

- 2750 -

GSI – FAIR Projekt

Geotechnisches Standortgutachten

Teil 1: Baugrundgutachten



erstattet im Auftrag der

GSI-FAIR CC

Darmstadt-Wixhausen

Juni 2008

Lindenweg 28 *D - 64291 Darmstadt

Tel.: (06151) 37 48 28 Fax.: 37 48 29

Bauaufsichtlich anerkannter Sachverständiger für Erd- und Grundbau
Von der Ingenieurkammer des Landes Hessen zugelassen als Beratender Ingenieur

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Vorbemerkungen	4
2. Unterlagen	5
2.1 Berichte zum Baugrund im Bereich der GSI	
2.2 Sonstige Unterlagen	6
3. Baugrunduntersuchungen	7
3.1 Aufschlussbohrungen	
3.2 Grundwassermessstellen	11
3.3 Bohrlochversuche	14
3.3.1 Standard Penetration Teste	
3.3.2 Bohrlochaufweitungsversuche	
3.3.3 Seismische Messungen	
3.3.4 Gamma-logs	
3.4 Pumpversuche	15
3.5 Sonstige Feldversuche	
3.5.1 Rammsondierungen DPH	
3.5.2 Geoelektrische Widerstandsmessung	
3.6 Laborversuche	
4. Genereller Baugrundaufbau	17
4.1 Geologische Übersicht	
4.2 Schichtenabfolge am Standort GSI	18
5. Beschreibung des Baugrundaufbaus am GSI-Standort	20
5.1 Schicht 1: Oberboden und holozäne Sande	21
5.2 Schicht 2: obere pleistozäne Sande und Schluffe	22
5.2.1 Schicht 2(s): Obere Pleistozäne Sande	
5.2.2 Schicht 2(u): Obere Pleistozäne Schluffe	23
5.3 Schicht 3: untere pleistozäne Sande	24
5.4 Schicht 4: pliozäne Sande und Tone	25
5.5 Schicht 5: Tertiäre Tone	26
5.6 Schicht 6: tertiäre Klebsande und Tone	27
5.7 Schicht 7: tertiäre Kalke	
6. Lagerung der Schichten	
6.1 Tiefenlage der einzelnen Schichtgrenzen	28
6.2 Schichtmächtigkeiten	31
7. Geotechnische Schnitte	32
7.1 Bereich Nord: Beschleunigerring	
7.2 Bereich Süd	33
7.3 Anmerkungen zur Lagerung der Schichten	34

Inhaltsverzeichnis (Fortsetzung)

	Seite
8. Grundwasser	35
8.1 Grundwasserleiter	
8.2 Mittlere Grundwasserstände	36
8.3 Ergebnis der Pumpversuche	37
8.3.1 Oberer Grundwasserleiter	39
8.3.2 Untere Grundwasserleiter	40
8.4 Mittlerer Grundwasserabfluss	42
8.5 Betonangreifende Wirkung des Grundwassers	43
8.6 Bemessungsgrundwasserstand	44
9. Ergebnis der geotechnischen Versuche	45
9.1 Orientierende Versuche an den Bohrkernen	
9.2 Ergebnisse der Bohrlochversuche	46
9.2.1 Standard Penetration Tests	
9.2.2 Bohrlochaufweitungsversuche	49
9.2.3 Seismische Messungen	53
9.2.4 Gamma-logs	55
9.3 Sonstige Feldversuche	56
9.3.1 Sondierungen mit der schweren Rammsonde DPH	
9.3.2 Messung des elektrischen Widerstands	57
9.4 Ergebnisse der Laborversuche	58
9.4.1 Schicht Nr. 2(S): obere, pleistozäne Sande	59
9.4.2 Schicht Nr. 2(u): obere, pleistozäne Schluffe	60
9.4.3 Schicht Nr. 3: untere, pleistozäne Sande	61
9.4.4 Schicht Nr. 4(S): Sande der unteren pleistozänen Sand-Ton-Wechselfolge	62
9.4.5 Schicht Nr. 4(T): Tone der unteren pleistozänen Sand / Ton –Wechselfolge	63
9.4.6 Schicht Nr. 5: Tertiäre Tone	64
9.4.7 Schicht Nr. 6: Tertiäre Klebsande und Tone	65
9.5 Mineralogische Untersuchungen	66
10. Geotechnische Bemessungskennwerte	68
10.1 Scherfestigkeit	
10.2 Verformbarkeit	69
10.3 Zeitabhängige Setzungen	70
10.4 Auslegung gegen Erdbeben	71
11. Verwendbarkeit der Böden im Aushubbereich	71
11.1 Allgemeine Hinweise zum Lösen und Zwischenlagern	
11.2 Wiedereinbau und Verdichtbarkeit	72
11.3 Bodenart, Bodengruppen und Bodenklassen	73
12. Schlußbemerkungen	74

1. Vorbemerkungen

Die GSI - Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH plant auf einem rd. 32 ha grossen Gelände östlich der bestehenden Forschungseinrichtungen in Darmstadt-Wixhausen den Bau des Forschungszentrums **FAIR** – **F**acility for **A**ntiproton and **I**on **R**esearch. Im Norden ist unterirdisch ein Beschleunigerring mit rd. 1.100 m Umfang vorgesehen, im Süden des Projektgebietes liegen die verschiedenen Forschungsgebäude.

Der Baugrund im Bereich des geplanten Neubaus wurde in den Jahren 2000 bis 2007 durch orientierende Voruntersuchungen ([U5] – [U9]) und in den Jahren 2007 und 2008 durch die Hauptuntersuchungen der Phasen 1.1 ([U10]) und 1.2 erkundet; letztere wurde durch den Unterzeichner geplant und überwacht. Ferner stehen Berichte von Untersuchungen für die bestehende Anlage aus den Jahren 1969 – 1982 ([U1] bis [U4]) zur Verfügung.

Im Auftrag der GSI werden die Ergebnisse der Baugrunderkundungen im vorliegenden Bericht zusammenfassend dargestellt und bewertet.

2. Unterlagen

2.1 Berichte zum Baugrund im Bereich der GSI

Für die Bearbeitung des Projektes wurden vom Auftraggeber die folgenden Unterlagen zur Verfügung gestellt:

- [U 1] Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden
Allgemeine Baugrundbeurteilung für das Projekt eines Schwerionenbeschleunigers im Stadtkreis Darmstadt, 17.01.1969
- [U 2] Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden
Gutachten zur Erschließung von Betriebswasser für den geplanten Schwerionenbeschleuniger, 17.10.1969
- [U 3] Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden
Baugrunduntersuchung und Gründungsberatung für den Neubau einer Forschungsanlage der Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH im Stadtkreis Darmstadt
Berichte vom 03.06. und 16.07.1971
- [U 4] Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden
Hydrogeologisches Gutachten des Landesamtes für Bodenforschung zum geplanten Bau eines Schwerionen-Ringbeschleunigers der Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH Darmstadt, 13.08.1982
- [U 5] Bung beratende Ingenieure, Weiterstadt
Zukunftsprojekt, Baugrunddokumentation der Erkundungsarbeiten, 16.03.2001
- [U 6] Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH, Darmstadt
GSI Zukunftsprojekt – Wechselwirkungen zum Grundwasser, März 2004
- [U 7] TU Darmstadt, Institut für Geotechnik, Darmstadt
Prüfbericht Zukunftsprojekt GSI Wixhausen, Baugrunderkundung, 04.05.2004
- [U 8] TU Darmstadt, Institut für Geotechnik, Darmstadt
Sachverständigen-Gutachten, Erläuterungsbericht zur Realisierbarkeit des Beschleunigerringes SIS 100/300, 01.11.2004
- [U 9] Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH, Darmstadt
FAIR – Wechselwirkungen zum Grundwasser, Dezember 2004
- [U 10] Arcadis Consult GmbH, Darmstadt
Geotechnisches Standortgutachten (Phase 1.1), 31.10.2007

2.2 Sonstige Unterlagen / Literatur

- [U 11] Hessisches Landesamt für Bodenforschung
Geologische Karte von Hessen 1:25.000, Blatt Nr. 6017 Mörfelden, Auflage 1891
- [U 12] Hessisches Landesamt für Bodenforschung
Geologische Karte von Hessen 1:25.000, Blatt Nr. 6018 Messel, 2. Auflage 1910
- [U 13] Hessisches Landesamt für Bodenforschung
Geologische Karte von Hessen 1:25.000, Blatt Nr. 6117 Darmstadt West, Auflage 1891
- [U 14] Geologische Rundschau
Der Nachweis rezenter Bruchschollentektonik am Oberrheingraben durch Feinnivellements
– aufgezeigt am Beispiel der Darmstädter Schuttkegel-Hochscholle und der Bergsträßer
Neckarlauf-Tiefscholle, Helmut Prinz, Wiesbaden, Band 59, 1969DEF, 31.10.2007
- [U 15] Henning Illies und Gerhard Greiner
Regionales stress-Feld und Neotektonik in Mitteleuropa, Karlsruhe, November 1976
- [U 16] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG)
Geologische Entwicklung in Hessen; Oberrheingraben
www.hlug.de/medien/geologie/geo-info-hessen/natraum.html

3. Baugrunduntersuchungen

Die in verschiedenen Phasen durchgeführte Untersuchung des Baugrundes umfasst folgende Aufschlussbohrungen und Bohrloch- sowie Laborversuche:

3.1 Aufschlussbohrungen

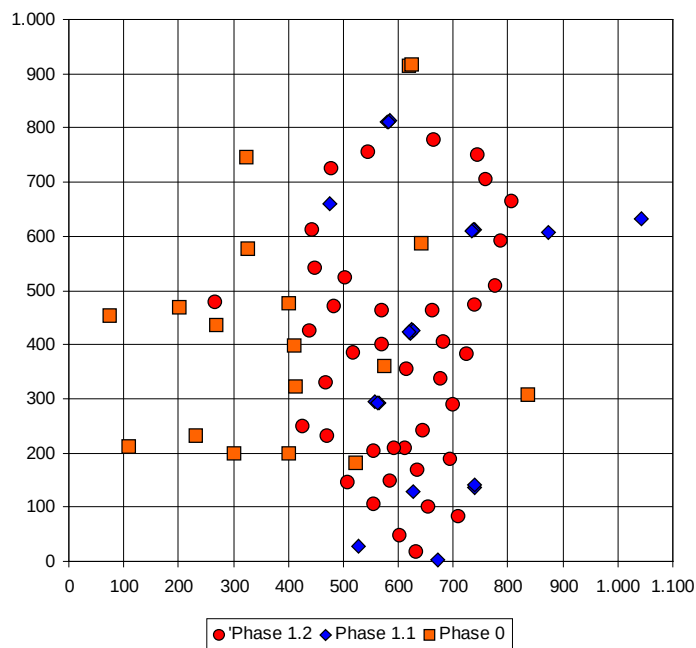
Neben verschiedenen, in [U1] – [U4] beschriebenen Bohrungen auf dem bestehenden Betriebsgelände, die anhand der Berichte nicht genau lagemässig eingeordnet werden können, wurden die folgenden Aufschlussbohrungen abgeteuft:

Erkundung	Bericht	Bohrungen	Bohrteufe
Phase 0	2000 [U5]	10	35 - 50 m
	2004 [U6] – [U8]	7	35 - 60 m
Phase 1.1	2007 [U10]	11	50 - 80 m
Phase 1.2	2007/2008 Vorliegender Bericht	40	40 – 80 m

Insgesamt wurden 68 Aufschlussbohrungen mit 3700 laufenden Bohrmetern abgeteuft.

Die Lage der Bohrungen für die einzelnen Phasen ist nebenstehend markiert.

Die Bodenprofile sind im **Anhang 1** aufgetragen; ihre Lage ist im Lageplan, **Anlage 2750/2** eingezeichnet.



Die Koordinaten der 68 Bohrungen sind in der folgenden Tabelle 1 aufgelistet. Die internen Koordinaten sind auf den Nullpunkt des internen GSI-Rasters mit den Koordinaten:

Nullpunkt GSI - intern	Rechtswert 3476847,15	Hochwert 5532483,24
------------------------	------------------------------	----------------------------

bezogen.

GSI - FAIR - Aufschlussbohrungen							
Nr.	Bohrung	Rechtswert	Hochwert	interne Koord.		Höhe	Bohrtiefe
				Rechts	Hoch	GOK	
	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[müNN]	[m]
1	BK 1/2004 T	3477467,80	5533396,69	620,65	913,45	136,81	35
	P 1/2004 F	3477472,77	5533398,92	625,62	915,68	136,88	
	P 1/2004 M	3477472,77	5533398,92	625,62	915,68	136,88	
2	BK 110-7	3477426,94	5533294,47	579,80	811,24	136,24	20
	P 110-7/2	3477429,53	5533295,55	582,38	812,32	136,24	
	P 110-7/3	3477432,36	5533296,35	585,21	813,11	136,23	
3	BK 110-9	3477513,09	5533260,99	665,94	777,75	136,80	54
4	BK 110-4	3477390,64	5533242,64	543,49	759,40	135,71	80
5	BK 110-12	3477590,66	5533232,41	743,51	749,17	137,78	80
6	KB 6/2004	3477170,59	5533228,20	323,44	744,96	134,06	60
7	BK 110-3	3477323,73	5533207,92	476,58	724,68	135,08	54
8	BK 110-14	3477606,55	5533189,26	759,40	706,02	137,64	55
9	BK 110-16	3477652,65	5533150,31	805,50	667,07	138,14	54
10	BK 110-35	3477321,70	5533144,30	474,55	661,06	135,26	80
11	GWM 2/2007	3477891,03	5533114,45	1.044	631,21	141,34	50
12	BK 110-33	3477287,39	5533093,57	440,24	610,33	135,69	80
13	BK 110-39	3477586,32	5533096,52	739,17	613,28	137,87	50
	P 110-39/2	3477584,33	5533094,19	737,18	610,95	137,82	
	P 110-39/3	3477582,09	5533091,62	734,94	608,38	137,81	
14	GWM 1/2007	3477719,44	5533089,11	872,29	605,87	139,08	80
15	BK 110-19	3477633,96	5533076,19	786,81	592,95	138,41	55

Tabelle 1: Koordinaten der Aufschlussbohrungen

GSI - FAIR - Aufschlussbohrungen							
Nr.	Bohrung	Rechtswert	Hochwert	interne Koord.		Höhe	Bohrtiefe
				Rechts	Hoch	GOK	
	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[müNN]	[m]
16	KB 2/2004	3477489,59	5533068,99	642,44	585,75	137,33	60
17	KB 3/2004	3477174,15	5533059,70	327,00	576,46	134,89	60
18	BK 1-2	3477295,89	5533024,56	448,74	541,32	135,66	55
19	BK 1-4	3477348,79	5533007,72	501,64	524,48	135,88	52
20	BK 110-21	3477625,11	5532993,24	777,96	510,00	138,07	80
21	BK 20-4	3477113,02	5532962,47	265,87	479,23	134,25	52
22	B 4/2000	3477249,00	5532959,00	401,85	475,76	135,26	50
23	BK 30-1	3477587,84	5532952,05	740,69	468,81	137,61	50
24	BK 17-2	3477329,85	5532953,53	482,70	470,29	135,68	55
25	B 2/2000	3477048,00	5532952,00	200,85	468,76	134,01	35
26	BK 110-28	3477416,65	5532946,05	569,50	462,81	136,33	55
27	BK 110-25	3477509,77	5532945,47	662,62	462,23	137,13	56
28	B 1/2000	3476921,00	5532936,00	73,85	452,76	133,85	35
29	B 3/2000	3477116,00	5532920,00	268,85	436,76	134,23	35
30	BK 4-2	3477468,22	5532904,26	621,07	421,02	136,60	90
	P 4-2/2	3477472,15	5532910,64	625,00	427,40	136,60	
	P 4-2/3	3477473,25	5532907,88	626,10	424,64	136,60	
	P 4-2/4	3477466,90	5532907,18	619,75	423,95	136,56	
31	BK 17-4	3477284,72	5532909,79	437,57	426,55	135,12	80
32	BK 14-1	3477526,59	5532887,42	679,44	404,18	136,73	54
33	BK 4-1	3477420,25	5532885,45	573,10	402,21	136,02	54
34	B 5/2000	3477258,00	5532882,00	410,85	398,76	135,27	35
35	BK 108-4	3477364,32	5532866,74	517,17	383,50	135,72	54
36	BK 14-2	3477570,06	5532865,71	722,91	382,47	137,15	46
37	KB 4/2004	3477421,13	5532843,81	573,98	360,57	136,00	50
38	BK 12-4	3477462,40	5532836,17	615,25	352,93	136,29	56
39	BK 18-2	3477524,18	5532823,72	677,03	340,48	136,77	50
40	BK 13-4	3477316,86	5532813,43	469,71	330,19	135,30	53
41	B 6/2000	3477260,00	5532806,00	412,85	322,76	133,97	35
42	GWM 2 F	3477682,16	5532790,21	835,01	306,97	137,98	16

Tabelle 1 (Fortsetzung): Koordinaten der Aufschlussbohrungen

GSI - FAIR - Aufschlussbohrungen							
Nr.	Bohrung	Rechtswert	Hochwert	interne Koord.		Höhe	Bohrtiefe
				Rechts	Hoch	GOK	
	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[müNN]	[m]
43	BK 12-1	3477412,63	5532774,23	565,48	290,99	135,72	70
	<i>P 12-1/2</i>	<i>3477404,46</i>	<i>5532777,57</i>	<i>557,31</i>	<i>294,33</i>	<i>135,64</i>	
	<i>P 12-1/3</i>	<i>3477410,10</i>	<i>5532775,49</i>	<i>562,95</i>	<i>292,25</i>	<i>135,64</i>	
44	BK 30-5	3477546,99	5532772,82	699,84	289,58	136,80	80
45	BK 10-3	3477260,48	5532739,80	413,33	256,56	133,89	52
46	BK 6-9	3477492,23	5532726,60	645,08	243,36	136,64	42
47	BK 13-2	3477316,87	5532715,26	469,72	232,02	135,01	52
48	B 9/2000	3477078,00	5532714,00	230,85	230,76	133,64	35
49	B 10/2000	3476957,00	5532696,00	109,85	212,76	132,06	35
50	BK 6-1	3477460,24	5532693,46	613,09	210,22	135,96	40
51	BK 6-5	3477440,42	5532691,02	593,27	207,78	135,97	54
52	BK 15-1	3477401,71	5532686,99	554,56	203,75	135,73	55
53	B 8/2000	3477148,00	5532683,00	300,85	199,76	133,81	35
54	B 7/2000	3477249,00	5532681,00	401,85	197,76	135,07	50
55	BK 16-1	3477539,69	5532669,68	692,54	186,44	136,65	80
56	KB 5/2004	3477369,93	5532663,35	522,78	180,11	135,68	50
57	BK 6-2	3477483,53	5532651,72	636,38	168,48	136,32	40
58	BK 6-4	3477432,16	5532630,57	586,00	148,00	135,78	55
59	BK 7-1	3477355,32	5532631,39	508,17	148,15	135,29	80
60	BK 30-9	3477586,95	5532619,23	739,80	135,99	137,42	60
	<i>P 30-9/2</i>	<i>3477587,08</i>	<i>5532624,76</i>	<i>739,93</i>	<i>141,52</i>	<i>137,26</i>	
61	BK 6-3	3477474,30	5532612,08	627,15	128,84	136,20	80
62	BK 7-3	3477402,18	5532588,14	555,03	104,90	135,52	51
63	BK 8-1	3477502,58	5532585,01	655,43	101,77	136,60	50
64	BK 8-2	3477555,92	5532565,91	708,77	82,67	136,09	50
65	BK 7-5	3477449,63	5532530,98	602,48	47,74	135,69	52
66	BK 30-15	3477374,53	5532511,35	527,38	28,11	135,28	45
67	BK 8-3	3477479,20	5532500,44	632,05	17,20	135,21	40
68	BK 30-12	3477519,26	5532486,96	672,11	3,72	136,92	80

Tabelle 1 (Fortsetzung): Koordinaten der Aufschlussbohrungen

Die Aufschlussbohrungen der Phase 2000 und 2004 wurden von der Firma Lehmann & Wendt Bohrtechnik, Langen, bzw. von der Firma Terrasond GmbH, Günzburg, mit dem Rammkernbohrverfahren abgeteuft. Die Bohrkern wurden von Bung GmbH Weiterstadt (2000) bzw. vom Institut für Geotechnik der TU Darmstadt (2004) fachtechnisch aufgenommen und dokumentiert

Die Aufschlußbohrungen in der Phase 1.1 (2007 / Bohrfirma Terrasond GmbH, Günzburg / fachtechnische Begutachtung Arcadis Consult GmbH, Darmstadt) wurden teils vollständig mit den Seilkernrohr, teilweise in den oberen 20 .- 25 m mit dem Rammkernrohr abgeteuft

In der Phase 1.2 (2007 + 2008 / Arbeitsgemeinschaft GSI-FAIR, Baugrunderkundung BOG Bohr- u. Umwelttechnik GmbH - Bohrgesellschaft Roßla mbH - Terrasond GmbH&Co.KG) wurde das Quartär bis in 20 – 25 m Tiefe mit dem Rammkernbohrverfahren mit PVC-Liner und die Schichten darunter mit dem Seilkernrohr (3fach-Kernrohr mit PVC-Innenliner) abgeteuft.

Die Bohrkern wurden nach Aufschneiden der PVC-Hülsen in Kernkisten gelagert, photographiert und für die Hauptuntersuchungsphase 1.2 durch den Unterzeichner in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Prof. Dipl.-Ing. H. Quick Ingenieure und Geologen GmbH, Darmstadt, fachtechnisch begutachtet und dokumentiert. Zur Orientierung wurden am Bohrkern aus bindigen Schichten Pocket Penetrometer Tests und kleinkalibrige Flügelsondierungen durchgeführt.

Die Schichtenverzeichnisse der Bohrfirmen und die Bohrkernphotos aus den Phasen 1.1 und 1.2 sind in der „**Dokumentation Bohrfirmen**“ zusammengestellt. Die Schichtenverzeichnisse der Baugrundgutachter sind als **Anhang 2** beigelegt.

