TC berechnet mit der gleicher Dichte in die Anomalienberechnung mit eingeht oder nicht.

Es wurden zunächst Dichten von  $2,0 \text{ g/cm}^3$  bis  $2,8 \text{ g/cm}^3$  in den Bougueranomalieberechnungen verwendet. In der folgenden Beschreibung werden jeweils vier Berechnungsergebnisse nebeneinander dargestellt. Um eine sprachlich kurze und doch eindeutige Beschreibung zu gewährleisten wird folgende Vereinbarung getroffen:

Fall 1 : ohne TC gerechnet, mit Korrektur durch das Regionalfeld

Fall 2 : mit TC gerechnet, mit Korrektur durch das Regionalfeld

Fall 3 : ohne TC gerechnet, ohne Korrektur durch das Regionalfeld

Fall 4 : mit TC gerechnet, ohne Korrektur durch das Regionalfeld

Die im folgenden beschriebenen Bougueranomalieberechnungen wurden auf das Niveau 270 m NN reduziert. Wenn mit TC gerechnet wurde, so wurde die gleiche Dichte eingesetzt, wie bei der Bouguerreduktion.

Bei einer verwendeten Dichte von  $2,0 \text{ g/cm}^3$  tritt in allen vier Fällen ein deutliches Bougueranomalienminimum am Übergang des Hanges zur Talau auf. Alle Isoliniendarstellungen zeigen, dass die Dichte  $2,0 \text{ g/cm}^3$  keine korrekt gewählte Dichte für das gesamte Untersuchungsgebiet darstellt, da die Isolinien der Bougueranomalie im Bereich des Hanges sehr eng beieinander liegen und somit deutlich mit der Morphologie korrelieren (Anlage 15.2.8 Blatt 1 und Blatt 2, Anlage 15.2.9 Blatt 1 und Blatt 2).

Bei einer Dichte von  $2,3 \text{ g/cm}^3$  ist ein deutlicher Unterschied zur Dichte  $2,0 \text{ g/cm}^3$  festzustellen. So ist das Minimum der Bougueranomalie am Hangfuß nicht mehr so deutlich ausgeprägt. Insbesondere bei der Berechnung mit TC (Fall 2 und 3) ist dies zu beobachten. Der Einfluss des Regionalfeldes auf das Messergebnis ist nur gering (Anlage 15.2.8 Blatt 3 und Blatt 4, Anlage 15.2.9 Blatt 3 und Blatt 4).

Die Berechnung mit der Dichte  $2,4 \text{ g/cm}^3$  im Fall 3 zeigt im südlichen Bereich der Flurstücke 875 und 873 einen größeren Isolinienabstand. Im nördlichen Bereich der beiden Flurstücke ist der Verlauf der Isolinien unruhig. Nach wie vor ist im Hangfußbereich ein Minimum der Bougueranomalie vorhanden. Der Fall 1 zeigt ein vergleichbares Bild. In den beiden Fällen 2 und 4 löst sich die Unruhe der Isolinien im nördlichen Bereich der Flurstücke 873 und 875 auf, und deutet auf ein geringes Schwerehoch im nördlichen Bereich des Flurstückes 875 hin (Anlage 15.2.8 Blatt 5 und Blatt 6, Anlage 15.2.9 Blatt 5 und Blatt 6).

Die Unterschiede der Bougueranomalieberechnungen mit einer Dichte von  $2,5 \text{ g/cm}^3$  und der Dichte  $2,4 \text{ g/cm}^3$  ist sehr gering, so dass die Beschreibung der Ergebnisse der Dichte von  $2,4 \text{ g/cm}^3$  sinngemäß auch hier gilt (Anlage 15.2.8 Blatt 7 und Blatt 8, Anlage 15.2.9 Blatt 7 und Blatt 8).

Die Berechnungen der Bougueranomalie mit einer mittleren Dichte von  $2,6 \text{ g/cm}^3$  zeigen in allen Fällen ein anderer Isolinienverlauf im Hangbereich. Im Fall 2 wird das Schwerehoch im Hangbereich deutlich. Das Minimum der Bougueranomalie am Talfuß ist geringer ausgeprägt. Auffällig ist im Fall 1, 2 und 4 das Durchziehen der Isolinien von SSE nach NNW. Auch hier stellt sich die Frage, ob mit einer Einheitsdichte für das Gesamtprojekt Festhalle gearbeitet werden kann (Anlage 15.2.8 Blatt 9 und Blatt 10, Anlage 15.2.9 Blatt 9 und Blatt 10).

Die Berechnungen mit einer Dichte größer  $2,6 \text{ g/cm}^3$  sind aus geologischer Sicht nicht sinnvoll. Der Vollständigkeit wegen sind die Berechnungen mit  $2,67 \text{ g/cm}^3$  (Standarddichte),  $2,7 \text{ g/cm}^3$  und  $2,8 \text{ g/cm}^3$  in den Anlagen 15.2.8 Blatt 11 bis Blatt 16 und Anlage 15.2.9 Blatt 11 bis Blatt 16.

Um eine Eingrenzung der mittleren Dichte zwischen  $2,4 \text{ g/cm}^3$  und  $2,6 \text{ g/cm}^3$  über die Fläche zu versuchen, wurde noch mit den Dichten  $2,45 \text{ g/cm}^3$  und  $2,55 \text{ g/cm}^3$  die Bougueranomalie berechnet. Hierbei zeigt sich, dass die bereits beschriebenen Einheiten, wie Minimum der Bougueranomalie am Hangfuß und des lokalen Hochs um die Bohrungen BK 5 und BK 14 gut zum Vorschein kommen (Anlage 15.2.8 Blatt 17 bis Blatt 20 und Anlage 15.2.9 Blatt 17 bis Blatt 20).

Als Ergebnis der Berechnungen der Bougueranomalien mit verschiedenen Dichten als mittlere Dichte über das Untersuchungsgebiet zeigt zwei Ergebnisse deutlich auf. Die am geeignetste mittlere Dichte kann so nicht aus den Messungen abgeleitet werden. Eine Eingrenzung auf eine Dichte zwischen  $2,4 \text{ g/cm}^3$  und  $2,6 \text{ g/cm}^3$  ist allerdings möglich.

Im Hinblick auf die vorliegenden geologischen Ergebnisse deckt sich die Schwereanomalie mit den Bohrergebnissen der Bohrung BK 5 und BK 14. Aus den Ergebnissen der Pfahlbohrungen (Anlage 10.2.4) ist ersichtlich, dass im Bereich des Bouguerminimums im Hangfußbereich der Gips erst in einer tieferen Lage ansteht.

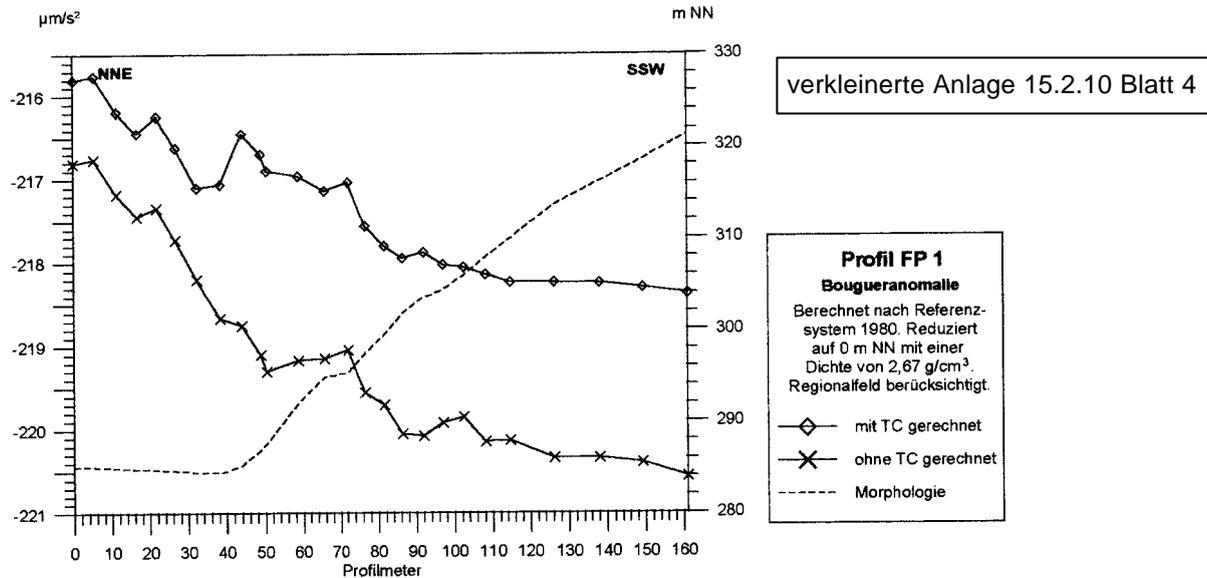
#### **8.3.2.1.2 Profile**

Die ausgewerteten Profile beruhen auf den Ergebnissen an den Messpunkten. Es wurden keine Werte aus Schnitten der Isoliniendarstellung gewonnen, sondern jeweils die Grunddaten neu berechnet. Die Darstellung erfolgte mit dem Softwareprodukt GRAPHER Version 1.26 der Firma Golden Software Inc..

Die Beschreibung der einzelnen Profile erfolgt in der Reihenfolge von Westen nach Osten. Das *Profil FP 1* wird im Gegensatz zu den folgenden Profilen ausführlicher dargestellt.

Die Anlage 15.2.10 Blatt 1 zeigt die nicht überhöhte Morphologie des Profils FP 1 mit den entsprechenden Punktbezeichnungen. Der Verlauf der Morphologie ist bei jeder folgenden Grafik überhöht mit dargestellt.

Die Bougueranomalie nach der Bougueranomalienkarte Baden-Württemberg zeigt, dass die berechneten Werte sich umgekehrt zum Verlauf der Morphologie verhalten (Anlage 15.2.10 Blatt 2). Beim Eingang der TC in die Berechnungen ändert sich an dieser Tendenz nichts (Anlage 15.2.10 Blatt 3). Beide Berechnungen sind in Anlage 15.2.10 Blatt 4 gegenübergestellt.



Die Freiluftanomalie weist im Bereich des Hangfußes auf ein Minimum hin, das nicht durch den Verlauf der Morphologie zu erklären ist (Anlage 15.2.10 Blatt 5). Bei der Darstellung der Standardbougueranomalle (Dichte 2,67 g/cm<sup>3</sup> und TC mit gleicher Dichte), ist der unruhige Verlauf der Bougueranomalle bis zum Profilmeter 90 festzustellen. Auch die Freiluftanomalie steigt ab diesem Profilmeter gleichmäßiger an (Anlage 15.2.10 Blatt 6).

Der Einfluss des Regionalfeldes geht aus Anlage 15.2.10 Blatt 7 hervor. In der folgenden Anlage 15.2.10 Blatt 8 wird verdeutlicht, dass bei unterschiedlichen Reduktionsniveaus der Zahlenwert der Bougueranomalle sich sehr wohl ändert, aber der Verlauf der Kurve sich nicht ändert. Das Reduktionsniveau ist je nach Fragestellung anzupassen, um die Genauigkeit der Aussagen zu steigern.

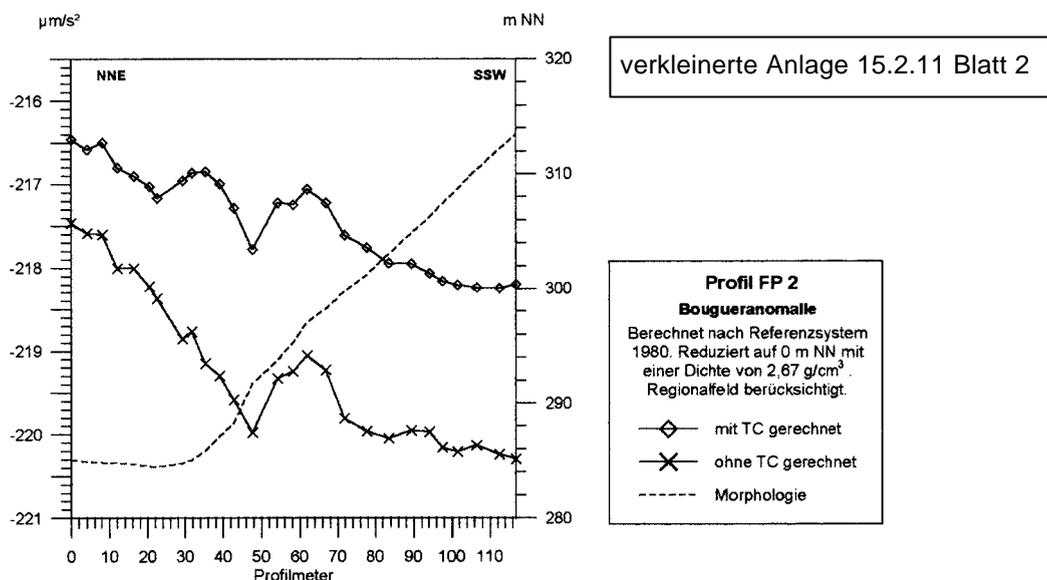
Die gemessene Schwere verhält sich umgekehrt zur Morphologie (Anlage 15.2.10 Blatt 9). Einen Hinweis auf einen größeren Hohlraum ist hier nicht zu beobachten.

Die Anlage 15.2.10 Blatt 10 zeigt den Verlauf der berechneten Bougueranomalle mit unterschiedlichen Dichten (Dichteintervall 0,1 g/cm<sup>3</sup>) jedoch ohne TC. Hier zeigt sich, dass für den hangseitigen Profilmeter sich die Dichte zwischen 2,5 g/cm<sup>3</sup> und 2,6 g/cm<sup>3</sup> bewegt (geringste Korrelation mit der Morphologie, Abb. 5). Während über den Teil des Profiles bis zum Profilmeter 50 keine Aussage über die Dichte gemacht werden kann, da hier der Kurvenverlauf zu stark zur Talauflage hin ansteigt und die Morphologie zu gering ausgeprägt ist. Auch das starke Abnehmen der Bougueranomalle vom Profilmeter 0 bis 50 kann hier, isoliert betrachtet, nicht beantwortet werden.

Bei dem Eingang der TC in die Bougueranomalle (Anlage 15.2.10 Blatt 11 und 12) sind prinzipiell die gleichen Beobachtungen festzustellen, auch hier ergibt sich als hangseitige Dichte ein Wert zwischen 2,5 g/cm<sup>3</sup> und 2,6 g/cm<sup>3</sup>. In beiden Fällen wurde das Regionalfeld berücksichtigt.

Nach der Interpretation nach Isolinien über die Fläche ergab sich ebenfalls ein Dichtewert von 2,4 g/cm<sup>3</sup> bis 2,6 g/cm<sup>3</sup>. Es konnte bei der zweidimensionalen Darstellung nachgewiesen werden, dass die Berücksichtigung des Regionalfeldes nicht ausreicht, den Anstieg der Kurven im Talbereich zu erklären.

Die Morphologie mit den Punktbezeichnungen des *Profiles FP 2* ist in der Anlage 15.2.11 Blatt 1 dargestellt. Die Anlage 15.2.11 Blatt 2 zeigt die Bougueranomalie mit und ohne TC berechnet. Auffällig ist das starke Minimum um den Profilmeter 50. Hierbei handelt es sich um den Messpunkt C 32. Bereits das Messergebnis des Punktes C 29 leitet hier den Abwärtstrend der Bougueranomalie ein. Auffällig ist der ruhige Kurvenverlauf bei Berücksichtigung der TC ab ca. dem 80sten Profilmeter bis zum südlichen Ende des Profiles.



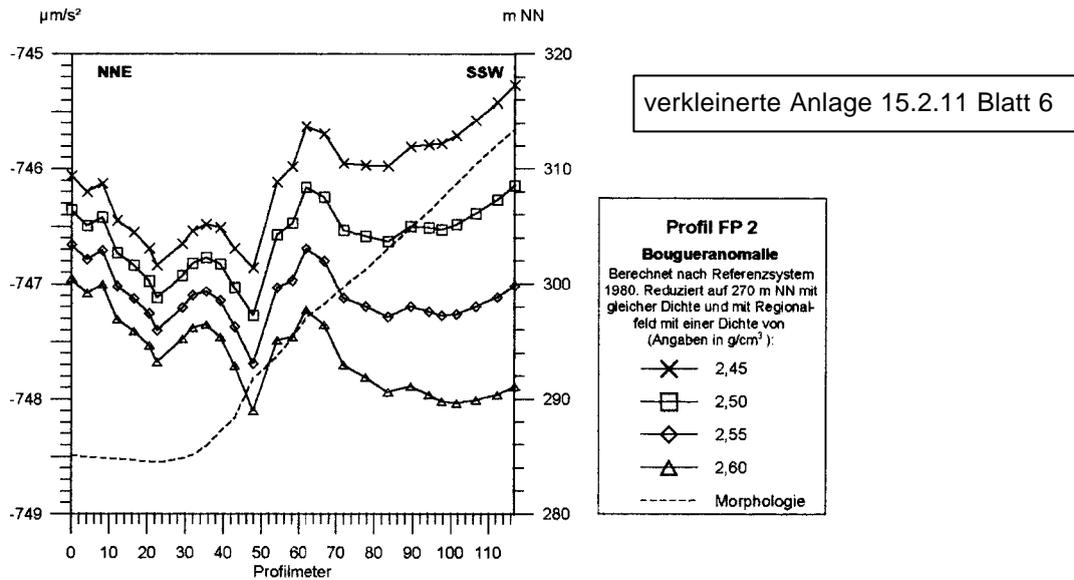
In der Anlage 15.2.11 Blatt 3 zeigt der Verlauf der Freiluftanomalie den gleichen Verlauf am Hangfuß wie im Profil FP 1. Ab dem 80sten Profilmeter steigt die Kurve gleichmäßig an. Hinsichtlich des lokalen Minimums der Bougueranomalie bei Punkt C 32 lässt sich lediglich ein schwacher Knick im Verlauf der Freiluftanomalie erkennen, der allerdings mit der Morphologie korreliert. Auffällig ist der etwas unruhige Verlauf der Freiluftanomalienkurve am nördlichen Beginn des Profiles.

Die Auswirkung des Regionalfeldes auf die Bougueranomalie geht aus Anlage 15.2.11 Blatt 4 hervor. Die gemessene Schwere weist bei Messpunkt C 32 einen Knick im Verlauf der Kurve auf. Dies weist darauf hin, dass hier kein Reduktionsfehler an diesem Punkt vorliegt, sondern die gemessene Schwere bereits geringfügig geringer vorliegt, als dies im Umfeld sonst gemessen wurde (Anlage 15.2.11. Blatt 5).

Die Berechnung der Bougueranomalie mit verschiedenen Dichten wurde auf das Intervall  $2,45 \text{ g/cm}^3$  bis  $2,6 \text{ g/cm}^3$  eingengt. Eine weitere Einengung der Dichte muß auch hier unterbleiben, da eine gemeinsame mittlere Dichte für den Hang- und Talbereich nach den geologischen Ergebnissen nicht angenommen werden kann (Anlage 15.2.11 Blatt 6).

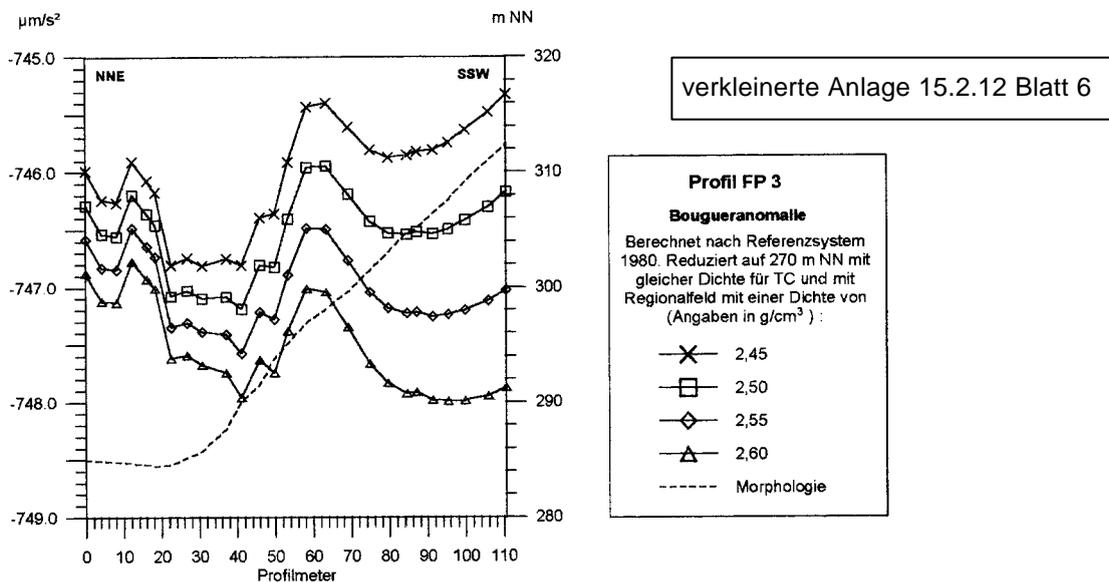
Die Anlage 15.2.12 Blatt 1 zeigt die Morphologie mit Punktbezeichnung des *Profiles FP 3*. Die Berechnung der Bougueranomalie mit  $2,67 \text{ g/cm}^3$  mit und ohne TC zeigt einen Anstieg der Kurve noch im Hangbereich (Profilmeter 70 bis 60). Mit Erreichen der Talaue steigt der Wert der Bougueranomalie weiter an (Anlage 15.2.12 Blatt 2).

Bei der Gegenüberstellung der Freiluft- und Bougueranomalie zeigt ebenfalls die Freiluftanomalie im Talbereich zunächst eine Abnahme, obwohl die Morphologie ansteigt (Anlage



15.2.12 Blatt 3). Der Einfluss des Regionalfeldes wird in Anlage 15.2.12 Blatt 4 dargestellt. Die gemessene Schwere steigt am Hangfuß schwach an, um dann deutlich mit der Morphologie zu korrelieren (Anlage 15.2.12 Blatt 5).

Die Berechnung der Bougueranomale mit unterschiedlichen Dichten weist noch im Hang ein lokales Hoch auf, dass dann zur Talseite hin stark abnimmt. Im eigentlichen Talbereich ist wieder eine Zunahme der Anomalie nach Norden zu beobachten (Anlage 15.2.12 Blatt 6).

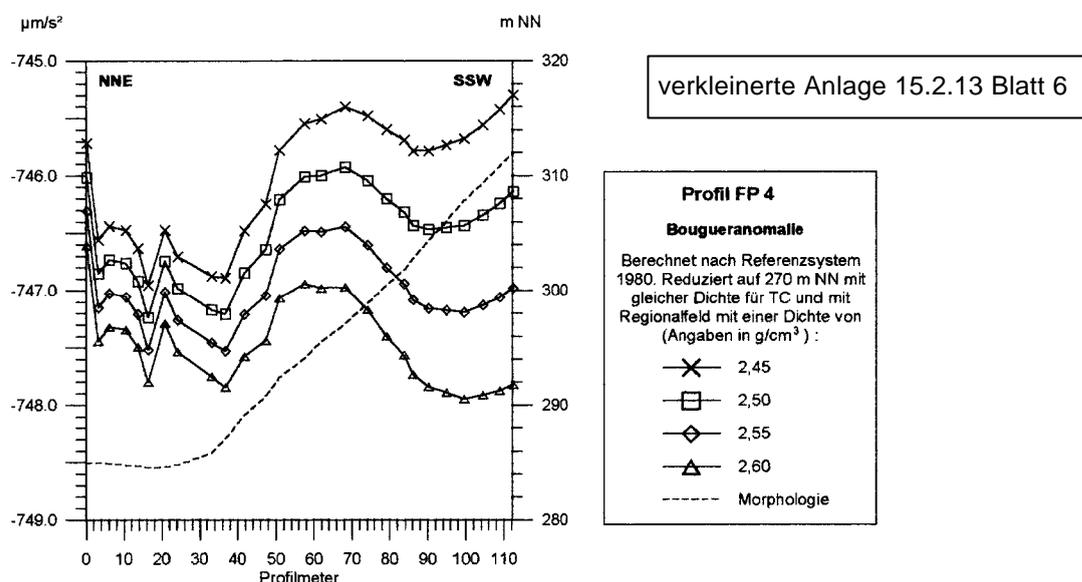


Die Morphologie mit den Punktbezeichnungen des *Profiles FP 4* geht aus Anlage 15.2.13 Blatt 1 hervor. Der Einfluss der TC auf die Bougueranomale kann aus der Anlage 15.2.13 Blatt 2 entnommen werden. Auffällig ist die Zunahme der Bouguerschwere noch im Hangbereich und die anschließende Abnahme im Bereich des Hangfußes.