3.2 Grundwassermessstellen

Einige Bohrungen wurden zu Grundwassermessstellen ausgebaut; die Filter DN 50 oder DN 125 wurden in den oberen Sanden (Flachpegel DN xx F) bzw. in den unteren Sanden (Tiefpegel DN xx T) des Quartär zur Erfassung der beiden teilweise getrennten Grundwasserleiter angeordnet. Für die Installation der Pegel DN 125 wurden die Bohrlöcher nach Abschluß der Aufschlussbohrung aufgeweitet.

Die Bohrstrecken im Bereich des Vollrohres oberhalb der Verfilterung wurden mit Ton abgedichtet. Ansonsten wurden die Bohrlöcher der Phasen 1.1 und 1.2 mit Dämmer vom Bohrlochtiefsten aus verfüllt.

An ausgewählten Stellen wurden im Umkreis der Bohrungen zusätzliche Grundwassermessstellen zur Kontrolle der Absenkung der Grundwasserspiegel während der Pumpversuche gebohrt.

Der Ausbau der Pegel kann der folgenden Tabelle 2, sortiert von Nord nach Süd, entnommen werden.

GSI - FAIR Grundwassermessstellen									
lfd. Nr.	Bohrung	Rechtswert	Hochwert	interne Koord.		GW-Pegel		Filterstrecke	
				Rechts	Hoch			von	bis
	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	D	OK	[m]	[m]
	<i>P 1/2004 M</i>	3477472,77	5533398,92	625,62	915,68	DN 125	137,88	13,50	20,50
	<i>P 1/2004 F</i>	3477472,77	5533398,92	625,62	915,68	DN 50 F	137,60	3,00	8,00
1	BK 1/2004 T	3477467,80	5533396,69	620,65	913,45	DN 50 TT	137,51	28,50	30,00
	<i>P 110-7/3</i>	3477432,36	5533296,35	585,21	813,11	DN125 T	136,10	12,00	20,00
	<i>P 110-7/2</i>	3477429,53	5533295,55	582,38	812,32	DN 50 F	136,11	3,00	8,00
2	BK 110-7	3477426,94	5533294,47	579,80	811,24	DN 50 T	135,99	11,50	20,00
5	BK 110-12	3477590,66	5533232,41	743,51	749,17	DN 50 F	137,64	3,00	8,00
6	KB 6/2004	3477170,59	5533228,20	323,44	744,96	DN ?	134,56	15,00	22,00
10	BK 110-35	3477321,70	5533144,30	474,55	661,06	DN 50 T	135,18	11,00	21,00
11	GWM 2/2007	3477891,03	5533114,45	1.043,88	631,21	DN125 T	141,25	20,50	27,00
13	BK 110-39	3477586,32	5533096,52	739,17	613,28	DN125 T	137,85	11,00	20,00
	<i>P 110-39/2</i>	3477584,33	5533094,19	737,18	610,95	DN 50 F	137,75	3,00	7,00
	<i>P 110-39/3</i>	3477582,09	5533091,62	734,94	608,38	DN 50 T	137,80	11,00	20,00
14	GWM 1/2007	3477719,44	5533089,11	872,29	605,87	DN 50 T	139,00	12,50	22,00
15	BK 110-19	3477633,96	5533076,19	786,81	592,95	DN 50 F	138,30	3,00	8,00
16	KB 2/2004	3477489,59	5533068,99	642,44	585,75	DN 50 T	138,23	12,00	20,00
19	BK 1-4	3477348,79	5533007,72	501,64	524,48	DN 50 F	135,71	3,00	8,00

Tabelle 2: Ausbau der Grundwassermessstellen

GSI - FAIR Grundwassermessstellen									
lfd. Nr.	Bohrung	Rechtswert	Hochwert	Interne Koord.		GW-Pegel		Filterstrecke	
				Rechts	Hoch			von	bis
	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	D	OK	[m]	[m]
21	BK 20-4	3477113,02	5532962,47	265,87	479,23	DN 50 F	134,13	3,00	6,00
22	B 4/2000	3477249,00	5532959,00	401,85	475,76	DN 50 TT	135,09	28,70	33,70
28	B 1/2000	3476921,00	5532936,00	73,85	452,76	DN ? T	133,65	3,70	23,70
	P 4-2/2	3477472,15	5532910,64	625,00	427,40	DN125 F	136,49	2,50	9,00
	P 4-2/3	3477473,25	5532907,88	626,10	424,64	DN125 T	136,46	16,50	25,00
	P 4-2/4	3477466,90	5532907,18	619,75	423,95	DN 50 F	136,44	2,50	9,00
30	BK 4-2	3477468,22	5532904,26	621,07	421,02	DN 50 T	136,55	16,50	25,00
35	BK 108-4	3477364,32	5532866,74	517,17	383,50	DN 50 F	135,80	3,00	8,00
42	GWM 2 F	3477682,16	5532790,21	835,01	306,97	DN ? F	138,88	6,00	9,00
	P 12-1/2	3477404,46	5532777,57	557,31	294,33	DN 50 F	135,65	2,50	8,00
	P 12-1/3	3477410,10	5532775,49	562,95	292,25	DN125 F	135,50	2,50	8,00
43	BK 12-1	3477412,63	5532774,23	565,48	290,99	DN 50 T	135,72	15,00	22,50
44	BK 30-5	3477546,99	5532772,82	699,84	289,58	DN125 T	136,66	6,00	16,00
46	BK 6-9	3477492,23	5532726,60	645,08	243,36	DN125 T	136,41	12,00	18,00
47	BK 13-2	3477316,87	5532715,26	469,72	232,02	DN 50 F	134,86	3,00	8,00
49	B 10/2000	3476957,00	5532696,00	109,85	212,76	DN ?	131,79	2,70	19,70
54	B 7/2000	3477249,00	5532681,00	401,85	197,76	DN ? T	134,94	6,70	20,70
59	BK 7-1	3477355,32	5532631,39	508,17	148,15	DN125 T	135,19	12,00	18,00
	P 30-9/2	3477587,08	5532624,76	739,93	141,52	DN 50 F	137,16	2,50	10,00
60	BK 30-9	3477586,95	5532619,23	739,80	135,99	DN125 F	137,24	2,50	13,00
61	BK 6-3	3477474,30	5532612,08	627,15	128,84	DN125F	136,20	3,00	7,00
64	BK 8-2	3477555,92	5532565,91	708,77	82,67	DN125 T	135,86	12,00	18,00
66	BK 30-15	3477374,53	5532511,35	527,38	28,11	DN 50 F	135,15	2,50	8,00
68	BK 30-12	3477519,26	5532486,96	672,11	3,72	DN 50 F	136,81	4,00	8,00

Tabelle 2(Fortsetzung): Ausbau der Grundwassermessstellen

3.3 Bohrlochversuche

3.3.1 Standard Penetration Teste

In den Aufschlussbohrungen (mit Ausnahme der Bohrungen 2004) wurden in jeweils etwa 3 m bis 5 m vertikalem Abstand Standard Penetration Teste durchgeführt. Die mit der Sonde gemessenen Schlagzahlen N_{30} für jeweils 30 cm Eindringtiefe geben Hinweise auf die Lagerungsdichte von Sanden bzw. die Festigkeit und oder Konsistenz von bindigen Böden.

Da im vornherein nicht abzusehen war, welche Bodenart angetroffen wird, wurde in den Phasen 1.1 und 1.2 grundsätzlich die offene Sonde verwendet.

3.3.2 Bohrlochaufweitungsversuche

Zur Messung der Deformationsmoduls wurden in verschiedenen Bohrungen Bohrlochaufweitungsversuche mit der Pressiometer-Sonde nach Ménard bzw. mit der Ettlinger Seitendrucksonde durchgeführt.

3.3.3 Seismische Messungen

In vier Bohrlöchern wurde nach Ausbau mit einem 3“-PVC-Vollrohr und Verfüllung des Ringraumes mit Dämmer die Scherwellen- und Kompressionwellengeschwindigkeit mittels downhole-Methode von der Gesellschaft für Geowissenschaftliche Dienste mbH, Leipzig, gemessen.

3.3.4 Gamma-logs

Vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG), Wiesbaden, wurde in fünf Bohrlöchern die natürliche Gamma-Strahlung des Baugrundes gemessen.

3.4 Pumpversuche

In jeweils 6 flachen und 6 tiefen Grundwassermessstellen wurden Pumpversuche zur quantitativen Bestimmung der Durchlässigkeit der oberen bzw. der unteren Sande durchgeführt. Die Versuche im oberen flachen Grundwasserleiter wurden 1-stufig und diejenigen im unteren, mächtigeren Grundwasserleiter 2-stufig durchgeführt.

3.5 Sonstige Feldversuche

3.5.1 Sondierungen mit der schweren Rammsonde DPH

Über das Baufeld verteilt wurden neben 15 Bohrungen etwa 20 m tiefe Sondierungen mit der schweren Rammsonde (DPH) abgeteuft, um ergänzend zu den SPT's kontinuierliche Anhaltswerte über die Lagerungsverhältnisse der oberen Sedimente zu erhalten.

3.5.2 Geoelektrische Widerstandsmessung

An 4 Stellen im Baufeld wurde der scheinbare elektrische Widerstand der Böden nach der Wenner-Methode von der Gesellschaft für Geowissenschaftliche Dienste mbH, Leipzig, gemessen.

3.6 Laborversuche

Neben den genannten Feldversuchen wurden im Labor des Instituts für Geotechnik der TU Darmstadt Laborversuche an in den Bohrungen entnommenen ungestörten sowie aus dem Bohrkernen entnommenen gestörten Proben durchgeführt.

Es wurden an insgesamt 250 Proben folgende bodenmechanischen Kennwerte bestimmt:

Bodenphysikalische Kennwerte

Wichte γ_n , Wassergehalt w , spezifische Wichte γ_s

Atterberg-Grenzen (Fließgrenze LL und Ausrollgrenze PL)

Kornverteilung, Kalkgehalt, Glühverlust

Scherfestigkeit

Reibungswinkel φ' und Kohäsion c' im Triaxialversuch CD sowie im direkten Scherversuch, Einaxiale Druckfestigkeit q_u

Steifigkeit / Kompressibilität

Oedometerversuche Steifemodul E_s und Konsolidierungsverhalten

Lagerungsdichte

Lockerste Lagerung n_0 , dichteste Lagerung n_d

Verdichtbarkeit

Proctordichte ρ_p und optimaler Wassergehalt w_{opt}

Die Ergebnisse der Laborversuche sind im **Anhang Nr. 4** (Laborergebnis) zusammengestellt und im einzelnen in der „**Dokumentation Laborversuche**“ dokumentiert.

4. Genereller Baugrundaufbau

4.1 Geologische Übersicht

Das Gelände der GSI liegt auf dem **Walldorfer Horst** im nördlichen Randbereich des Mainzer Beckens wenige hundert Meter westlich der Ostrandstörung, die den Oberrheingraben von dem **Sprendlinger Horst** abtrennt.

Nach HLOG (Geologische Entwicklung in Hessen, Oberrheingraben), ist der Oberrheingraben Teil eines großen Nord-Süd gerichteten Senkungsgebietes, dem Rhein-Rift-System, das Teil des „Europäischen Rift-Systems“ ist und vom Mittelmeer (Südfrankreich) über weite Teile Mitteleuropas bis an die Nordsee (Niederlande) reicht. Während der Tertiär-Zeit bestand zeitweilig in diesem Senkungsbereich eine schmale Meeresverbindung zwischen einem nord- und einem südeuropäischen Meer.

Der hessische Anteil des Oberrheingrabens wird als Hessisches Ried bezeichnet und von Rhein, Main, Neckar und Kristallinem Odenwald begrenzt. Die Absenkung des Grabens findet seit ca. 45 Mio. Jahren (ab der frühen Tertiär-Zeit) bis in die Gegenwart hinein statt. Insgesamt haben die Abwärtsbewegungen an der Grabenrandverwerfung einen Versatzbetrag von bis zu 4000 Meter erreicht.

Dies entspricht einer $\pm$ kontinuierlichen Absenkung von rd. 0,1 mm pro Jahr. Die heutigen Senkungsbeträge liegen z.B. bei Darmstadt um 0,2 mm pro Jahr.

Seit Beginn des Grabeneinbruchs füllte sich die entstandene Senke im Laufe der Tertiär-Zeit mit bis zu 3000 m mächtigen Sedimenten. Während der letzten 2,6 Mio. Jahre der Quartär-Zeit, die überwiegend von Kaltzeiten geprägt waren, schütteten die alten Flussläufe von Rhein, Main und Neckar das Oberrheintal mit mehr als 300 m mächtigen Ton-, Sand- und Kiesschichten auf.

4.2 Schichtenabfolge am Standort GSI

Die erdgeschichtlich jüngsten Schichten bilden die quartären Ablagerungen aus dem **Holozän** (nacheiszeitliche Sedimente) und **Pleistozän** (Alter bis ca. 2,6 Mio Jahre).

Von Anderle und Golwer (1990) wird die Mächtigkeit der Quartär-Sedimente im Bereich des Walldorfer Horstes (WH) zu <10 m angegeben (linke Karte). An dem am südlichen Ende des Walldorfer Horstes gelegenen GSI-Standort zeigen sich die quartären Sedimente, wie später noch gezeigt wird, mit rd. 20 m Mächtigkeit, was dem seichten Einfallen des WH nach Süden entsprechen würde. Infolge der Randlage zum Oberrheingraben besteht das Quartär hier im Gegensatz zum tiefer abgesenkten Rheingraben und Mainzer Becken nicht aus grobkörnigen Kiessanden, sondern vorwiegend aus schluffigen Fein- und Mittelsanden sowie sandigen Schluffen.

Die nachstehenden Bilder zeigen die zuvor beschriebene Randlage des Standortes zur östlichen Rheingraben-Verwerfung mit der Abgrenzung zum Rotliegenden im Bereich des Sprendlinger Horstes.

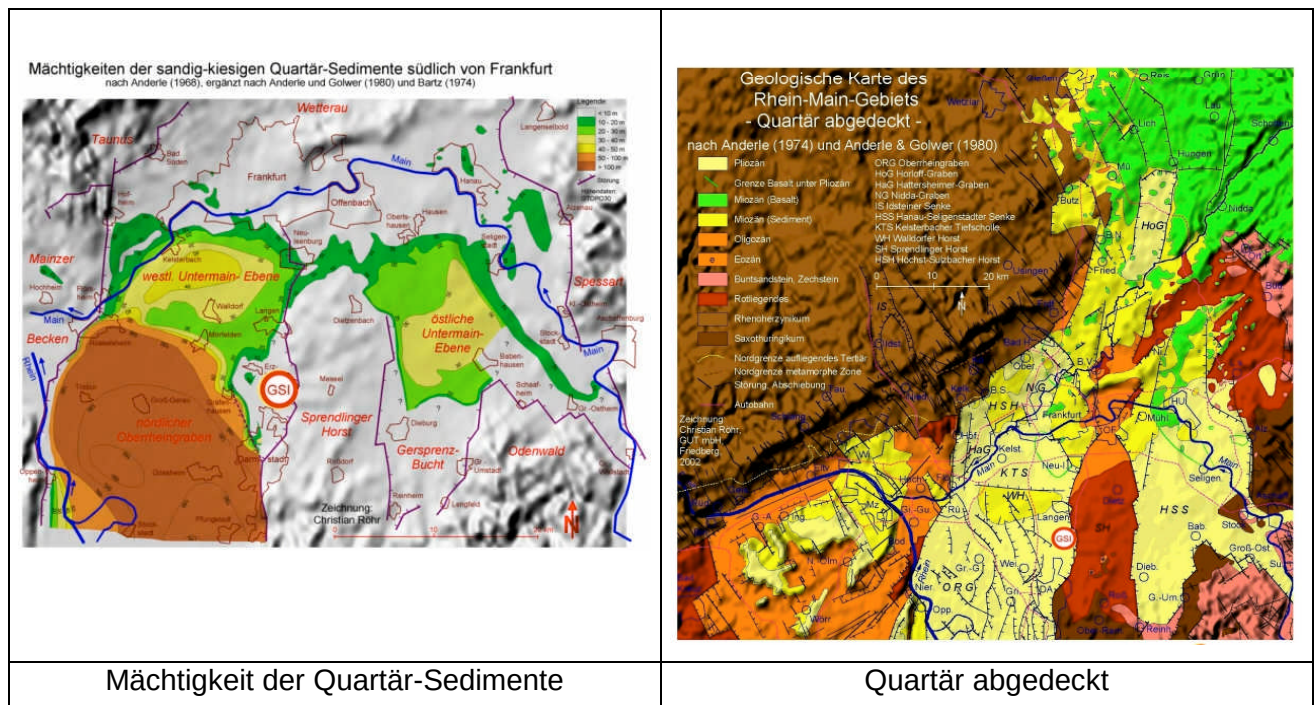


Bild 1: Geologische Strukturen im Umfeld des GSI-Standortes nach Anderle und Golwer 1980

Im Liegenden folgen tertiäre Ablagerungen des **Pliozän** und **Miozän**, die im Randbereich des Mainzer Beckens Mächtigkeiten bis ca. 75 m erreichen (rechte Karte).

In [U 11] werden die pliozänen Schichten, eine **limnisch-fluviatile Wechselfolge**, wie folgt beschrieben:

„Tertiäre Schichten, und zwar die jüngsten in diesem System, pliozäne Tone (tp) mit Sanden (s) und Braunkohlen (Bk) darin, finden sich nicht zu Tage anstehend, sondern sind in Brunnen ausgegraben oder erbohrt worden. Die Tone sind meist kalkfrei, glatt, stark und feuerfest, zeigen graue, braune und rötliche Farben; dieselben wechseln mit bald feineren, bald groben Kaolinsanden und eckigen Schottern einheimischer Herkunft, welche lokale Einschwemmungen in den Pliocänsee darstellen mögen. Die Braunkohlen sind erdig, blättern sich trocken auf und gehen in schwarze Tone und Schieferletten über.

Unter den Braunkohlen lagert gewöhnlich ein graugrünlcher Schleichsand mit wechselndem Tongehalt und hohem Kalkgehalt. Der Schleichsand besteht aus feinen, eckigen Quarzkörnchen, weißem schillernden Glimmer, verschiedenen roten, braunen und blauschwarzen Körnchen und einem grünlichen Mineral, das sich nach seinem optischen Verhalten der Gruppe des Chlorita am nächsten anschließt

Nach dieser Beschreibung könnten die unterhalb rd. 20 m Tiefe anstehenden Tone und Sande durchaus dem Pliozän zugeordnet werden.

Die Tatsache, dass in verschiedenen Gutachten (z.B. Unterlagen für die Planfeststellung Ausbau Flughafen Frankfurt am Main) die Existenz von pliozänen Ablagerungen im Bereich des Walldorfer Horstes verneint wird, zeigt die Problematik der altersmässigen Einstufung der hier anstehenden Sedimente. Altersbestimmungen liegen nicht vor und sind auch nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchungen.

5. Beschreibung des Baugrundaufbaus am GSI – Standort

Das Gelände im Bereich der Baumassnahme fällt leicht von Osten nach Westen von ca. NN +139 m auf NN +134 m mit einem mittleren Gefälle von rd. 0,8 % ab mit einer Abflachung nach Westen hin.

In nebenstehendem Bild sind die mit den Bohransatzpunkten konstruierten Höhenlinien und die Bohrpunkte selbst eingezeichnet.

Das Gelände ist derzeit bewaldet und wird forstwirtschaftlich genutzt.

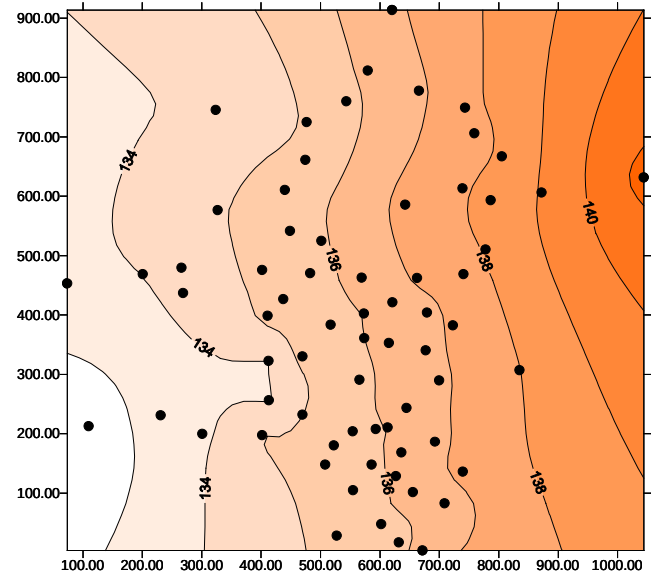


Bild 2: Verlauf der Geländeoberfläche

Die im Folgenden beschriebene Unterteilung der Böden wurde vorrangig aus lithologischer Sicht vorgenommen. Die Schichtgrenzen sind sowohl in den Bodenprofilen, Anhang 1, als auch in den geotechnischen Schnitten (Anlagen 2750 / 1-12) eingetragen. Die zu den links neben den Bodenprofilen verzeichneten Farbkennungen gehörenden Farben sind in der Farbtafel (Anhang 1) zusammengestellt.

Die Grenze zwischen den Schichten 1 und 2 sowie 2(s) und 2(u) sind nicht immer eindeutig bestimmbar und dort teilweise geschätzt oder vermutet. Die Grenzen der Schichten 2 / 3 und 4 / 5 sowie 5 / 6 sind dagegen klar und eindeutig ausgebildet.

Die Zuordnung zu geologischen Zeiträumen ist, wie oben beschrieben, geschätzt und muß nicht den endgültigen Stand der Wissenschaft widerspiegeln.

5.1 Schicht 1: Oberboden und holozäne Sande

Ab Geländeoberfläche (GOF) bis ca. 0,1 m – 0,3 m wurde in allen Bohrungen Mutterboden (Mu) erbohrt. Hierbei handelt es sich um einen dunkelbraunen Oberboden, der organische Bestandteile wie Wurzeln, Wurzelreste, Blattwerk etc. enthält.

Darunter liegen bis in 1 – 3 m Tiefe organisch belebte, durchwurzelte schluffige Fein- bis Mittelsande von meist brauner Färbung, die dem Holozän zugeordnet werden können. Die Grenze zu den oberen pleistozänen Sanden ist nicht immer scharf ausgebildet; Ein zwischen 3 m und 4 m Tiefe vorgefundener Eiskeil in BK 110-33 belegt, dass dort die Böden zumindest ab rd. 3 m Tiefe dem Pleistozän angehören.

Die Böden der Schicht 1 sind im wesentlichen schwach organisch und weitgehend kalkfrei.

5.2 Schicht 2: obere pleistozäne Sande und Schluffe

5.2.1 Schicht 2(s): Obere Pleistozäne Sande

Tiefe in NN +m	Typ	Beschreibung
132 - 137	obere pleistozäne Sande	Überwiegend hellgraue bis beigefarbene, schluffige, meist enggestuften Fein- bis Mittelsande an. Enggestufte, rundkörnige Feinsande können als Flugsande charakterisiert werden.
Schicht Nr. 2(S)		Vereinzelt treten innerhalb der vorgefundenen Fein- und Mittelsande Nester aus Fein- bis Mittelkies auf. Weiterhin wurden vereinzelte Einsprenglinge, d.h. größere, in vielen Fällen idiomorph ausgebildete Einzelkristalle angetroffen.
125 - 134		In der Schicht 2s sind z.T. Kryoturbationen erkundet worden, d.h. es sind Hinweise auf einzeitliche Einwirkungen vorhanden. In Bohrung BK 110-33 wurde in einer Tiefe von etwa 3,0 bis 4,3 m unter Gelände ein Eiskeil vorgefunden. (Eiskeile sind mehr oder weniger vertikale, nach unten zuspitzende keilförmige, eisgefüllte Spalten in Böden von Dauerfrostgebieten, die nach dem Abtauen mit rezenten Böden verfüllt werden).
		Nach den Laborversuchen kann die Bodenart nach DIN 4022 zu S,u' bis S,u und die Bodengruppe nach DIN 18196 als SU, SU* bezeichnet werden.
		Die Sande der Schicht 2s sind sehr kalkarm bis kalkfrei.
		
BK 110-33: 3,4 m BK 4-1: 3,8 m BK 15-1: 2,5 m		

5.2.2 Schicht 2u: Obere Pleistozäne Schluffe

Tiefe in NN +m	Typ	Beschreibung
125 – 134	pleistozäne Schluffe	Im Liegenden der oberen Sande folgen pleistozäne, z.T. schwach tonige bis tonige Schluffe. Die Farbpalette der Schluffe reicht von hell-rotbraun über rosabraun, hellbraun bis beige, schichtweise auch gefleckt oder marmoriert.
		In die Schluffe sind schluffige Fein- bis Mittelsande von meist hell- bis mittelbrauner, zum Teil auch rotbrauner Farbe eingebettet . Der Sandanteil variiert von schwach bis stark.
Schicht Nr. 2(U)		Örtlich wurden in den Sandlagen feinkiesige Einlagerungen sowie in den Schlufflagen vereinzelte Einsprenglinge bzw. Schmitzen erbohrt. Häufig zeigen sich Sande und Schluffe, vereinzelt auch Tone in rascher Wechselfolge.
		Die Böden der Schicht Nr. 2(u) enthalten bereichsweise schwach organische Anteile.
120 – 130		Nach den Laborversuchen kann die Bodenart nach DIN 4022 dominierend als S,u* und T,s* und die Bodengruppe nach DIN 18196 als SU*, ST* und SU beschrieben werden.
		Die Schluffe sind nach den Felduntersuchungen kalkfrei.
 BK 110-33: 9,2 m  BK 4-1: 6,5 m  BK 15-1: 6,5 m		

5.3 Schicht 3: untere pleistozäne Sande

Tiefe in NN +m	Typ	Beschreibung
120 – 130	Untere pleistozäne Sande	Die Sande der Schicht 3 sind im gesamten Projektgebiet ausgeprägt verbreitet mit einer durchgängigen Mächtigkeit von rd. 10 m.
Schicht Nr. 3		Es handelt es sich um überwiegend relativ eng gestufte, schluffige bis stark schluffige Fein- bis Mittelsande von vorwiegend kräftig rotbrauner, stellenweise auch ockerbrauner Farbe. Nur vereinzelt stellen sich Wechselfolgen mit mittel- bis feinsandigen Tonen und Schluffen sowie vereinzelt Feinkiesnestern ein. Nach den Ergebnissen der Laborversuche kann die Bodenart nach DIN 4022 als S,u und S,u,g´ und die Bodengruppe nach DIN 18196 vorrangig als SU, ST bezeichnet werden. Die Sande der Schicht 3 sind kalkfrei.
111 – 123		



BK 110-33: 15,5 m

BK 4-1: 14,5 m

BK 15-1: 13,5 m

5.4 Schicht 4: pliozäne Sande und Tone

Tiefe NN+m	Typ	Beschreibung
111 – 123	Pliozäne Sande und Tone	Bei den Böden der bis zu 25 m mächtigen Schicht 4 handelt es sich um Tone von meist steifer, in einzelnen Lagen auch weichsteifer oder steif-halbfester Konsistenz in Wechsel-lagerung mit Sanden und Schluffen. Hierzu heißt es in [U 11]: „ <i>Selten wechseln reine Sande mit Thonen; vielmehr gehen diese in sandigen Thon oder thonigen Sand über.</i> “
Schicht Nr. 4		Da keine der genannten Bodenarten als dominierend für dieses Schichtpaket angesehen werden kann, wird sie aus geotechnischer Sicht in • Schicht 4(S) – pliozäne Sande und Schluffe • Schicht 4(T) – pliozäne Tone unterteilt.
4(S)		Schicht 4(S) – meist schluffige Sande und sandige Schluffe Die teilweise tonig-schluffigen, grobsandigen Fein- bis Mittelsande der Schicht 4(S) sind vorwiegend von hellbrauner bis hellgrauer sowie rotbrauner bis ockerbrauner Färbung. Die Kornzusammensetzung ist ähnlich der Sande der Schichten 2 und 3. Die seltener auftretenden sandigen Schluffe werden von hellgrauen bis beigen Farbtönen dominiert. Vereinzelt treten auch teilweise verwitterte Kiese auf.
4(T)		Schicht 4(T) – Tone Die schluffigen bis stark schluffigen Tone der Schicht 4 sind vorwiegend steifplastisch, einzelne Schichten sind quellfähig und erscheinen daher im Bohrkern weich bis steif. Die Farbe der schluffigen, schwach feinsandigen, vereinzelt mittel-sandigen Tone ist meist rotbraun bis hellbraun, oft auch hellgrau oder gelbbraun marmoriert. Sie enthalten z.T. geringe organische Beimengungen und vereinzelte bunte Einsprenglinge und Schmitzen. Die Tone sind vorwiegend ausgeprägt plastisch (TA).
88 – 108		Die Sande und Tone der Schicht 4 sind kalkfrei.
 BK 15-1: 31,5 m  BK 110-33: 28,5 m  BK 4-1: 31,7 m		

5.5 Schicht 5: tertiäre Tone (Pliozän/Miozän ?)

Tiefe NN+m	Typ	Beschreibung
88 – 108	Tertiäre Tone	Die Grenze zwischen den Schichten 4 und 5 wird nach HLUG [U11] als geologische Abgrenzung zwischen dem Quartär und dem Tertiär angenommen werden.
Schicht Nr. 5		Die kräftig rotbraun gefärbten, schluffigen, steif- bis halbfesten Tone der rd. 8 m mächtigen Schicht Nr. 5 werden an der Basis braunkohlehaltig und nehmen dort eine fast schwarze Farbe an. Der rotbraune, stark schluffige und schwach feinsandige Ton enthält nur gelegentlich mittel- bis grobsandige Einlagerungen. Die Plastizität ist mittel- bis ausgeprägt plastisch. Er erscheint oftmals schwach gebändert mit organischen Einsprenglingen und Schmitzen. Er ist kalkfrei. Der dunkelgrau bis anthrazit gefärbte, stark schluffige „schwarze Ton“ wird als organischer Ton (To) angesprochen mit Einlagerungen von Braunkohle im cm- bis dm - Bereich und mit organogenen Beimengungen (Bodengruppe nach DIN 18196: OT - Tone mit organischen Beimengungen und organogene Tone. Einzelne Abschnitte der schwarzen Tone sind stark kalkhaltig (++).
82 - 104		Auf Grund der eindeutigen petrographischen Erscheinung dient der untere Abschnitt der Schicht 5 als Leithorizont für die Beurteilung der Lagerungsverhältnisse des Gebirges und für die Konstruktion der Störungen.
 BK 110-33: 49,3 m  BK 110-19: 49,2 m  BK 15-1: 51,7 m		

5.6 Schicht 6: tertiäre Klebsande und Tone

Tiefe NN+m	Typ	Beschreibung
82 – 104 Schicht Nr. 6 59 – 66	Tertiäre Klebsande	Die stark mittel- bis grobsandigen, schluffigen Tone, die als Klebsand bezeichnet werden können, sind meist von mittel- bis hellgrauer Farbe mit unterschiedlich intensiver gelbrauner und rotbrauner Marmorierung. Es handelt sich um zähe Sand-Ton-Gemische und ausgeprägt plastische Tone (Bodengruppe TM, TA) von steifer bis halbfester Konsistenz. Reine Sande treten hierbei selten auf. Schicht 6 stellt ein relativ homogenes Schichtpaket dar. Der tonige Charakter scheint mit der Tiefe zuzunehmen. An der Basis liegt eine 2 - 3 m mächtige Schicht aus dunklem Braunkohlethon. Die Klebsande sind kalkfrei.
  		
BK 110-12: 74,5 m BK 17-4: 55,5 m BK 6-3: 71,6 m		

5.7 Schicht 7: Tertiäre Kalke

59 – 66 Schicht Nr. 7 < 55 (ET)	Tertiäre Kalke Cerithienkalke ? (Miozän)	Die geologisch älteste Schicht, die nach [U11] den Cerithienkalken zugeordnet wird, wurde in zwei Bohrungen im Bereich der südöstlich gelegenen Hochscholle erbohrt. Die Cerithienkalke erscheinen mäßig bis stark verwittert und entfestigt in Form von schwach tonigem, sandigem Schluff mit vereinzelt Kalksteinbänkchen.
  		
BK 30-12: 72,5 m BK 30-12: 73,5 m BK 6-3: 73,6 m		

6. Lagerung der Schichten, Tektonische Situation

Die Lagerung der Schichten wird im folgenden hinsichtlich der Lage und Eigenheiten der im Südosten des Baufeldes festgestellten Störungszone detailliert ausgewertet und beschrieben.

6.1 Tiefenlage der einzelnen Schichtgrenzen

Die zuvor beschriebenen Schichten wurden jeder Bohrung tiefengerecht zugeordnet, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Grenze zwischen dem Oberboden und den oberen Sanden sowie die Grenze zwischen den oberen Sanden und Schluffen der Schicht 2 im Einzelfalle unscharf ausgebildet und daher nur schwer bestimmbar ist.

Die stratigraphische Einstufung der Bohrungen ist tabellarisch als **Anhang 3** beigelegt. Die wesentlichen Schichtgrenzen sind ergänzend in der **Anlage 2750/14** in 3-dimensionaler Form skizziert.

Die mittlere Grenze zwischen den sandigen und den schluffigen Zonen der oberen pleistozänen Sedimente der Schicht 2 verläuft in etwa parallel zur Geländeoberfläche und fällt leicht nach Westen hin ein.

Besonders im südlichen Bereich deutet sich eine Versteilung der Schichtgrenze nach Westen hin an mit 2 – 4 m Versatz auf wenige 10 m horizontalem Abstand,

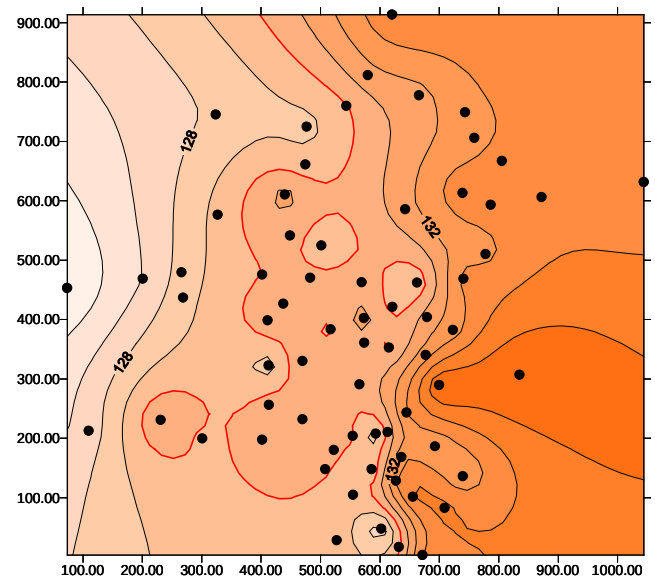


Bild 3a: Schichtgrenze 2(S) / 2(U)

Die Basis der pleistozänen Sande (Schicht 3) fällt generell nach Westen hin ein; im südlichen Baufeld zeigt sich aber bereits in dieser Schicht eine deutliche Störungszone ab, die in Feldmitte nach Osten abbiegt und an seiner nördlichen Grenze einen geringeren Versatz zeigt.

Der Versatz beträgt etwa 6 m; auffallend ist eine Vertiefung der Schichtlagerung der westlichen Scholle zur Störung hin.

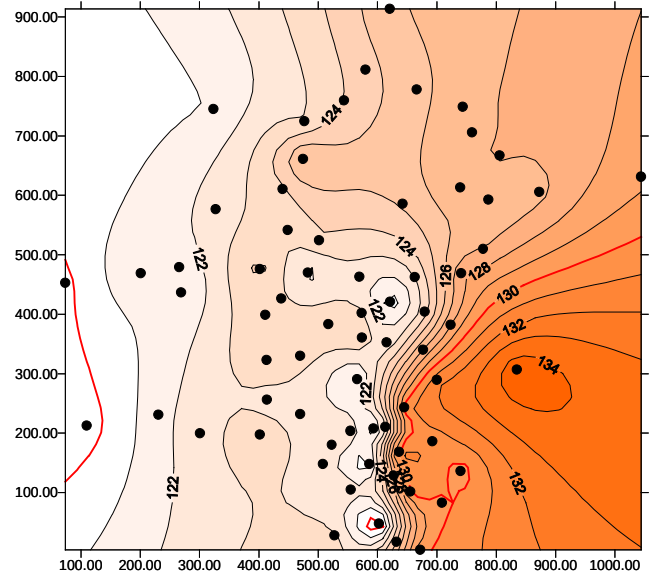


Bild 3b: Grenze Schicht 2 / 3

Der Vertikalversatz an der im südlichen Baufeld liegenden Störungszone nimmt an der Schichtgrenze 3 / 4 auf etwa 8 - 10 m zu; die Vertiefung westlich der Störung sowie das Abbiegen nach Osten werden stärker als zuvor.

Westlich der Störungszone bleibt das seiche Einfallen der Schichten nach Westen hin erhalten.

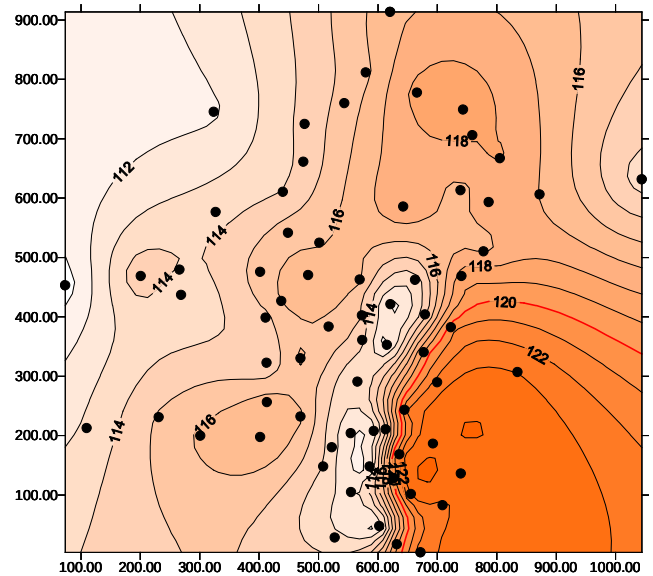


Bild 3c: Schichtgrenze 3 / 4

Die Grenze zwischen den Schichten 4 und 5 zeigt gegenüber der Basis Schicht 3 einen etwas verstärkten Vertikalversatz von 12 - 14 m im südlichen Bereich der Störungszone sowie ein deutlicheres Abbiegen nach Osten.

Westlich und Nordwestlich der Störungszone verändert sich das Schichteinfallen von zuvor nach Westen nun nach Norden.

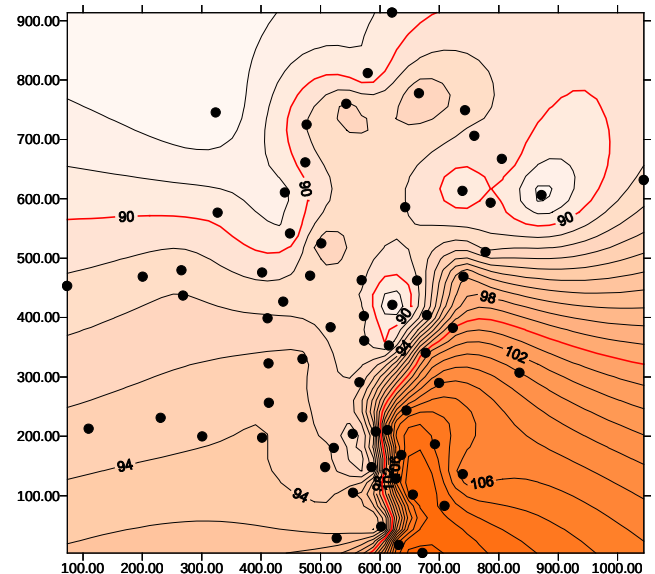


Bild 3d: Schichtgrenze 4 / 5

Die Basis der braunkohlehaltigen Tone (Schicht 5) weist einen engständigen Vertikalversatz bis etwa 16 - 18 m auf; die Störungszone biegt schnell nach Nordosten und dann nach Osten um, verbunden mit einer gleichzeitigen Abflachung.

Ansonsten bestätigt sich hier das leichte Einfallen der Tertiären Schichten nach Norden.

Dies kann auch für die Basis der Schicht 6 (Grenze zu den tertiären Kalken) festgestellt werden, die in drei Bohrungen auf der Hochscholle aufgeschlossen worden ist.

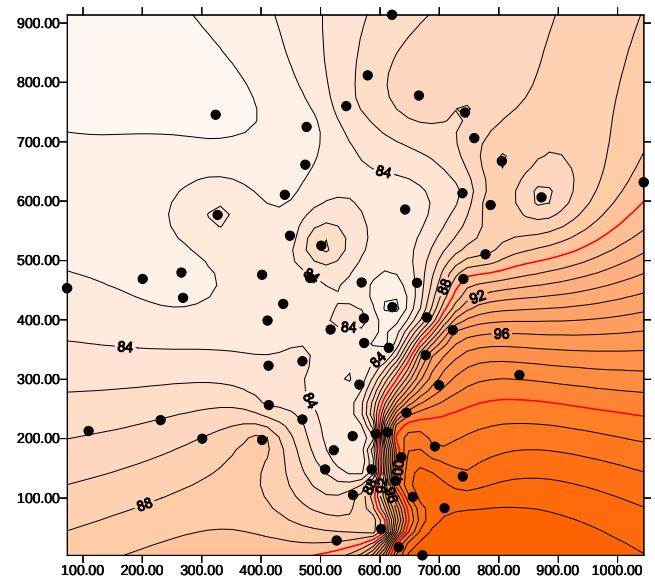
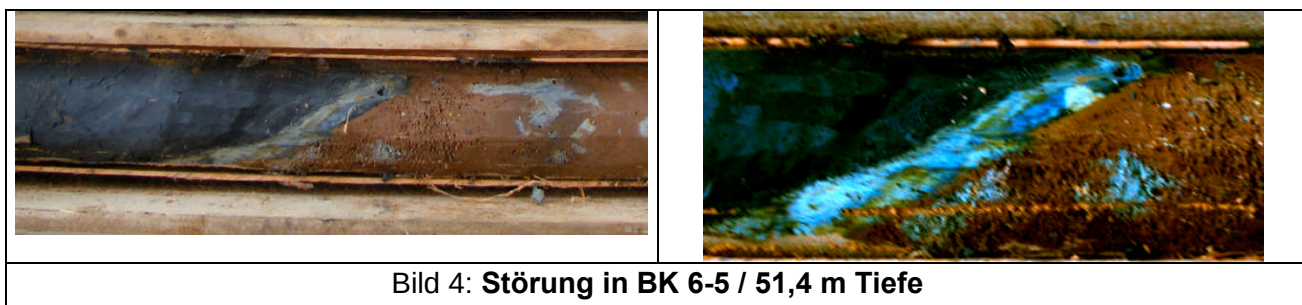


Bild 3e: Schichtgrenze 5 / 6

Die Situation an der Störungszone wurde durch die zwischen den Bohrungen 15-1 und 6-1 angeordnete Bohrung 6-5 genauer erkundet und ist im Detail im Schnitt in der beigegeführten **Anlage 2750/3** dargestellt.

Der Schichtverlauf läßt sich hier nur mit der Konstruktion einer staffelförmigen Störung (Abschiebung) mit einem Gesamtversatz von ca. 16 m erklären. Die Störung wurde in der Bohrung BK 6-5 in 51,40 m Tiefe angetroffen; sie fällt mit etwa 65 ° ein; zwischen dem rot-grau marmorierten grobsandigen Ton (Schicht 6) und dem Braunkohleton (Schicht 5) ist ein cm-dicker weisslicher Belag festzustellen. Ein weiterer gestörter Bereich mit deutlichen Scherungen wurde in dieser Bohrung am Übergang der Schicht 4 zu Schicht 5 festgestellt.



6.2 Schichtmächtigkeiten

Der Vollständigkeit halber sind die mittleren Schichtmächtigkeiten in der folgenden Tabelle 3 zusammengestellt.