Die Freiluftanomalie zeigt als auffälliges Merkmal eine Abnahme im Bereich des Überganges Talau und Hangfuß (Anlage 15.2.13 Blatt 3). Der Einfluss des Regionalfeldes nimmt vom Beginn des Profiles im NNE zum SSW-Ende stetig zu (Anlage 15.2.13 Blatt 4). Die gemess-

sene Schwere weist einen leicht unruhigen Verlauf zwischen den Profilmeter 33 und 65 auf (Anlage 15.2.13 Blatt 5), der mit der Morphologie korreliert.

Die mit unterschiedlichen Dichten berechnete Bougueranomalie zeigt im Hangbereich ein lokales Schwerehoch. Die Kurve der Bougueranomalie fällt zum Hangfuß stark ab. Im Talbereich herrscht zunächst ein ansteigender Trend vor. Das starke Ansteigen zu Punkt C 3 kann nicht erklärt werden (Anlage 15.2.13 Blatt 6).



Die Punktbezeichnung des *Profiles FP 5* und der Verlauf der Morphologie geht aus Anlage 15.2.14 Blatt 1 hervor. Die Bougueranomalie berechnet mit TC (Anlage 15.2.14 Blatt 2) steigt im Hangbereich stark an. Der Übergang zum Talauenbereich ist hier nicht durch einen weiteren starken Anstieg der Bougueranomalie geprägt. Besonders deutlich wird hier der Einfluss der TC. Ein zuvor nur schwach ausgeprägtes Hoch der Bougueranomalie tritt erst durch die TC deutlich hervor.

Bei der Betrachtung der Freiluftanomalie zeigt diese auch hier eine geringe Abnahme am Übergang von der ebenen Talaue zum Hangfuß. Der leichte Knick in der Steigung der Freiluftanomalie bei Punkt III/12/92 korreliert mit der Morphologie (Anlage 15.2.14 Blatt 3). Aus der folgenden Anlage 15.2.14 Blatt 4 geht der Einfluss des Regionalfeldes auf die berechneten Bougueranomaliawerte hervor. Die gemessene Schwere weist keine Besonderheiten auf (Anlage 15.2.14 Blatt 5).

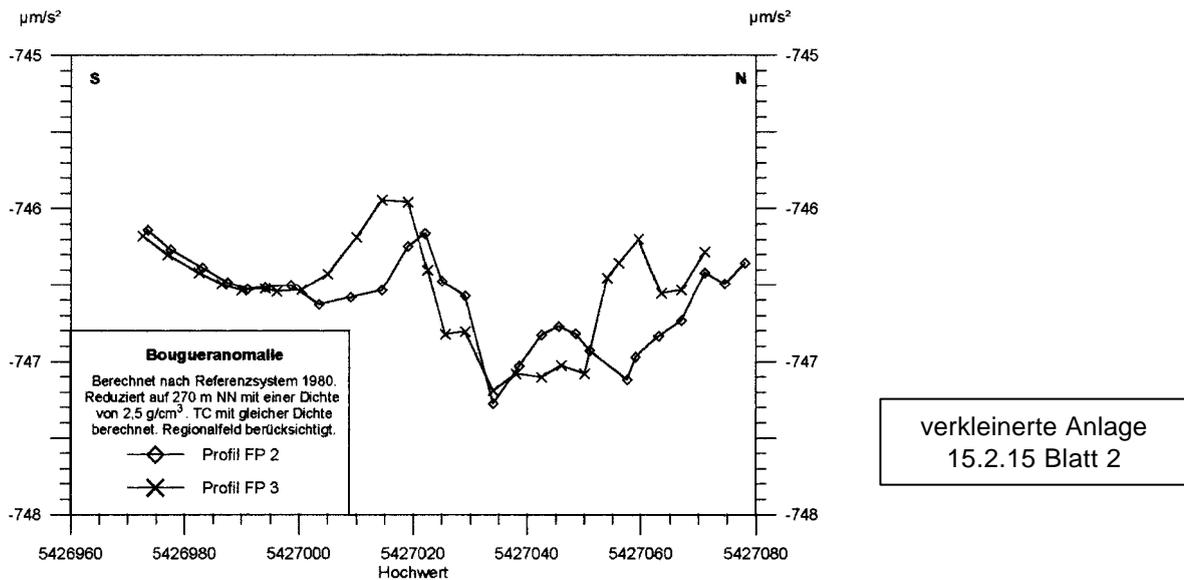
Aus der Berechnung der Bougueranomalie nach verschiedenen Dichten (Anlage 15.2.14 Blatt 6) lässt sich hier die Dichte auf einen Wert zwischen 2,50 g/cm<sup>3</sup> und 2,55 g/cm<sup>3</sup> im Hangbereich einengen. Hier kann zunächst kein Ansteigen der Bougueranomalie zur Talseite hin beobachtet werden, jedoch ist der Verlauf unruhig.

Die benachbarten Profile, berechnet mit einer Dichte von 2,5 g/cm<sup>3</sup>, werden verglichen. Die Werte auf der Abszisse entsprechen nicht der Profillänge, sondern basieren auf den Hochwerten der Punkte. Die Werte erscheinen jetzt nicht mehr in ihrem wahren Abstand zueinander, sondern auf eine Süd-Nord verlaufende Achse projiziert.

Die Anlage 15.2.15 Blatt 1 zeigt einen Vergleich der Bougueranomalien der beiden Profile FP 1 und FP 2. Hier ist ersichtlich, dass der Verlauf der Kurven im südlichen Hangbereich bis

zum HW 54 27 010 vergleichbar verläuft. Im weiteren Verlauf steigen beide Kurven zunächst an, um dann unterschiedlich stark abzufallen. Ein gemeinsames Tief der Bougueranomalie tritt bei dem HW 54 27 055 auf. Der darauffolgende Anstieg geht in beiden Fällen steil nach oben. Trotz des zunächst unterschiedlich erscheinenden Kurvenverlaufs aus den Einzeldarstellungen können auf diese Weise Gemeinsamkeiten erkannt werden.

Der Vergleich der Profile FP 2 und FP 3 zeigt, dass beide Profile ein deutlich lokales Minimum der Bougueranomalie aufweisen, das allerdings bei Profil FP 2 mit einem lokalen Hoch bei HW 54 27 045 unterbrochen wird. Der darauffolgende Anstieg fällt bei Profil FP 3 stärker aus als bei Profil FP 2. Auffällig ist allerdings auch das Auftreten eines lokalen Maximums bevor die Kurve in das lokale Minimum übergeht (Anlage 15.2.15 Blatt 2).



Das lokale Maximum der Bougueranomalie bei HW 54 27 010 tritt in Profil FP 4 deutlicher hervor als in Profil FP 3 und zuvor in Profil FP 2. Das anschließende lokale Minimum ist über eine längere Strecke im Profil FP 4 vorhanden als im Profil FP 3. Der folgende Anstieg im Norden ist in Profil FP 4 deutlich steiler, als dies im südlich davon gelegenen Anstieg der Kurve von Profil FP 3 (Anlage 15.2.15 Blatt 3).

Beim Vergleich der Profile FP 4 und FP 5 (Anlage 15.2.15 Blatt 4) lässt eine gute Übereinstimmung des Verlaufs bis an das nördliche Ende des Profiles FP 5 erkennen. Leider konnten keine Messwerte nördlich des Punktes C 17 ermittelt werden, da dieser Bereich als Lagerplatz zur Zeit der Messungen diente.

Aus diesen Gegenüberstellungen jeweils zweier Profile, lässt sich ein einheitlicher Trend bei den Messergebnissen ablesen. Ein ausgeprägtes West-Ost gerichtetes Lokalfeld ist nicht vorhanden. Alle Profile zeigen im südlichen Hangbereich einen ruhigen Verlauf der Bougueranomalie. Im Übergang zur Talfüllung am Hangfuß ist der Verlauf der Kurven unruhig und sie weisen alle ein lokales Minimum in diesem Bereich auf. Im weiteren Verlauf nach Norden ist ein starkes Ansteigen der Bougueranomalie zu beobachten.

### 8.3.2.1.3 Zwischenergebnisse

Aus den bisherigen Auswertungen lässt sich bereits eine Gliederung des Schwerefeldes und damit des Untergrundes grob herleiten. So ist im Hangbereich eine stetige Abnahme der

Bouguerschwere zu beobachten. Im Bereich des Hangfußes erscheinen die berechneten Anomalien als Minimum.

### 8.3.2.2 Talaue

Die Messreihe zur Talaue sollte klären, ob im Bereich des Tales der Murr ein tektonischer Versatz der Keuperschichten vorhanden ist, wie dies durch die Bohrerergebnisse um das Rückhaltebecken (BK 19 und BK 20) denkbar erscheint. Auch diese Messreihe wurde in das Schweremessnetz des Landes Baden-Württemberg eingehängt, so dass die Ergebnisse mit denen der Festhalle verglichen werden können.

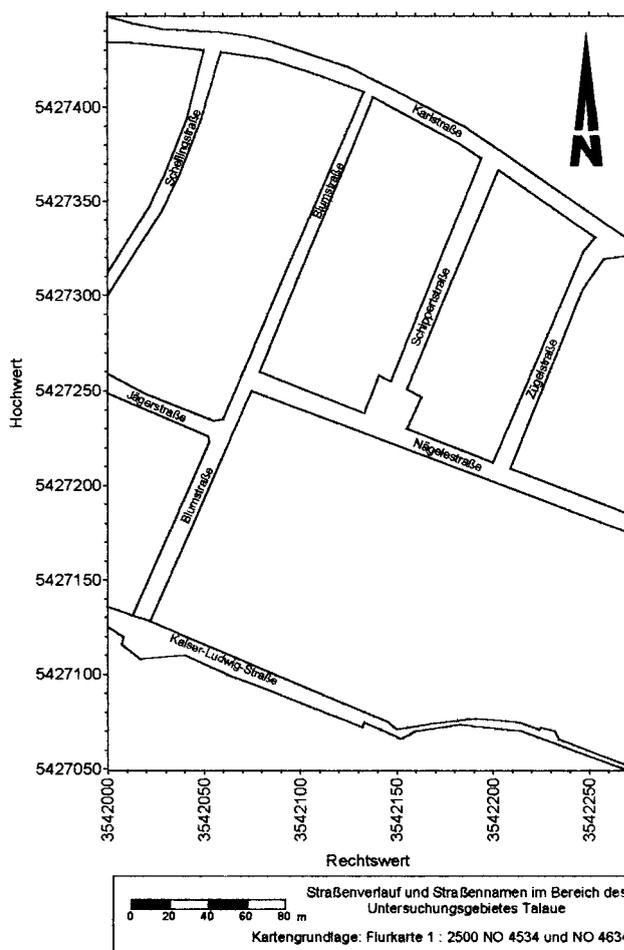
Auch wurden von diesen Messungen Erkenntnisse über das Lokalfeld erwartet, da die Morphologie in weiten Bereichen nahezu eben ist.

Zu den folgenden Ausführungen wird die Anlage 15.3 benötigt.

Die Lage des Messgebietes geht aus der Anlage 15.3.1 Blatt 1 hervor. Detailliert ist die Lage aus den Anlagen 15.3.1 Blatt 2 und Blatt 3 zu entnehmen.

Zur Auswertung kamen 64 Messpunkte, die alle doppelt (innerhalb 6 Tagen) angemessen wurden. Die Lage der Messpunkte musste sich auf öffentlich zugängliche Bereiche beschränken. Der nördliche Bereich der Blumstraße konnte nicht als Messstrecke gewählt werden, da diese Straße derartig eng ist, dass neben den parkenden Fahrzeugen gerade Platz bleibt für das passierende Fahrzeug. Ein Gehweg ist nicht vorhanden.

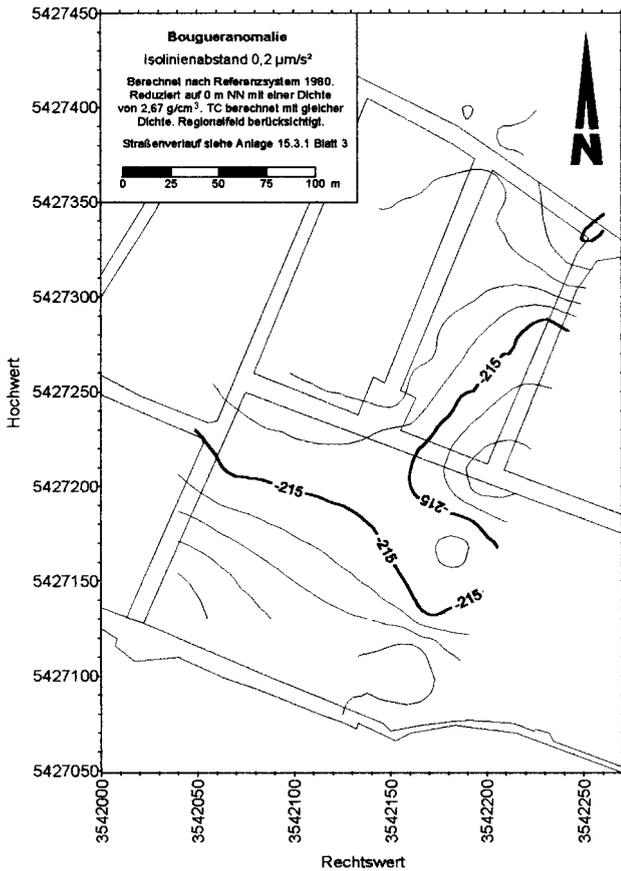
Die Lage der Messpunkte geht aus der Anlage 15.3.2 hervor. Die Lage der Profile zeigen die Anlagen 15.3.3 Blatt 1 bis Blatt 3. Die Morphologie geht aus Anlage 15.3.4 hervor. Die in der Talaue liegenden beide Bohrungen BK 8 und BK 18, die noch für die spätere Auswertung wichtig sind, sind in Anlage 15.3.5 mit den Gravimetriemesspunkten in der Tallage dargestellt.



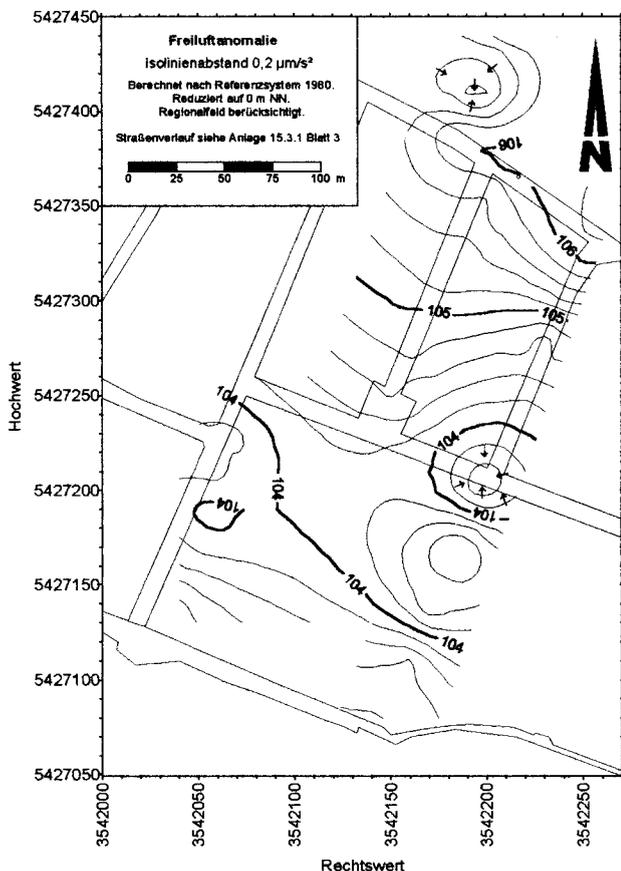
#### 8.3.2.2.1 Isoliniendarstellung

Bei der Berechnung der Bougueranomalie wurde zunächst die TC und das Regionalfeld nicht berücksichtigt. Als Dichte wurde  $2,67 \text{ g/cm}^3$  zur Berechnung herangezogen, wie dies bei der Karte der Bouguer-

verkleinerte Anlage 15.3.1 Blatt 3



verkleinerte Anlage 15.3.6 Blatt 4



verkleinerte Anlage 15.3.6 Blatt 7

anomalie von Baden-Württemberg der Fall ist. Die Ergebnisse der berechneten Bougueranomalie (Anlage 15.3.6 Blatt 1) liegen im Bereich der Werte, wie sie auf Grund der Bougueranomaliemkarte von Baden-Württemberg zu erwarten sind (Anlage 15.1).

Durch die Berücksichtigung der TC mit der gleichen Dichte tritt ein leichtes Minimum im Bereich der Einmündung der Zügelstraße in die Nägelestraße auf (Anlage 15.3.6 Blatt 2). Der Richtungsverlauf der Isolinien entspricht in etwa der Richtung, wie dies aus der Karte der Bougueranomalie von Baden-Württemberg zu erwarten ist.

Bei der Korrektur der berechneten Bougueranomalien mit dem Regionalfeld wurde der Punkt mit folgenden Koordinaten RW 35 42 125 und HW 54 27 225 frei von einem Einfluss durch das Regionalfeld angenommen. Als Anteil des Regionalfeldes wurde eine Zunahme nach Norden um  $0,555 \mu\text{m/s}^2$  auf 100 Meter und nach Westen eine Zunahme um  $0,588 \mu\text{m/s}^2$  auf 100 m berücksichtigt (analog zur Festhalle).

Nach der Korrektur der Darstellung in Anlage 15.3.6 Blatt 1 ist auch ohne TC bereits das lokale Minimum im Einmündungsbereich der Zügelstraße und Nägelestraße zu erkennen (Anlage 15.3.6 Blatt 3). Nach der Korrektur der Ergebnisse der Anlage 15.3.6 Blatt 2 ist ersichtlich, dass das oben beschriebene lokale Minimum der Bougueranomalie größer ausgeprägt ist (Anlage 15.3.6 Blatt 4). Aus dem Verlauf der Isolinien ist bereits hier ersichtlich, dass im Bereich der Schippertstraße und Blumstraße nicht mit Störungen der Schwere zu rechnen ist.

Der Anteil des verwendeten Regionalfeldes an den Messergebnissen geht aus der Anlage 15.3.6 Blatt 5 hervor. Auch die Freiluftanomalie zeigt vor und nach der Korrektur der Messergebnisse ein lokales Minimum im Bereich der Einmündung der

Zügelstraße in die Nägelestraße (Anlage 15.3.6 Blatt 6 und Blatt 7).

Wie aus der Anlage 15.3.7 Blatt 1 ersichtlich ist, ist nur im äußersten Süden zur Kaiser-Ludwig-Straße hin mit einem Einfluss der TC zu rechnen. Im übrigen Talbereich geht praktisch kein Einfluss durch das umgebende Gelände bis zu dem betrachteten Radius von 170 m auf den Messpunkt ein. Aus diesem Grunde ist auch auf eine separate Berechnung der Bougueranomalie ohne TC für die Isoliniendarstellung verzichtet worden, da hierdurch nur eine geringe Beeinflussung im Verlauf der Isolinien erwartet wird.

Die gemessene Schwere mit und ohne Korrektur durch das Regionalfeld geht aus der Anlage 15.3.7 Blatt 2 und Blatt 3 hervor. Die Anlagen 15.3.8 und 15.3.9 zeigen den Isolinenverlauf der Bougueranomalie berechnet mit verschiedenen Dichten. In allen Fällen wurde die TC mit berechnet, da ihr Einfluss auf die erhaltenen Isolinien gering ist. Als Reduktionsniveau wurde 270 m NN gewählt.

Eine jeweilige Einzelbeschreibung für jede eingesetzte Dichte unterbleibt hier, da der Verlauf der Isolinien der Bougueranomalie mit Berücksichtigung des Regionalfeldes im Grunde bei allen eingesetzten Dichten das lokale Minimum im Bereich der Einmündung der Zügelstraße in die Nägelestraße aufweisen. Auch die beiden lokalen Maxima südlich und nördlich des beschriebenen Minimums treten bei allen eingesetzten Dichten auf. Der Verlauf der Bougueranomalie in der Schippertstraße ist sehr ausgeglichen, während in der südlichen Blumstraße ein leichtes Abnehmen der Bougueranomalie zu beobachten ist (Anlage 15.3.9).

Bei der Interpretation der Bougueranomalie ohne Berücksichtigung des Regionalfeldes (Anlage 15.3.8) kann ebenfalls die gleiche Situation im östlichen Messgebietsbereich wie bei der Berücksichtigung des Regionalfeldes beobachtet werden. Lediglich in der Schippertstraße ist jetzt ein leichter Anstieg der Bougueranomalie nach Norden zu beobachten. Auch ist der Anstieg in der Blumstraße nach Norden hin stärker, als bei der Berücksichtigung des Regionalfeldes.

Aus der Berechnung der Bougueranomalie und dem fehlenden Einfluss der Morphologie lässt sich hier kein mögliches Dichteintervall angeben.

#### **8.3.2.2 Profile**

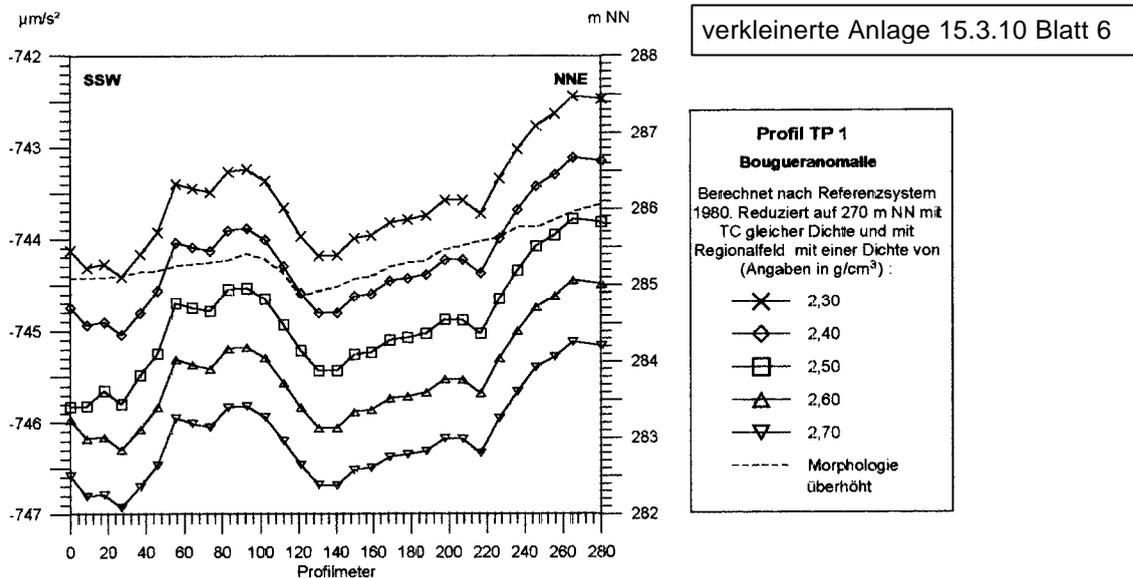
Die hier dargestellten Profile beruhen auf den Ergebnissen an den Messpunkten. Es wurden keine Werte aus Schnitten der Isoliniendarstellung gewonnen, sondern jeweils die Grunddaten neu gerechnet. Die Reihenfolge der Nummerierung der Profile erfolgt von Osten nach Westen.