Schicht Nr.	1	2	3	4	5
Bereich Nord)	1,60	10,70	8,70	24,90	5,90
Bereich Südwest	1,65	10,70	8,45	22,00	7,95
Bereich Südost	1,30	6,50	7,30	14,75	6,30

Tabelle 3: Schichtmächtigkeiten

Während sich die Schichtmächtigkeiten westlich der Störung nicht wesentlich von denen im Norden unterscheiden, sind die Schichten 1 - 4, hiervon aber besonders die Schichten 2 und 4, im Süden östlich der Störung deutlich geringmächtiger. Dies kann als Zeichen dafür genommen werden, daß die Störung bereits während der Sedimentationsphasen (Pliozän bis jüngstes Pleistozän) aktiv war und bis in jüngste Zeit noch aktiv ist; dies ist in Übereinstimmung mit der im Miozän oder unteren Pliozän eingesetzten Bildung des Oberrheingrabens.

7. Geotechnische Schnitte

Die Schichtgrenzen sind in verschiedenen geotechnischen Schnitten in den Anlagen 2750/4-11 dargestellt; die Schichtlagerung kann zusammenfassend wie folgt beschrieben werden.

7.1 Bereich Nord: Beschleunigerring

Die Bodenprofile sind in 4 Abschnitten am Umkreis des rd. 1.100 m langen Ringes, beginnend von Norden im Uhrzeigersinn aufgetragen (**Anlagen 2750/4-7**).

Im 1. Quadranten (Anlage 2750/4) sind die Schichten relativ ruhig gelagert; grössere Schlufflinsen sind lokal in die schluffigen Sande der Schicht 2(s) eingelagert. Die Schluffe der Schicht 2(u) sind örtlich durch schluffige Sande ersetzt und bilden dort „Fenster“ hinsichtlich der hydraulischen Trennung des oberen und mittleren Grundwasserspiegels.

Die ruhige Schichtlagerung hält im 2. Quadranten (Anlage 2750/5) bis Bohrung BK 110/21 bei ~120° an; in BK 30-1 liegt dagegen die Schicht 5 etwa 4 m höher, um dann zur Bohrung 4-2 wieder um nahezu 10 m tief einzufallen und ab Bohrung 110-28 wieder die ursprüngliche Tiefenlage einzunehmen. Es kann davon ausgegangen werden, dass hier kleinere Nebestörungen im Bereich der Bohrungen BK 30-1 bis BK 4-2 eine kleines Horst-/Grabensystem ausbilden; diese Nebestörungen streichen aber offensichtlich nicht im Norden des Ringes aus.

Im 3. Quadranten (Anlage 2750/6) ist - westlich der Bohrung BK 4-2 - die Schichtlagerung wiederum relativ ruhig; im Bereich der Bohrung BK 110-35 liegt in 11 m Tiefe eine kiesige Schicht, die zu einer lokalen Erosionsrinne in der Schicht 2(u) gehören kann. Die trennende Schluffschicht fehlt hier.

Für den 4. Quadranten (Anlage 2750/7) gilt im wesentlichen das zum 1. Quadranten Gesagte.

Ergänzend ist ein West-Ost gerichteter Querschnitt durch den Ring bei Achse 600 m N (Anlage 2750/8) geführt, der die generell ruhige Lagerung der Schichten bestätigt.

7.2 Bereich Süd

Der Baugrundaufbau für den Bereich Süd ist in fünf West-Ost gerichteten 5 Querschnitten (**Anlagen 2750/9-13**) dargestellt.

Beginnend von Süden (**Schnitt +075 m N**, Anlage 2750/9) ist festzustellen, dass die Störung im Bereich der Bohrung BK 8.3 offensichtlich gestaffelt aus 2 Einzelstörungen mit einem Vertikalversatz von jeweils 7 - 10 m, insgesamt rd. 17 m, besteht.

Westlich der Störung scheinen die Schichten leicht zur Störung hin einzufallen. Dies ist auch in den oben beschriebenen Isolinien zu erkennen. Da dies für eine Abschiebung untypisch ist, kann hier auch ein kleiner Nebengraben vermutet werden, wie er bereits im südlichen Quadranten des Beschleunigerringes angenommen werden konnte (vgl. Kapitel xx.1).

Im **Schnitt +200 m N** (Anlage 2750/10) ist die Abschiebung zwischen den Bohrungen BK 15-1 und BK 6-5 wie bereits beschrieben, mit einem Versatzmaß von rd. 15 m zu erkennen. Die tiefere Lage der Schichtgrenzen 4/5 und 5/6 im Bereich der Bohrungen BK 15-1 und 6-5 könnte nach diesem Schnitt auch einer Mulde zugeordnet werden, die sich zwischen den Bohrungen BK 15-1 und 6-9 andeutet. Auch der zuvor vermutete „Graben“ wäre möglich, die Schicht Nr. 2 wäre hier aber im Gegensatz zu Schnitt +075 m N nicht versetzt.

Die Störungszone verläuft im **Schnitt +300 m N** (Anlage 2750/11) im Bereich der Bohrung 18-2 mit einem Gesamtversatzmaß von rd. 11 m; der Abschiebungsbetrag nimmt also nach Norden hin ab; gleichzeitig biegt die Störung nach Osten ab, Westlich der Störung ist die Schichtlagerung relativ ruhig.

Im **Schnitt +400 m N** (Anlage 2750/12) nimmt der Vertikalversatz weiter auf ~ 8 m ab. Die Störung verläuft zwischen den Bohrungen BK 14-1 und 14-2. Der mögliche Nebengraben im Bereich BK 4-2 ist angedeutet. Ansonsten ist die Schichtlagerung auch hier recht ruhig.

Der **Schnitt +500 m N** (Anlage 2750/13) liegt nördlich der Standortstörung; hier ist nur noch der Versatz der kleinen Nebenstörung zu erkennen.

7.3 Anmerkungen zur Lagerung der Schichten

Die Schichtlagerung ist nach Auswertung der Bohrungen weitgehend seicht mit einem leichten Einfallen der älteren Schichten nach Norden und der jüngeren Schichten nach Westen.

Die Störung, die den südlichen Projektbereich (im Bereich der Gebäudekomplexe 6 – 8) unterteilt, verläuft dort nach Norden mit einem von Süd nach Nord von ~ 18 m auf ~ 11 m abnehmenden Versatz. Die Störung ist sowohl durch die Schichtlagerung als auch durch den Befund in Bohrung BK 6-5 eindeutig belegt. Sie biegt nach Norden hin in östliche Richtung ab und quert dort den Gebäudekomplex 18.

Eine kleinere, grabenförmige Störungszone mit nur wenigen Metern Versatz kann unmittelbar westlich dieser Hauptstörung vermutet werden. Der Graben erfaßt noch den südlichen Bereich des Beschleunigerringes, erscheint aber im Norden des Ringes nicht mehr.

Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass diese grabenförmige Struktur alternativ durchaus auch als „Schichtverbiegungen“ gedeutet werden könnte; kleinere Störungen von nur wenigen (2 – 3) Metern Versatz können erfahrungsgemäß mit Aufschlussbohrungen in mehrere 10 Metern horizontalem Abstand untereinander nicht mehr eindeutig detektiert werden.

Die Störung am GSI-FAIR-Standort ist als Nebenverwerfung der wenige 100 m östlich verlaufenden Grabenrandstörung zum Sprendlinger Horst zu sehen; sie ist, wie der Versatz auch der jüngsten Sedimente zeigt, noch aktiv (vgl. auch Anlage 2750/14). Der Bewegungsbetrag, der derzeit an der Hauptstörung des Oberrheingrabens im Bereich Darmstadt zu 0,1 – 0,2 mm/Jahr gemessen wird, dürfte aber hier nur Bruchteile davon betragen.

Die nachgewiesene Störung sowie der mögliche Graben sind als Störungslinien in den Lageplan, Anlage 2750/2, eingezeichnet. Der gestörte Baugrundaufbau im Bereich der Störungen ist bei der Planung der Bauwerke, besonders hinsichtlich des unterschiedlichen Setzungsverhaltens, entsprechend der vorstehenden Interpretation zu berücksichtigen.

8. Grundwasser

8.1 Grundwasserleiter

Im Untersuchungsbereich wurden mit den Aufschlussbohrungen drei verschiedene Grundwasserleiter festgestellt.

Der **obere Grundwasserspiegel** liegt in den Sanden der Schicht 2(s) mit einem Flurabstand von wenigen Metern. Dieser Grundwasserspiegel ist partiell von dem **unteren Grundwasserspiegel** in den Sanden der Schicht 3 durch unterschiedlich mächtig ausgeprägte sandige Schluffe (Schicht 2(u)) getrennt. Auch wenn örtlich die Schluffe der Schicht 2(u) durch Fazieswechsel in schluffige Sande übergehen, ist eine geringe Trennung vorhanden. Dies zeigen insbesondere die Pumpversuche, in denen keine meßbare Absenkung des oberen Grundwassers beim Abpumpen im mittleren Grundwasser zu beobachten war.

Im Bereich von Sanden innerhalb der Schicht 2(u) sind dünne Schluff- oder Tonlagen vorhanden oder die Durchlässigkeit ist vertikal geringer als horizontal. Bei der Durchführung von großräumigen Absenkungen im mittleren Grundwasserleiter kann es aber zu einem deutlichen Absenken des Wasserspiegels im oberen Grundwasserleiter kommen.

Ein **tiefer Grundwasserleiter**, der von den oberen Grundwasserleitern getrennt ist, liegt in den Sanden der Schicht 4. Ein Pegel (GWM 1/2004 T) ist in dieser Schicht ausgebaut; der Grundwasserspiegel lag bei den bisherigen Messungen hier rd. 1,5 m tiefer als der mittlere.

Dieser tiefe Grundwasserleiter ist für die geplante Baumaßnahme nur von unwesentlicher Bedeutung.

8.2 Mittlere Grundwasserstände

Die im Januar und Mai 2008 gemessenen Isophypsen sind in Bild 5 dargestellt. Das Grundwasser weist ein mittleres Gefälle nach Westen hin um rd. $2,75 \pm 0,25$ ‰ auf; der Grundwasserspiegel lag im Mai 2008 um etwa 60 cm höher als im Januar 2008.

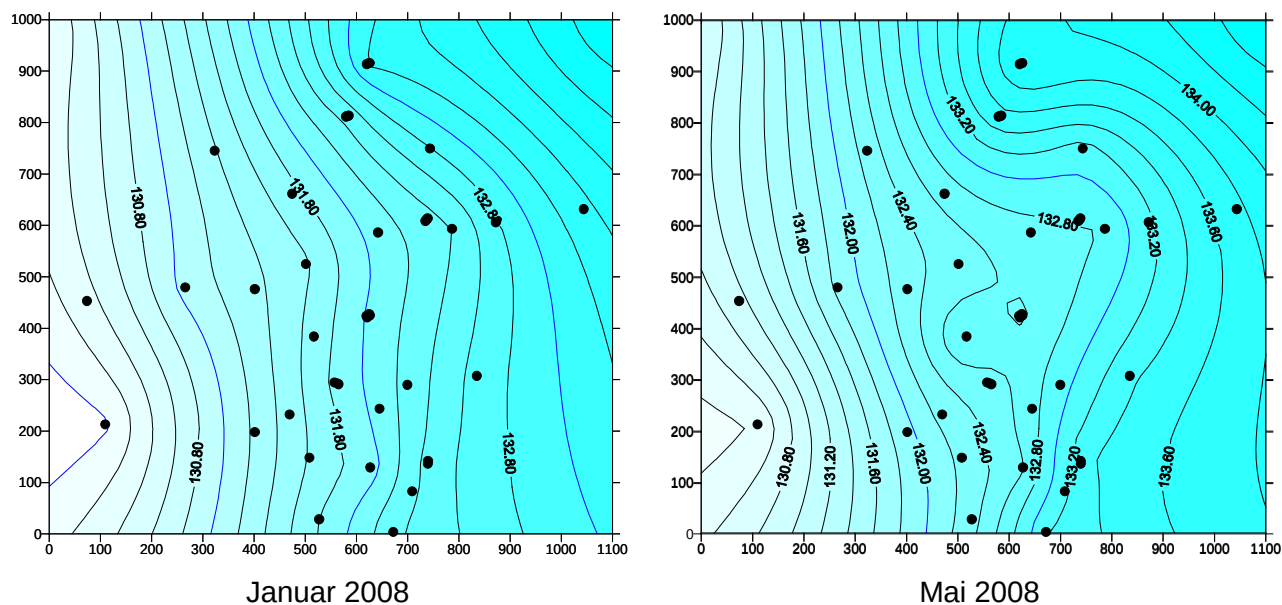


Bild 5a: oberer Grundwasserspiegel (Schicht 2)

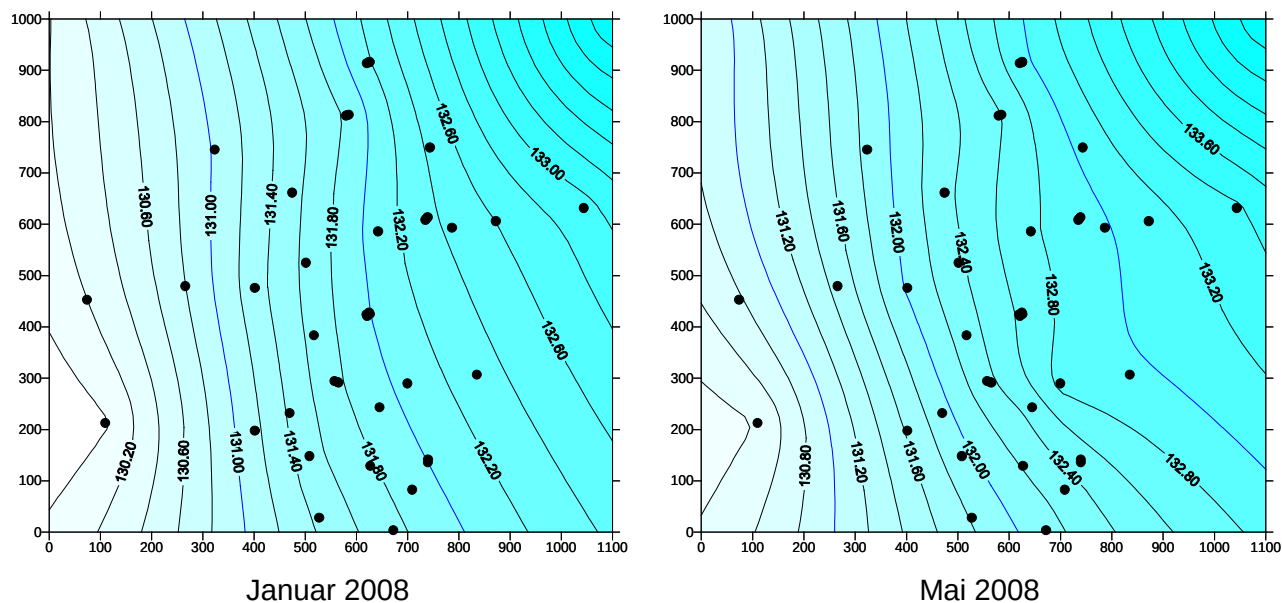


Bild 5b: unterer Grundwasserspiegel (Schicht 3)

Der obere Grundwasserspiegel unterscheidet sich hierbei nur unwesentlich vom mittleren, eine Folge der bereichsweise fehlenden Schluffhorizonte innerhalb der Schicht 2(u)..

Der in dem nebenstehenden Bild gezeigte Flurabstand des Grundwassers fällt infolge des steileren Einfallens der Geländeoberfläche von rd. 5 m im Osten des Baufeldes auf rd. 2 m im Westen ab.

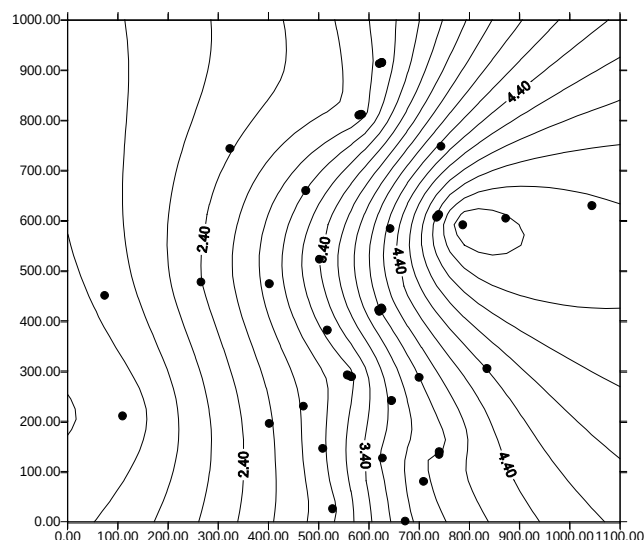


Bild 5 c: GW-Flurabstand Mai 2008

8.3 Ergebnis der Pumpversuche

Zur Bestimmung der Durchlässigkeit der oberen und unteren pleistozänen Sande wurden in den folgenden Grundwassermessstellen kleinkalibrige Pumpversuche durchgeführt:

Nr.	Bohrung	Interne Koord.		GW-Pegel		Filterstrecke		Pumpversuch	
		Rechts	Hoch			von	bis		
	[-]	[m]	[m]	D	OK	[m]	[m]	Flach	Tief
(1)	P 1/2004M	625,62	915,68	DN125 T	137,88	13,50	20,50		X
2	BK 110-7	579,80	811,24	DN 50 T	135,99	11,50	20,00		X
13	BK 110-39	739,17	613,28	DN125 T	137,85	11,00	20,00		X
(13)	P 110-39/2	737,18	610,95	DN 50 F	137,75	3,00	7,00	X	
(30)	P 4-2/2	625,00	427,40	DN125 F	136,49	2,50	9,00	X	
(30)	P 4-2/3	626,10	424,64	DN125 T	136,46	16,50	25,00		X
(43)	P 12-1/3	562,95	292,25	DN125 F	135,50	2,50	8,00	X	
44	BK 30-5	699,84	289,58	DN125 T	136,66	6,00	16,00		X
46	BK 6-9	645,08	243,36	DN125 T	136,41	12,00	18,00		X
60	BK 30-9	739,80	135,99	DN125 F	137,24	2,50	13,00	X	
64	BK 8-2	708,77	82,67	DN125 T	135,86	12,00	18,00		X

Tabelle 4: GWM mit Pumpversuchen

Die Daten der Pumpversuche können der „Dokumentation Bohrfirmen“ entnommen werden. Ihre wesentlichen Ergebnisse (Wassermenge, Absenkung im Brunnen und in den benachbarten GW-Messstellen) sind in der folgenden Tabelle 7 zusammengestellt.

Die Berechnung der Durchlässigkeitsbeiwerte erfolgt für die beiden Annahmen:

a) freier Grundwasserspiegel
$$k = \frac{2,3 * Q * (\lg x_2 - \lg x_1)}{\pi * (y_2^2 - y_1^2)}$$

b) gespannter Grundwasserspiegel
$$k = \frac{2,3 * Q * (\lg x_2 - \lg x_1)}{2 * \pi * m * (s_2 - s_1)}$$

mit x_1, x_2 = Abstand der Messstellen

y_1, y_2 = Höhe des abgesenkten Grundwasserspiegels (über der dichten Schicht)

s_1, s_2 = Absenktiefe an den Messstellen

m = Mächtigkeit des Grundwasserleiters

Q = Pumpwassermenge

Die Pumpversuche in den tiefen GW-Messstellen (Schicht 3) verlaufen im wesentlichen unter den Bedingungen eines gespannten Grundwasserspiegels, während die Versuche in den flachen Messstellen (Schicht 2(s)) für einen freien Grundwasserspiegel zu betrachten sind.

Bei der Auswertung für den Brunnen als „Messstelle“ ist zu beachten, dass nicht der im Brunnen gemessene Wasserspiegel, sondern ein um die Eintrittsverlustrhöhe reduzierter Wasserspiegel anzusetzen ist. Die Verlustrhöhe, die je nach Randbedingungen zwischen 10 und 30 % betragen kann, wird so geschätzt, dass der Durchlässigkeitsbeiwert für den brunnennahen und den brunnenentfernten Abschnitt annähernd gleich groß ist.

8.3.1 Oberer Grundwasserleiter

BK	110-39	Brunnen		Verlust	P1	110-19F	P2		k (frei)	k (frei)	k (gesp.)	k (gesp.)
DN	125 F	Q	s(br)	si / sbr	x	s (P1)	x	s (P2)	Br - P1	P1 - P2	Br - P1	P1 - P2
r (m)	0,16	Beginn	5,30		53,00	5,79						
H(0)	15,95	0,03	6,30	0,10		5,81			5,3E-06		8,0E-06	
m	10,40											
		Ende	5,28			5,77						
BK	4-2	Brunnen		Verlust	P1	4-2 F	P2	12-1 F	k (frei)	k (frei)	k (gesp.)	k (gesp.)
DN	125 F	Q	s(br)	si / sbr	x	s (P1)	x	s (P2)	Br - P1	P1 - P2	Br - P1	P1 - P2
r (m)	0,16	Beginn	4,25		6,28	4,21	146	3,45				
H(0)	21,00	0,23	6,42	0,22		4,56		3,44	1,6E-05	1,4E-05	3,1E-05	3,3E-05
m	8,75											
		Ende	4,08			4,16		3,48				
BK	12-1	Brunnen		Verlust	P1	12-1F	P2	6-3 F	k (frei)	k (frei)	k (gesp.)	k (gesp.)
DN	125 F	Q	s(br)	si / sbr	x	s (P1)	x	s (P2)	Br - P1	P1 - P2	Br - P1	P1 - P2
r (m)	0,16	Beginn	3,66		5,98	3,80	170	4,30				
H(0)	19,00	0,10	5,69	0,14		4,38		4,30	4,9E-06	4,9E-06	1,2E-05	1,2E-05
m	7,70											
		Ende	3,66			3,79		4,30				
BK	30-9	Brunnen		Verlust	P1	30-9 F	P2	GWM2F	k (frei)	k (frei)	k (gesp.)	k (gesp.)
DN	125 F	Q	s(br)	si / sbr	x	s (P1)	x	s (P2)	Br - P1	P1 - P2	Br - P1	P1 - P2
r (m)	0,16	Beginn	4,78		5,50	4,68	190	6,20				
H(0)	9,20	0,16	8,02	0,34		4,93		6,22	4,3E-05	4,4E-05	6,4E-05	6,7E-05
m	6,00	0,20	10,65			4,98		6,21				
		Ende	4,78			4,69		6,20				

Tabelle 5a: Pumpversuche im oberen Grundwasserleiter (Schicht 2(s))

Der Durchlässigkeitsbeiwert variiert zwischen $k = 5 \cdot 10^{-6}$ m/s (BK 110-39 und BK 12-1) und $1,5 \cdot 10^{-5}$ (BK 4-2) und beträgt im Mittel für die jeweils 2. Pumpstufe:

$$k(2s) = 9 \cdot 10^{-6} \text{ m/s.}$$

BK 30-9 ist in [U10] als Flachpegel bezeichnet, reicht aber in die Schicht Nr. 3 und repräsentiert somit eher den unteren Grundwasserleiter.