Aus der Anlage 15.3.10 Blatt 1 ist gut der nahezu ebene Verlauf der Morphologie des *Profils TP 1* zu erkennen. Die verwendeten Punkte sind aus der Bezeichnung ersichtlich. Der Einfluss der TC ist bis Profilmeter 40 ersichtlich (Anlage 15.3.10 Blatt 2).

Die Kurve der Freiluftanomalie korreliert bei Profil TP 1 nicht immer mit dem Verlauf der Morphologie (Anlage 15.3.10 Blatt 3), sondern mit dem Kurvenverlauf der Bougueranomalie (Dichte  $2,67 \text{ g/cm}^3$ ). Der Einfluss des Regionalfeldes ist bei der längeren Erstreckung des Profils TP 1 bis zu  $0,9 \mu\text{m/s}^2$ . Dies hat allerdings keinen Einfluss auf den grundsätzlichen Verlauf der Bougueranomaliekurve (Anlage 15.3.10 Blatt 4).

Der Verlauf der gemessenen Schwere ist recht unruhig. Eine Korrelation mit der Morphologie ist nicht immer gegeben. Dies deutet auf einen unterschiedlich ausgestalteten Untergrund hin (Anlage 15.3.10 Blatt 5).

Auch bei der Berechnung der Bougueranomale mit verschiedenen Dichten kann aus dem Kurvenverlauf auf keine sicheren Dichtewerte des Untergrundes geschlossen werden (Anlage 15.3.10 Blatt 6).



Das Profil *TP 2* ist hinsichtlich der Morphologie sehr eben. Die verwendeten Punkte sind in den Verlauf der Morphologie in der Anlage 15.3.11 Blatt 1 eingetragen. Einen Einfluss durch die TC ist nicht gegeben, da diese überall gleich 0  $\mu\text{m/s}^2$  bis zu einem Radius von 170 m beträgt (Anlage 15.3.11 Blatt 2). Beim Vergleich der Bougueranomale, Berechnungsgrundlagen siehe Anlage 15.3.11 Blatt 3, und der Freiluftanomalie, zeigt sich, dass die Freiluftanomalie nach Norden hin zunimmt, während die Bougueranomale in etwa auf dem gleichen Niveau verharrt.

Der Einfluss des Regionalfeldes ist hier nicht so groß. Da der Punkt, der frei von dem Einfluss des Regionalfeldes ausgewählt wurde, und der Verlauf der Korrektur, nur im nördlichen Bereich des Profiles eine Auswirkung aufweist (Anlage 15.3.11 Blatt 4). Die gemessene Schwere nimmt nach Norden hin tendenziell schwach ab (Anlage 15.3.11 Blatt 5).

Bei der Berechnung der Bougueranomale mit verschiedenen Dichten kann aus dem Kurvenverlauf auf keine mittlere Dichte des Untergrundes geschlossen werden (Anlage 15.3.11 Blatt 6).

Das *Profil TP 3* weist, wie alle Talauenprofile, eine ebene Morphologie auf. Die Punktbezeichnungen der verwendeten Punkte gehen aus Anlage 15.3.12 Blatt 1 hervor. Der Einfluss der TC ist bei diesem Profil zu vernachlässigen (Anlage 15.3.12 Blatt 2). Die Bougueranomale, berechnet mit einer Dichte von 2,67 g/cm<sup>3</sup>, zeigt ein schwaches aber stetiges Ansteigen nach Norden, während die Steigung der Kurve der Freiluftanomalie nach Norden durch den Verlauf der Morphologie zwischen Profilmeter 55 und 82 beeinflusst wird (Anlage 15.3.12 Blatt 3).

Der Einfluss des Regionalfeldes nimmt nach Norden hin zu (Anlage 15.3.12 Blatt 4). Ein grundsätzlich anderer Kurvenverlauf ist hierdurch nicht zu beobachten. Auch die gemessene Schwere nimmt nach Norden hin zu, jedoch ist die Steigung unterschiedlich stark. Nur am südlichen Ende des Profils ist eine geringe Abnahme der gemessenen Schwere zu beobachten (Anlage 15.3.12 Blatt 5).

Bei der Berechnung der Bougueranomalie mit verschiedenen Dichten kann aus dem Kurvenverlauf auf keine Dichte des Untergrundes geschlossen werden (Anlage 15.3.12 Blatt 6). Der Vergleich des Verlaufes der Bougueranomalien (berechnet mit  $2,5 \text{ g/cm}^3$  aller Talprofile; Anlage 15.3.13 Blatt 1 und Blatt 2), lässt eine Zunahme der Bougueranomalie des Lokalfeldes nach Norden als wahrscheinlich erscheinen. Durch den nahezu ebenen Verlauf der Morphologie ist eine Korrelation mit der Höhe auszuschließen. Zu beachten ist, dass die Messpunkte auf eine einheitlich Nord-Südachse projiziert sind.

### 8.3.2.2.3 Zwischenergebnisse

Die bisherige Auswertung zeigt im Talauenbereich keinen großen Anstieg oder Abnahme der berechneten Bougueranomalien, aus denen eine talparallele Störung ableitbar wäre. Vielmehr ist ein Teilbereich sehr ausgeglichen (Profil TP 2). Im Bereich des Profiles TP 1 kann ein lokales Minimum festgestellt werden.

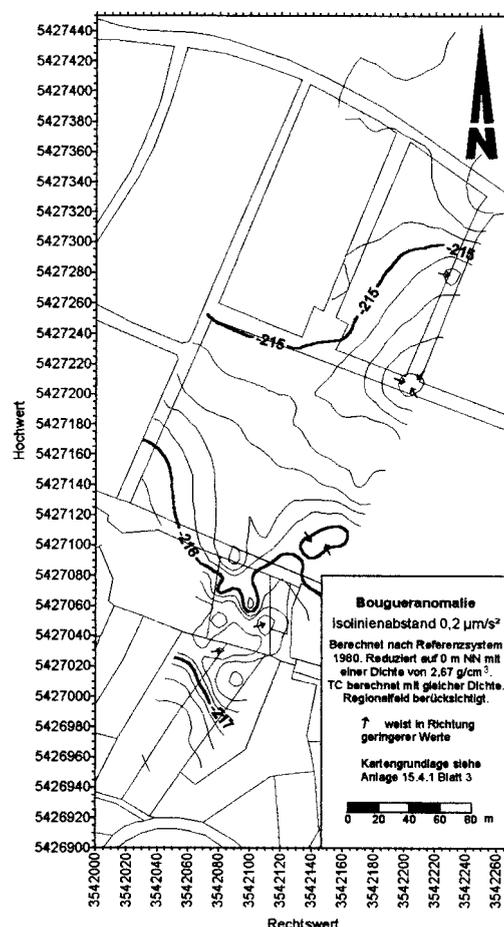
Die weiteren Auswertungen müssen zeigen, wie eine genauere Aussage über den Untergrund erreicht werden kann.

### 8.3.2.2 Ergebnisse Festhalle verglichen mit Ergebnissen Talaue

Die beiden Untersuchungsgebiete Festhalle und Talaue grenzen im Bereich der Kaiser-Ludwig-Straße aneinander (Anlage 15.4.1). Die gemeinsame Interpretation soll Klarheit über das hier anscheinend anders gestaltete Lokalfeld der Schwere, im Vergleich zum Regionalfeld, entnommen aus der Karte der Bougueranomalie des Landes Baden-Württemberg, schaffen.

Zur Orientierung wurden die Anlagen 15.2.1 Blatt 3 und 15.3.1 Blatt 3 zusammengefasst, jedoch keine Beschriftung eingefügt (Anlage 15.4.1 Blatt 3). Die Lage der Punkte ist aus Anlage 15.4.2 zu entnehmen. Die Lage des gemeinsamen Profiles mit den verwendeten Punkten geht ebenfalls aus Anlage 15.4.2 hervor, während die Anlage 15.4.3 deutlich die unterschiedliche Morphologie der beiden Untersuchungsgebiete zeigt.

Hierzu wurden zunächst wieder Isolinienkarten erstellt, wie dies bei den jeweiligen Einzelprojekten erfolgte.



verkleinerte Anlage 15.4.4 Blatt 1

### 8.3.2.3.1 Isoliniendarstellung

Es hat sich gezeigt, dass unter Berücksichtigung des Regionalfeldes und der TC bei der Berechnung der Bougueranomalie die aussagekräftigsten Ergebnisse erhalten wurden. Daher werden hier nur diese Berechnungen der Bougueranomalie durchgeführt. Der Punkt, für den der Einfluss für das Regionalfeld gleich 0 gesetzt wurde, weist die Koordinaten RW 35 42 145 und HW 54 27 195 auf. Die berechnete Bougueranomalie geht aus Anlage 15.4.4 Blatt 1 hervor. Das Regionalfeld wird in der Anlage 15.4.4 Blatt 2 dargestellt.

Die berechnete Bougueranomalie weist durch die unterschiedlichen Punktabstände der Messnetze im Bereich der Festhalle zu stark geglättete Werte auf, so dass auf eine weitere Berechnung von Isoliniendarstellungen verzichtet wurde. Statt dessen wurde ein gemeinsames Profil aus den Messwerten zur Interpretation herangezogen.

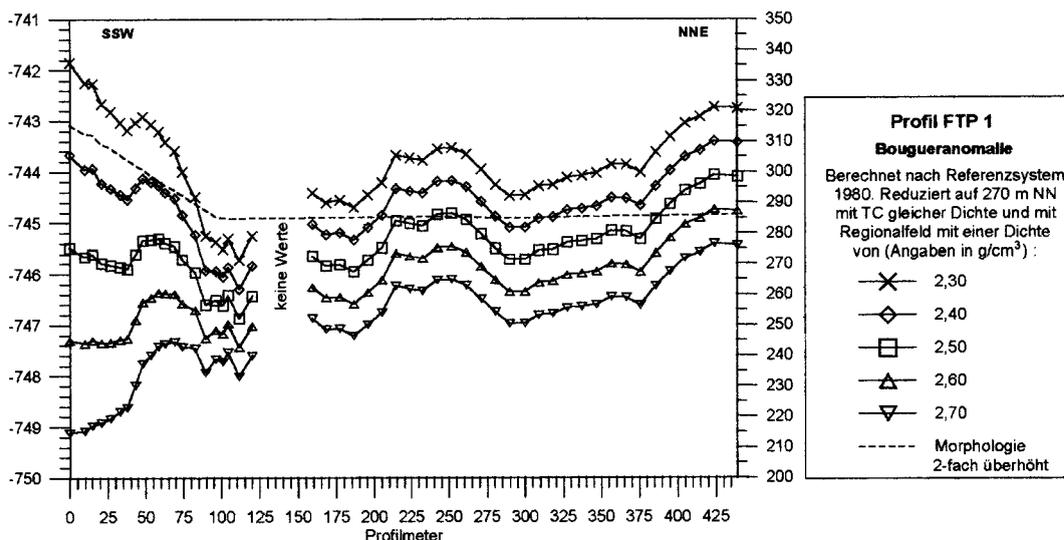
### 8.3.2.3.2 Profil

Das hier dargestellte Profil FTP 1 (Anlage 15.4.2) beruht auf den Ergebnissen der Messpunkte. Es wurden keine Werte aus Schnitten der Isoliniendarstellung gewonnen, sondern jeweils die Grunddaten neu gerechnet. Lediglich zwischen dem Punkt C 22 und Q 1 tritt eine Lücke auf, die durch keinen Messwert gestützt wird, da dieser Bereich als Verkehrsfläche und zum Zeitpunkt der Messungen auch als Lagerplatz, genutzt wurde (Anlage 15.4.5 Blatt 1).

Deutlich wird der Einfluss der TC im südlichen Bereich des Profiles. Nach Norden nimmt dieser Einfluss ab (Anlage 15.4.5 Blatt 2). Deutlich ist bei der Gegenüberstellung der Bougueranomalie und der Freiluftanomalie in Anlage 15.4.5 Blatt 3 zu erkennen, dass die Bougueranomalie nach Norden hin einem steigenden Lokaltrend unterliegt. Auch die Freiluftanomalie steigt nach Norden hin an. Im Bereich des südlichen Talhanges korreliert die Freiluftanomalie mit der Morphologie, während sie im Talbereich einen unruhigen Verlauf, teilweise unabhängig von der Morphologie, aufweist.

Der Einfluss des Regionalfeldes, wie er in Anlage 15.4.5 Blatt 4 dargestellt ist, hat keinen Einfluss auf die lokalen Maxima und Minima. Die gemessene Schwere weist einen der Freiluftanomalie sinngemäßen Verlauf auf (Anlage 15.4.5 Blatt 5).

Die Verwendung unterschiedlicher Dichten zur Berechnung der Bougueranomalie ergibt, dass im Hangbereich eine Dichte zwischen  $2,5 \text{ g/cm}^3$  und  $2,6 \text{ g/cm}^3$  vorkommt (Anlage 15.4.5 Blatt 6). Die Dichte in der Talaue muß aus geologischen Überlegungen niedriger als im Anstehenden sein. Die weiteren Ausführungen gehen darauf ein.



verkleinerte Anlage 15.4.5 Blatt 6

### 8.3.2.3.3 Zwischenergebnisse

Die bisherigen Ergebnisse haben gezeigt, dass aus dem Verlauf der Bougueranomaliekurven im Hangbereich nur qualitative Aussagen dergestalt gemacht werden können, dass in dem Bereich des Überganges zur Talau ein unruhiger Kurvenverlauf zu beobachten ist. Die durch die Bohrungen nachgewiesene Hochlage des Gipses um die Bohrung BK 5 und BK 14 tritt in der Anomaliedarstellung gut hervor.

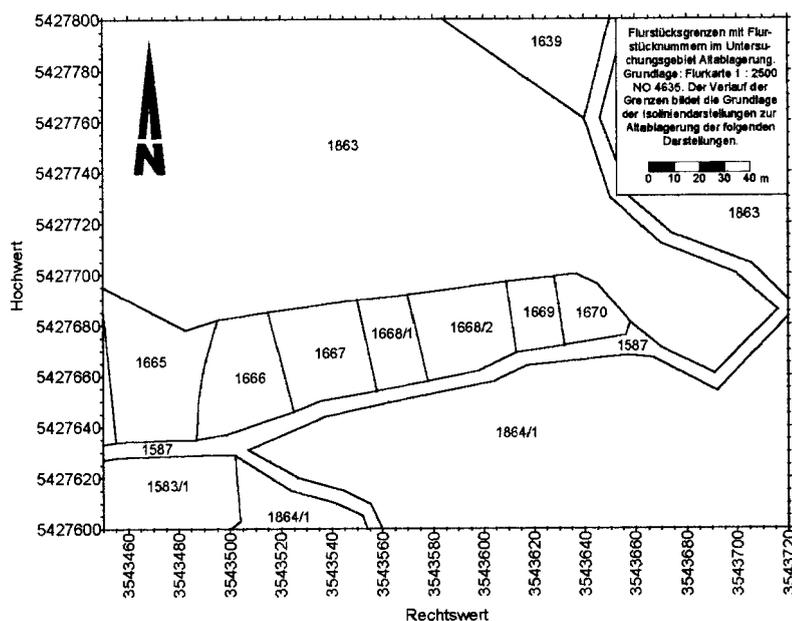
Auffällig ist die starke Zunahme der Bougueranomale am Übergang zur Talau. Dies kann nur durch das Vorhandensein eines starken Lokalfeldes erklärt werden. Die gemeinsame Interpretation eines Teiles der Talauen- und der Festhallemesspunkte konnte ein lokaler Trend der Zunahme der Anomalien nach Norden nachgewiesen werden. Auf dieser Grundlage erfolgt eine neuerliche Berechnung der Messergebnisse (siehe 8.4.3).

### 8.3.2.4 Altablagerung

Im Unterschied zu den vorherigen beiden Projekten wurde das Gravimeter nicht an einem Schwerefestpunkt angeschlossen. Dies hat jedoch nur Auswirkungen auf die eigentlichen Zahlenwerte der berechneten Anomalien, jedoch nicht auf den daraus resultierenden Kurvenverlauf, da die Unterschiede zwischen den einzelnen Messungen die gleichen bleiben.

Auch wurde die Höhenmessung unabhängig vom Höhennetz durchgeführt. Die Höhe der Basis wurde mit 370 m angenommen. Diese ungefähre Höhe wurde aus der TK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt entnommen. Auch hier hat dies keine Auswirkung auf den Kurvenverlauf, da die Unterschiede in der Höhe in diesem Falle den Verlauf der Anomalien nicht beeinflussen.

Die Lage der Punkte wurden auf den Basispunkt eingemessen. Aus dem Punktabstand wurden die Koordinaten berechnet. Die Genauigkeit ist ausreichend, um eine genaue Gezeitenberechnung zu gewährleisten.



verkleinerte Anlage  
15.5.1 Blatt 3

Die Lage der Altablagerung Fließenklinge im Raume Murrhardt geht aus den Anlagen 15.5.1 Blatt 1 und Blatt 2 hervor. Die Flurstücksgrenzen, wie sie in Anlage 15.5.1 Blatt 3 dargestellt sind, sind in den Isoliniendarstellungen ebenfalls vorhanden. Lediglich die Flurstücksbezeichnungen werden dort nicht mehr eingetragen.

Die Anlage 15.5.2 zeigt die Lage und die Bezeichnung der insgesamt 96 Messpunkte, die innerhalb von 11 Tagen, doppelt gemessen wurden. Die folgende Anlage 15.5.3 zeigt die Lage der Profile AP 1 bis AP 4. Die Anlage 15.5.4 zeigt den Verlauf der Höhenlinien im Untersuchungsgebiet. Deutlich zu erkennen ist der Verlauf des Wassergrabens, der die Altablagerung quert. Dieser Graben folgt allerdings nicht der ehemaligen, jetzt verfüllten Klinge.

### 8.3.2.4.1 Isoliniendarstellung

Aus Anlage 15.5.5 Blatt 1 und Blatt 2 geht deutlich hervor, dass die gemessene relative Schwere der Geländeform folgt. Der Begriff relative Schwere soll hier deutlich machen, dass die Messungen nicht an das Schwerefestnetz angeschlossen wurden.

Die Isolinien der Anlage 15.5.5 Blatt 3 zeigen den Regionalfeldanteil, um den die Messwerte korrigiert wurden. Der Einfluss des Regionalfeldes wurde an dem Punkt mit den Koordinaten RW 35 435 80 und HW 54 27 730 mit Null angenommen. Die Zunahme der Bougueranomalie nach Norden durch das Regionalfeld wurde mit  $0,555 \mu\text{m/s}^2$  auf 100 m und nach Westen mit  $0,588 \mu\text{m/s}^2$  auf 100 m, wie bei den bisher beschriebenen Messbereichen, angesetzt.

Der Verlauf der Freiluftanomalie-Isolinien folgt deutlich der jetzt vorherrschenden Morphologie der Auffüllung. Dies ändert sich auch nicht durch die Berücksichtigung des Regionalfeldes (Anlage 15.5.5 Blatt 5 und Blatt 6 und 15.5.14 Blatt 1).

Die Berechnungen der Bougueranomalien mit und ohne Berücksichtigung des Regionalfeldanteils (Anlage 15.5.6 und 15.5.7) zeigen, dass aus allen Isoliniendarstellungen ein inhomogener Dichteaufbau im Untergrund interpretiert werden kann. Am deutlichsten ist dies für das Dichteintervall  $2,45 \text{ g/cm}^3$  bis  $2,55 \text{ g/cm}^3$  zu erkennen. In diesen Fällen ergibt sich im Bereich

der ehemaligen Klinge eine gute Übereinstimmung mit der ehemaligen Morphologie. Als Reduktionsniveau wurde die Höhe 350 m ausgewählt, da ab dieser Höhe sicher keine Auffüllung mehr vorliegt (maximale Mächtigkeit laut historischer Erkundung 12 m).

Der Anteil der Geländekorrektur an den Bougueranomalien geht aus Anlage 15.5.5 Blatt 4 hervor.

#### 8.3.2.4.2 Profile

Die Morphologie des *Profils AP 1* mit den verwendeten Messpunkten geht aus der Anlage 15.5.8 Blatt 1 hervor. Die Bouguerberechnung mit einer Dichte von  $2,67 \text{ g/cm}^3$  weist bei Profilmeter 60 ein lokales Maximum auf. Die Freiluftanomalie korreliert mit der Morphologie (Anlage 15.5.8 Blatt 2). Der Einfluss der TC hat bei dem Profilmeter 35 einen Einfluss auf den Kurvenverlauf der Bougueranomalie (Anlage 15.5.8 Blatt 3). Durch die Berücksichtigung des Regionalfeldes wird die Steigung nach Norden geringer (Anlage 15.5.8 Blatt 4). Die gemessene Schwere korreliert mit dem Verlauf der Morphologie (Anlage 15.5.8 Blatt 5). Mit Hilfe der Berechnung der Bougueranomalie mit unterschiedlichen Dichten lässt sich keine Dichte als die wahrscheinlichste für diesen Bereich ableiten (geringste Korrelation mit der Morphologie, Anlage 15.5.8 Blatt 6).

Das *Profil AP 2* zeigt ebenfalls eine gering ausgeprägte Morphologie (Anlage 15.5.9 Blatt 1). Die Freiluftanomalie korreliert bis zu Profilmeter 95 gut mit der Morphologie. Die Bougueranomalie zeigt wie in Profil AP 1 ein lokales Hoch, welches in dem Bereich von Profilmeter 55 liegt. Nach Norden hin nimmt die Bougueranomalie von Profilmeter 80 konstant zu (Anlage 15.5.9 Blatt 2). Die Berücksichtigung der TC führt zu keinen nennenswerten Änderungen des Kurvenverlaufs (Anlage 15.5.9 Blatt 3). Durch die Berücksichtigung des Regionalfeldes ist der Kurvenverlauf bis zum Profilmeter 80, relativ ausgeglichen, mit der Ausnahme des lokalen Hochs bei Profilmeter 55. Der weitere Anstieg der Bougueranomalie ist durch die Berücksichtigung des Regionalfeldes etwas abgeschwächt (Anlage 15.5.9 Blatt 4).

Die gemessene Schwere korreliert mit der Morphologie (Anlage 15.5.9 Blatt 5). Die Bougueranomalien, berechnet mit verschiedenen Dichten, erlaubt keine Ableitung der Dichte aus dem Verlauf der Bougueranomaliekurve und dem Geländeverlauf (Anlage 15.5.9 Blatt 6).

Die Morphologie des *Profiles AP 3* ist ebenfalls nicht stark ausgeprägt. Die verwendeten Messpunkte sind aus Anlage 15.5.10 Blatt 1 zu entnehmen. Die Freiluftanomalie korreliert bis ca. Profilmeter 80 mit der Morphologie. Danach fällt die Kurve der Morphologie stärker ab als die der Freiluftanomalie. Die Bougueranomalie fällt zunächst deutlich ab, um dann wieder anzusteigen. Zwischen Profilmeter 45 und 85 ist ein unruhiger Verlauf der Kurve zu beobachten. Anschließend steigt die Bougueranomalie an (Anlage 15.5.10 Blatt 2). Der Einfluss der TC ist nur bis ca. Profilmeter 15 am Verlauf der Bougueranomalie zu erkennen (Anlage 15.5.10 Blatt 3). Durch die Berücksichtigung des Regionalfeldes ist keine nennenswerte Beeinflussung im Kurvenverlauf der Bougueranomalie zu beobachten (Anlage 15.5.10 Blatt 4).

Wie die Freiluftanomalie korreliert die gemessene Schwere mit der Morphologie (Anlage 15.5.10 Blatt 5). Aus der Berechnung der Bougueranomalien mit unterschiedlichen Dichten lässt sich, wie schon bei den vorherigen beschriebenen Profilen, keine Dichte ableiten, die die geringste Korrelation mit der Morphologie aufweist (Anlage 15.5.10 Blatt 6).

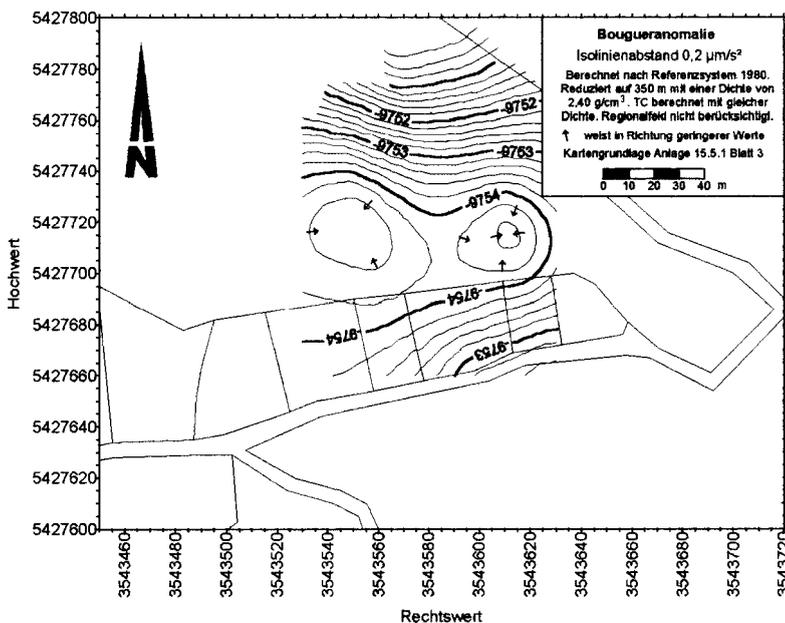
Das *Profil AP 4* hat ebenfalls eine recht ausgeglichene Morphologie. Die Punktbezeichnungen gehen aus der Anlage 15.5.11 Blatt 1 hervor. Die Freiluftanomalie korreliert mit der Morphologie bis etwa Profilmeter 110, danach fällt die Kurve der Freiluftanomalie nicht mehr proportional zum Abfallen des Geländes (Anlage 15.5.11 Blatt 2). Die Bougueranomalie fällt zunächst bis zum Profilmeter 70 schwach ab, um darauf nahezu stetig zuzunehmen.

Die TC beeinflusst den Kurvenverlauf bis ca. Profilmeter 20. Danach ist kein grundsätzlich anderer Kurvenverlauf zu erkennen (Anlage 15.5.11 Blatt 3). Bei der Berücksichtigung des Regionalfeldes fällt die Kurve der Bougueranomalie schwach bis zum Profilmeter 70 ab. Nach diesem lokalen Minimum der Bougueranomalie steigt die Kurve konstant an (Anlage 15.5.11 Blatt 4).

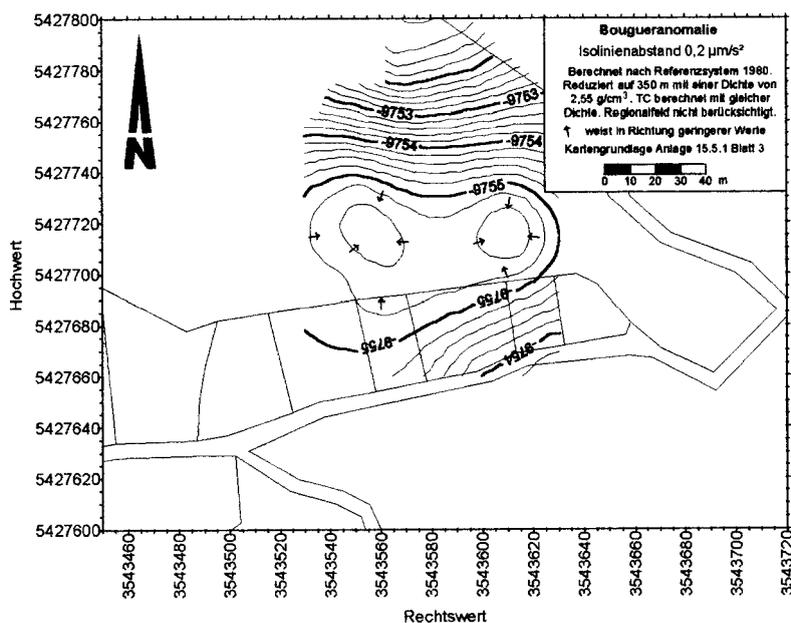
Die gemessene Schwere korreliert mit der Morphologie, wobei allerdings der Anstieg der gemessenen Schwere nicht proportional zur Abnahme der Höhe verläuft. Dies ist ab dem Profilmeter 115 festzustellen (Anlage 15.5.11 Blatt 5). Auch hier lässt sich aus dem Verlauf der Bougueranomalien, berechnet mit unterschiedlichen Dichten, eine wahrscheinliche Dichte nicht ableiten (Anlage 15.5.11 Blatt 6).

### 8.3.2.4.3 Zwischenergebnisse

Die bisherigen Anomalienberechnungen zeigen bereits im ersten Berechnungsschritt deutliche Hinweise auf einen inhomogenen Untergrund. Die Auffüllung macht sich am deutlichsten bei der Berechnung der Bougueranomalie mit TC und Regionalfeld mit einer Dichte von  $2,40 \text{ g/cm}^3$  bis  $2,55 \text{ g/cm}^3$  bemerkbar (Anlage 15.5.6 Blatt 3 bis 6). Dass hierbei keine Korrelation mit der jetzigen Morphologie vorliegt, kann im Vergleich zur Freiluftanomalie, die der bestehenden Morphologie folgt, jeweils gut anhand der Anlage 15.5.4 nachvollzogen werden.



verkleinerte Anlage  
15.5.6 Blatt 3



verkleinerte Anlage  
15.5.6 Blatt 6

Ein Problem stellt hier die bei der Bougueranomalierechnung einzusetzende Dichte. Es konnte hier keine Dichte aus den Messungen abgeleitet werden. Dichten aus ungestörten Proben liegen nicht vor, die die anzusetzende Dichte liefern.

Genauere Berechnungen sind unter 8.4.4 aufgeführt und erläutert.

## 8.4 Detailauswertung

Für die folgenden Betrachtungen werden die bisherigen Berechnungen zu jedem Projekt genutzt. Da die vorliegenden Ergebnisse nur eine grobe Aussage hinsichtlich der Dichteverteilung im Untergrund zulassen, werden im Folgenden Korrekturen angebracht, die auf den gravimetrischen Messergebnissen beruhen.

Dabei fließen die Ergebnisse der geologischen Erkundung in die Berechnungen ein (Wahl der Dichten aus Anlage 12.3).

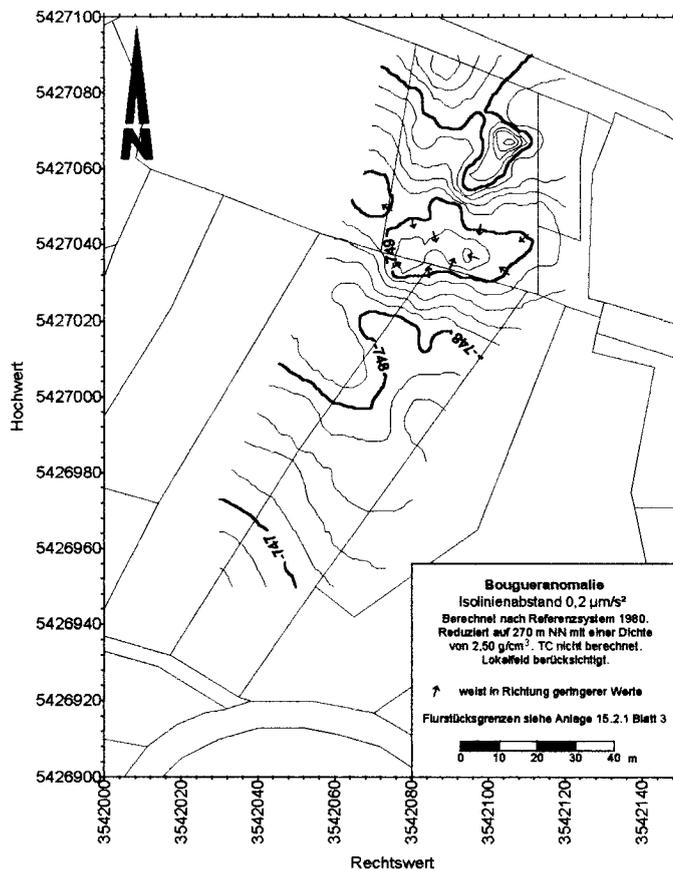
### 8.4.1 Messbereich Festhalle

#### 8.4.1.1 Lokalfeld

Zunächst wurden die benachbarten Profile FP 1 bis FP 5 immer zusammen in einer Graphik dargestellt (Anlage 15.2.15). Es wurde die Dichte  $2,5 \text{ g/cm}^3$  gewählt, die sich aus der Interpretation der einzelnen Profile (8.3.2.1.2) mit unterschiedlichen Dichten der Bougueranomalie herauskristallisierte. Geologisch kann dieser Wert ebenfalls als sinnvoll erachtet werden, da diese Dichte den Mittelwert im ungestörten Hangbereich darstellt. Die Profile wurden in Süd-Nord-Richtung mit dem Hochwert auf der Abszisse aufgetragen. Hierbei lässt sich gut herleiten, dass bei allen Profilen im südlichen Hangbereich eine gleichmäßige Steigung der Bougueranomalie vorliegt (Anlage 15.2.15).

Um zu prüfen, ob dies bei den Standardberechnungen ( $2,67 \text{ g/cm}^3$  mit und ohne TC) zutrifft, wurden diese Bougueranomalien in gleicher Weise dargestellt. Hier zeigt sich insgesamt das gleiche Bild. Als Regionalfeld wird in diesem Zusammenhang der Gradient der Bougueranomalien, gewonnen aus der Bougueranomalienkarte von Baden- Württemberg, bezeichnet. Der Begriff Lokalfeld ist der Gradient der Bougueranomalien aus den hier berechneten Anomalien. In allen Fällen wurde bewusst das Regionalfeld nicht berücksichtigt, da aus den gemessenen Werten, das Lokalfeld bestimmt werden soll (Anlage 15.2.16 und 15.2.17), das ja das Regionalfeld ebenfalls berücksichtigt.

In Anlage 15.2.18 ist die Bestimmung des Lokalfeldes durchgeführt. Ein Gradient für die Ost-West-Richtung wurde nicht hergeleitet, da die Bougueranomalienkurve, wie aus den Anlagen 15.2.15 bis Anlage 15.2.17 ersichtlich, alle auf dem gleichen Niveau verlaufen. Der Grund liegt im ungestörten Hangbereich, der keine Nutzsignale liefert. Als Mittelwert aus allen Gradientenbestimmungen wurde  $1,7 \mu\text{m/s}^2$  Zunahme auf 100 m nach Norden berechnet. Als vom Lokalfeld frei wurde der gleiche Punkt (RW 35 42 075 und HW 54 27 030) wie bisher gewählt, um eine Vergleichbarkeit mit allen anderen Berechnungen zur Festhalle zu gewährleisten



verkleinerte Anlage 15.2.19 Blatt 3

Es wurden aus diesen, mit dem Lokalfeld korrigierten Messwerten wiederum die Bougueranomalien errechnet. Für die Dichten wurde das Intervall zwischen  $2,45 \text{ g/cm}^3$  und  $2,55 \text{ g/cm}^3$  bestimmt. Es zeigt sich deutlich, dass die Berücksichtigung der TC auch hier sehr wichtig ist (Anlage 15.2.19). Die Berechnungen ohne TC zeigen keine aussagekräftigen Schwereisolinien am Hangfuß. Diese Feststellung ist nur in Verbindung mit den Ergebnissen aus den Bohrpfahlbohrungen, wie in Anlage 10.2.4 dargestellt, möglich.

Streng genommen wurde mit den Dichten von  $2,45 \text{ g/cm}^3$  bis  $2,55 \text{ g/cm}^3$  die Bougueranomalie mit einer Dichte errechnet, die nicht der des Deckgebirges entspricht (siehe Anlage 12.1). Hierdurch werden allerdings die Bereiche richtig berechnet, die noch Gips im Untergrund

aufweisen, während die Bereiche mit anderer Dichte nicht korrekt berechnet werden. Dies führt jedoch zu einem Hervorheben der Bereiche, in denen die Dichte korrekt ermittelt wurde.

Im Talbereich stellt sich die Situation anders dar. Hier ist eine Dichte von  $2,2 \text{ g/cm}^3$  (Probe BK 3) nachgewiesen. Eine Anomalie östlich der Bohrung BK 3 weist allerdings auf eine lokal höhere Dichte hin. Eine getrennte Bearbeitung des Talbereiches und des Hanges wurde

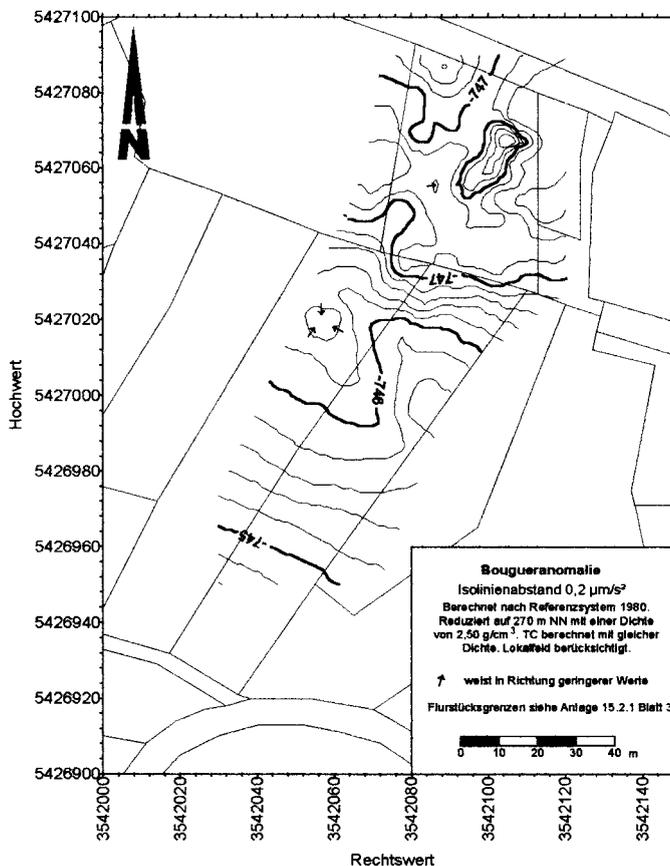
nicht in Erwägung gezogen, da bei der richtigen Wahl der Dichte für die Bohrungen, auch eine Bougueranomalie zu berechnen sein muss, die den beiden Teilbereichen Rechnung trägt.

### 8.4.1.2 Dichte aus den Bohrungen

Im Folgenden werden die Bohrergebnisse und deren geologischen Erkenntnisse bei der Wahl der Dichte zur Berechnung der Bougueranomalie berücksichtigt.

#### 8.4.1.2.1 Dichtewahl

Bei dem vorliegenden Untersuchungsgebiet der Festhalle ist der Ansatz der zu verwendenden Dichte problematisch. Es hat sich gezeigt, dass die anstehenden verwitterten Ton und Schluffsteine eine Dichte von  $2,0 \text{ g/cm}^3$  aufweisen. Diese Dichte ist bis 7,5 m uGOK nachgewiesen (Sonderprobe BK 13 S 3). Bei einer Mächtigkeit dieser Schichten von bis ca. 25 m (BK 16 und BK 17) kann, durch den geringeren Verwitterungsgrad oder einer geringeren Entfestigung, eine höhere Dichte bis zu  $2,5 \text{ g/cm}^3$  angenommen werden.



verkleinerte Anlage 15.2.19 Blatt 4

Diese Dichte entspricht der Dichte der nicht ausgelaugten Gipshorizonte (Anlage 12.3), so das hier kein Dichtekontrast zwischen dem interessierenden Gipshorizont und dem Deckgebirge vorliegt. Ferner wird der Anteil des Anhydrits bergwärts zunehmen. Der Anteil des Anhydrits äußert sich durch die Zunahme der mittleren Schwere der Schichteinheit Gips/Anhydrit. Eine weitere Dichtezunahme auf ca.  $2,7 \text{ g/cm}^3$  ist damit verbunden. Die Dichte des reinen Anhydrits von  $2,9 \text{ g/cm}^3$  (aus SIMMER 1987) wird sicher in dieser geologischen Lage nicht erreicht werden. Die Dichte von  $2,7 \text{ g/cm}^3$  entspricht der Dichte der im Liegenden vorkommenden Schichten des Unteren Keupers (Anlage 12.3).

Talwärts nimmt die Dichte der ehemals bis 10 m mächtigen Gipsschicht ab. Hier stellt sich das Problem, das die Talsedimente eine Dichte um  $2,2 \text{ g/cm}^3$  haben, so das die Talsedimente ebenfalls eine ähnliche Dichte aufweisen wie die GAR ( $2,3 \text{ g/cm}^3$ ).

Weiterhin scheint das am Hangfuß liegende Material durch eine stärkere Auslaugung des Gipses aufgelockert worden zu sein. Anders lässt sich die Abnahme der Schwere, und damit der Dichte in diesem Bereich nicht interpretieren. Auch Reste eines Hangsturzes scheinen in der Talaue eingelagert zu sein. So bildet sich ein Schwerehoch östlich der Bohrung BK 3

aus. In dieser Bohrung wurde hochliegender Fels angetroffen. Ob es, wie im Schichtenverzeichnis dargestellt, sich um Ton- und Schluffsteinreste, hervorgegangen aus den Grundgipsschichten handelt, muss auf Grund der Gravimetrieergebnisse bezweifelt werden. Vielmehr kann dies als Hinweis für kompakteres, also dichteres Material in diesem Bereich gewertet werden. Hierunter können auch Blöcke der überlagernden Schichten des Mittleren Keupers fallen, und nicht zwangsläufig ein aufragender Gipssporn.

Für das exaktere Berechnen der Bougueranomalie wurde vorausgesetzt, dass die auftretenden Schwereunterschiede in den anstehenden Schichten bis 270 m NN begründet liegen. Das bedeutet, dass bei richtiger Wahl der Dichte keine Reduktionsanomalie auftritt.

Die Bestimmung der Dichte aus den ungestörten Proben reicht bis zu einer Tiefe von 7,5 m uGOK. Aus diesen Werten wurde eine oberflächennahe Dichte von  $2,0 \text{ g/cm}^3$  abgeleitet. Die Dichte  $2,3 \text{ g/cm}^3$  kann für den tieferen Bereich zugrunde gelegt werden. Auch die GAR sind mit dieser Dichte anzunehmen. Der Gips weist eine Dichte nach Anlage 12.3 von  $2,5 \text{ g/cm}^3$  auf. Der wahrscheinlich bergwärts auftretende anteilige Anhydrit und der harte Ton-, Schluff-, und Mergelstein und Dolomit sind mit einer Dichte von  $2,7 \text{ g/cm}^3$  anzusetzen. Mögliche Hohlräume werden wassererfüllt angenommen und gleich einer Dichte  $1,0 \text{ g/cm}^3$  gesetzt.

Im Folgenden werden für die Bohrungen die oben aufgeführten Dichten zugeordnet. In Anlage 16.1 sind jeweils je Bohrung das Bohrprofil nach DIN 4023 und getroffene Dichtezuordnung gegenübergestellt. Hinzugezogen werden können auch die Anlage 12.1 und die Schichtenverzeichnisse nach DIN 4022 aus Anlage 9.

Bei der Bohrung BK 1 wird die Dichte  $2,0 \text{ g/cm}^3$  bis zum Zutritt eines Sandanteils bei einer Tiefe von 283,86 m NN angesetzt. Bis zur Liegendgrenze der GAR wird die Dichte  $2,3 \text{ g/cm}^3$ , für den 1,2 m mächtigen Gips die Dichte  $2,5 \text{ g/cm}^3$  und für die liegenden harten Schichten die Dichte  $2,7 \text{ g/cm}^3$  zugeordnet.

Die Dichte  $2,0 \text{ g/cm}^3$  in der Bohrung BK 2 reicht hier bis zur Hangendgrenze des GAR. Die GAR werden wieder mit der Dichte  $2,3 \text{ g/cm}^3$  eingestuft. Der Gips wird bis 273,39 m NN mit der Dichte  $2,5 \text{ g/cm}^3$  angesetzt. Die liegenden Felsschichten erhalten die Dichte  $2,7 \text{ g/cm}^3$  zugeteilt.

In der Bohrung BK 3 konnte kein Gips nachgewiesen werden. Entsprechend einfach ist hier die Dichteeinstufung. Die Dichte  $2,0 \text{ g/cm}^3$  reicht bis 278,20 m NN, die folgenden GAR werden bis zur Liegendgrenze mit der Dichte  $2,3 \text{ g/cm}^3$  eingestuft. Der unterlagernde Fels wird mit der Dichte  $2,7 \text{ g/cm}^3$  versehen.

Die Einstufung der Dichte bei der Bohrung BK 6 sieht wie folgt aus: Bis 277,06 m NN die Dichte  $2,0 \text{ g/cm}^3$ , die GAR bis 276,06 m NN mit der Dichte  $2,3 \text{ g/cm}^3$ , der relativ mächtige Gips mit  $2,5 \text{ g/cm}^3$  bis zum unterlagernden Fels, der die Dichte  $2,7 \text{ g/cm}^3$  erhält.

Bei der Bohrung BK 9 konnte kein Gips nachgewiesen werden. Hier musste der Kernverlust bei der Dichtebetrachtung berücksichtigt werden. Die Grenze zwischen der Dichte  $2,0 \text{ g/cm}^3$  und  $2,3 \text{ g/cm}^3$  wurde hier bei 277,72 m NN gelegt (keine Schichtgrenze). Die nächste Dichtegrenze ergibt sich aus der Liegendgrenze des GAR bei 273,48 m NN. Der Kernverlust wird mit 0,3 m Mächtigkeit berücksichtigt. Die restliche Einheit wird mit der Dichte  $2,7 \text{ g/cm}^3$  angesetzt.

Die Dichte  $2,0 \text{ g/cm}^3$  reicht bei der Bohrung BK 10 bis zur Hangendgrenze der GAR. Die Dichte  $2,3 \text{ g/cm}^3$  bis zur Tiefe 274,2 m NN. Der festgestellte Kernverlust wird hier an die Hangendgrenze der dichtesten lithologischen Einheit ( $2,7 \text{ g/cm}^3$ ) gesetzt. Die dünne Gipslage bleibt unberücksichtigt.

Bei der Bohrung BK 11 wird die Dichte  $2,0 \text{ g/cm}^3$  bis zum Konsistenzwechsel zu fest angesetzt. Darunter folgt bis zum Auftreten des ersten Gipssteines bei 278,72 m NN die Dichte  $2,3 \text{ g/cm}^3$ . Um die Situation für die Dichteverteilung übersichtlicher zu gestalten wird der Bereich bis 273,23 m NN (Basis Grundgips) mit der Dichte  $2,5 \text{ g/cm}^3$  eingestuft. Hierbei ist berücksichtigt, das GAR eine niedrigere Dichte und der Tonstein eine höhere Dichte aufweist. Der Untere Keuper wird bis zum Reduktionsniveau mit der Dichte  $2,7 \text{ g/cm}^3$  belegt.

Die Verteilung der Dichte bei der Bohrung BK 12 ist im oberen Bereich noch einfach anzusetzen. Die Dichte  $2,0 \text{ g/cm}^3$  reicht bis 287,24 m NN. Die Verteilung der beiden Dichten  $2,3 \text{ g/cm}^3$  und  $2,5 \text{ g/cm}^3$  ist nicht exakt an eine Schichtgrenze gebunden. Ab der Hangendgrenze des Unteren Keupers wird die Dichte  $2,7 \text{ g/cm}^3$  zu Grunde gelegt.