8.3.2 Unterer Grundwasserleiter

Der mittlere Durchlässigkeitsbeiwert beträgt für den unteren Grundwasserleiter innerhalb der Sande der Schicht Nr. 3 (vgl. Tabelle 5b):

$k = (5 \pm 2) \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ für die Annahme eines freien GW-Spiegels oder

$k = (9 \pm 3) \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ für die Annahme eines gespannten GW-Spiegels.

Es fällt auf, dass die Durchlässigkeit bei den jeweils höheren Stufen etwa doppelt so groß ist wie bei den jeweils niedrigeren Stufen; dies könnte mit einer zunehmenden „Reinigung“ der Bohrlochwandung und somit einer Verringerung des Eintrittswiderstandes zusammenhängen.

Da der Grundwasserspiegel in den Pumpversuchen meist „gespannt“ war, ist der höhere Werte maßgebend. Er beträgt gemäß Ergebnis der jeweils 2. Pumpstufe

$$k(3) = (1,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

Zur Kontrolle wurde für 2 Pumpversuche die Auswertung raum-zeitlich durchgeführt. Sie führt zu $k = 5,7 \cdot 10^{-5}$ bzw. $1,0 \cdot 10^{-4}$ für BK 4-2 und zu $7,5 \cdot 10^{-4}$ bzw. $1,5 \cdot 10^{-4}$ für BK 110-39 und liegt somit in der gleichen Größe wie die in Tabelle 5b berechneten..

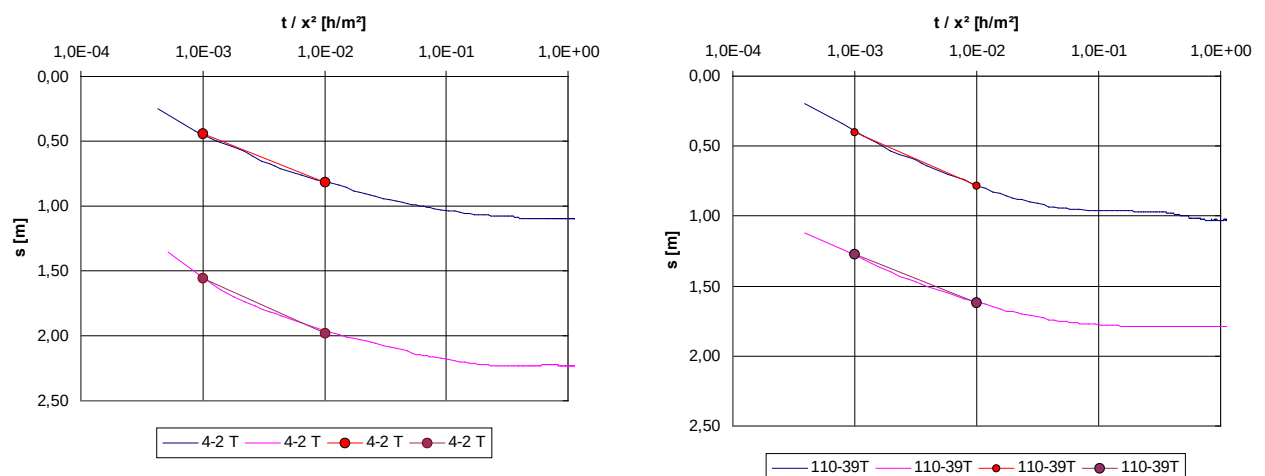


Bild 6: raum-zeitliche Auswertung der Pumpversuche

BK	4-2	Brunnen		Verlust	P1	4-2 T	P2	12-1 T	k (frei)	k (frei)	k (gesp.)	k (gesp.)
DN	125 T	Q	s(br)	si / sbr	x	s (P1)	x	s (P2)	Br - P1	P1 - P2	Br - P1	P1 - P2
r (m)	0,16	Beginn	4,15		6,20	4,25	146	3,58				
H(0)	21,00	1,03	7,91	0,23		5,26		3,82	3,5E-05	3,3E-05	7,4E-05	7,7E-05
m	8,75	2,05	13,29	0,23		6,49		4,04	5,7E-05	5,0E-05	1,2E-04	1,2E-04
		Ende	4,08			4,16		3,48				
BK	110-7	Brunnen		Verlust	P1	110-7T	P2	KB1M	k (frei)	k (frei)	k (gesp.)	k (gesp.)
DN	125 T	Q	s(br)	si / sbr	x	s (P1)	x	s (P2)	Br - P1	P1 - P2	Br - P1	P1 - P2
r (m)	0,16	Beginn	4,25		5,72	4,17	110	5,69				
H(0)	16,30	0,97	8,91	0,30		5,19		5,99	3,8E-05	4,1E-05	6,4E-05	7,2E-05
m	8,90	1,94	13,13	0,17		6,22		6,29	7,8E-05	8,0E-05	1,3E-04	1,4E-04
		Ende	4,27			4,19		5,69				
BK	6-9	Brunnen		Verlust	P1	30-5T	P2	12-1 T	k (frei)	k (frei)	k (gesp.)	k (gesp.)
DN	125 T	Q	s(br)	si / sbr	x	s (P1)	x	s (P2)	Br - P1	P1 - P2	Br - P1	P1 - P2
r (m)	0,16	Beginn	3,69		71,65	3,80	93	3,34				
H(0)	11,20	0,67	7,71	0,15		4,10		3,54	2,6E-05	2,5E-05	2,9E-05	3,2E-05
m	8,70											
		Ende	3,68			3,78		3,29				
BK	8-2	Brunnen		Verlust	P1	4-2 T	P2		k (frei)	k (frei)	k (gesp.)	k (gesp.)
DN	125 T	Q	s(br)	si / sbr	x	s (P1)	x	s (P2)	Br - P1	P1 - P2	Br - P1	P1 - P2
r (m)	0,16	Beginn	3,21		200,00	4,00						
H(0)	10,00	0,17	13,60	0,20		4,00			4,1E-06		3,6E-06	
m	7,00											
		Ende	3,45			4,00						
BK	30-5	Brunnen		Verlust	P1	6-9 T	P2	12-1 T	k (frei)	k (frei)	k (gesp.)	k (gesp.)
DN	125 T	Q	s(br)	si / sbr	x	s (P1)	x	s (P2)	Br - P1	P1 - P2	Br - P1	P1 - P2
r (m)	0,16	Beginn	3,78		71,67	3,67	135	3,29				
H(0)	10,60	1,21	9,69	0,30		3,84		3,40	4,6E-05	1,9E-04	4,5E-05	2,2E-04
m	9,30											
		Ende	3,80			3,69		3,31				
BK	110-39	Brunnen		Verlust	P1	110-39T	P2	2-2004	k (frei)	k (frei)	k (gesp.)	k (gesp.)
DN	125 T	Q	s(br)	si / sbr	x	s (P1)	x	s (P2)	Br - P1	P1 - P2	Br - P1	P1 - P2
r (m)	0,16	Beginn	5,41		6,53	5,34	101	6,00				
H(0)	15,85	1,36	10,41	0,27		6,38		6,27	5,1E-05	5,2E-05	6,7E-05	7,6E-05
m	10,40	2,50	15,95	0,25		7,16		6,52	1,3E-04	1,3E-04	1,8E-04	2,0E-04
		Ende	5,34			5,27		5,89				

Tabelle 5b: Pumpversuche in der Schicht 3

Ein typisches Beispiel der Ganglinien der Grundwasserspiegel während des Pumpversuches ist für BK 4-2 gezeigt. Der Pumpversuch im mittleren Grundwasserleiter zeigt keine meßbare Auswirkung auf den Wasserstand in den Flachpegeln im oberen Grundwasserleiter.

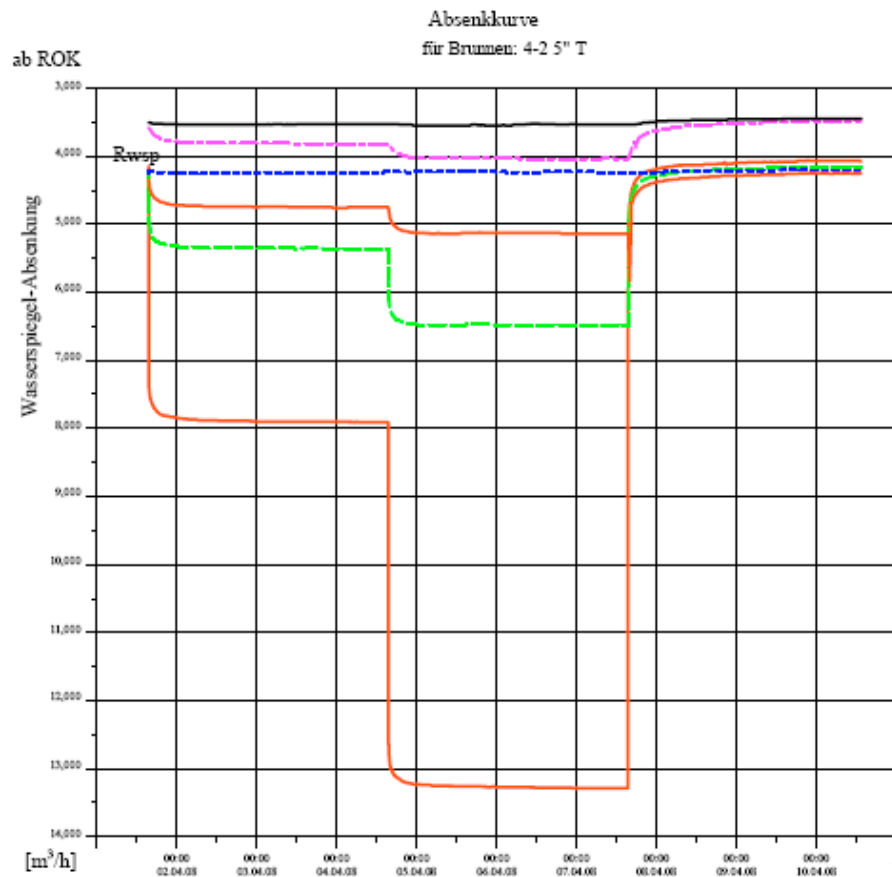


Bild 7: Ganglinien Pumpversuch BK 4-2

8.4 Mittlerer Grundwasserabfluss

Die den Untergrund durchfließende Wassermenge beträgt rd. $q = 3,7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$ für den oberen Grundwasserleiter und $q = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ für den mittleren Grundwasserleiter; die Abflussmenge beläuft sich danach auf insgesamt

$$Q = 0,22 \text{ m}^3 / (\text{Tag und lfm Querschnitt}).$$

8.5 Betonangreifende Wirkung des Grundwassers

Nach dem Klarpumpen der Grundwasserpegel wurden im Rahmen der Untersuchungsphase 1.1 zwischen dem 14. und 19. September 2007 10 Grundwasserproben aus den Pegeln entnommen und auf die Betonaggressivität nach DIN 4030 untersucht (vgl. [U10]). Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 6 von Nord nach Süd und jeweils für beide Grundwasserleiter getrennt zusammengestellt:

Bohrung	pH	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	CL ⁻	CO ₂	Angriffsgrad n. DIN 4030
oberer Grundwasserleiter (Pegel Flach / Schicht 2(s))							
BK 110-7	5,93	4,8	0,13	119	16,6	44,0	stark angreifend
BK 110-39	5,64	6,6	0,40	145	26,5	82,2	stark angreifend
BK 4-2	5,51	7,7	0,28	118	29,1	49,7	stark angreifend
BK 12-1	5,84	9,2	0,17	155	21,6	39,2	schwach angr.
BK 30-12	8,58	2,9	0,73	106	42,3	<0,1	nicht angreifend
mittlerer Grundwasserleiter (Pegel Tief / Schicht 3)							
BK 110-7	6,25	3,6	0,17	78	22,0	51,6	stark angreifend
BK 110-35	9,69	1,4	0,19	66	12,3	<0,1	nicht angreifend
BK 110-39	6,38	3,0	0,16	39	11,9	55,4	stark angreifend
BK 4-2	5,51	3,0	0,46	54	17,1	65,6	stark angreifend
BK 12-1	11,82	<1,0	1,33	42	29,6	<0,1	nicht angreifend

Tabelle 6: Betonaggressivität des Grundwassers nach DIN 4030

Der Betonangriffsgrad variiert zwischen „stark angreifend“ im nördlichen und „schwach angreifend“ bis „nicht angreifend“ im südlichen Projektbereich. Die angreifende Substanz ist in allen Proben der erhöhte Gehalt an kalklösender Kohlensäure CO₂.

Auf der sicheren Seite liegend sollte für alle Betonbauteile von einem „starken Betonangriffsgrad“ gemäß DIN 4030 ausgegangen werden.

8.6 Bemessungsgrundwasserstand

Der Bemessungsgrundwasserstand ist aufgrund von langjährigen Messungen festzulegen; Messungen der Grundwasserganglinien werden zur Zeit im Auftrag der GSI durchgeführt; Ergebnisse liegen hierüber noch nicht vor.

Der höchste kurzzeitig gemessene Grundwasserstand ist je nach örtlicher Charakteristik um 0,5 m bis 1 m zu erhöhen. Im vorliegenden Fall wird ein Sicherheitszuschlag von rd. 0,5 m für ausreichend erachtet.

Damit ergeben sich etwa folgende Bemessungs-Grundwasserstände im NN +m:

Grundwasserstand	Osten	Westen
	Achse ~ 800 m E	Achse ~ 400 m E
Gemessen	133,50	132,50
Bemessung	134,00	133,00

Tabelle 7: Bemessungsgrundwasserstand

Der untere Grundwasserspiegel liegt in allen bisherigen Messreihen bis etwa 0,6 m unter dem oberen.

Auffallend ist bei den Messungen 2008 der hohe Grundwasserstand in den beiden nördlichsten Messstellen BK 1/2004 und BK 110-7 (vgl. auch Kapitel 6.2, Bild 10a). Dies ist mit den weiteren Messungen noch abzuklären.

9. Ergebnis der geotechnischen Versuche

9.1 Orientierende Versuche an den Bohrkernen

An den Bohrkernen wurde während der Begutachtung mittels Salzsäure festgestellt, ob der Boden kalkhaltig ist. Ferner wurden am Bohrkern von bindigen Böden die Festigkeit mittels Taschenpenetrometer- und Flügelscherversuch getestet. Die Ergebnisse dieser Tests sind in den Bohr-Logs, Anhang 2, eingetragen.

Die Ergebnisse der Taschenpenetrometer- und Flügelscherversuche, die als orientierende Versuche angesehen werden können, sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Die relativ große Bandbreite ist hierbei auf den unterschiedlichen Störungsgrad der Bohrkern zurückzuführen:

Taschenpenetrometer- (PP) und Flügelscherversuche (C_u)						Konsistenz [-]
		Anzahl	Min.	Max.	Mittelwert	von / bis
Schicht 1 + 2(s)	PP [kg/cm ²]	8	0,75	2,0	1,3	(weich bis steif)
	C_u [kN/m ²]	5	60	100	78	-
Schicht 2(u)	PP [kg/cm ²]	151	0,25	4,5	2,0	steif
	C_u [kN/m ²]	135	10	190	75	-
Schicht 3	PP [kg/cm ²]	2	1	1,5	1,25	steif
	C_u [kN/m ²]	1	60	60	60	-
Schicht 4(T)	PP [kg/cm ²]	554	0,25	16,0	3,0	steif – halbfest
	C_u [kN/m ²]	483	10	280	120	-
Schicht 5	PP [kg/cm ²]	231	0,5	16	4,0	halbfest
	C_u [kN/m ²]	219	30	280	147	-
Schicht 6	PP [kg/cm ²]	177	1,0	8,0	4,0	halbfest
	C_u [kN/m ²]	177	50	280	149	-

Tabelle 8: orientierende Versuche an den Bohrkernen

9.2 Ergebnis der Bohrlochversuche

9.2.1 Standard Penetration Tests

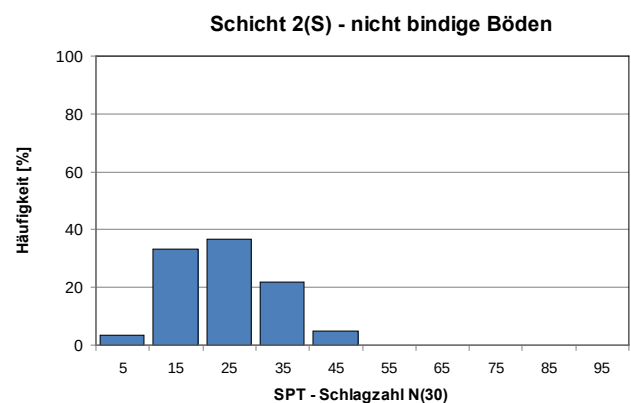
Die im Standard Penetration Test gemessenen Schlagzahlen N_{30} wurden schichtweise zusammengefasst und statistisch bewertet. Die einzelnen Werte sind in den jeweiligen Bodenprofilen, Anhang 1, dokumentiert.

Bezüglich der Ergebnisse der Standard Penetration Tests in den Bohrungen der Phase 1.1 (vgl. [U10]) ist darauf hinzuweisen, dass durch geräte- oder verfahrenstechnische Probleme die meisten Versuche mißlungen sind (meist keine Eindringung bei den letzten 10 Schlägen). Da es keine Hinweise anhand der Begutachtung der Bohrkerns durch den Unterzeichner, der Ergebnisse der Laborversuche und der Ergebnisse der SPT's in der Phase 1.2 auf die Existenz so hoch verfestigter Schichten gibt, die ein Eindringen der Standard Sonde verweigern würden, sind diese Versuche nicht verwertbar. Dies wurde auch durch Kontrollsondierungen mit der schweren Rammsonde (vgl. Kapitel 6.4) bestätigt. In den Bodenprofilen (Anhang 1) sind die nicht bewertbaren Tests „blau“ statt „rot“ markiert.

9.2.1.1 Schicht 2(S): obere pleistozäne Sande

Mit einer mittleren Schlagzahl von $N_{30} = 25$ sind die oberen Sande mitteldicht bis dicht gelagert.

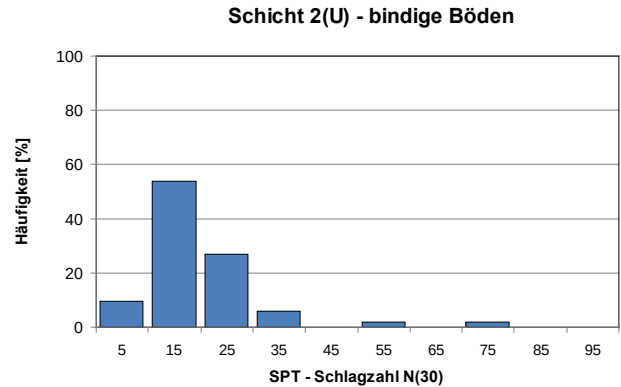
Nach DIN 4094 entspricht dies einer relativen Lagerungsdichte von $I_d \sim 0,65 - 0,68$ sowie einem Steifebeiwert von $v \sim 40$ MPa



9.2.1.2 Schicht 2(U): obere pleistozäne Schluffe

Mit einer mittleren Schlagzahl von $N_{30} = 15 - 20$ sind die oberen Schluffe von mittlerer Festigkeit.

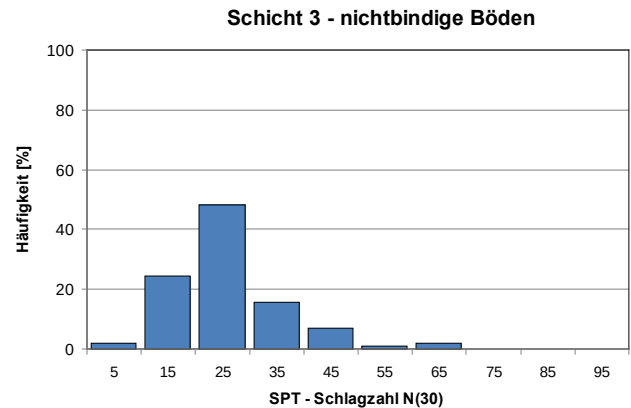
Nach DIN 4094 entspricht dies einem Steifebeiwert von $\nu \sim 10$ MPa.



9.2.1.3 Schicht 3: untere pleistozäne Sande

Mit einer mittleren Schlagzahl von $N_{30} = 25 - 30$ sind die mittleren Sande mitteldicht bis dicht gelagert.

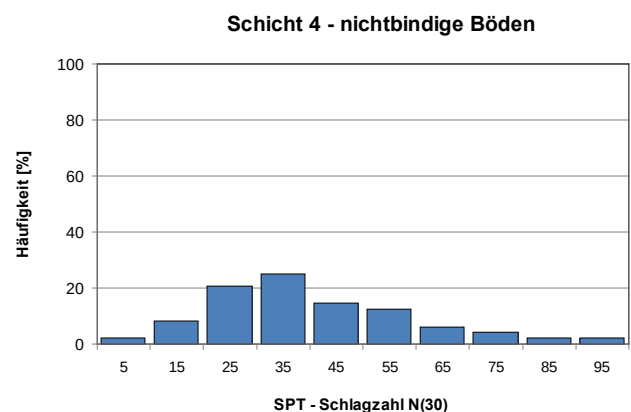
Nach DIN 4094 entspricht dies einer relativen Lagerungsdichte von $I_d \sim 0,65 - 0,70$ sowie einem Steifebeiwert von $\nu \sim 40$ MPa



9.2.1.4 Schicht 4(S): obere pliozäne Sande

Mit einer mittleren Schlagzahl von $N_{30} = \sim 40$ sind die unteren Sande dicht gelagert.

Nach DIN 4094 entspricht dies einer relativen Lagerungsdichte von $I_d \sim 0,70$ sowie einem Steifebeiwert von $\nu \sim 50$ MPa

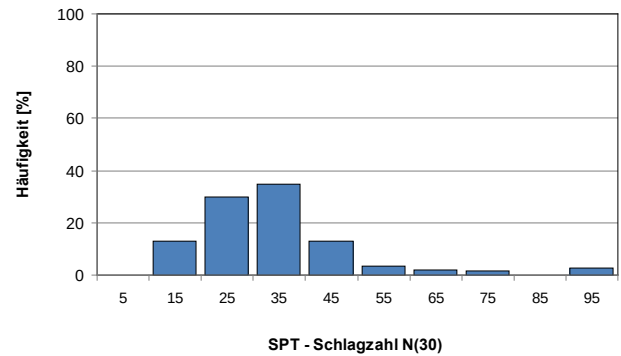


9.2.1.5 Schicht 4(T): obere pliozäne Tone

Mit einer mittleren Schlagzahl von $N_{30} = 30 - 35$ sind die pliozänen Tone von steifer Konsistenz.

Nach DIN 4094 entspricht dies einem Steifebeiwert von $\nu \sim 15$ MPa.

Schicht 4(T) - bindige Böden

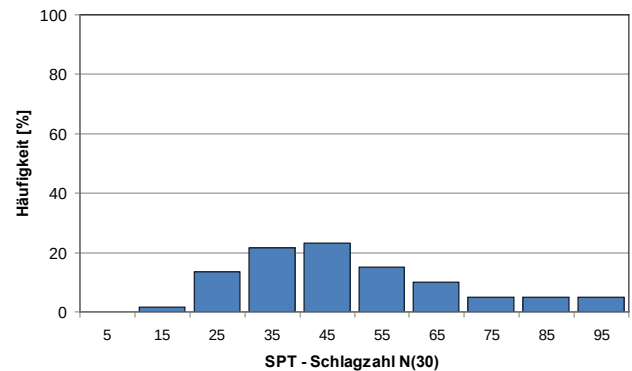


9.2.1.6 Schicht 5: untere tertiäre Tone

Mit einer mittleren Schlagzahl von $N_{30} = 45 - 50$ sind die unteren tertiären Tone von steifer bis halbfester Konsistenz.

Nach DIN 4094 entspricht dies einem Steifebeiwert von $\nu \sim 15 - 20$ MPa.

Schicht 5

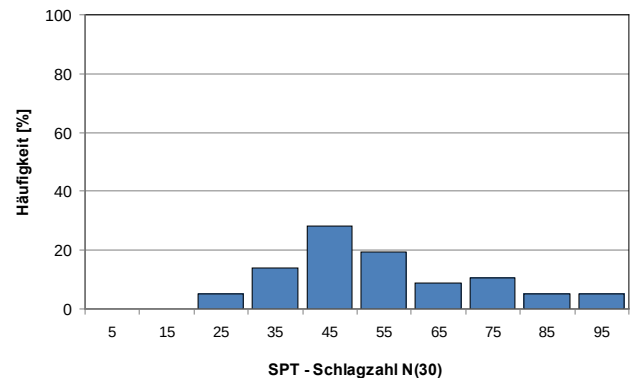


9.2.1.7 Schicht 6: tertiäre Klebsande

Mit einer mittleren Schlagzahl von $N_{30} = 55 - 60$ sind die pliozänen Klebsande von halbfester Konsistenz bzw. sehr dicht gelagert.

Nach DIN 4094 entspricht dies für bindige Böden einem Steifebeiwert von $\nu > 25$ MPa.

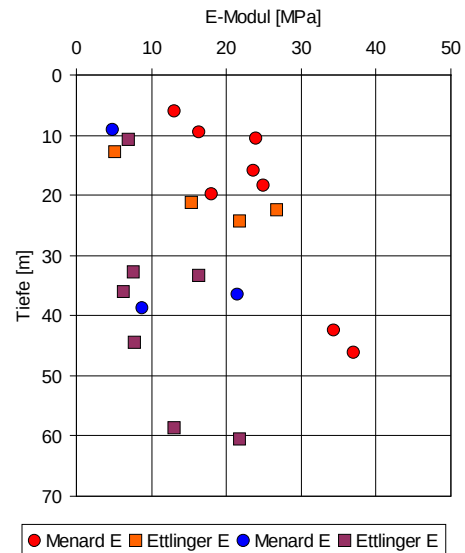
Schicht 5



9.2.2 Bohrlochaufweitungsversuche

Nachdem sich aus dem Vergleich der Ergebnisse von Ettlinger Seitendrucksonde einerseits und Pressiometer nach Ménard in der Phase 1.1 keine wesentlichen Unterschiede in der Qualität der Testergebnisse zeigten (vgl. nebenstehendes Bild 8), wurden in der Phase 1.2 nur noch Pressiometerversuche durchgeführt.

Bild 8: Phase 1.1 – Vergleich
Ettlinger Seitendrucksonde
/Pressiometer nach Ménard



Der E-Modul kann aus den Seitendruck- bzw. Bohrlochaufweitungsversuchen für eine Poisson-Zahl von $\nu \sim 0,33$ mit hinreichender Genauigkeit zu $E = dp / (dr/r)$ berechnet werden. Dies wurde mit einer FE Berechnung für linear-elastischen Baugrund nachgewiesen.

Berechnungsannahmen:

E-Modul $E = 100 \text{ MPa}$

Pressung $p = 10 \text{ MPa}$

Vergleichsberechnung für

Pressiometer nach Ménard

Durchmesser 76 mm, Länge 20 cm

Schutzzellen Länge 10 cm

Ettlinger Seitendrucksonde

Durchmesser 110 mm, Länge 50 cm

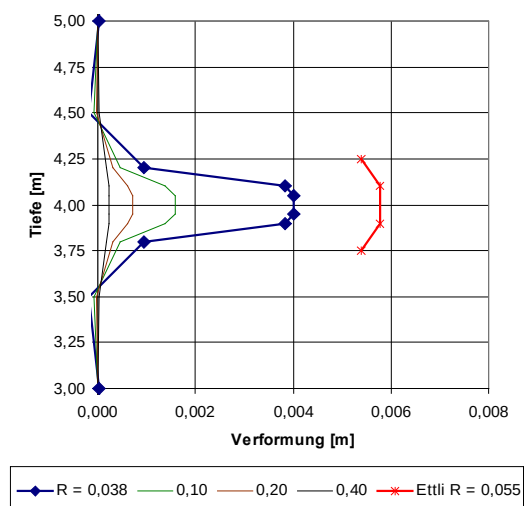


Bild 9: FE - Berechnung für die Auswertung der Seitendrucktests

Die Ergebnisse der Bohrlochaufweitungsversuche sind in der nachfolgenden Tabelle 98 zusammengestellt. Die Versuche mussten durch den Unterzeichner nachbewertet werden, da nicht in allen Versuchen der massgebende elastische Bereich der Verformungen in der Auswertung berücksichtigt worden ist.

Die Auswertung erfolgt für den quasi-linearen Bereich mit Hilfe einer Ausgleichsgeraden (Magenta-Linie in den Bildern 10). Damit ergeben sich teils Abweichungen der E-Moduli von denen der Versuchsberichte oder des Berichts [U10]. Ferner wird der Grenzdruck p_L anhand der gemessenen Kennlinie geschätzt (roter Punkt in den Bildern 10).

Einige Versuche erbrachten aufgrund unzureichender Standfestigkeit des Gebirges keine verwertbaren Testergebnisse, zumal dann, wenn bereits bei sehr kleinem Zelldruck die Verformungskapazität erschöpft war. An jeweils einem Beispiel ist dies in Bild 10 gezeigt. Diese Versuche bleiben bei der weiteren Auswertung unberücksichtigt; sie sind in der Tabelle 9 gelb markiert.

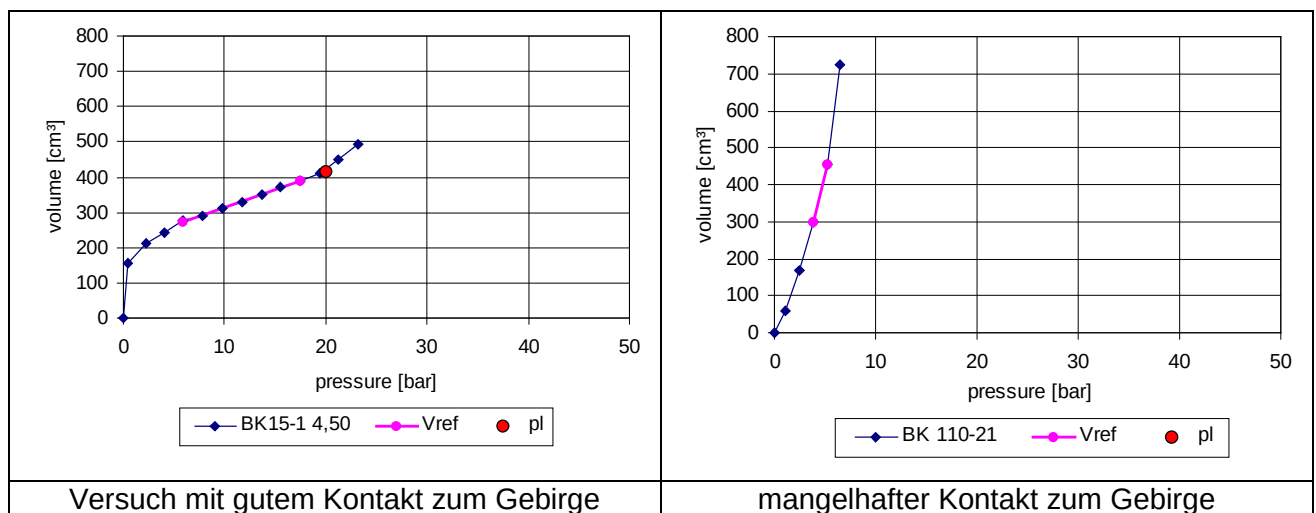


Bild 10: Eigene Auswertung der Pressiometerversuche

GSI-FAIR Ergebnisse Seitendrucktests						Menard	V0 (cm³)	950	L0 (cm)	21,00	d0 (cm)	7,60	
						Ettlinger					d0 (cm)	9,60	
Test	BK	Tiefe	Schicht	Boden	W / E	p1	p2	V1	V2	d1 (cm)	d2	D = dp/(dr/r)	Es
Menard	15-1	4,50	2s	s	e	0,59	1,75	272	390	8,61	9,01	33,11	49,66
Menard	8-2	5,60	2u	s	e	0,72	1,30	476	532	9,30	9,48	34,62	51,92
Menard	110-7	6,00	2u	s	e	0,98	1,26	714	785	10,04	10,26	13,10	19,65
Menard	110-21	6,50	2u	s	e	0,47	0,65	642	701	9,82	10,01	10,21	15,32
Menard	110-21	9,80	2u	s	e	0,38	0,53	300	454	8,71	9,23	3,22	
Ettlinger	4-2	12,70	2u	s	e	0,30	0,40			1,13	1,31	5,05	
Menard	30-12	9,50	3	s	e	0,71	1,09	402	480	9,05	9,31	16,26	24,38
Ettlinger	30-12	10,50	3	s	e	0,80	1,10			0,49	0,62	23,93	35,90
Menard	8-2	11,00	3	s	e	0,65	1,42	156	211	8,19	8,39	46,93	70,40
Menard	15-1	16,40	3	s	e	0,59	1,37	272	332	8,61	8,82	43,24	64,85
Menard	110-21	17,00	3	s	e	0,46	1,03	140	190	8,13	8,31	38,36	57,55
Menard	110-7	18,40	3	s	e	1,70	2,08	436	487	9,17	9,33	24,87	37,30
Menard	110-21	19,20	3	s	e	0,50	1,08	68	102	7,86	7,99	56,54	
Ettlinger	110-7	19,80	3	s	e	1,00	1,30			0,74	0,91	17,98	26,97
Menard	4-2	22,50	3	s	e	1,41	1,98	524	596	9,45	9,68	26,66	39,99
Menard	15-1	23,40	3	s	e	0,08	0,34	104	408	7,99	9,07	2,99	
Ettlinger	4-2	24,20	3	s	e	1,20	2,20			1,09	1,52	21,85	32,78
Menard	30-12	15,90	4	s	e	0,84	0,93	555	568	9,55	9,59	23,65	35,47
Menard	30-12	21,20	4	s	e	1,41	1,79	478	561	9,30	9,57	15,32	22,98
Menard	8-2	25,80	4	s	e	0,73	1,12	438	475	9,17	9,30	34,82	52,23
Ettlinger	110-7	42,40	4	s	e	1,40	2,20			0,42	0,65	34,39	51,59
Menard	110-7	46,10	4	S+T	e	1,98	2,76	414	484	9,09	9,32	36,94	55,40
Menard	110-21	26,50	4	S+T	e	0,51	1,09	525	585	9,46	9,65	32,32	48,48
Ettlinger	110-7	38,80	4	S+T	e	1,00	1,30			1,43	1,74	8,74	
Menard	8-2	32,70	5	S+T	e	0,80	0,95	535	707	9,49	10,02	2,98	
Ettlinger	110-7	9,15	2u	t	e	0,61	0,70			1,81	1,98	4,77	
Menard	4-2	10,70	2u	t	e	0,58	0,67	548	588	9,53	9,66	6,97	10,46
Menard	15-1	12,10	2u	t	e	0,20	0,72	248	477	8,52	9,30	7,82	11,73
Menard	8-2	16,50	4	t	e	0,47	0,61	327	523	8,80	9,45	2,44	
Menard	8-2	21,60	4	t	e	0,67	1,04	621	747	9,76	10,14	9,98	
Ettlinger	30-12	23,30	4	t	e	0,75	1,20			0,92	1,18	16,30	24,46
Menard	15-1	31,80	4	t	e	0,89	1,46	594	693	9,68	9,98	19,36	29,04
Menard	110-7	36,50	4	t	e	0,81	0,95	358	380	8,91	8,98	21,53	32,30
Menard	15-1	45,40	4	t	e	0,26	0,45	594	723	9,68	10,07	5,01	
Menard	30-12	32,70	5	t	e	0,54	0,63	251	289	8,53	8,67	7,52	
Ettlinger	30-12	36,10	6	t	e	0,50	0,65			1,34	1,56	6,22	
Ettlinger	30-12	44,50	6	t	e	1,05	1,30			1,11	1,41	7,82	
Ettlinger	4-2	58,70	6	t	e	1,40	1,90			1,61	1,96	12,96	
Menard	4-2	60,50	6	t	e	1,37	1,75	578	636	9,63	9,81	21,82	32,72

Anmerkung: Bei den Ettlinger Seitendrucktests sind in den Spalten d1, d2 die Durchmesseränderungen gegenüber d0 statt der Durchmesser angegeben

Tabelle 9: Ergebnisse der Bohrlochaufweitungsversuche

Die Bohrlochaufweitungsversuche werden zusammenfassend wie folgt bewertet:

Der effektive Steifemodul E_s (für die vertikale Richtung) kann zum 1,5fachen Wert des E-Moduls aus dem Seitendrucktest angenommen werden.

Die Moduli aus allen Versuchen ergeben eine gering mit der Tiefe zunehmende Ausgleichsgerade mit einem mittleren Wert von $E_{s,m} \sim 37,5$ MPa (Bild rechts).

Der Steifemodul beträgt

für die Sande: $E_s = 35 * (1 + 0,01 * z)$ und

für die Tone: $E_s = 10 * (1 + 0,05 * z)$

mit z = Tiefe in m unter Gelände.

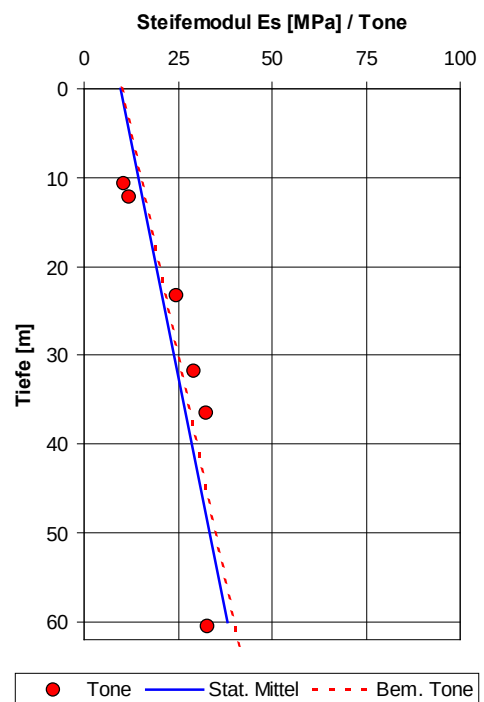
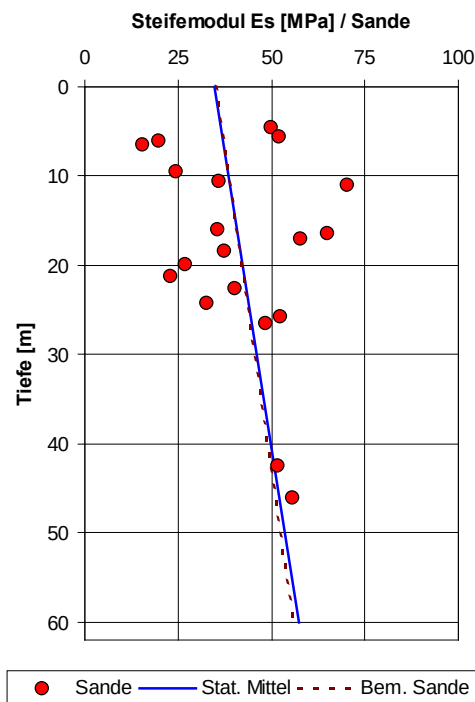
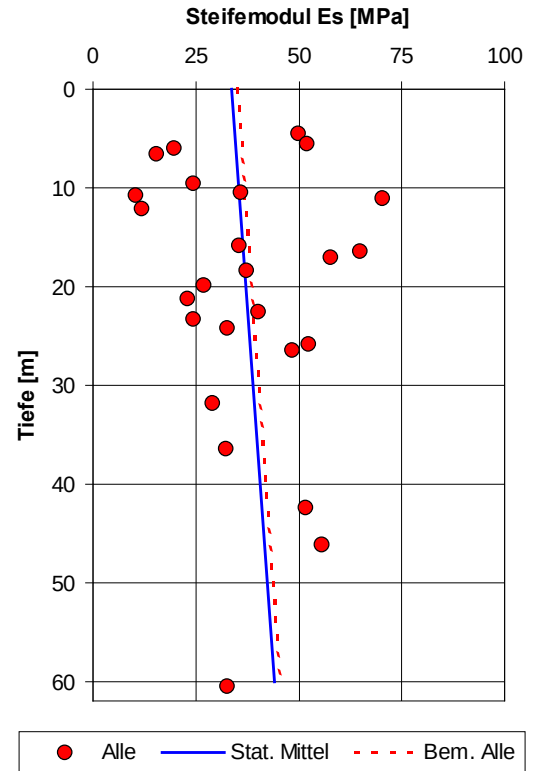


Bild 11: Bewertung der Ergebnisse der Bohrlochaufweitungsversuche

9.2.3 Seismische Messungen

Die in vier Bohrungen gemessenen Scherwellen- und Kompressionswellengeschwindigkeiten sind in Bild 12 dargestellt (Bericht siehe „Dokumentation Bohrfirmen“). Die erzielte Qualität der Messungen, insbesondere für die Kompressionswellen, ist recht mäßig. Sie läßt keine Zuordnung zu einzelnen Schichten zu, erlaubt jedoch die Bestimmung mittlerer Geschwindigkeitsbereiche .