Durch den geringen Auflockerungsgrad kann in der Bohrung BK 13 im tieferen Bereich mit einer höheren Dichte ( $2,7 \text{ g/cm}^3$ ) gerechnet werden. Die Grenzziehung der übrigen verwendeten Dichten orientiert sich an Schichtgrenzen.

Das gleiche wie bei Bohrung BK 13 trifft bei der Bohrung BK 14 zu. Anders stellt sich das Bild wieder bei der Bohrung BK 15 dar. Hier liegt die Grenze der Dichte  $2,0 \text{ g/cm}^3$  zur Dichte  $2,3 \text{ g/cm}^3$  in etwa im Bereich des Übergangs vom Hanglehm zum Anstehenden. Die Dichte  $2,5 \text{ g/cm}^3$  kann hier anscheinend auch für die vorhandenen GAR angesetzt werden. Der Übergang zum unterlagernden Unteren Keuper ist mit einem Dichtesprung auf  $2,70 \text{ g/cm}^3$  verbunden.

Einfacher stellt sich die Zuordnung der Dichte in der Bohrung BK 17 dar. Hier können die oberen Schichten bis 300,74 m NN mit der Dichte  $2,0 \text{ g/cm}^3$  angesetzt werden. Der folgende feste Bereich bis zur Region des Grenzdolomits wird mit der mittleren Dichte  $2,5 \text{ g/cm}^3$  belegt. Der Untere Keuper wird wieder mit der Dichte  $2,7 \text{ g/cm}^3$  eingestuft.

Zu beachten ist bei der Anlage 16.1, das der Ansatzpunkt der Bohrung eine andere NN-Höhe aufweisen kann, als der nächste Messpunkt des Gravimetriemessnetzes. Hieraus erklärt sich die unterschiedliche Höhe der Dichtesäule und der Darstellung des Bohrprofils nach DIN 4023. Auch die Endtiefe der Dichtesäule weicht von der erreichten Bohrtiefe im einzelnen ab.

#### **8.4.1.3 Bestimmung der mittleren Dichte**

Bei diesem Schritt wurden die Ergebnisse der bisherigen Auswertungen zu Grunde gelegt. Wie bereits oben dargelegt, wurde das Lokalfeld aus den Messungen neu bestimmt. Die Messwerte wurden dann mit dem gewonnenen Lokalfeld korrigiert. Mit diesen dann korrigierten Messergebnissen wurden die Messwerte, die am nächsten zu den Bohrungen liegen, mit Dichten reduziert, die sich an den geologischen Bohrergebnissen orientieren (8.4.1.2.1). Die hieraus erhaltenen Bougueranomalien (Anlage 17.1 und Anlage 16.1) dienen zur Berechnung der mittleren Dichte im Untersuchungsgebiet.

Es wird zunächst mit einer Talbohrung und einer Hangbohrung, die jeweils den Unteren Keuper erschlossen, die mittlere Dichte für das Untersuchungsgebiet bei angenommener ebener Grenze Mittlerer Keuper zu Unteren Keuper berechnet. Für diese Dichtegrenze wurde jeweils die stratigraphische Grenze in der Bohrung angewendet.

#### **8.4.1.3.1 Talbohrung BK 3**

Die Berechnung der Bougueranomalie erfolgt mit den Dichten und Dichtegrenzen, wie in Anlage 16.1 Blatt 3 dargestellt. Als mittlere Dichte der TC wurde  $2,3 \text{ g/cm}^3$  angesetzt. Auch wurden Berechnungen mit den TC-Dichten  $2,0 \text{ g/cm}^3$  und  $2,5 \text{ g/cm}^3$  durchgeführt. Die Bougueranomalienunterschiede zwischen diesen beiden Dichten sind zwar vorhanden, aber gering im Vergleich mit den entsprechend errechneten Anomalien bei einer TC-Dichte von  $2,3 \text{ g/cm}^3$ .

Die berechnete Bougueranomalie beträgt bei der Bohrung BK 3  $-745,8 \text{ } \mu\text{m/s}^2$ . Als Reduktionsniveau wurde 270 m NN angesetzt. Da die übrigen Messwerte mit dem Lokalfeld korrigiert wurden, kann jetzt folgende Annahme gemacht werden: Die berechnete Bougueranomalie muss unter diesen Voraussetzungen für jeden Messpunkt zutreffen. Jetzt kann unter Angabe der Grenze Mittlerer Keuper zu Unterer Keuper (Dichtesprung auf  $2,7 \text{ g/cm}^3$ ) für sämtliche Messpunkte die Mittlere Dichte des Mittleren Keupers bestimmt werden.

Schon bei der Berechnung der mittleren Dichte bei einer angenommenen Bougueranomalie von  $-745,8 \text{ } \mu\text{m/s}^2$  lässt sich der Grad der Auslaugung abschätzen. Im einzelnen kann bereits der Gipssporn an den Grundstücksgrenzen von 899, 900 und 873 erkannt werden, wie er in Anlage 10.2.4 dargestellt ist. Die auf diesem Weg berechneten mittleren Dichten bestätigen auch im Bereich um die Bohrung BK 5 und BK 11 den hier geringer ausgelaugten Gips, und damit eine höhere Dichte. Das Schwerehoch im Bereich östlich der Bohrung BK 3 ist ebenfalls zu erkennen (Anlage 18.1 Blatt 1).

#### **8.4.1.3.2 Hangbohrung BK 17**

Die Berechnung der Bougueranomalie erfolgt mit den Dichten und Dichtegrenzen, wie in Anlage 16.1 Blatt 12 dargestellt. Als Dichte der TC wurde wie bei 8.4.1.3.1 eine mittlere Dichte von  $2,3 \text{ g/cm}^3$  angesetzt. Die berechnete Bougueranomalie beträgt bei der Bohrung BK 17  $-745,7 \text{ } \mu\text{m/s}^2$  und entspricht somit in etwa der Anomalie der Bohrung BK 3, bei ähnlichen Randbedingungen.

Der Gipssporn bei der Flurstücksgrenze ist zu erkennen, wie auch das lokale Hoch im Bereich östlich der Bohrung BK 3. Auch die höhere Gipsmächtigkeit, bemerkbar an der erhöhten mittleren Dichte, um die Bohrungen BK 5 und BK 14 hebt sich deutlich hervor (Anlage 18.1 Blatt 2).

#### **8.4.1.3.3 Vergleich der Ergebnisse BK 3 und BK 17**

Beim Vergleich der beiden Bohrungen BK 3 und BK 17 kann kein prinzipieller Unterschied bei der Dichteverteilung abgeleitet werden. Die Hangbohrung liefert geringfügig kleinere Dichtewerte als die Talbohrung. Dies liegt an dem geringfügig anderen Eingangswert der Bougueranomalie bei der Berechnung der mittleren Dichte.

Prinzipiell kann anhand dieser Berechnungen gesagt werden, dass die erhaltenen mittleren Bougueranomalien, wie in Anlage 17.1 dargestellt, auf eine richtig zugeordnete Dichte schließen lassen. Es können in beiden Fällen lithologisch nachvollziehbare mittlere Dichten errechnet werden, die mit dem geologischen Bild in Einklang gebracht werden können.

#### **8.4.1.4 Versuch der Ableitung von Einzeldichten**

Der Versuch der Ableitung von Einzeldichten aus den mittleren Dichten auf die eingesetzten Dichten der einzelnen lithologischen Einheiten kann nicht gelingen. Dennoch wird hier ein Ansatz gemacht, um über den Hohlraumanteil eine Aussage über die Auflockerung des Deckgebirges und dem Verkarstungsgrad des Gipses zu treffen.

Es wird die Überlegung zu Grunde gelegt, dass der Untere Keuper als einzige Schichteinheit im Untersuchungsgebiet die Dichte  $2,7 \text{ g/cm}^3$  aufweist. Der überlagernde Gips und Tonstein können im ungestörtem Verband eine Dichte von  $2,5 \text{ g/cm}^3$  aufweisen. Ist jetzt der Gips ausgelaugt, nimmt die Dichte dieser Einheit ab. Genauso geht die Dichte bei aufgelockertem Tonstein bis auf  $2,0 \text{ g/cm}^3$  zurück.

Berechnet man den Rückgang der Dichte mit Hilfe der Dichte von Wasser, welches in den Hohlräumen des verkarsteten Gipses sicher zirkuliert und als Porenfüllung im aufgelockerten Tonstein vorkommt, so kann der prozentuale Anteil als Hinweis auf den Verkarstungsgrad und die Auflockerung des Deckgebirges angesetzt werden. Im Folgenden wird dies für zunächst jeweils eine Bohrung, drei Bohrungen und alle Bohrungen, die die Grenze Mittlerer Keuper zu Unteren Keuper erreicht haben, beschrieben.

##### **8.4.1.4.1 Bohrung BK 3**

Die in Anlage 18.1 Blatt 1 errechnete mittlere Dichte und die in der Bohrung nachgewiesene Grenze des Mittleren Keupers zum Unteren Keuper bei 273,40 m NN werden bei der Berechnung des Hohlraumanteils zu Grunde gelegt (siehe Anlage 11.1 Blatt 1 und 16.1 Blatt 3). Das Ergebnis in Anlage 19.1 Blatt 1 zeigt deutlich, dass im Talbereich, wo der Gips nahezu abgelautet ist, der Hohlraumanteil am größten ist. Das Schwerehoch östlich der Bohrung BK 3 weist einen signifikanten geringeren Porenanteil auf. Am Hangfuß kann auch hier der Gipssporn an der südwestlichen Grundstücksgrenze erkannt werden.

##### **8.4.1.4.2 Bohrung BK 17**

Im Prinzip zeigt das erhaltene Bild (Anlage 19.1 Blatt 2) des Porenraumes das gleiche, wie die Talbohrung BK 3. Der Unterschied liegt in den geringfügig anderen mittleren Dichten (siehe oben) und hauptsächlich in der anderen Höhenlage der Bezugsebene Unterer Keuper zu Mittleren Keuper bei 274,24 m NN (siehe Anlage 11.1 Blatt 1).

##### **8.4.1.4.3 Drei Bohrungen (BK 2, BK 6 und BK 14)**

Für die Berücksichtigung des Einfallens werden aus mathematischen Gründen drei Bohrungen benötigt. Hierzu werden die Bohrung BK 2, BK 6 und BK 14 verwendet. Bewusst wurde

auf die Verwendung der oben bereits benutzten Einzelbohrungen verzichtet. Die Berechnung der Bougueranomalie (Anlage 17.1) ergibt bei der Bohrung BK 2 nach der Dichteverteilung (Anlage 16.1 Blatt 2)  $-745,7 \mu\text{m/s}^2$ . Für Bohrung BK 6 wurden nach Anlage 16.1 Blatt 4 ein Wert von  $-745,6 \mu\text{m/s}^2$  berechnet. Für die Bohrung BK 14 wurde nach der vorgenommenen Dichteverteilung nach Anlage 16.1 Blatt 10 auch eine Bougueranomalie von  $-745,6 \mu\text{m/s}^2$  errechnet. Die Randbedingungen sind die gleichen, wie bei den obigen Einzelbohrungen. Hieraus ergibt sich eine mittlere Bougueranomalie von  $-745,6 \mu\text{m/s}^2$ .

Für das Berechnen des Porenanteils wird das Einfallen der Schichtgrenze Mittlerer Keuper zu Unterem Keuper, wie es aus Anlage 19.1 Blatt 3 hervorgeht, berücksichtigt. Es wird hier keine Betrachtung angestellt, ob dies ein korrektes geologisches Einfallen ist, sondern nur rein mathematisch berücksichtigt. Auch hier lassen sich die bereits erkannten Strukturen nachweisen. Die ermittelten Hohlraumanteile (Anlage 19.1 Blatt 4) orientieren sich eher an den erzielten Ergebnissen der Einzelbohrung im Hang (BK 17), als an denen der Talbohrung (BK 3).

Gegenüber nur einer Bohrung kann hier keine Verbesserung der Auflösung festgestellt werden.

#### **8.4.1.4.4 Zwölf Bohrungen**

Hier wurden alle Bohrungen verwendet, die die stratigraphische Grenze Mittlerer Keuper zu Unterem Keuper erreichten. Als mittlere Bougueranomalie wurde ein Wert von  $-745,7 \mu\text{m/s}^2$  angesetzt (Mittelwert aus Anlage 17.1). Durch die hohe Anzahl der Bohrungen konnten auch kleinräumige Verbiegungen der stratigraphischen Grenze, und somit der Dichtegrenze, berücksichtigt werden.

Das Ergebnis zeigt die Anlage 19.1 Blatt 5. Als Grenze Unterer Keuper / Mittlerer Keuper diente die Anlage 10.2. Die starke Untergliederung mit unterschiedlichem Hohlraumanteil, wie dies bei der Verwendung von drei Bohrungen noch auftrat, ist hier nicht mehr festzustellen. Gleichzeitig lassen sich aber, durch die erhöhte Genauigkeit, erreicht durch eine bessere Berücksichtigung der Grenze Mittlerer Keuper zu Unterem Keuper, keine neuen Strukturen feststellen.

#### **8.4.1.5 Schlussfolgerung**

Mit Bohrergebnissen, die hier aus routinemäßigen Baugrundbohrungen gewonnen wurden, können mit Hilfe der gravimetrischen Messungen, eine Aussage über den Verkarstungsgrad im Untergrund getroffen werden. Es hat sich jedoch gezeigt, dass bereits eine Bohrung ausreicht, um die wichtigsten Strukturen im Untergrund mit Hilfe der Gravimetrie zu erkennen.

Sollte ein stärkeres Einfallen der Schichten zu erwarten sein, oder auch bereits bekannt sein, so sind drei Bohrungen abzuteufen, um die Genauigkeit in einem solchen Fall zu wahren.

Für Planungsaufgaben und Vorerkundungen im Gipskeuperbereich kann die geschilderte Vorgehensweise mit gutem Erfolg angewendet werden.

Im Abschnitt 8.4.3 werden die Messergebnisse der Talaue und der Festhalle gemeinsam ausgewertet. Dort muss es sich zeigen, ob auch eine gemeinsame Interpretation der Ergebnisse auf dem eingeschlagenen Berechnungsweg möglich sind.

## **8.4.2 Messbereich Talaue**

### **8.4.2.1 Lokalfeld**

Alle drei Talprofile wurden in einer Graphik gemeinsam, auf der Grundlage gleicher Berechnungen, dargestellt. Hierzu wurden die Dichten  $2,67 \text{ g/cm}^3$  und  $2,2 \text{ g/cm}^3$  ausgewählt (Anlage 15.3.13). Trotz des unterschiedlichen Kurvenverlaufs der einzeln berechneten Profile in den Einzeldarstellungen, kann bei der gemeinsamen Darstellung mit einer Abszisse, die auf dem Hochwert basiert, doch festgestellt werden, dass die Werte der Bougueranomalien bei gleichen Hochwerten, durchaus die gleichen Zahlenwerte aufweisen. Dies wird allerdings durch das ausgeprägte lokale Minimum im langen Profil TP 1 auf den ersten Blick falsch interpretiert.

In Anlage 15.3.14 ist die Ableitung des Lokalfeldes durchgeführt. Eine Ableitung in Ost-West-Richtung unterblieb auch hier, da die Bougueranomalien in Anlage 15.3.13 nicht zwingend auf eine solche Angleichung hinweisen. Eine Deckung mit dem Ableiten des Lokalfeldes bei der Festhalle ist hiermit gegeben.

Die Wahl des Betrages des Lokalfeldes ist indes hier nicht einfach zu treffen. Das Profil TP 1 weist einen Betrag von  $1,0 \mu\text{m/s}^2$  auf 100 m in nördlicher Richtung auf. Dies entspricht in etwa der Größenordnung des am nächsten befindliche Festhallenprofil FP 5 (Anlage 15.2.18 Blatt 5) von  $1,2 \mu\text{m/s}^2$  auf 100 m.

Das Profil TP 2 kann nicht zur Ableitung des Lokalfeldes herangezogen werden. Der bestimmte Gradient ( $0,5 \mu\text{m/s}^2$  auf 100 m) des Lokalfeldes steht im Widerspruch zu den sonst im Talbereich erfolgten Größenordnung. Auch im Vergleich zu dem, bei dem Messbereich Festhalle festgestellten Lokalfeld, ist das bestimmte Lokalfeld des Profiles TP 2 zu gering (Anlage 15.3.14 Blatt 2).

Obwohl das Profil TP 3 relativ kurz ist, erfolgt hier eine schlüssige Ableitung des Regionalfeldes ( $1,4 \mu\text{m/s}^2$  pro 100 m). Möglicherweise ist dies hier nur möglich, weil keinerlei Dichteinhomogenitäten im Untergrund vorliegen (Anlage 15.3.14 Blatt 3).

Als Regionalfeld für die Messreihe in der Talaue wird eine Zunahme des Lokalfeldes nach Norden mit  $1,2 \mu\text{m/s}^2$  je 100 Meter in den folgenden Berechnungen berücksichtigt. Als frei von dem Lokalfeld wird wieder der Punkt wie in 8.3.2.2.1 verwendet (Rechtswert 35 42 125 und Hochwert 54 27 225).

Die Bougueranomalien wurden Lokalfeld korrigiert berechnet. Als Dichten wurde das Intervall zwischen  $2,2 \text{ g/cm}^3$  und  $2,3 \text{ g/cm}^3$  herangezogen (Anlage 15.3.15).

## 8.4.2.2 Dichte aus den Bohrungen

### 8.4.2.2.1 Dichtewahl

Im Bereich der Messprofile TP 1 bis TP 3 kommen nur zwei Bohrungen zu liegen (Anlage 15.3.5). Es konnten keine Dichtebestimmungen an ungestörten Proben durchgeführt werden (siehe 7.2.2.1.1).

Aus den Ergebnissen der Festhalle konnte eine sinnvolle Dichteverteilung aus den Bohrungen BK 8 und BK 18 abgeleitet werden. Für die Bohrung BK 8 (Anlage 16.2 Blatt 1) wurde bis zur Basis der Talfüllung eine Dichte von  $2,0 \text{ g/cm}^3$  angesetzt. Die unterlagernden GAR wurden wie bisher mit der Dichte  $2,30 \text{ g/cm}^3$  berücksichtigt. Die Umrüstung auf das Rotationskernverfahren bei 275,15 m NN ist mit einer Zunahme der Dichte auf  $2,50 \text{ g/cm}^3$  verbunden. Die Grenze zum Unteren Keuper bei 273,85 m NN ist ebenfalls eine Dichtegrenze, ab der die Dichte  $2,70 \text{ g/cm}^3$  beträgt.

Die erbohrte Talfüllung in der Bohrung BK 18 kann mit der Dichte von  $2,00 \text{ g/cm}^3$  angesetzt werden. Die ab 275,90 m NN vorkommenden Gipsauslaugungsreste sind mit einer Dichte von  $2,3 \text{ g/cm}^3$  bei den folgenden Berechnungen berücksichtigt. Der ab 274,20 m NN vorkommende Untere Keuper wird wieder mit der Dichte  $2,70 \text{ g/cm}^3$  angesetzt (Anlage 16.2 Blatt 2).

### 8.4.2.3 Bestimmung der mittleren Dichte

Das ermittelte Lokalfeld wird bei der Berechnung der mittleren Dichte zu Grunde gelegt. Die Anlage 17.2 zeigt die berechneten Bougueranomalien aus der oben getroffenen Dichteverteilung der Bohrungen BK 8 und BK 18 auf. Durch die Wahl eines anderen Punktes, der frei vom Einfluss des Lokalfeldes angesehen wird als bei dem Messbereich Festhalle, weicht der reine Zahlenwert der Bougueranomalie im Talauenbereich (Anlage 17.2) von dem des Projekts Festhalle (Anlage 17.1) ab.

### 8.4.2.4 Ergebnisse BK 8 und BK 18

Es liegen nur zwei Bohrungen vor, die nahe der Messprofile niedergebracht wurden. Der Dichtesprung zur Dichte des Unteren Keupers wird als eine ebene stratigraphische Grenze bei 274,00 m NN angenommen (Mittelwert aus BK 8 und BK 18). Es wird ein Bougueranomaliwert von  $-743,2 \mu\text{m/s}^2$  angesetzt, der bis zur Reduktionstiefe von 270 m NN einheitlich vorliegt.

Aus diesem Berechnungsansatz kann eine sinnvolle Dichteverteilung in der Talau berechnet werden. Es wird deutlich, dass das lokale Minimum der Bougueranomalie im Bereich der Einmündung Zügelstraße in die Nägelestraße (Anlage 15.3.1 Blatt 3) deutlich größer ausgeprägt ist als nach den Berechnungen mit dem Regionalfeld (Anlagen 15.3.8). Die übrigen ermittelten Dichten passen, trotz des großen Abstandes der einzelnen Profile, und der wenigen Bohrungen gut in das Bild der in Murrhardt vorherrschenden Talfüllung. Die leicht höheren Dichtewerte können als Hinweis auf einzelne Gipsreste im Untergrund gewertet werden. Der Bereich mit der geringeren Dichte kann als Hinweis auf sehr weiche Schichten oder solche mit hohem organischem Anteil gedeutet werden (Anlage 18.2 Blatt 1).

#### **8.4.2.5 Versuch der Ableitung von Einzeldichten**

Der Versuch der Ableitung von Einzeldichten muss hier unterbleiben. Auch das Abschätzen des Hohlraumanteils ist hier nicht sinnvoll durchzuführen, da die Grundgipsschichten nicht mehr im einheitlichen stratigraphischen Verbund vorhanden sind, das heißt, die überlagernden Schichten des Bochinger Horizontes fehlen.

#### **8.4.2.6 Schlussfolgerungen**

Ein Hinweis auf eine tektonische Störung in der Talaue der Murr (Ausgangspunkt für diese Messungen) lässt sich aus den Messergebnissen nicht ableiten. Es kann allerdings nach wie vor nicht ausgeschlossen werden, dass eine solche Störung vorhanden ist, die sich allerdings nicht durch einen Dichtekontrast in der streichenden Richtung bemerkbar macht.

Es lassen sich mit Hilfe der aufgezeigten Berechnungsmethoden Dichteinhomogenitäten ableiten, die im Bereich der denkbaren Dichten bis zum Reduktionsniveau von 270 m NN vorliegen könnten. So kann auch die Gravimetrie hier Hinweise in der Talaue liefern, wo möglicherweise kritische Stellen, im Sinne von wenig tragfähigem Untergrund (weiche Schichten), vorkommen können.

Im nächsten Abschnitt werden die Messergebnisse der Talaue und der Festhalle gemeinsam ausgewertet. Dort muss es sich zeigen, ob auch eine gemeinsame Interpretation der Ergebnisse mit dem eingeschlagenen Berechnungsweg möglich ist.

#### **8.4.3 Messbereich Festhalle und Talaue**

Die beiden Messbereiche Festhalle (8.4.1) und Talaue (8.4.2) liegen eng beieinander. Es bietet sich daher an, diese beiden Bereiche nach den bisherigen Berechnungen, wie sie für jeden einzelnen Messbereich angewendet wurden, gemeinsam zu berechnen.

##### **8.4.3.1 Lokalfeld**

Das Lokalfeld der Festhalle ist mit einer Zunahme von  $1,7 \mu\text{m/s}^2$  auf 100 m nach Norden geringfügig größer als das der Talaue mit  $1,2 \mu\text{m/s}^2$  auf 100 m nach Norden. Aus diesen beiden Werten wurde der Mittelwert von  $1,45 \mu\text{m/s}^2$  berechnet. Um die größere Fläche der Talaue zu berücksichtigen, wurde der Wert auf  $1,40 \mu\text{m/s}^2$  Zunahme auf 100 m nach Norden zurückgenommen.

Die gemittelten Messwerte der einzelnen Messbereiche wurden zusammengefasst. Das Regionalfeld ist in diesen Werten nicht enthalten. Die gemeinsamen Messwerte wurden dann mit dem gemeinsamen Lokalfeld korrigiert.

##### **8.4.3.2 Dichte aus den Bohrungen**

Eine neue Bestimmung der Dichteverteilung für die Bohrungen erfolgt hier nicht. Es werden die zuvor in den Einzelberechnungen der Messbereiche Talaue und Festhalle gefundenen

Dichteverteilung und Dichtewerte bei der gemeinsamen Betrachtung zu Grunde gelegt (Anlage 16.1 und 16.2).

### **8.4.3.3 Bestimmung der mittleren Dichte**

Mit den vorliegenden Dichten und dem gemeinsamen Lokalfeld wurden die Bouguer-anomalien berechnet. Die Ergebnisse hierzu sind in der Anlage 17.3 für jede Bohrung dargestellt. Die Ergebnisse dieser Bougueranomalienberechnungen schwanken im Bereich von  $-743,5 \mu\text{m/s}^2$  bis  $-743,8 \mu\text{m/s}^2$ . Als arithmetisches Mittel wurde die vorherrschende Bouguer-anomalie bei einer Reduktion auf 270 m NN mit den vorhandenen Dichten mit  $-743,7 \mu\text{m/s}^2$  bestimmt.

Mit diesem Bougueranomaliewert wurde die mittlere Dichte in beiden Untersuchungsgebieten zusammen berechnet. Das Ergebnis zeigt die Anlage 18.3. Auch hier lassen sich die zuvor gemachten Beobachtungen nachvollziehen, wenn auch infolge der Glättung für diese Berechnungen, das Ergebnis etwas an Genauigkeit verliert.

So ist die höhere Dichte um die Bohrung BK 5 und BK 14 zu erkennen, wie auch der Gips-sporn an der südwestlichen Ecke des Festhallengrundstücks (Flurstück 899). Der Bereich östlich der Bohrung BK 3 liegt in dieser Darstellung nicht mehr isoliert vor. Die geringe Dichte am Hangfuß kann auch hier beobachtet werden. Die errechneten mittleren Dichten im Bereich der Festhalle weisen im Unterschied zur Einzelberechnung nur zur Festhalle, einen geringfügigen Unterschied von kleiner  $0,05 \text{ g/cm}^3$  auf.

Die gleichen Aussagen gelten sinngemäß für den Bereich der Talaue. So ist auch hier eine geringfügig geringere Dichte berechnet. Die Größenordnung beträgt ebenfalls  $0,05 \text{ g/cm}^3$ .

### **8.4.3.4 Schlussfolgerungen**

Es hat sich gezeigt, dass auch eine gemeinsame Auswertung der beiden Teilbereiche Festhalle und Talaue, die gleichen Untergrundverhältnisse ableitbar sind, wie bei der Einzelberechnung. Lediglich die Auflösung der einzelnen Dichten ist, bedingt durch die erfolgte Glättung, nicht mehr so genau.

Es sollten zunächst einzelne kleinere Areale mit Hilfe des aufgezeigten Weges berechnet werden, was unabhängig von der morphologischen und geologischen Situation gilt. Dies wird deutlich im Messbereich der Festhalle. Hier ändert sich das Relief von sehr ebenen Bereichen zu einem steilen Hang. Geologisch werden die Schichten der Talaue als auch die des Gipskeupers und dessen Verwitterungsprodukte erschlossen. Trotz dieser unterschiedlichen Randbedingungen ist in jedem Fall das gleiche Untergrundbild abzuleiten.

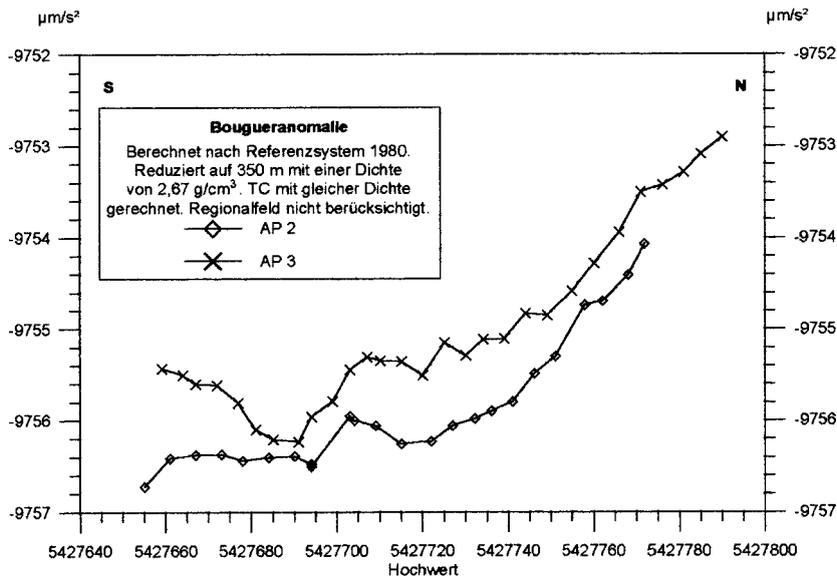
## **8.4.4 Messbereich Altablagerung**

### **8.4.4.1 Lokalfeld**

Es wurden zunächst immer zwei benachbarte Profile in einer Grafik dargestellt. Hierbei ist zu erkennen, dass die Profile AP 1 und AP 2 (Anlage 15.5.12 Blatt 1) recht gut in den berechneten Werten übereinstimmen. Bei der Gegenüberstellung der Profile AP 2 und AP 3 (Anlage

5.5.12 Blatt 2) ist festzustellen, dass das östlichere Profil AP 3 höhere Anomalienwerte aufweist, als das Profil AP 2. Beim Vergleich der Bougueranomaliekurve der beiden Profile AP 3 und AP 4 lässt sich wiederum eine recht gute Übereinstimmung feststellen (Anlage 15.5.12 Blatt 3).

Neben einer Zunahme der Bougueranomalie von Süden nach Norden, erscheint zunächst aus der Anlage 15.5.12 Blatt 2 ein West-Ost gerichteter Anteil am Regionalfeld vorhanden zu sein. Betrachtet man aber die Lage der Profile (Anlage 15.5.3), so kann es sich hier nicht um einen kontinuierlichen Anstieg handeln.



verkleinerte Anlage  
15.5.12 Blatt 2

Es wurde zunächst angenommen, dass die Zunahme der Bougueranomalie nach Osten durch eine Schwereanomalie verursacht wird. So erfolgte die Ableitung des Regionalfeldes auch nur für die Nord-Süd-Richtung. Die Ergebnisse (Anlage 15.5.13) zeigen allerdings keinen einheitlichen Trend. Die abgeleitete Zunahme in Nordrichtung variiert zwischen  $1,2 \mu\text{m/s}^2$  und  $2,1 \mu\text{m/s}^2$ .

Es ist kein einheitliches Lokalfeld (im Sinne dieser Arbeit) ableitbar. Der Grund hierfür liegt wahrscheinlich im recht großen Dichtekontrast im oberflächennahen Bereich.

#### 8.4.4.2 Dichtewahl

Im Bereich der Altablagerung stehen die Estherienschichten, der Schilfsandstein und die Unteren Bunten Mergel an. Es wurden die Dichten von  $2,3 \text{ g/cm}^3$  und  $2,4 \text{ g/cm}^3$  für die anstehenden Schichten angesetzt. Hierbei wurde ein gewisser Verwitterungsgrad mit berücksichtigt. Nimmt man für die nur gering verdichtete Altablagerung eine Dichte von  $1,7 \text{ g/cm}^3$  bis  $1,8 \text{ g/cm}^3$  an, so wird deutlich, dass bei der Ableitung des Lokalfeldes Anteile einer deutlichen Anomalie berücksichtigt wurden.

Bei der Berechnung der Bougueranomalie mit den beiden Dichten für das anstehende Material stellt sich, unabhängig von der derzeitigen Morphologie, ein Minimum ein (Anlage 15.5.14 Blatt 2 und Blatt 3).

Die Berechnungen mit typischen Dichten für Altablagerungen ( $1,7 \text{ g/cm}^3$  und  $1,8 \text{ g/cm}^3$ ) erlauben keine detaillierte Interpretation (Anlage 15.5.14 Blatt 4 und Blatt 5).

Es ist mit Hilfe der Bougueranomalienberechnungen nicht möglich, ein gesichertes Lokalfeld abzuleiten. Eine mittlere Dichte ist nicht abzuleiten, obwohl die Messpunkte IV/2, V/1, V/2 und V/3 auf gewachsenen Untergrund zu liegen kommen.

Aus diesem Grund wurde vor Ort die Mächtigkeit im Bereich der Flurstücksgrenze von Flurstück 1667 zu 1668/1 gemessen. Hier kommt allerdings erschwerend hinzu, dass das Gefälle der ursprünglichen Morphologie nicht gleichmäßig ist. Es konnte so die Mächtigkeit für den Messpunkt I/6 mit 6,0 m angesetzt werden.

Obwohl aus den Berechnungen zur Festhalle und zur Talaue ersichtlich ist, dass die bei der Altablagerung zu erreichende Genauigkeit möglicherweise nicht ausreicht, korrekte Ergebnisse zu ermitteln, wurde der Versuch unternommen.

#### **8.4.4.3 Mittlere Dichte**

Die oben geschilderte Vorgehensweise bedarf auch hier eines Zwischenschrittes, der zunächst die mittlere Dichte des Untergrundes liefert (Anlage 18.4). Hierzu wurden die ermittelten Bougueranomaliewerte für den Messpunkt I/6 mit den Dichten  $1,7 \text{ g/cm}^3$  für die Altablagerung und  $2,3 \text{ g/cm}^3$  für das Anstehende angesetzt. Die beiden erhaltenen Bougueranomalien wurden als repräsentativ angenommen. Hieraus wurden die mittleren Dichten berechnet, wie sie in der Anlage 18.4 Blatt 1 für die Dichten  $1,7 \text{ g/cm}^3$  und  $2,3 \text{ g/cm}^3$  und eines Bouguerwertes von  $-9752 \text{ } \mu\text{m/s}^2$  dargestellt sind. Die Anlage 18.4 Blatt 2 zeigt das Ergebnis für die Dichten  $1,8 \text{ g/cm}^3$  und  $2,3 \text{ g/cm}^3$  und einen Bouguerwert von  $-9752,3 \text{ } \mu\text{m/s}^2$ . Die Zahlenwerte unterscheiden sich deshalb von den übrigen beiden Messbereichen (Festhalle und Talaue), da keine Anschlussmessung an das Schweremessnetz erfolgte.

Da die Ergebnisse, insbesondere im südlichen Bereich der Altablagerung am Übergang zum Anstehenden, nicht befriedigen, wurde eine weitere Berechnung durchgeführt, die nicht einen solch großen Unterschied zwischen den beiden Dichten aufweist, und sich an der oberflächennahe festgestellten Dichte im Bereich der Festhalle von  $2,0 \text{ g/cm}^3$  orientiert. Die Dichte für die Altablagerung wird mit  $1,7 \text{ g/cm}^3$  beibehalten. Der angestrebte Bouguerwert liegt für den Punkt I/6 bei  $-9750,5 \text{ } \mu\text{m/s}^2$ . Das Ergebnis dieser Berechnung zeigt Anlage 18.4 Blatt 3.

#### **8.4.4.4 Dichtezuordnung**

Jetzt können aus dieser mittleren Dichte die Anteile der beiden jeweils angesetzten Dichten berechnet werden. Als maximale Auffüllungshöhe wird 12,0 m angesetzt. In keiner der Ableitungen der Mächtigkeit wird diese maximale Auffüllhöhe erreicht.

Die abgeleiteten Mächtigkeiten aus der Berechnung der Mittleren Dichte für Anlage 18.4 Blatt 3 lässt keine Parallelen zum Geländebefund erkennen (Anlage 19.2 Blatt 3). Die beiden anderen aufgezeigten Mächtigkeiten (Anlage 19.2 Blatt 1 und 19.2 Blatt 2) kommen der realen Situation näher, können aber im südlichen Untersuchungsbereich am Übergang zum Anstehenden keine befriedigende Ergebnisse liefern.

#### **8.4.4.5 Schlussfolgerungen**

Mit der gewählten Messanordnung und Auswertemethode lassen sich die Grenzen der Altablagerung nicht nachweisen. Wohl ist es möglich aus dem Verlauf der berechneten Bougueranomalien die Aussage zu treffen, dass hier eine Dichteinhomogenität vorliegt, aber es lassen sich keine weiteren Aussagen detailliert ableiten.

Der Hauptgrund liegt in der nicht vorliegenden Dichte der einzelnen Einheiten. Dies dürfte insbesondere bei der Dichteverteilung der Altablagerung schwierig sein. Die Altablagerung weist wahrscheinlich, je nach abgelagertem Material (Hausmüll, Bauschutt, Erdaushub) und dem Verdichtungsgrad eine wechselnde Dichte über kurze Entfernungen auf.

### **9 Software**

Der modulare Aufbau des verwendeten Computerprogramms geht aus Anlage 20.1 Blatt 1 hervor. Das Ablaufdiagramm ist in Anlage 20.2 Blatt 1 dargestellt.

Es wurde Wert gelegt, dass das Auswerteprogramm auch auf einem IBM-kompatiblen Notebook mit allen Modulen lauffähig ist, da so eine Auswertung parallel zur Geländearbeit erfolgen kann.

Die ganze Problematik der Berechnungen, selbst die dreidimensionale Modellierung mit bis zu einer Million Körpern, konnte auf einem handelsüblichen Notebook bewältigt werden. Als Programmiersprache diente, auch für teilweise komplizierte Bildschirmdarstellungen, BASIC.

### **10 Zusammenfassung aller Ergebnisse**

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass bei detaillierter Auswertung von Gravimetriemesswerten, eine Aussage hinsichtlich des Auslaugungsgrades von Gipsgestein getroffen werden kann.

Es muss auf eine exakte Gravimeter- und Höhenmessung geachtet werden. Zur Feststellung der Gesteins- und Bodendichte ist es unerlässlich ungestörte Proben, durch wenige Bohrungen, zu gewinnen.

Das Verfahren ist aussagekräftiger und kostengünstiger als einzelne Bohrungen isoliert abzuteufen.

Es folgen die Schlussbetrachtungen zu jedem Einzelgebiet.

#### **10.1 Geologie**

Die Grenze Grundgipsschichten des Mittleren Keupers zum Grenzdolomit des Unteren Keupers lässt sich im Raume Murrhardt gut an den Bohrergebnissen festlegen. Hierbei traten folgende Besonderheiten auf.

Die Gipsausscheidung erfolgte nicht erst zur Zeit des Mittleren Keupers, sondern bereits zur Zeit des Unteren Keupers (hier Lingula-Dolomite).

Es konnten bis zu 0,6 m mächtige Gipsausscheidungen festgestellt werden. Auch der Grenzdolomit zeigt Gipslinsen. Wenn dieser Gips weggelöst ist, ist eine Ansprache als Zeldolomit berechtigt.

Die Verkarstung der Grundgipsschichten und das Vorhandensein von Gipseinschaltungen auch im Unteren Keuper, lässt ein Spaltensystem im Untergrund entstehen, das die Tragfähigkeit von Gründungspfählen durchaus reduzieren kann, oder eine tiefere Gründung notwendig macht.

Als Konsequenz dieser Beobachtung müssen Baugrunderkundungen tiefer als bis zur Grenze Grenzdolomit/Grundgipsschichten herabgeführt werden. Auch eine Ableitung von Bodenkennwerten aus Tabellen ist im Bereich Murrhardt nicht möglich.

Die stratigraphische Grenze Unterer Keuper zu Mittleren Keuper ist im Untersuchungsraum mehrfach verbogen. Dies rührt vom Einfluss der Jagst-Neckar-Furche her.

Eine Parallelisierung von Bohrerergebnissen anhand der Farbe, des Kalkgehaltes und der Zustandsänderungen im Bereich eines Gipskeuperhanges ist nicht möglich. Zu vielfältig sind die Beeinflussungen durch Auflockerungen, Wasserwegsamkeit und Verkarstungsgrad.

Das hydrogeologische Bild im Bereich der Talau ist in Murrhardt, möglicherweise auch durch den Einfluss der Grundgipsschichten, sehr kompliziert. Es liegen mehrere Wasserleiter vor, die zum Teil nur durch den unterschiedlichen anthropogenen Einfluss erkennbar sind. So konnte beobachtet werden, dass ein tieferer Grundwasserleiter eine anthropogene Beeinflussung aufwies, während der höhere Wasserleiter frei von einer solchen war.

Als Konsequenz aus den hydrogeologischen Ergebnissen ist bei einer Suche nach Verschmutzungsherden nicht nur der obere Wasserleiter, sondern sämtliche Wasserleiter bis zur Talfüllungssohle, besser noch bis in den kompakten Unteren Keuper, zu erkunden und zu beproben. Es ist hierbei immer zu gewährleisten, dass beim Bohren auf eine Abdichtung der einzelnen Grundwasserstockwerke geachtet wird.

## **10.2 Gravimetrie**

Die Gravimetrie kann Aussagen zum Verkarstungsgrad eines Gipskeuperhanges liefern. Die Voraussetzung hierzu ist, dass die Oberkante des auslaugungsfähigen Gipses maximal zwischen 25 m uGOK und 30 m uGOK zu liegen kommt. Bei größerer Tiefe ist die zu erwartende Messdifferenz zwischen einzelnen Messpunkten zu gering. Auch wenn keine einzelnen größeren Hohlräume in der vorliegenden Arbeit nachgewiesen werden konnten, ist doch der Auslaunungsgrad bestimmbar.

Der Berechnungsweg kann mit Hilfe bereits bekannter Formeln durchgeführt werden. Es sind jedoch Untergrundaufschlüsse notwendig, um den hier eingeschlagenen Berechnungsgang zu nutzen. Es hat sich gezeigt, dass bereits mit einer Eichbohrung gute allgemeine Ergebnisse erzielt werden können. Um ein starkes Einfallen der Schichten zu berücksichtigen, sollten jedoch drei Bohrungen abgeteuft werden. Eine Dichtebestimmung ist an ungestörten Proben aus charakteristischen Schichtpartien durchzuführen, da sonst die Gefahr von Reduktionsanomalien besteht.

Die notwendigen Bohrungen sind nach einem ersten Auswerteschritt der Gravimetrieergebnisse abzuteufen. So kann der Ansatzpunkt unter Berücksichtigung der Gravimetrieergebnisse festgelegt werden.

Für die hier vorgenommenen Berechnungen zur Abschätzung der Auslaugung reicht ein handelsübliches Notebook aus. Es muss nicht mit Hilfe aufwendiger dreidimensionaler Modellierung unterschiedlicher Körper eine zeitraubende Berechnung durchgeführt werden.

Für die ingenieurgeologische Aussagen, wie diese für Planungsaufgaben im kommunalen Bereich notwendig sind, kann die Gravimetrie gut eingesetzt werden. Insbesondere bei der Abgrenzung von Bebauungsplänen, die im Einflussbereich von Gipsschichten liegen, können die Ergebnisse der Gravimetrie genutzt werden. Störfelder, hervorgerufen durch Leitungen und Kabel, berühren diese Meßmethode nicht. Ein weiterer Vorteil ist, dass keinerlei Gefahren für Bauwerke und Personen damit verbunden sind.

Die Verwendung der Gravimetrie bei der Abgrenzung und der Mächtigkeitsbestimmung von Altlagerungen müssen möglicherweise Gradientenmessungen (Messungen in zwei Ebenen) eingesetzt werden, um sinnvolle Ergebnisse zu liefern.

So konnte auf der Grundlage der Bohrergebnisse und der ermittelten Dichte an ungestörten Proben die Bougueranomalie genau berechnet werden. Bei Berücksichtigung des Lokalfeldes (im Sinne dieser Arbeit) ist eine gute Übereinstimmung der Bohrergebnisse mit den berechneten Bougueranomalien festzustellen.

### **10.3 Soft- und Hardware**

Es konnte gezeigt werden, dass auf einem Notebook alle Berechnungen, die zur angewandten Gravimetrie bei Landmessungen notwendig sind, durchzuführen sind. Selbst das zeitaufwendige Berechnen von Schwerewirkungen von Körpern verschiedener Dichte, zusammengesetzt aus einzelnen Kuben, ist hier möglich.

## 11 Literatur

### 11.1 Zitierte Literatur aus Text und Anlagen

- ATTERBERG, A.: Die Plastizität der Tone. Int. Mitt. Bodenkde., **1**:10-43; Berlin 1911
- BACHMANN, G. H., GWINNER, M. P. & HINKELBEIN, K.: Geologie des Keuperlandes östlich Heilbronn zwischen Neckar, Kocher und Bühler (Exkursion C am 14.04.1977)-Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F. **59**:33-44, Stuttgart 1977
- BRENNER, K.: Stratigraphie und Paläogeographie des Oberen Mittelkeupers in Südwest-Deutschland. Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart **68**:101-222, Stuttgart 1973
- : Profile aus dem Oberen Mittelkeuper Südwest-Deutschlands. Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart **72**:103-203, Stuttgart 1978
- BRENNER, K.; VILLINGER, E.: Stratigraphie und Nomenklatur des südwestdeutschen Sandsteinkeupers. Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg **23**:45-86. Freiburg 1981
- BRONSTEIN, I.; SEMENDJAJEW, K.: Taschenbuch der Mathematik, Verlag Harri Deutsch; Thun, Frankfurt/Main 1979
- BRUNNER, H.: Zur lithostratigraphischen Gliederung des Mittleren Gips Horizonts und des Horizonts der *Acrodus*-/*Corbulabank* im nördlichen Baden-Württemberg. In: Neue Forschungen zur Erdgeschichte von Crailsheim. Herausgeber Hans Hagdorn: 206-225; Stuttgart, Korb 1988 (Goldschneck-Verlag)
- BRUNNER, H.; BRUDER, J.: Standardprofile des Unteren Keupers (Lettenkeuper, Trias) im nördlichen Baden-Württemberg. Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F. **63**: 253- 269; Stuttgart 1981
- CORRENS, C. W.: Einführung in die Mineralogie; Berlin, Göttingen, Heidelberg 1949 (Springer)
- DÜRR, R.: Strukturgeologische Untersuchungen im Bereich der Neckar-Jagst-Furche (Baden-Württemberg). Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart, **77**:75-146, Stuttgart 1982
- EINSELE, G.; GIERER, H.: Entfärbung bei Desintegration und Gleitflächenbildung im Knollenmergel (oberste Trias) SW-Deutschlands. Geol. Jb. C **16**:3-21; Hannover 1976
- EISENHUT, E.: Ein Pyrit-Horizont im Stubensandstein. Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. **38**:4- 10; Stuttgart 1956
- : Stubensandstein und Obere Bunte Mergel in Nordwürttemberg. Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. **40**:145-169; Stuttgart 1958
- : Eine *pleuromeia* spec. aus dem Schilfsandstein. - Jh. Ver. vaterl. Naturkunde. Württemberg **121**:145-148, Stuttgart 1966
- : Kieselsandstein und Lehrbergschichten in Nordost-Württemberg. Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. **49**:61-74; Stuttgart 1967