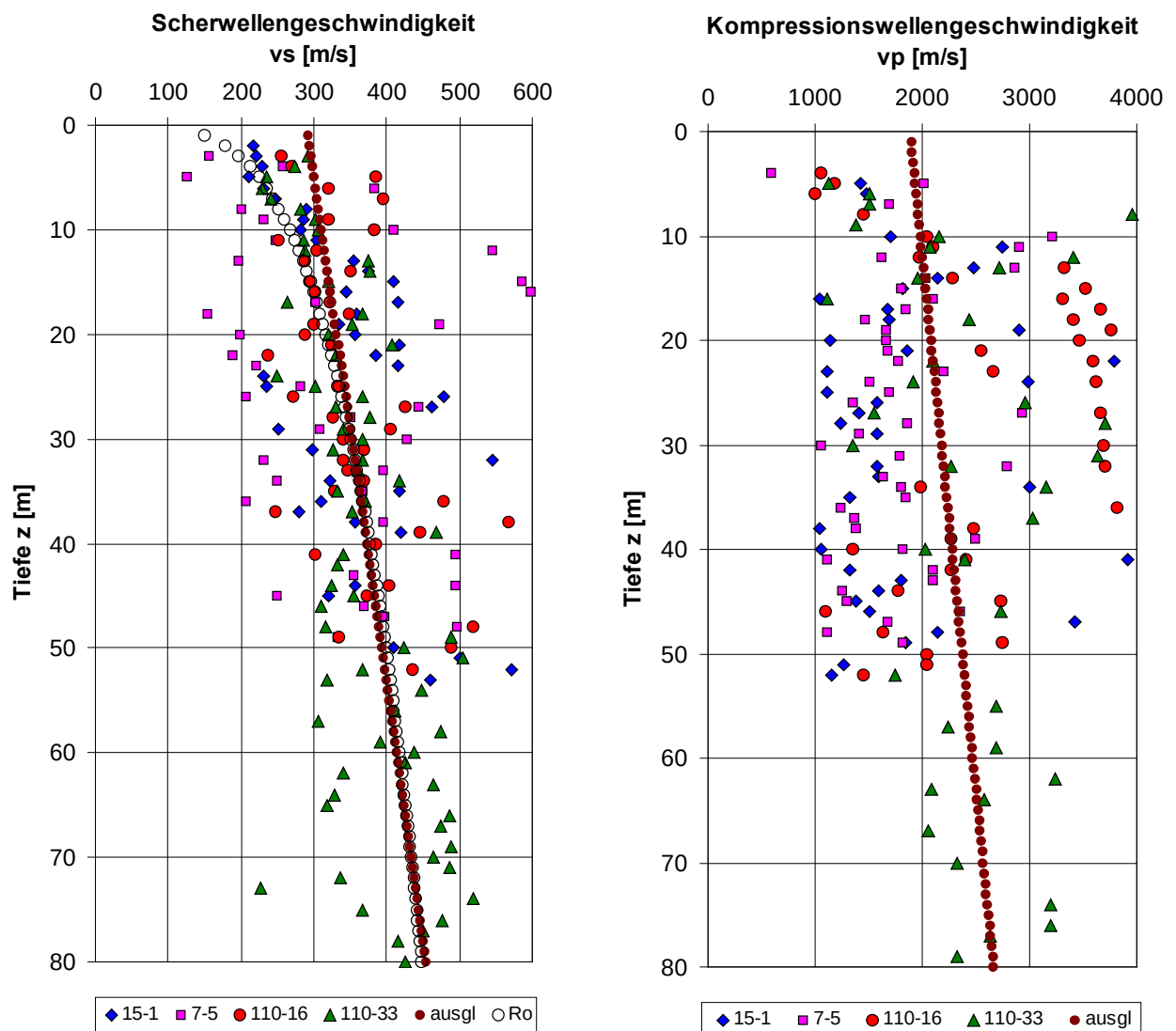


Bild 12: Geschwindigkeit der Scher- und Kompressionswellen

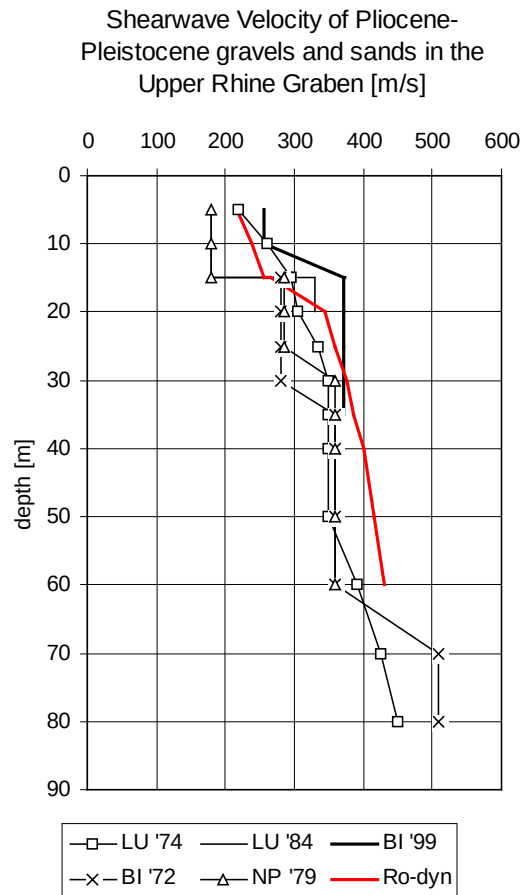
Die mittlere Scherwellengeschwindigkeit nimmt von 300 m/s in rd. 10 - 20 m Tiefe über 350 m/s zwischen 20 und 40 m Tiefe auf ~ 400 m/s in 50 - 60 m Tiefe zu. Die Zunahme entspricht dem für Lockersedimente bekannten Gesetz

$$v_s = v_s(0) * z^{(0,23 \div 0,25)}$$

Der mittlere Wert $v_s(0)$ beträgt rd. 150 m/s (vgl. Bild 7, Kurve Ro) und liegt somit etwas niedriger als die für die pliozänen Sedimente im oberen Rheingraben gemessenen Werte, die im Diagramm links dargestellt sind und die einem Wert $v_s(0) \sim 175$ m/s entsprechen.

Der Mittelwert für die Geschwindigkeit der Kompressionswellen nimmt von rd. 2000 m/s in 10 m Tiefe auf ~ 2.600 m/s in 80 m Tiefe zu.

Die Messung der Wellengeschwindigkeit belegt insgesamt, dass die am GSI – Standort anstehenden pliozänen und pleistozänen Sedimente keine besonders lockere Lagerung aufweisen.



9.2.4 Gamma-logs

In fünf Bohrlöchern wurde vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) die natürliche Gamma-Strahlung gemessen, die einen Anhalt über die Verteilung von Sanden und Tonen ergibt. Die vom Landesamt zur Verfügung gestellten Diagramme sind in Bild 14 dargestellt, die für die Bohrungen festgelegten Schichtgrenzen sind markiert.

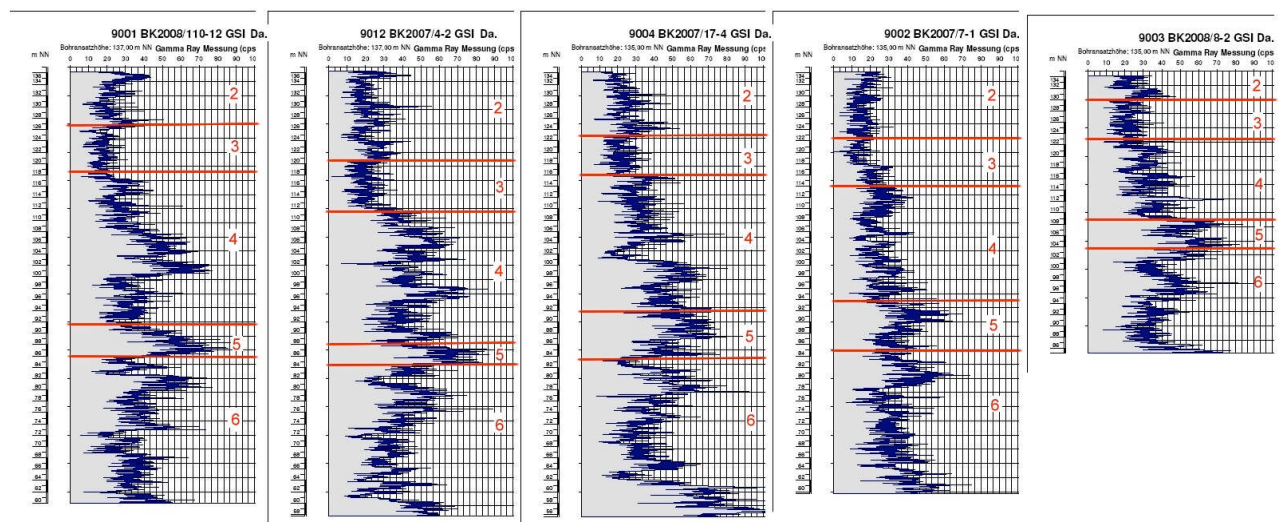


Bild 14: Gamma-logs

Die Log's zeigen zunächst, dass sich die Schichten 2(s) und 2(u) nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Die Sande der Schicht 3 können als Schicht mit den niedrigsten und die Tone der Schicht 5 mit den höchsten Intensitäten identifiziert werden. Schicht 4 ist eine Wechselfolge von Tonen, Schluffen und Sanden ohne markante Unterteilung. Einige sandigere bzw. tonigere Partien stechen hervor.

Die anhand der Bohrkernansprache vermutete Zunahme der tonigeren Partien innerhalb der Schicht 6 wird mit den Gamma-Logs bestätigt.

9.3 Sonstige Feldversuche

9.3.1 Sondierungen mit der schweren Rammsonde DPH

Zur Überprüfung der Lagerungsdichte des Untergrunds wurden über das Baufeld verteilt 15 Sondierungen mit der schweren Rammsonde bis in jeweils ca. 20 m Tiefe abgeteuft. Die Sondierdiagramme sind zusammen mit den Bodenprofilen und den Ergebnissen der Standard Penetration Tests in den Anlagen 2750 / DPH1 – DPH5 aufgetragen. Die Meßwerte sind in der „Dokumentation Bohrfirmen“ enthalten.

Die holozänen Böden weisen bis in 2 – 4 m Tiefe eine recht lockere Lagerung auf; die oberen Sande der Schicht 2 sind mit mittleren Schlagzahlen von $N_{10} = 5 - 10$ mitteldicht gelagert ($I_d \sim 0,5 - 0,6$) und die Schluffe mit Schlagzahlen von $N_{10} = 6 - 8$ in den oberen und 10 – 15 in den unteren Zonen mittelfest bis fest gelagert.

Im Bereich der südöstlich gelegenen Hochscholle reicht die lockere Lagerung mit $N_{10} = 3 - 5$ bis in rd. 7 m Tiefe unter Gelände und damit tiefer als in den übrigen Bereichen.

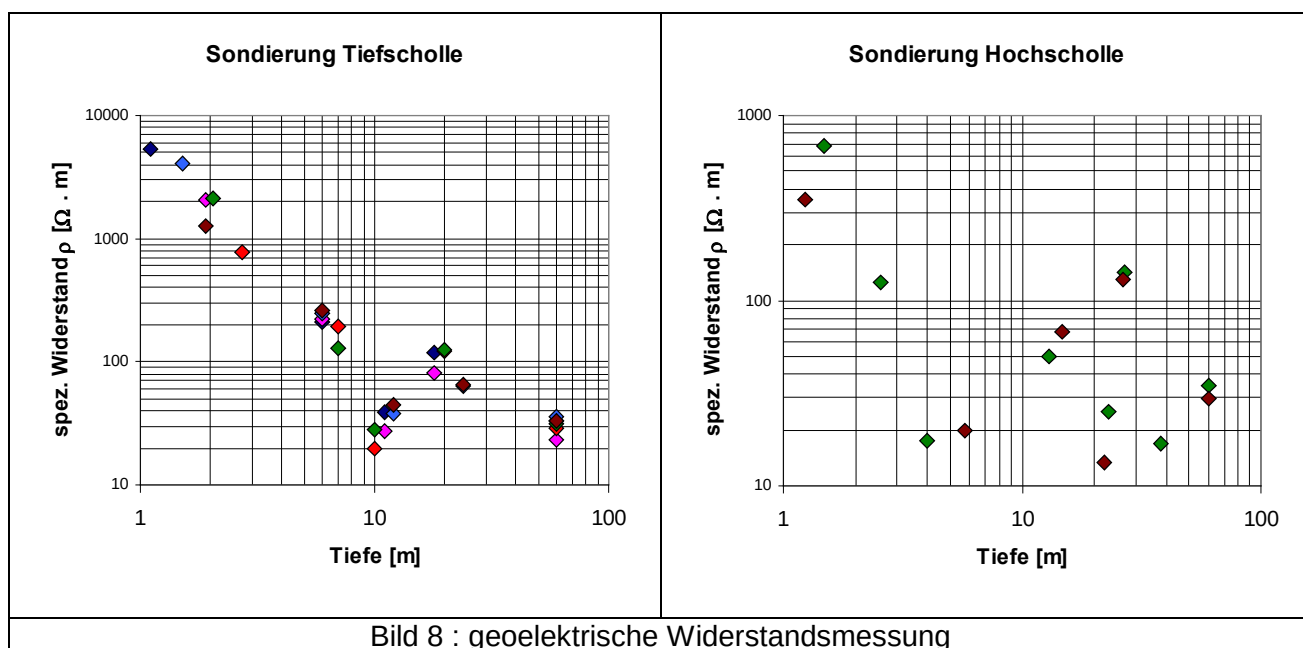
Die Sande der Schicht 3 sind mit Schlagzahlen von $N_{10} = 30 \pm 10$ durchweg dicht gelagert; die relative Lagerungsdichte entspricht etwa $I_d \sim 0,65 - 0,70$. Im Bereich der südöstlichen Hochscholle scheinen die niedrigeren Werte zu dominieren.

Die Rammsondierungen belegen die bereits oben erwähnte Tatsache, dass die Standard Penetration Tests der Untersuchungsphase 1.1 wegen verfahrenstechnischer Probleme nicht gewertet werden dürfen. Mit keiner Rammsondierung wurden in Bohrungen mit extrem hohen SPT-Werten (BK 110-7, BK 4-2, BK 12-1) höhere Werte gemessen als in den Bohrungen mit niedrigen SPT-Werten.

(Anmerkung: In der Phase 1.2 wurde in den oberen 20 m nur ein einziger extrem hoher Wert (BK 8-3, 3,3 m Tiefe) mit $N_{30} = 79$ gemessen, der an die Werte aus Phase 1.1 erinnert).

9.3.2 Messung des elektrischen Widerstands

An vier Stellen (vgl. Lageplan, Anlage 2), wurden geoelektrische Tiefensondierungen durchgeführt (Bericht siehe „Dokumentation Bohrfirmen“). Der gemessene spezifische Widerstand ist in Bild 8, getrennt für den Bereich Tiefscholle und Hochscholle, aufgetragen.



Der Widerstand kann den Schichten in etwa wie folgt zugeordnet werden:

Schicht	2(S) über GW	2(S) unter GW	2 (U)	3 (S)	4+5 (T)	
Widerstand	400 - 800	100 - 300	20 - 50	70 -150	20 - 40	$\Omega \cdot m$

Tabelle 10: scheinbarer elektrischer Widerstand

9.4 Ergebnis der Laborversuche

Die Ergebnisse der Laborversuche sind in Anhang 4 schichtweise zusammengestellt. Details können der „Dokumentation Laborversuche“ des Instituts für Geotechnik der TU Darmstadt entnommen werden.

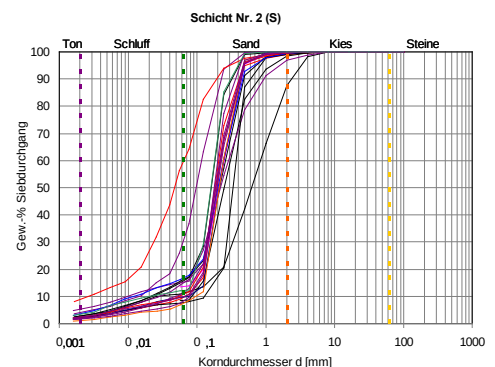
In der folgenden zusammenfassenden Beschreibung sind die Mittelwerte sowie die Standardabweichung der Kennwerte für die einzelnen Schichten angeführt.

(Anmerkung: Es ist im Einzelfalle zu beachten, ob die Anzahl an Versuchen eine Mittelwertbildung erlaubt; extrem abweichende Versuchsergebnisse wurden nicht berücksichtigt; sie sind in den Tabellen gesondert gekennzeichnet).

Das Körnungsband der jeweiligen Schichten ist zur Information in die folgenden Tabellen eingefügt. Sie sind zudem in Anhang 4 zusammengestellt.

9.4.1 Schicht Nr. 2(S): obere, pleistozäne Sande

Allgemeine Daten				Mittelwert	σ - Abw.	n	Die Sande sind mit einer mittleren Wichte von $\gamma_n = 20,1 \text{ kN/m}^3$ und einem Porenvolumen von 34 % mitteldicht bis dicht gelagert. Die mittlere relative Lagerungsdichte ergibt sich nach den Ergebnissen von Proctorversuchen (modifiziert) zu $D_r = 0,68$.
	Endteufe	T	m	5,91	2,83	24	
	Bodenart	-	-	S _{II}			
Wichte	Schicht Nr.	-	-	3			Die Scherfestigkeit der meist schluffigen Fein- und Mittelsande (charakteristischer Bemessungswert) kann zu $\kappa = \sigma \pm \mu / 2$: Reibungswinkel $\phi' = 30^\circ$ Kohäsion $c' = 5 \text{ kN/m}^2$ oder alternativ zu Reibungswinkel $\phi' = 33^\circ$ Kohäsion $c' = 0$ angesetzt werden.
	Bodengruppe	-	-	S _{II} / S _{II} *			
	Wichte	γ_n	kN/m ³	20,10	1,17	14	
	Wassergehalt	w	%	15,30	5,08	14	
Atterberg	Porenvolumen	n	-	0,34	0,03	12	Die Sande sind bei einem optimalen Wassergehalt von 10 – 12 % gut verdichtbar; die modifizierte Proctordichte beträgt 1,91 t/m ³ .
	Trockenwichte	γ_d	kN/m ³	17,44	0,75	14	
	spez. Wichte	γ_s	kN/m ³	26,45	0,45	3	
	Sättigungsgrad	S	%	77,82	25,68	14	
Scherfestigkeit	Flie遡grenze	LL	%				Die Sande sind bei einem optimalen Wassergehalt von 10 – 12 % gut verdichtbar; die modifizierte Proctordichte beträgt 1,91 t/m ³ .
	Ausrollgrenze	PL	%				
	Schrumpfgrenze	WS	%				
	Wassergehalt, korr.	w _k	%				
Steifemodul	Plastizitäts-Index	I _p	%				Die Sande sind bei einem optimalen Wassergehalt von 10 – 12 % gut verdichtbar; die modifizierte Proctordichte beträgt 1,91 t/m ³ .
	Konsistenz-Index	I _c	-				
	einax. Druckfestigk.	q _u	kN/m ²				
	Reibungswinkel	ϕ'	°	33,83	1,47	6	
Quell verh.	Kohäsion	c'	kN/m ²	9,33	8,14	6	Die Sande sind bei einem optimalen Wassergehalt von 10 – 12 % gut verdichtbar; die modifizierte Proctordichte beträgt 1,91 t/m ³ .
	Reibungswinkel	ϕ_{qu}	°				
	Kohäsion	c _u	kN/m ²				
	Restscherfestigkeit	ϕ_r	°	30,67	1,15	3	
sonstige Parameter	Steifemodul	E _{s,3}	MN/m ²				Die Sande sind bei einem optimalen Wassergehalt von 10 – 12 % gut verdichtbar; die modifizierte Proctordichte beträgt 1,91 t/m ³ .
	sv + 100 kN/m ²	E _{s,1}	MN/m ²				
	sv + 300 kN/m ²	E _{s,1}	MN/m ²				
	E-Modul (q _u)	E	MN/m ²				
Verdichtbarkeit	Porenziffer	e ₀	-				Die Sande sind bei einem optimalen Wassergehalt von 10 – 12 % gut verdichtbar; die modifizierte Proctordichte beträgt 1,91 t/m ³ .
	Vorbelastung	p ₀	kN/m ²				
	Kompressionsindex	C _c	-				
	Quelldruck	P(s)	kN/m ²				
sonstige Parameter	Quellhebung	H(s)	%				Die Sande sind bei einem optimalen Wassergehalt von 10 – 12 % gut verdichtbar; die modifizierte Proctordichte beträgt 1,91 t/m ³ .
	Wasseraufnahme	-	%				
	Kalkgehalt	-	%	0,40	0,10	3	
	Glühverlust	-	%				
Verdichtbarkeit	Gehalt Feinstes	< 2 μ	%	2,50	1,54	20	Die Sande sind bei einem optimalen Wassergehalt von 10 – 12 % gut verdichtbar; die modifizierte Proctordichte beträgt 1,91 t/m ³ .
	Gehalt Feinanteile	< 0,06	%	11,95	5,42	20	
	Mittlerer Durchm.	d ₅₀	mm	0,23	0,10	19	
	Ungleichförmigkeit	U	-	10,03	10,23	20	
Verdichtbarkeit	Krümmungszahl	C _c	-	3,75	3,65	20	Die Sande sind bei einem optimalen Wassergehalt von 10 – 12 % gut verdichtbar; die modifizierte Proctordichte beträgt 1,91 t/m ³ .
	Durchlässigkeit	k _f	m/s				
	Lockerste Lagerung	n ₀	-	0,53	0,02	4	
	Dichteste Lagerung	n _d	-	0,28	0,03	5	
Verdichtbarkeit	Proctordichte	ρ_{pr}	t/m ³	19,10	0,73	5	Die Sande sind bei einem optimalen Wassergehalt von 10 – 12 % gut verdichtbar; die modifizierte Proctordichte beträgt 1,91 t/m ³ .
	Opt. Wassergehalt	w _{opt}	%	11,54	1,39	5	
	Lagerungsdichte	D _r	-	0,74	0,07	5	



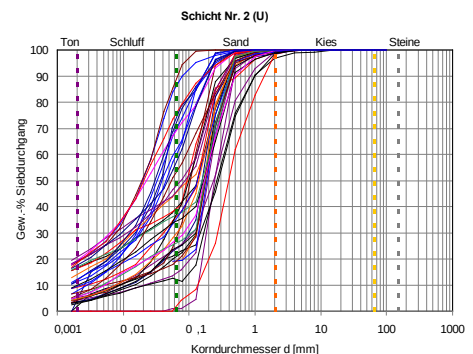
Körnungsband Schicht 2(s)