- EISENHUT, E.: Geologische Karte von Baden-Württemberg 1 : 25 000. - Erläuterungen zu Blatt 7023 Murrhardt, Stuttgart 1971
- : Geologische Karte von Baden-Württemberg 1 : 25 000. - Erläuterungen zu Blatt 6924 Gaildorf, Stuttgart 1974
- FURTAK, H. & LANGGUTH, H.R.: Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen. - Mem. IAH-Congress, 1965, VII:86-96, Hannover 1967
- GARLAND, G.D.: Introduction to geophysics. W.B. Saunders company; Philadelphia, London, Toronto 1979.
- Geologische Karte von Bayern 1 : 500 000 Bayerisches Geologisches Landesamt, München 1981
- GEYER, O. F.; GWINNER, M. P.: Geologie von Baden-Württemberg. 4. Neubearb. Aufl. 472 Seiten; Stuttgart (Schweizerbart) 1986
- GWINNER, M. P.: Beobachtungen zur Sedimentation des Stubensandsteins im nördlichen Baden-Württemberg. Zt. dt. geol. Ges. **12**:209-212; Hannover 1971
- HAGDORN, H.; SIMON, T.: Geologie des Hohenloher Landes. 2. Auflage, Sigmaringen (Thorbecke), 1988
- HAHN, G. G.: Paläomagnetische Untersuchungen im Schilfsandstein (Trias, km<sup>2</sup>) Westeuropas. - Geol. Rdsch., **73/2**:499-516, Stuttgart 1984
- HAMMER, S.: Terrain corrections for gravimeter stations. Geophysics **4**: 184-194; Tulsa 1939
- HEITFELD, K. H.: Hydro- und baugewissensch. Untersuchungen über die Durchlässigkeit des Untergrundes an Talsperren des Sauerlandes. Geol. Mitt. **5**, 1-2: 210; Aachen 1965
- HEITFELD, K. H.: Durchlässigkeitsuntersuchungen im Festgestein mittels WD-Testen. Mitt. Ing. Hydrogeol. **5**: 175-218; Aachen 1979
- HEITFELD, K. H.; KOPPELBERG, W.: Durchlässigkeitsuntersuchungen mittels WD-Versuchen. Zbl. Geol. Paläont. Teil I, Heft 5/6: 634-661; Stuttgart 1981
- HELING, D.: Zur Petrographie des Schilfsandsteins. Beitr. Min. Petrograph. **11**:273- 296, Heidelberg 1965
- : Die Salinitätsfazies von Keupersedimenten aufgrund von Borgehaltsbestimmungen. Sedimentology **8**:63-72. Amsterdam 1967
- HENNINGSEN, D.; KATZUNG, G.: Einführung in die Geologie Deutschlands, 4. Aufl., Stuttgart (Enke) 1992
- HÖLTING, B.: Hydrogeologie. 4.Auflage; Stuttgart (Enke) 1992

- HÜTTER, L. A.: Wasser und Wasseruntersuchung. 5. Auflage. Frankfurt 1992
- JUNG, K.: Zur Bestimmung der Bodendichte nach dem NETTLETON Verfahren. Zt. für Geophysik, **19** (Sonderband): 54-58; Würzburg 1953
- KARTE DER BOUGUERANOMALIE von Baden-Württemberg. Maßstab 1 : 300 000. Herausgegeben vom Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, 1992
- KLOPP, R.: Untersuchungen über das Vorhandensein naturgegebener Einflüsse auf die Rutschungsintensität bindiger Gesteine und die Möglichkeit, deren Wirkungsgrad zu bestimmen. Mitt. u. Arb. Geol. Paläontol. Inst., TH Stuttgart, N. F., **50**; Stuttgart 1957
- KRAUSE, H.: Oberflächennahe Auflockerungserscheinungen in Sedimentgesteinen Baden-Württembergs. Jb. Geol. Landesamt Baden-Württemberg **8**:269-323; Freiburg 1966
- KRIMMEL, V.: Epirogene Paläotektonik zur Zeit des Keupers (Trias) in Südwest-Deutschland. Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stgt., N.F. **76**:1-74, Stuttgart 1980
- LINCK, O.: Die sogenannten Steinsalz-Pseudomorphosen als Kristall-Relikte. Abh. Senk. naturf. Ges. **470**:1-50; Frankfurt 1946
- : Lebensspuren aus dem Schilfsandstein (Mittlerer Keuper, km<sup>2</sup>) Nordwest- Württembergs und ihre Bedeutung für die Bildungsgeschichte der Stufe. Jh. Ver. vaterl. Naturkde. Württemberg **97-101**:1-100, Stuttgart 1949
- : Lebens-Spuren niederer Tiere (Evertebraten) aus dem württembergischen Stubensandstein verglichen mit anderen Ichnocoenosen des Keupers. Stuttg. Beitr. z. Naturkde. **66**, 29 Seiten; Stuttgart 1961
- : Die marine Muschelfauna des Schilfsandsteins von Eberstadt, Württemberg und deren Bedeutung. Jh. Ver. vaterl. Naturkde. Württemberg **123**:69-133, Stuttgart 1968
- LIPPMANN, F.; ZIMMERMANN, M.: Die Petrographie des Knollenmergel. Mittlerer Keuper, Trias. Geol. Rundsch. **72**:1105-1132; Stuttgart 1983
- LONGMAN, I. M.: Formulas for computing the tidal accelerations due to the moon and the sun. Journal Geophysical Research, **64**, (12): 2351-2355; Washington December 1959
- MILITZER, H.; WEBER, F.: Angewandte Geophysik Band 1 Gravimetrie und Magnetik. Wien, (Springer), 1984
- MORITZ, H: Geodetic Reference System 1980. Bulletin Géodésique **54**,3: 395 ff; Paris 1980
- PARASNIS, D. S.: Principles of applied geophysics. Methuen; London 1962
- PATZELT, J.: Lithologische und paläogeographische Untersuchungen im Unteren Keuper Süddeutschlands. Erlanger geol. Abh. **52**, 30 Seiten, Erlangen 1964
- PRINZ, H.: Abriß der Ingenieurgeologie. Stuttgart, (Enke), 1991

- REIFF, W.: Obere Bunte Estheriensichten, Schilfsandstein und Dunkle Mergel im mittleren Württemberg. Tübinger geogr. u. geol. Abh. Reihe I, **26**, Öhringen 1938
- REUTER, F. & TOLMACEV, V.V.: Bauen und Bergbau in Senkungsgebieten. Berlin (Akademie-Verlag), 1990
- SCHÄLICHE, W.: Die Bedeutung der Unterscheidung von verwitterten, verstützten Gipskeuper-Mergeln und Fließerden aus Keupermaterial für die Gründung von Bauwerken. Geol. Mitt. **12**: 19-28; Aachen 1972
- SCHICK, R.; SCHNEIDER, G.: Physik des Erdkörpers. Stuttgart (Enke), 1973
- SCHLEUSENER, A.: Nomogramme für Geländeverbesserung von Gravimetermessungen der angewandten Geophysik. Beitr. zur ange. Geophysik **8**: 415-430; Leipzig 1940
- SCHOELLER, H.: Les eaux souterraines. Paris (Masson), 1962
- SCHULZ, H. R.: Geologische und gravimetrische Untersuchungen der Fensterbachstörungszone. Diplomarbeit TH Darmstadt; 1986 (unveröff.)
- SIGL, R.: Einführung in die Potentialtheorie. Karlsruhe (Wichmann), 1973
- SIMON, T.: Flußgeschichte von Kocher und Jagst. In: Neue Forschungen zur Erdgeschichte von Crailsheim. Herausgegeben von HAGDORN H., Stuttgart 1988
- : Salz und Salzgewinnung im nördlichen Baden-Württemberg, Sigmaringen (Thorbecke), 1995
- STEGENA, L.; SAGITOV, M.: The constant of gravity. Akad. Kiadó; 254 S.; Budapest 1979
- STOLL, H.: Versuch einer stratigraphischen Gliederung des Stubensandsteins im westlichen Württemberg. Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver., N. F. **18**. :1-63; Stuttgart 1929
- TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R.E.; KEYS, D. A.: Applied Geophysics. Cambridge 1976
- THÜRACH, H.: Übersicht über die Gliederung des Keupers im nördlichen Franken im Vergleich zu den benachbarten Gebieten. Geognost. Jh. **1**, :75-162 und **2**, :1-90, Kassel 1888, 1889
- TRAUZETTEL, G.: Die Rutschungen der Württembergischen Knollenmergel. Arb. u. Mitt. Geol. Paläontol. Inst., TH Stuttgart, N. F., **32**, 182 Seiten; Stuttgart 1962
- TRINKWASSERVERORDNUNG: Verordnung zur Änderung der Trinkwasserverordnung und der Mineral- und Tafelwasser-Verordnung. Bundesgesetzblatt Teil I vom 5.12.1990 Nr. 66 :2600ff
- TRINKWASSERVERORDNUNG: Neufassung der Trinkwasserverordnung. Bundesgesetzblatt Teil I vom 5.12.1990 Nr.66 :2612ff

- VOLLRATH, P.: Beiträge zur vergleichenden Stratigraphie und Bildungsgeschichte des mittleren und oberen Keupers in Südwestdeutschland. N. Jb. Miner., Beil.-Bd. **60**, Abt. B, :195-306; Stuttgart 1928
- WALACH, G.: Die Bedeutung gravimetrischer Untersuchungen für die Kohleprospektion im Frohnsdorf-Knittelfelder Tertiärbecken. Geophysikalische Probleme bei der Erkundung von Energierohstoffen. Freiburger Forschungshefte C378, Leipzig 1982
- WEINLAND, K.: Geologische Untersuchungen in den Löwensteiner Bergen und dem Mainhardter Wald. Diss. Stuttgart 1933 (unveröff.)
- WURSTER, P.: Geologie des Schilfsandsteins. Mitt. Geol. Staatsinst. **33**, 140 Seiten. Hamburg 1964a
- : Krustenbewegungen, Meeresspiegelschwankungen und Klimaveränderungen der deutschen Trias. Geol. Rundsch. **54**, :224-240, Stuttgart 1964b
  - : Entgegnung auf Linck's neue Deutung der Geologie des Schilfsandsteins. Jh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg **14**:53-67, Freiburg 1972
- ZIEGLER, H.: Instabile Hangflächen im Oberen Keuper - Erkundung und Sanierungsmaßnahmen beim Straßenbau. Ber. 5. Nat. Tag. Ing. Geol. Kiel:293-296; Essen 1985
- ZIMMERMANN, G.: Anatomische Untersuchungen an Kieselhölzern aus dem Stubensandstein Württembergs. Palaeontographica, Abt. B, **93**:69-102; Stuttgart 1953

## **11.2 Bearbeitete Literatur**

- BACHMANN, G. H.: Grundgipsschichten und Bochinger Horizont. Jh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, **16**:79-96, Freiburg 1974
- BACKHAUS, E.: Baugeologie der Lockergesteine (Mittelgebirge, Alpenvorland, Niederrhein). In: Grundbautaschenbuch Bd. 1 Ergänzungsband:55-108; Berlin 1970
- BARTELS, J.: Gezeitenkräfte, in: Handbuch der Physik, **48** Geophysik II, Springer Verlag; Berlin 1957
- BAULE, H.; DRESEN, L.: Methoden zur Abrenzung von Erdfallbereichen und der Lokalisierung unterirdischer Hohlräume. Proc. Symp. IAEG "Erdfälle und Bodensenkungen" Hannover G3: 1-9; Essen (DGEG) 1973
- BLIZKOVSKY, M: Processing and applications in microgravity surveys. Geoph. Prosp.**27**, **4**: 848 - 861; The Hague 1976
- BOTT, M. H. P.: Inverse Methods in the interpretation of magnetic and gravity anomalies. In: Methods in computational physics. Editor: BOLT, B. A.; Academic Press; London New York, 1973

- BRINK, H.-J. et al.: Seismisch/gravimetrisches 3-D-Modelling am Beispiel eines norddeutschen Salzstockes. Erdöl, Erdgas, Kohle **104** (4), Hamburg April 1989
- BRUDER, J.: Gipsauslaugung im Schönbuchtunnel bei Herrenberg. Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg **19**: 7-16; Freiburg i. B., 1977
- BRUNNER, H.; WURM, F.: Stratigraphie und Mächtigkeiten der unteren Gipskeuper-Schichten in Baden-Württemberg. Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. **65**:307-344, Stuttgart 1983
- CARLÉ, W.: Betrachtungen zur Tektonik des südwestdeutschen Deckgebirges. Zt. dtsh. geol. Ges. **98**:120-151, Berlin 1948
- : Bau und Entwicklung der Südwestdeutschen Großscholle. Beih. Geol. Jb., **16**, Hannover 1955
- : Der Salinenversuch zu Murrhardt. Zt. württ. Landesgesch., **19**:314-325, Stuttgart 1960
- : Subrosions-Erscheinungen in Trias-Gipsen des nordöstlichen Baden-Württemberg. Jh. Ges. Naturkde. Württ. **134**:34-57; Stuttgart 1979
- CARMICHAEL, R. S.; HENRY, G.: Gravity exploration for groundwater and bedrock topography in glaciated areas. Geophysics **42** No.4: 850-859; Tulsa 1977
- CARROZZO, M.T.: A general formula for the computation of the terrain corection to the gravity measurements by electronic computers. Bolletino di Geof. Teor. Appl. **8**, (32): 256-263; Trieste 1966
- CZAPOWSKI, G.: Sedimentary Facies in the Oldest Rock Salt (Na1) of the Leba Elevation (Northern Poland).- Lecture Notes in Earth Sciences **10**; PERYT, T. M. (Hrsg.): The Zechstein Facies in Europe :207-224, Berlin Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1987
- DOERGÉ, W.; REINHARDT, E.; BOEDECKER, G.: Das "International Gravity Standardization Net 1971 (ISGN71)" in der BRD. Dt. geodät. Kom. **B 225**; München 1977
- DRESEN, L. et al.: Die Ortung oberflächennaher Hohlräume durch die Bestimmung des Vertikalgradienten der Schwere. Glückauf-Forschungshefte **42**: 84-88; Essen 1981
- DRESEN, L.: Problematik, Methodik und Möglichkeiten geophysikalischer Verfahren zur Ortung oberflächennaher Hohlräume. Vorträge der Baugrundtagung 1974 in Frankfurt-Höchst: 147-174; Essen (DGEG) 1974
- EHRISMANN, W.; MÜLLER, G.; ROSENBAACH, O. SPERLICH, N.: Topographic reduction of gravity measurements by electronic computers. Bolletino di Geof. Teor. Appl. **8**, (29); 3-20; 1966
- EHRISMANN, W.; et al.: Gravimetrische Feldmessungen und Modellberechnungen im Gebiet des Krimmler Ache-Tales und Obersulzbachtales (Österreich). Geol. Rd. **65**: 767-778; Jahrgang 1976 Stuttgart

- EHRISMANN, W.; LETTAU, O.: Topographische Reduktion von Schweremessungen in der näheren und weiteren Stationsentfernung mit Digitalrechnern. Archiv Meteorologie, Geophysik, Bioklimatologie Serie A **20**: 383-396; Wien 1971
- EINFALT, H.-C.: Umwandlung von Anhydrit in Gips. - Mechanismus und Einflußfaktoren. Ber. 2. Nat. Tag. Ingenieurgeologie Fellbach: 153-158; Essen DGEG 1979
- EISENHUT, E.: Grenzverhältnisse im Mittleren Keuper des Murrhardter Waldes. Jh. geol. Abt. württ. statist. Landesamt, **1**:33-38, Stuttgart 1951
- ERNSTON, K.: Ergebnisse von Schweremessungen auf drei Profilen über die Frankenwald-Randverwerfung. N.Jb.Geol.Paläont.Mh.: 65-72; Stuttgart 1982
- ERVIN, P., C.: Theory of the bouguer anomaly. Geophysics **42** No 7: 1468; Tulsa 1977
- EWERT, F.-K.: Zur Ermittlung eines kf-Wertes für Fels und Kriterien zur Abdichtung des Untergrundes von Talsperren. Berichte von der 1. Nat. Tagung Ing.Geol. Paderborn: 393-408; Essen 1977
- : Untersuchungen an Felsinjektionen. T.1: Fallstudien WD-Versuche, spezifische Durchlässigkeiten. Forsch. Geol. Paläontol. **49**; Münster 1979
- FAHLBUSCH, K.: Zur Stratigraphie im südwestlichen Thüringer Becken. In: BUBNOFF, S. v.: Beiträge zur Tektonik des Thüringer Beckens. Abhandlungen der deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Berlin (Akademie Verlag) 1955.
- FAJKLEWICZ, Z.: Stand der mikrogravimetrischen Untersuchungen bei der Erkundung von Gebirgshohlräumen. Freiburger Forschungshefte C341, Leipzig 1979
- : Neue Perspektiven der Mikrogravimetrie - Teil der Gebirgsschlagprognose. Neue Bergbautechnik **12**, 3: 140-143; Leipzig 1982
- : Mikrogravimetrische Messungen zur Prognose von Senkungserscheinungen in Bergbaugebieten. Neue Bergbautechnik **13**, 6: 312-316; Leipzig 1983a
- FAJKLEWICZ, Z.: Versuch der Aussonderung der mit Gebirgsschlägen verbundenen gravimetrischen Mikroanomalien aus einem Meßfeld mit hohem Störgeräuschniveau. Neue Bergbautechnik **13**, 1: 14-19; Leipzig 1983b
- FORD, D. & WILLIAS, P.: Karst Geomorphology and Hydrology, London 1992
- FRAIHA, S. G. C.; SILVA, J. B. C.: Factor analysis of ambiguity in geophysics. Geophysics, Vol **59**, No 7: 1083-1091; Tulsa 1994
- FRIEDMAN, G. M.; SNEH, A. & OWEN, R. W.: The Ras Muhammad Pool: Implikationen for the Gavish Sabkha. - In FRIEDMAN, G. M. & KRUMBEIN, W. E. (Hrsg.): Hypersaline Ecosystems, : 2218-237, Berlin, Heidelberg, New York, 1985
- FRISCH, A. K.: Die Methode der direkten Geländekorrekturen. Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie **58**, 8; Winterthur 1960

- FUCHS, H. K. & SOFFEL, H.: Untersuchungen am Westabbruch der böhmischen Einheit im oberfränkischen-oberpfälzischen Bruchschollenland mit Hilfe der Gravimetrie. N.Jb.Geol.Paläont.Mh **4**: 193-210; Stuttgart 1981
- FÜHRER, F. & SOFFEL, H.: Gravimetrische Messungen am Südwestrand der böhmischen Masse. N.Jb. Geol. Paläont. Mh. **H5**: 293-300, Stuttgart 1975
- GK 25 Blatt Nr. 6924 Gaildorf. Geologisches Landesamt Baden-Württemberg. Stuttgart 1974
- GK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt. Geologisches Landesamt Baden-Württemberg. Stuttgart 1971
- GK 25 Blatt Nr. 7024 Gschwend. Geologisches Landesamt Baden-Württemberg. Stuttgart 1971
- GERKE, K.; et al.: Die Karte der Bouguer-Isanomalien 1 : 1 000 000 von Westdeutschland. Deutsche Geodätische Kommission bei der bay. Akad. der Wissenschaften, Reihe B: Angewandte Geodäsie Heft Nr. **46**; 1957
- GERSTENECKER, C.: Die genaue Messung von kleinen Schwereunterschieden. Deutsche Geodätische Kommission bei der bay. Akad. der Wissenschaften, Reihe C: Dissertationen Heft Nr. **191**; München 1973.
- GEYER, O. F.: Grundzüge der Stratigraphie und Fazieskunde 1. Stuttgart (Schweizerbart) 1973
- GÖTZE, H.-J.: Ein numerisches Verfahren zur Berechnung der gravimetrischen Feldgrößen dreidimensionaler Modellkörper. Arch. Met. Geoph. Biokl. Serie A **27**: 195- 215; Wien 1978
- GÖTZE, H.-J.; LAHMEYER, B.: Application of three-dimensional interactive modeling in gravity and magnetics. Geophysics **53**(8): 1096-1108; Tulsa 1988
- GÖTZE, H. J.,; et al.: Gravimetrische Feldmessungen und Modellberechnungen im Felbertauerngebiet (Österreich). Geologische Rundschau **65**: 779-790; Stuttgart 1976
- GÖTZE, H. J.; ROSENBAACH, O.; SCHÖLER, W.: Gravimetrische Untersuchungen in den östlichen Zentralalpen. Geologische Rundschau **68** /1:61-82; Stuttgart 1978
- GRAF, A.: Gravimetrische Instrumente und Meßmethoden. Handbuch der Vermessungskunde Band Va. Hrsg: M. Kneissl. : 308; Stuttgart (Metzlersche Verlagsbuchhandlung) 1967
- GRANT, F. S.; ELSAHARY, A. F.: Bouger corrections with using a variable density. Geophysics **27**, 5: 616-626; Tulsa 1962
- GROSSE, S.; KOPF, M.; SONNTAG, K.: Ergebnisse der Gravimetermessungen im Westerzgebirge. Freiburger Forschungshefte C110: 55-102; Akademie Verlag Berlin 1961
- GROSSMANN, W.: Geodätische Rechnungen und Abbildungen in der Landesvermessung. Stuttgart (Wittwer), 1976

- HAGDORN, H.: Salz und Sole - In: ULSHÖFER, K. & BEUTTER, H. (Hrsg.): Hall und das Salz : 27 - 40, Sigmaringen 1982
- : Neue Forschungen zur Erdgeschichte von Crailsheim. Stuttgart, Korb (Goldschnek), 1988
- HAUSCHKE, N.: Steinsalzkristallmarken - Begriff, Deutung und Bedeutung für das Playa-Playasee-Faziesmodell. Zt. dt. geol. Ges. **140**: 355-369; Hannover 1989
- INSELMANN, R.: Dichte Messungen in der Bundesrepublik Deutschland. Erdöl-Erdgas, **101** (3): 76-79; Hamburg 1985
- JENNINGS, J. N.: Karst:252; London 1973
- JUNG, K.: Schwerkraftverfahren in der angewandten Geophysik. Leipzig (Geest und Portig), 1961
- KERTZ, W.: Einführung in die Geophysik. Bd. 1, BI-Taschenbücher; Mannheim, Wien, Zürich 1985
- KLEINERT, K; EINSELE, G.: Sohlhebungen in Straßeneinschnitten in anhydritführendem Gipskeuper. Ber. 3. Nat. Tag. Felsmechanik Aachen: 103-124; Essen DGEG 1978
- KOPF, M.: Zum Begriff der Dichte in Geologie und Geophysik. Zt. f. angew. Geol. **12**: 145-153; Berlin 1966
- KRAUSE, H.: Sohlhebungen in Keupertunneln von Baden-Württemberg. Ber. 3. Nat. Tag. Felsmechanik Aachen: 83-102; Essen DGEG 1978
- KÜHN, W.: Buntmetallführende Ton- und Sandstein des Keupers im Thüringer Becken und in angrenzenden Gebieten. Chem. Erde **51**: 131-140; Jena 1991
- LEEMMLEN, M.: Keuper. Lexique Stratigraphique International Europe Fasc. 5. Paris 1958 :235 Bd. 5d2.
- LINDNER, H.: Dichteveränderungen an Verwerfungen und isolierten Gesteinskomplexen zur Bestimmung der Bougwerschwere. Bergakademie **15**: 546-548; Leipzig 1963
- LINDNER, H., SCHEIBE, R.: Fortschritte bei der Deutung von Potentialfeldern. Freiburger Forschungshefte C350; Leipzig 1979
- : Interpretation für gravimetrische und magnetische Felder. Freiburger Forschungshefte C322; Leipzig 1977
- LINDNER, H., SCHEIBE, R.: Zum gegenwärtigen Stand der Gravimetrie und der Magnetik bei der Erkundung tiefer geologischer Stockwerke. Zt. f. geol. Wissenschaften **3**, 12: 1559-1577; Berlin 1975
- : Die Berechnung von  $\rho_g$ - und  $\rho_T$ -Anomalien für regelmäßige homogene Störkörper. Gerlands Beiträge zur Geophysik **87**: 29-45; Leipzig 1978

- LINDNER, H.; BRIEDEN, H.-J.; DIERICH, D.: Nachweis von Dichteinhomogenitäten in einer Braunkohleklippe mittels gravimetrischer, radiometrischer und geomechanischer Untersuchungen. *Neue Bergbautechnik* **12**, 9: 497-502; Leipzig 1982
- LINDNER, H.; ADLUNG, A.; WELLER, A.: Ergebnisse gravimetrischer Messungen an der Burgruine Tharandt. *Zt. f. angew. Geol.* **28**, 3: 142-146; Berlin 1982
- LINDNER, H.; WRUCK, K.: Einsatz gravimetrischer und magnetischer Spezialmessungen zur Vorerkundung reflexionsseismischer Profile. *Zt. f. angew. Geol.* **24**: 412-417; Berlin 1978
- MADEJ, J.: Untersuchungen von Schüttdämmen durch mikrogravimetrische Messungen. *Neue Bergbautechnik* **13**,2: 62-69; Leipzig 1983
- MARCAK, H.: Identifizierungsstruktur der Interpretation gravimetrischer Meßdaten. *Freiberger Forschungshefte C359*; Leipzig 1980
- MELCHIOR, P.: Harmonic analysis of earth tides. In *Methods in computational physics*. Editor: BOLT, B. A.; Academic Press; London New York, 1973
- : The tides of the planet earth. Pergamon Press; Oxford, New York, Toronto, Sydney, Paris, Frankfurt 1978
- MILITZER, H.; LINDNER, H.: Grundlagen der angewandten Gravimetrie. *Freiberger Forschungshefte C339*; Leipzig 1979
- MILITZER, H.; LINDNER, H.: Grundlagen der angewandten Gravimetrie Bd. 1 + 2. Lehrmaterial der Sektion Geowissenschaften der Bergakademie Freiberg 1976.
- MILITZER, H.; et al.: *Angewandte Geophysik im Ingenieur- und Bergbau*. Stuttgart (Enke), 1986
- MOLEK, H.: Senkungs- und Bruchvorgänge im Salzkarst. *Zt. geol. Wiss.* **4** (8) :1135- 1147, Berlin 1976
- : Aussagemöglichkeiten strukturgeologischer Bohrkern-Untersuchungsmethoden in Subrusionsgebieten. *Zt. f. angew. Geol.* **29** (10):497-502; Berlin 1983
- MOLEK, H. & REUTER, F.: *Ingenieurgeologie - Geodynamische Prozesse - Karst - Lehrbrief*, Bergakademie Freiberg 1974
- MORELLI, C.: Modern standards for gravity surveys. *Geophys. Prosp.* **24**,1: 198-199; Den Haag 1976
- MORITZ, H.: Über das Bezugssystem 1967. *ZfV* **93**. :81-88; Stuttgart 1968
- MORTIMER, Z.: Anwendung der linearen Programmierung zur Parameterbestimmung von Körpern aus der Schwereanomalie. *Freiberger Forschungshefte C359*; Leipzig 1980.
- MURAWSKI, H.: *Geologisches Wörterbuch*. 6.Aufl., Stuttgart (DTV, Enke), 1972

NETTLETON, L. L.: Gravity and magnetic calculations. Geophysics **I**(3): 293-310, Tulsa, 1942

- : Gravity and magnetics in oil prospecting. New York (McGraw Hill) 1976

OCHSENIUS, C.: Die Bildung der Steinsalzlager und ihrer Mutterlaugensalze. Halle 1877

PFEFFER, K.-H.: Karstmorphologie. Wiss. Buchges. Darmstadt 1978.

PIPER, A. M.: A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis.- Trans. Am. Geophys. Union, **25**:914-928; Washington D.C. 1944

PLAUMANN, S., LEPPER, J.: Gravimetrische Untersuchungen an Erdfällen im Reinhardswald und Solling. Geol. J. Hessen **107**:251-259; Wiesbaden 1979

PLAUMANN, S.: Tabelle der Normalschwere für das "Geodetic Reference System 1967". Geol. Jb. **E 21**: 39-50; Hannover 1981

PLENGE, A.: 3-D-Grafik und Animation für IBM-PC und Kompatibile. Haar bei München (Markt und Technik), 1989

PRIESNITZ, K.: Formen, Prozesse und Faktoren der Verkarstung und Mineralumbildung im Ausstrich salinärer Serien (am Beispiel des Zechsteins am südlichen Harzrand).- Göttinger Geogr. Abh., **60**:317-339. Göttingen (Goltze), 1972

REUTER, F.: Einige neue ingenieurgeologische Untersuchungsergebnisse in Karstgebieten, besonders im Sulfatkarst. Zt. f. angew. Geol. **29** (9):441- 447; Berlin 1983.

REUTER, F. & MOLEK H.: Zu einigen Problemen der ingenieurgeologischen Untersuchungen in Salzkarstgebieten. - Neue Bergbautechnik **7** 12:827-832, Leipzig 1977

- : Ingenieurgeologische-strukturgeologische Grundlagen zur Beschreibung von Objekten des Sulfat- und Chloridkarstes. Freiburger Forschungshefte A 622, Leipzig 1980

REUTER, F.; MOLEK, H. & SCHWERTER, R.: Möglichkeiten einer ingenieurgeologischen Bewertung des verkarstenden Gipsgebirges. Zt. f. angew. Geol. **29** (8):361- 365; Berlin 1983

REUTER, F.; MOLEK, H.; STOLL, R.; WALDMANN, J.; AHLERS, H.: Karstgeologische und geothermische Grundlagen für die Entwicklung von Überwachungssystemen in Erdfallgebieten. Zt. f. angew. Geol. **26** (7):337-341; Berlin 1980

REUTER, F.; MOLEK, H.; STOYAN, D.: Die zeitliche Einstufung geologischer Prozesse für ingenieurgeologische Aufgaben im Bergbau und Bauwesen unter besonderer Berücksichtigung des Karstes. Zt. geol. Wiss. **14** (2):175-181; Berlin 1986

REUTER, F. & R.: Ingenieurgeologische Beurteilung und Klassifikation von Auslaugungserscheinungen. - Freiburger Forschungshefte C127: 1 - 47, Berlin 1962

- REUTER, F. & STOYAN, D.: Sinkholes in carbonate, sulphate and chloride karst regions: Principles and problems of engineering geological investigations and predictions with comments for the construction and mining industries. In: BECK, B. F.; Applied Karst Geology, Rotterdam (Balkema), 1993
- REUTER, F.; STOYAN, D. & OLEIKIEWITZ, P.: Einsatz mathematisch-statistischer Methoden zur Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten in Gebieten des Sulfat- und Chloridkarstes. - Neue Bergbautechnik **11** (10):576-580, Leipzig 1981
- REUTER, F.; DÖRING, T. & PENZEL, M.: Zur Zusammenarbeit von Geotechnik und Geophysik bei der Untersuchung von Karstproblemen. - Neue Bergbautechnik, **9**: 503 - 507, Leipzig 1979
- RICHTER-BERNBURG, G.: Über saline Sedimentation.-Zt. deutsch. geol. Ges. **105/4**:593-645, Hannover 1955
- : Salzlagerstätten.- In BENTZ, A. & MARTINI, F.(Hrsg.): Lehrbuch der angewandten Geologie, 2. Bd. Teil 1:918-1061, Stuttgart 1968
- SAHA, G. J.: Gravity approximation and interpretation of a two-dimensional vertical fault. Geophysics **42**: 1462-1467, Tulsa 1977
- SAUTER, M.: Die Rolle des Epikarsts für den Stofftransport durch Karstgrundwasserleiter-Quantifizierung des Eintrags und numerische Modellierung. Zt. dt. geol. Ges. **146**: 263-273; Hannover 1995
- SCHÖLER, W.: Die Beeinflussung der Schwere und des Vertikalgradienten durch das Gelände in Stationsnähe. Archiv Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie A: 79-88; Wien 1976
- SCHÖSSLER K.: Gravimetrische Arbeiten zur Braunkohlenerkundung in der DDR. Zeitschr. f. ang. Geologie **12**, 11: 580-589; Berlin 1966
- SIMMER, K.: Grundbau 1. 18. Auflage; Stuttgart (Teubner) 1987
- SPAUN, G.: Über die Ursachen von Sohlhebungen im Gipskeuper. Ber. 2. Nat. Tag. Ingenieurgeologie Fellbach :143-151; Essen (DGEG), 1979
- TALWANI, M.; WORZEL, J. L.; LANDISMAN, M.: Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zones. J. Geophys. Res.**64**:49-59; Richmond 1959
- TALWANI, M.; EWING, M.: Rapid computation of gravitational attraction of three-dimensional bodies of arbitrary shape. Geophysics **25**: 203-225; Tulsa 1960
- WAGNER, G.: Flußgeschichte, eine junge Wissenschaft. Aus der Heimat **7/8**:134-148; Öhringen 1955
- : Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte. Öhringen (Rau), 1960

WAGNER, J.-F.: Paläogeographische Entwicklung der triadischen Randfazies Luxemburgs. Zt. dt. geol. Ges. **140**: 311-331; Hannover 1989

### **11.3 DIN Normen**

DIN 1055 T 2 : Lastannahmen für Bauten; Bodenkenngößen, Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel. Ausgabe Februar 1976.

DIN 4021: Aufschluß durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben. Ausgabe Oktober 1990.

DIN 4022 T 1: Benennen und Beschreiben von Boden und Fels. Ausgabe September 1987

DIN 4022 T 2: Benennen und Beschreiben von Boden und Fels. Schichtenverzeichnis für Bohrungen. Ausgabe März 1981

DIN 4022 T 3: Benennen und Beschreiben von Boden und Fels. Schichtenverzeichnis für Bohrungen. Ausgabe Mai 1982

DIN 4023: Baugrund- und Wasserbohrungen. Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse. Ausgabe März 1984

DIN 18121 T 1: Wassergehalt. Bestimmung durch Ofentrocknung. Ausgabe April 1976

DIN 18122 T 1: Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen); Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze. Ausgabe April 1976

DIN 18123: Bestimmung der Korngrößenverteilung. Ausgabe April 1983

DIN 18124: Bestimmung der Korndichte. Ausgabe September 1989

DIN 18125 T 1: Bestimmung der Dichte des Bodens, Laborversuche. Ausgabe Mai 1986

DIN 18196: Erd- und Grundbau. Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke. Ausgabe Oktober 1988

DIN 18300: In VOB Teil C. "Allgemeine Technische Vorschriften für Bauleistungen", 1979

## 12 Verzeichnis der Symbole und Konstanten

b	Kantenlänge eines Quaders im digitalen Geländemodell
$e^2$	Konstante 0,00669438002290 Geodätisches Referenzsystem 1980
f	Gravitationskonstante $(6,6742 \pm 0,0018) \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ nach STEGENA und SAGITOV (1979)
$\rightarrow$ F	Zentrifugalkraft
$\rightarrow$ g	Erdbeschleunigung
$g_{\text{obs}}$	Gemessene Schwere
$\rightarrow$ G	Schwerkraft
h	Höhe des Messpunktes
$h_i$	Höhe des bearbeiteten Messpunktes
$\overline{h_i}$	Mittelere Höhe aller Messpunkte
$h_i'$	Höhenunterschied im digitalen Geländemodell
$h_1$	Höhe Zwischenniveau 1
$h_2$	Höhe Zwischenniveau 2
$\rightarrow$ k	Konstante 0,001931851353 Geodätisches Referenzsystem 1980
K	Gravitationskraft
m	Masse der Erde
$m_1$	Masse
$m_2$	Masse
n	Messpunktanzahl
$n_{\text{Sek}}$	Sektorenanzahl der Geländekorrektur nach HAMMER (1939)
P	Punktlage
r	Abstand
$r_a$	äußerer Radius
$r_d$	Radius im digitalen Geländemodell
$r_i$	innerer Radius
$\rightarrow$ $r_s$	Abstand Rotationsachse der Erde zur Erdoberfläche
$\rightarrow$ $r_0$	Einheitsvektor

R	äquatoriale Halbachse der Erde
$\gamma_A$	Normalschwere am Äquator 9780326,7715 $\mu\text{m/s}^2$ Geodätisches Referenzsystem 1980
$\gamma_0$	Normalschwere
$\delta_{TC}$	Geländekorrekturenteil eines Sektors nach HAMMER (1939)
$\Delta g'$	Freiluftanomalie
$\Delta g''$	Bougueranomale
$\underline{\Delta g_i''}$	Bougueranomale eines Messpunktes
$\Delta g_i''$	Mittel aller Bougueranomalien aller Messpunkte
$\Delta g_B$	Bouguerreduktion
$\Delta g_{FA}$	Freiluftreduktion
$\Delta g_{TC}$	Geländekorrektur
$\Delta h$	Höhenunterschied
$\theta$	Winkel des Sektors bei der Geländekorrektur
$\pi$	Zahl $\pi = 3,141592653589793$
$\rho$	Dichte
$\rho_N$	Näherungsdichte
$\rho_0$	Reduktionsdichte 0
$\rho_1$	Reduktionsdichte 1
$\rho_2$	Reduktionsdichte 2
$\rho_3$	Reduktionsdichte 3
$\varphi$	Geozentrische Breite
$\omega$	Winkelgeschwindigkeit $\omega = 7,29211 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

## 13 Anlagen

Die mit \* gekennzeichneten Anlagen liegen auf CD-ROM der Arbeit bei.  
Farbige Seiten erleichtern das Auffinden der Anlagen.

- Anlage 1.1 Lage der geologischen Karte Murrhardt im nördlichen Baden- Württemberg.
- Anlage 1.2 Ausschnitt aus der TK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt
- Anlage 1.3 Lage des Untersuchungsbereiches Festhalle/Walterichsschule
- Anlage 1.4 Lage des Untersuchungsbereiches RegenüberlaufbeckenRaidhalde
- Anlage 1.5 Lage des Untersuchungsbereiches Siegelsberger Straße und Stadttangente
- Anlage 1.6 Lage der Altablagerung Fließenklinge
  
- Anlage 2.1 Lage des Untersuchungsgebietes innerhalb der Süddeutschen Großscholle
- Anlage 2.2 Regionalgeologische Situation
- Anlage 2.3 Neckar-Jagst-Furche innerhalb der Süddeutschen Großscholle
- Anlage 2.4 Neckar-Jagst-Furche nordöstlich von Murrhardt
- Anlage 2.5 Ausbildung der Neckar-Jagst-Furche
- Anlage 2.6 Schichtlagerung auf GK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt
  
- Anlage 3.1 Erdgeschichtliche Gliederung und Triasgliederung
- Anlage 3.2 Kartiergliederung für die GK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt
- Anlage 3.3 Gegenüberstellung der Kartiergliederung und der neuen stratigraphischen Gliederung
- Anlage 3.4 Gliederung des Keupers in Bayern
- Anlage 3.5 Standardprofil und stratigraphische Gliederung des Unteren Keupers im nördlichen Baden-Württemberg.
- Anlage 3.6 Schematisches Profil durch den Mittleren Keuper
- Anlage 3.7 Normalprofil des Unteren Mittelkeupers (Gipskeuper) in Nordost-württemberg
- Anlage 3.8 Schnitt durch die Keuperschichten bei Murrhardt
- Anlage 3.9 Lage der Unterkeuper Profile insbesondere Profil 41 (2 Seiten)
  
- Anlage 4.1 Schematischer geologischer Schnitt durch das Schichtstufenland hinsichtlich rutschgefährdeter Partien
- Anlage 4.2 Bebaubarkeit eines Gipskeuperhanges
  
- Anlage 5.1 Entwicklung des Flußsystems
  
- Anlage 6.1 Stabilität von Gips/Anhydrit
  
- Anlage 7.1 Lage der Bohrungen BK 1 bis BK 18 (2 Seiten)
- Anlage 7.2 Lage der Bohrungen BK 19, BK 20 und BK 21
- Anlage 7.3 Lage der Bohrungen BK 22 bis BK 26
  
- Anlage 8.1 Erläuterung zur Anlage 9 (5 Seiten)
- Anlage 8.2 bis Anlage 8.14 Beispielseiten aus Anlage 9 (17 Seiten)
  
- Anlage 9.0 Hinweis zu Anlage 9

- Anlage 9.1  
bis Anlage 9.26 Grunddatensammlung zu den Bohrungen \*
- Anlage 10.1 Schichtlagerung aus allen Bohrungen  
Anlage 10.2 Schichtlagerung im Bereich der Festhalle  
Anlage 10.2.1 Lage der eingemessenen Achsen zum BV Festhalle und deren Umriß  
Anlage 10.2.2 Lage der Bohrungen zum Umriß des Bauvorhabens Festhalle  
Anlage 10.2.3 Lage der Pfahlbohrungen  
Anlage 10.2.4 Auftreten von erstem Gips in den Bohrpfahlbohrungen  
Anlage 10.2.5 Felsoberkante aus Pfahlbohrungen (Bodenklasse 7)  
Anlage 10.2.6 Morphologie und Lage des Bauvorhabens, Lage der Bohrungen und Profile  
(5 Seiten)  
Anlage 10.2.7 Geologische Profile aus den Bohrergebnissen, ohne lithologische  
Signaturen (5 Seiten)  
Anlage 10.2.8 wie vor, jedoch mit Pfahlbohrergebnissen (5 Seiten)  
Anlage 10.2.9 wie Anlage 10.2.7, jedoch mit Wasserprobennahmepunkte (5 Seiten)  
Anlage 10.3 Schichtlagerung im Bereich der Bohrungen BK 22 bis BK 26  
Anlage 10.3.1 Parallelisierte Profile der BK 22, BK 24, BK 25 und BK 26
- Anlage 11.1 Vermessungsergebnisse und Tiefenangabe für km/ku Grenze  
Anlage 11.2 Einteilung der Bohrungen zur Vergleichbarkeit
- Anlage 12.1 Grafiken zu den bodenmechanischen Ergebnissen (5 Seiten)  
Anlage 12.2 Setzungs- und Steifemodulbestimmung (3 Seiten)  
Anlage 12.3 Bestimmung der Gesteinsdichte
- Anlage 13.1 Aussagen der einzelnen chemischen Parameter  
Anlage 13.2 Abkürzungen für chemische Analysen  
Anlage 13.3 Analytik Labor Beuthe / Analytik Labor Bürger (2 Seiten)  
Anlage 13.4 Auffälligkeiten von Parametern in den Wasseranalysen (2 Seiten)  
Anlage 13.5 Hinweis zu den folgenden Darstellungen der chemischen Parameter  
Anlage 13.6 Graphische Auswertung aller chemischen Parameter (5 Seiten)  
Anlage 13.7 wie vor, jedoch logarithmische Ordinate (4 Seiten)  
Anlage 13.8 Graphische Auswertung einzelner Parameter (12 Seiten)  
Anlage 13.9 Graphische Darstellung der Wassertypen nach FURTAK & LANGGUTH (2  
Seiten)  
Anlage 13.10 SCHOELLER-Diagramme zur Festhalle (5 Seiten)  
Anlage 13.11 SCHOELLER-Diagramme zu den Bohrungen BK 18 bis BK 26  
(3 Seiten)
- Anlage 14.1 Hinweis zu den Anlagen 14.2 und 14.3  
Anlage 14.2 Farbe des Bohrgutes zu ausgewählten Bohrungen der Festhalle  
(3 Seiten)  
Anlage 14.3 Kalkgehalt des Bohrgutes aller Bohrungen (2 Seiten)
- Anlage 15.0 Hinweis zu Anlage 15  
Anlage 15.1  
bis Anlage 15.7 Gravimetriegrunddaten und Ergebnissdarstellungen \*
- Anlage 16 Dichteverteilung und Bohrprofil der berücksichtigten Bohrungen

(14 Seiten)

- Anlage 17 Berechnete Bougueranomalie (3 Seiten)
- Anlage 18 Berechnung der mittleren Dichte (7 Seiten)
- Anlage 19.1 Prozentualer Hohlraumanteil (5 Seiten)
- Anlage 19.2 Mächtigkeit der Auffüllung (3 Seiten)
- Anlage 20.1 Programmübersicht gravsoft Version 3C
- Anlage 20.2 Vereinfachtes Flussdiagramm der verwendeten Software

### 13.1 Quellennachweis für die Anlagen

- Anlage 1.1 Berichtigt und verändert. Aus BRUNNER H., 1988
- Anlage 1.2 Topographische Karte 1 : 25 000 Blatt Nr. 7023 Murrhardt Landesvermessungsamt Baden Württemberg, 1990
- Anlage 1.3 bis 1.6 wie 1.1 jedoch verändert
  
- Anlage 2.1 aus HENNINGSEN, D. & KATZUNG, G., 1992
- Anlage 2.2 aus HAGDORN, H. & SIMON, T., 1988
- Anlage 2.3 aus Geologische Karte von Bayern 1 : 500 000 Bayerisches Geologisches Landesamt, 1981
- Anlage 2.4 aus HAGDORN, H. & SIMON, T., 1988
- Anlage 2.5 aus GEYER, O. F.; GWINNER, M. P., 1986 und Verfasser
- Anlage 2.6 aus EISENHUT, E., 1971
  
- Anlage 3.1 aus HAGDORN, H. & SIMON, T., 1988
- Anlage 3.2 aus EISENHUT, 1971
- Anlage 3.3 aus HAGDORN, H. & SIMON, T., 1988
- Anlage 3.4 aus Geologische Karte von Bayern 1 : 500 000 Bayerisches Geologisches Landesamt, 1981
- Anlage 3.5 aus BRUNNER, H.; BRUDER, J., 1981
- Anlage 3.6 aus EISENHUT, 1974
- Anlage 3.7 aus HAGDORN, H. & SIMON, T., 1988
- Anlage 3.8 aus EISENHUT, 1971
- Anlage 3.9 aus BRUNNER, H.; BRUDER, J., 1981
- Anlage 4.1 aus PRINZ, H., 1991
- Anlage 4.2 aus SCHÄLICHE, W, 1972
  
- Anlage 5.1 aus HAGDORN, H., 1988
  
- Anlage 6.1 teilweise verändert aus REUTER, F. & TOLMACEV, V.V., 1990
  
- Anlage 7.1, Bl. 1 aus der Flurkarte 1 : 2 500 Blatt NO 4534
- Anlage 7.1, Bl. 2 Vermessungsunterlagen der Stadt Murrhardt
- Anlage 7.2 aus der Flurkarte 1 : 2 500 Blatt NO 4634
- Anlage 7.3 aus der Flurkarte 1 : 2 500 Blatt NO 4534

- Anlage 8      Verfasser
- Anlage 9      Verfasser
- Anlage 10     Verfasser
- Anlage 11.1   Verfasser
- Anlage 11.2   Verfasser
- Anlage 12     Verfasser
- Anlage 13     Verfasser
- Anlage 14     Verfasser
- Anlage 15.1   Karte der Bougueranomalie von Baden-Württemberg.  
Herausgegeben vom Landesvermessungsamt Baden-Württemberg  
1992. Leicht verändert.\*
- Anlage 15.2.1 Blatt 1   TK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt, verändert \*
- Anlage 15.2.1 Blatt 2   Flurkarte 1 : 2 500 NO 4534 \*
- Anlage 15.3.1 Blatt 1   TK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt, verändert \*
- Anlage 15.3.1 Blatt 2   Flurkarte 1 : 2 500 NO 4534 und NO 4634 \*
- Anlage 15.4.1 Blatt 1   TK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt, verändert \*
- Anlage 15.4.1 Blatt 2   Flurkarte 1 : 2 500 NO 4534 und NO 4634 \*
- Anlage 15.5.1 Blatt 1   TK 25 Blatt Nr. 7023 Murrhardt, verändert \*
- Anlage 15.5.1 Blatt 2   Flurkarte 1 : 2 500 NO 4635 \*
- übrige Anlagen 15     Verfasser \*
- Anlage 16     Verfasser
- Anlage 17     Verfasser
- Anlage 18     Verfasser
- Anlage 19     Verfasser
- Anlage 20     Verfasser

### **13.2      Abbildungsnachweis**

Abb. 1 bis Abb. 7      aus SCHULZ (1986)

Abb.8      aus MILITZER, H. & WEBER, F. (1984)

### 13.3 Anlagenkopf

SCHULZ, H.R.: Gravimetrische Untersuchungen im Gipskeuper ...		Anlage : 23.1
		Blatt : 5
<p data-bbox="300 640 512 674"><u>Kurztitel der Arbeit</u></p> <p data-bbox="1074 645 1262 705"><u>Ordnungssystem der Anlage</u></p>		

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel selbständig verfasst habe.

Bisher habe ich noch keinen Promotionsversuch unternommen.

Rosengarten-Rieden, den 10.01.1999

Diplom-Geologe H. Richard Schulz