9.4.2 Schicht Nr. 2(u): obere, pleistozäne Schluffe

Allgemeine Daten				Mittelwert	σ - Abw.	n	Die sandigen Schluffe sind mit einer mittleren Wichte von $\gamma_n = 21,0 \text{ kN/m}^3$ und einem Porenvolumen von 33 % mitteldicht bis dicht gelagert. Die mittlere relative Lagerungsdichte ergibt sich nach den Ergebnissen von Proctorversuchen (modifiziert) ähnlich der Sande zu $D_r \sim 0,67$. Sie variieren von stark schluffigem Sand über Schluff bis schwach plastischem Ton von steifer Konsistenz. Die Scherfestigkeit der sandigen Schluffe (charakterist. Bemessungswert) kann zu $\kappa = \sigma \pm \mu / 2$: Reibungswinkel $\varphi' = 25^\circ$ Kohäsion $c' = 10 \text{ kN/m}^2$ angesetzt werden. Der Steifemodul wurde im Oedometer zu $E_{s,1} = 12,5 - 17 \text{ MPa}$ bei einer Belastung zwischen 100 und 300 kPa über die Vorbelastung gemessen; der Steifemodul für die Ent- und Wiederbelastung ist mit im Mittel $E_{s,3} = 35 \text{ MPa}$ rd. 2,5fach höher. Die Schluffe sind bei einem optimalen Wassergehalt von 8 – 10 % bedingt gut verdichtbar; sie sind empfindlich gegen zu hohe Wassergehalte.
	Endteufe						
	Bodenart	T	m	8,18	2,97	50	
	Schicht Nr.	-	-	S.u			
	Bodengruppe	-	-	3			
Wichte	Wichte	γ_n	kN/m³	21,01	0,67	38	
	Wassergehalt	w	%	17,08	3,31	44	
	Porenvolumen	n	-	0,33	0,03	36	
	Trockenwichte	γ_d	kN/m³	17,97	0,85	38	
	Spez. Wichte	γ_s	kN/m³	26,82	0,24	4	
	Sättigungsgrad	S	%	91,34	17,80	34	
	Atterberg	Flie遡grenze	LL	%	28,79	5,31	25
Ausrollgrenze		PL	%	15,27	2,46	25	
Schrumpfgrenze		WS	%			0	
Wassergehalt, kor.		wk	%	18,87	2,96	8	
Plastizitäts-Index		Ip	%	14,26	5,11	23	
Konsistenz-Index		Ic	-	0,76	0,12	21	
Scherfestigkeit		Einax. Druckfestigk.	qu	kN/m²	159	91	6
	Reibungswinkel	φ'	°	28,54	2,71	12	
	Kohäsion	c'	kN/m²	14,20	6,76	11	
	Reibungswinkel	φ_u	°	30,50	0,71	2	
	Kohäsion	cu	kN/m²	19,50	0,71	2	
	Restscherfestigkeit	φ_r	°	26,10	2,70	5	
	Steifemodul	Steifemodul	Es,3	MN/m²	34,36	15,22	8
sv + 100 kN/m²		Es,1	MN/m²	12,51	5,13	9	
sv + 300 kN/m²		Es,1	MN/m²	16,91	6,83	9	
E-Modul (qu)		E	MN/m²	4,50	2,12	2	
Porenziffer		e0	-	0,46	0,07	9	
Vorbelastung		p0	kN/m²	100	0	9	
Kompressionsindex		Cc	-	0,07	0,02	8	
Quellverh.		Quelldruck	P(s)	kN/m²			0
	Quellhebung	H(s)	%			0	
	Wasseraufnahme	-	%			0	
	Kalkgehalt	-	%	0,40	0,00	2	
	Glühverlust	-	%			0	
sonstige Parameter	Gehalt Feinstes	< 2 μ	%	11	6	33	
	Gehalt Feinanteile	<0,06	%	47	21	33	
	mittlerer Durchm.	D50	mm	0,11	0,07	34	
	Ungleichförmigkeit	U	-	42,06	33,04	19	
	Krümmungszahl	Cc	-	5,23	5,01	16	
	Durchlässigkeit	kf	m/s				
Verdichtbarkeit	lockerste Lagerung	n0	-	0,54	0,02	4	
	dichteste Lagerung	nd	-	0,24	0,02	3	
	Proctordichte	ρpr	t/m³	20,31	0,47	3	
	opt. Wassergehalt	wopt	%	8,90	1,51	3	
	Lagerungsdichte	Dr	-	0,71	0,05	3	

Schicht Nr. 2 (U)

Körnungsband Schicht 2(u)



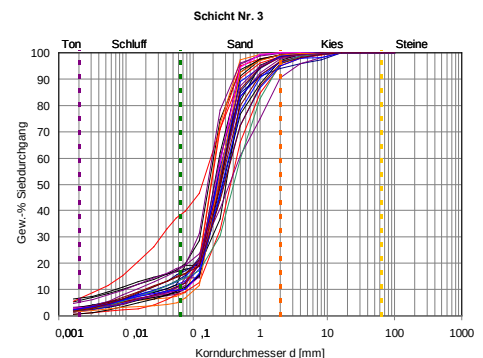
Körnungsband Schicht 2(u)

9.4.3 Schicht Nr. 3: untere, pleistozäne Sande

Allgemeine Daten				Mittelwert	σ - Abw.	n	Die Sande sind mit einer mittleren Wichte von $\gamma_n = 20,7 \text{ kN/m}^3$ und einem Porenvolumen von 33 % mitteldicht bis dicht gelagert.
	Endteufe	T	m	15,10	2,39	41	
	Bodenart	-	-	S.u			
	Schicht Nr.	-	-	3			
Bodengruppe	-	-	SU / SU*				
Wichte	Wichte	γ_n	kN/m ³	20,73	0,62	22	Die mittlere relative Lagerungsdichte ergibt sich nach den Ergebnissen von Proctorversuchen (modifiziert) zu $D_r \sim 0,67$.
	Wassergehalt	w	%	17,41	2,29	24	
	Porenvolumen	n	-	0,33	0,03	22	
	Trockenwichte	γ_d	kN/m ³	17,66	0,68	22	
	spez. Wichte	γ_s	kN/m ³	26,46	0,18	4	
	Sättigungsgrad	S	%	91,70	10,73	22	
Atterberg	Flie遝grenze	LL	%				Die Scherfestigkeit der meist schluffigen Fein- und Mittelsande (charakteristischer Bemessungswert) kann zu $\kappa = \sigma \pm \mu / 2$: Reibungswinkel $\varphi' = 30^\circ$ Kohäsion $c' = 5 \text{ kN/m}^2$ oder alternativ zu Reibungswinkel $\varphi' = 33^\circ$ Kohäsion $c' = 0$ angesetzt werden.
	Ausrollgrenze	PL	%				
	Schrumpfgrenze	WS	%				
	Wassergehalt, kor.	wk	%				
	Plastizitäts-Index	Ip	%				
	Konsistenz-Index	Ic	-				
Scherfestigkeit	einax. Druckfestigk.	qu	kN/m ²				Die Sande sind bei einem optimalen Wassergehalt von 12 – 14 % gut verdichtbar; die modifizierte Proctordichte beträgt 1,89 t/m ³ bei einem optimalen Wassergehalt von rd. 12 %.
	Reibungswinkel	φ'	°	32,80	3,30	3	
	Kohäsion	c'	kN/m ²	10,67	9,45	3	
	Reibungswinkel	φ_u	°				
	Kohäsion	c _u	kN/m ²				
	Restscherfestigkeit	φ_r	°				
Steifemodul	Steifemodul	Es,3	MN/m ²				
	sv + 100 kN/m ²	Es,1	MN/m ²				
	sv + 300 kN/m ²	Es,1	MN/m ²				
	E-Modul (qu)	E	MN/m ²				
	Porenziffer	e0	-				
	Vorbelastung	p0	KN/m ²				
	Kompressionsindex	Cc	-				
Quell verh.	Quelldruck	P(s)	KN/m ²				
	Quellhebung	H(s)	%				
	Wasseraufnahme	-	%				
	Kalkgehalt	-	%	0,50		1	
	Glühverlust	-	%				
sonstige Parameter	Gehalt Feinstes	< 2 μ	%	2,79	2,13	28	
	Gehalt Feinanteile	<0,06	%	13,21	7,31	28	
	mittlerer Durchm.	d ₅₀	mm	0,25	0,05	28	
	Ungleichförmigkeit	U	-	10,50	11,29	27	
	Krümmungszahl	Cc	-	2,64	1,48	23	
	Durchlässigkeit	k _f	m/s				
Verdichtbarkeit	lockerste Lagerung	n ₀	-	0,51	0,03	5	
	dichteste Lagerung	n _d	-	0,28	0,02	11	
	Proctordichte	ρ _{pr}	t/m ³	19,52	0,46	6	
	opt. Wassergehalt	w _{opt}	%	11,22	0,91	6	
	Lagerungsdichte	D _r	-	0,76	0,23	12	

Schicht Nr. 3

Körnungsband Schicht 3



9.4.4 Schicht Nr. 4(S): Sande der unteren pleistozänen Sand-Ton-Wechselfolge

Allgemeine Daten				Mittelwert	σ - Abw.	n	Die meist schluffigen Sande sind mit einer mittleren Wichte von $\gamma_n = 20,9 \text{ kN/m}^3$ und einem Porenvolumen von 34 % mitteldicht bis dicht gelagert.
	Endteufe	T	m	29,96	8,68	16	
	Bodenart	-	-	S,u			
	Schicht Nr.	-	-	3			
Bodengruppe	-	-	SU / SU*				
Wichte	Wichte	γ_n	kN/m ³	20,88	0,69	13	
	Wassergehalt	w	%	18,05	3,53	13	
	Porenvolumen	n	-	0,34	0,04	13	
	Trockenwichte	γ_d	kN/m ³	17,71	1,06	13	
	spez. Wichte	γ_s	kN/m ³	26,70			
	Sättigungsgrad	S	%	93,45	4,96	13	
Atterberg	Flie遡grenze	LL	%				
	Ausrollgrenze	PL	%				
	Schrumpfgrenze	WS	%				
	Wassergehalt, korr.	wk	%				
	Plastizitäts-Index	Ip	%				
	Konsistenz-Index	Ic	-				
Scherfestigkeit	einax. Druckfestigk.	qu	kN/m ²				
	Reibungswinkel	φ'	°	23,00		1	
	Kohäsion	c'	kN/m ²	28,00		1	
	Reibungswinkel	φ_u	°				
	Kohäsion	c _u	kN/m ²				
	Restscherfestigkeit	φ_r	°				
Steifemodul	Steifemodul	Es,3	MN/m ²				
	sv + 100 kN/m ²	Es,1	MN/m ²				
	sv + 300 kN/m ²	Es,1	MN/m ²				
	E-Modul (qu)	E	MN/m ²				
	Porenziffer	e0	-				
	Vorbelastung	p0	KN/m ²				
	Kompressionsindex	Cc	-				
Quell verh.	Quelldruck	P(s)	KN/m ²				
	Quellhebung	H(s)	%				
	Wasseraufnahme	-	%				
	Kalkgehalt	-	%				
	Glühverlust	-	%				
sonstige Parameter	Gehalt Feinstes	< 2 μ	%	4,77	3,63	13	
	Gehalt Feinanteile	<0,06	%	20,23	8,91	13	
	mittlerer Durchm.	d ₅₀	Mm	0,70	1,30	13	
	Ungleichförmigkeit	U	-	38,42	25,2	11	
	Krümmungszahl	Cc	-	5,89	5,71	11	
	Durchlässigkeit	k _f	M/s				
Verdichtbarkeit	lockerste Lagerung	n ₀	-				
	dichteste Lagerung	n _d	-				
	Proctordichte	ρ _{pr}	t/m ³				
	opt. Wassergehalt	w _{opt}	%				
	Lagerungsdichte	D _r	-				

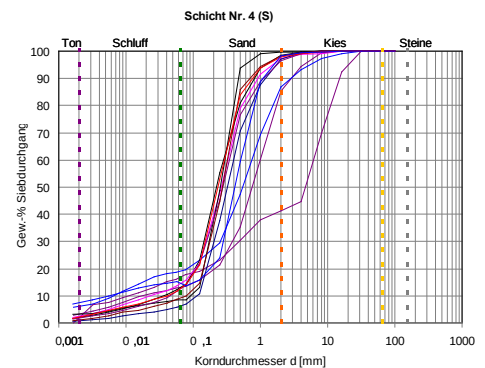
Reibungswinkel $\varphi' = 30^\circ$
Kohäsion $c' = 5 \text{ kN/m}^2$

oder alternativ zu

Reibungswinkel $\varphi' = 33^\circ$
Kohäsion $c' = 0$

Schicht Nr. 4 (S)

Körnungsband Schicht 4(S)



Körnungsband Schicht 4(S)

9.4.5 Schicht Nr. 4(T): Tone der unteren pleistozänen Sand / Ton -Wechselfolge

Allgemeine Daten				Mittelwert	σ - Abw.	n
	Endteufe	T	m	27,14	7,22	72
	Bodenart	-	-			
	Schicht Nr.	-	-			
Bodengruppe	-	-	TL / TM / TA			
Wichte	Wichte	γ _n	kN/m ³	20,51	0,81	58
	Wassergehalt	w	%	20,43	4,72	69
	Porenvolumen	n	-	0,37	0,05	58
	Trockenwichte	γ _d	kN/m ³	22,59	30,28	58
	Spez. Wichte	γ _s	kN/m ³	26,72	0,36	5
	Sättigungsgrad	S	%	95,38	13,43	58
Atterberg	Flie遡grenze	LL	%	44,48	10,91	59
	Ausrollgrenze	PL	%	19,51	5,13	59
	Schrumpfgrenze	WS	%			0
	Wassergehalt, korr.	w _k	%	23,47	5,29	32
	Plastizitäts-Index	I _p	%	24,02	9,15	58
	Konsistenz-Index	I _c	-	0,92	0,12	55
Scherfestigkeit	Einax. Druckfestigk.	q _u	kN/m ²	319	131	38
	Reibungswinkel	φ'	°	25,88	1,65	4
	Kohäsion	c'	kN/m ²	20,50	4,20	4
	Reibungswinkel	φ _u	°			0
	Kohäsion	c _u	kN/m ²			0
	Restscherfestigkeit	φ _r	°	23,00		1
Steifemodul	Steifemodul	E _{s,3}	MN/m ²	62,87	22,75	15
	sv + 100 kN/m ²	E _{s,1}	MN/m ²	16,59	5,72	19
	sv + 300 kN/m ²	E _{s,1}	MN/m ²	19,33	5,12	19
	E-Modul (q _u)	E	MN/m ²	16,04	8,40	23
	Porenziffer	e ₀	-	0,58	0,12	19
	Vorbelastung	p ₀	KN/m ²	100	0	17
	Kompressionsindex	C _c	-	0,10	0,04	17
Quell verh.	Quelldruck	P(s)	KN/m ²			0
	Quellhebung	H(s)	%			0
	Wasseraufnahme	-	%			0
	Kalkgehalt	-	%	0,50	0,00	2
	Glühverlust	-	%			0
sonstige Parameter	Gehalt Feinstes	< 2 μ	%	27	16	28
	Gehalt Feinanteile	<0,06	%	75	22	28
	mittlerer Durchm.	d ₅₀	mm	0,084	0,162	21
	Ungleichförmigkeit	U	-	57,92	48,52	6
	Krümmungszahl	C _c	-	2,08	1,41	4
	Durchlässigkeit	k _f	m/s	8,E-11		1
Verdichtbarkeit	lockerste Lagerung	n ₀	-			0
	dichteste Lagerung	n _d	-			0
	Proctordichte	ρ _{pr}	t/m ³			0
	opt. Wassergehalt	w _{opt}	%			0
	Lagerungsdichte	D _r	-			0

Die stark schluffigen, zum Teil sandigen Tone, welche die Schicht 4 dominieren, sind mit einer mittleren Wichte von $\gamma_n = 20,5 \text{ kN/m}^3$

und einem Porenvolumen von 33 % fest gelagert und mit einem Konsistenzindex von 0,87 von steifer Plastizität.

Die wassergesättigten Tone liegen vorwiegend im Bereich der Bodengruppen TL bis TA.

Die Scherfestigkeit der sandig-schluffigen Tone (charakterist. Bemessungswert) kann zu $\kappa = \sigma \pm \mu / 2$:

Reibungswinkel $\varphi' = 25^\circ$
Kohäsion $c' = 15 \text{ kN/m}^2$
angesetzt werden.

Die einaxiale Druckfestigkeit von 300 kPa bestätigt die steife Konsistenz.

Der Steifemodul wurde im Oedometer zu $E_{s,1} = 17 - 20 \text{ MPa}$ bei einer Belastung zwischen 100 und 300 kPa über die Vorbelastung gemessen; der Steifemodul für die Ent- und Wiederbelastung ist mit im Mittel $E_{s,3} = 60 \text{ MPa}$ rd. 3fach höher.

Schicht Nr. 4 (T)

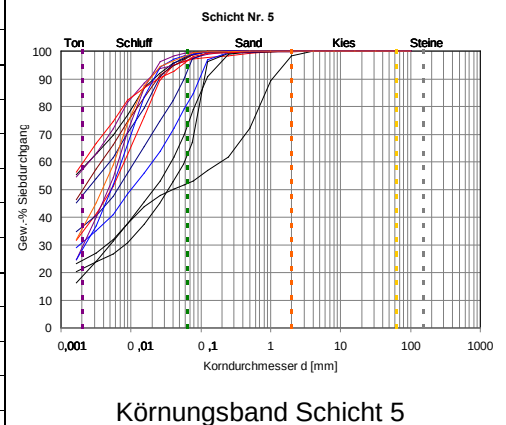
Körnungsband Schicht 4(T)

9.4.6 Schicht Nr. 5: Tertiäre Tone

Allgemeine Daten				Mittelwert	σ - Abw.	n	Die stark schluffigen Tonen der Schicht 5, handelt es sich bei einer mittleren Wichte von $\gamma_n = 20 \text{ kN/m}^3$ und einem Porenvolumen von 42 % um hochplastische Tone TA, die mit einem mittleren Konsistenz-Index von 0,95 steif bis halbfest sind. Die einaxiale Druckfestigkeit von 360 kPa bestätigt die steife Konsistenz. Die Scherfestigkeit der Tone, die bezüglich der Kornverteilung und der plastischen Eigenschaften dem sog. Frankfurter Ton ähneln (wenn auch verschiedener Herkunft) kann zu Reibungswinkel $\varphi' = 20^\circ$ Kohäsion $c' = 20 \text{ kN/m}^2$ angesetzt werden. Der Steifemodul wurde im Oedometer zu $E_{s,1} = 22 \text{ MPa}$ bei einer Belastung zwischen 100 und 300 kPa über die Vorbelastung gemessen; der Steifemodul für die Ent- und Wiederbelastung ist mit im Mittel $E_{s,3} = 55 \text{ MPa}$ rd. 2,5fach höher. Der untere braunkohlehaltige Abschnitt (~ 10 % organische Bestandteile) weist teilweise sehr hohe Kalkgehalte bis 40 % auf.
	Endteufe	T	m	44,58	5,90	28	
	Bodenart	-	-				
	Schicht Nr.	-	-				
	Bodengruppe	-	-	TA			
Wichte	Wichte	γ_n	kN/m ³	19,94	1,07	27	
	Wassergehalt	w	%	24,98	4,75	28	
	Porenvolumen	n	-	0,42	0,07	27	
	Trockenwichte	γ_d	kN/m ³	16,01	1,32	27	
	Spez. Wichte	γ_s	kN/m ³	27,04	0,42	5	
	Sttigungsgrad	S	%	96,47	8,47	27	
Atterberg	Flie遡grenze	LL	%	46,01	10,46	28	
	Ausrollgrenze	PL	%	23,45	3,81	28	
	Schrumpfgrenze	WS	%			0	
	Wassergehalt, korr.	wk	%	24,67	2,17	2	
	Plastizitts-Index	Ip	%	23,97	6,47	26	
	Konsistenz-Index	Ic	-	0,95	0,10	23	
Scherfestigkeit	Einax. Druckfestigk.	qu	kN/m ²	362	175	21	
	Reibungswinkel	φ'	°			0	
	Kohsion	c'	kN/m ²			0	
	Reibungswinkel	φ_u	°			0	
	Kohsion	cu	kN/m ²			0	
	Restscherfestigkeit	φ_r	°			0	
Steifemodul	Steifemodul	$E_{s,3}$	MN/m ²	55,10	28,25	10	
	sv + 100 kN/m ²	$E_{s,1}$	MN/m ²	21,93	5,66	10	
	sv + 300 kN/m ²	$E_{s,1}$	MN/m ²	22,41	5,10	10	
	E-Modul (qu)	E	MN/m ²	11,64	6,07	12	
	Porenziffer	e0	-	0,72	0,27	9	
	Vorbelastung	p0	KN/m ²	100	0	9	
	Kompressionsindex	Cc	-	0,11	0,04	9	
Quell verh.	Quelldruck	P(s)	KN/m ²			0	
	Quellhebung	H(s)	%			0	
	Wasseraufnahme	-	%			0	
	Kalkgehalt	-	%	13,68	17,77	9	
	Glühverlust	-	%	8,92	3,73	13	
sonstige Parameter	Gehalt Feinstes	< 2 μ	%	34,00	10,30	9	
	Gehalt Feinanteile	<0,06	%	90,00	13,26	8	
	mittlerer Durchm.	d ₅₀	mm	0,010	0,010	8	
	Ungleichförmigkeit	U	-			0	
	Krümmungszahl	Cc	-			0	
	Durchlässigkeit	k _f	m/s			0	
Verdichtbarkeit	lockerste Lagerung	n ₀	-			0	
	dichteste Lagerung	n _d	-			0	
	Proctordichte	ρ_{pr}	t/m ³			0	
	opt. Wassergehalt	w _{opt}	%			0	
	Lagerungsdichte	D _r	-			0	

Schicht Nr. 5

Körnungsband Schicht 5

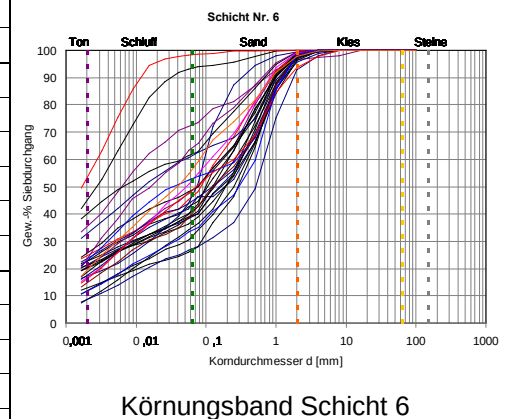


9.4.7 Schicht Nr. 6: Tertiäre Klebsande und Tone

Allgemeine Daten				Mittelwert	σ - Abw.	n	Die stark schluffigen Tone und Ton-Sand-Gemische (Klebsande) der Schicht 6 sind bei einer mittleren Wichte von $\gamma_n = 21,4 \text{ kN/m}^3$ und einem Porenvolumen von nur 28 % sehr fest gelagert und mit einem mittleren Konsistenz-Index von 0,91 steifplastisch bis halbfest.
	Endteufe	T	m	56,67	12,44	35	
	Bodenart	-	-				
	Schicht Nr.	-	-				
	Bodengruppe	-	-	ST* / TM / TA			
Wichte	Wichte	γ_n	kN/m ³	21,46	0,63	31	Die einaxiale Druckfestigkeit von 440 kPa bestätigt die steife bis halbfeste Konsistenz.
	Wassergehalt	w	%	13,98	4,30	32	
	Porenvolumen	n	-	0,28	0,03	30	
	Trockenwichte	γ_d	kN/m ³	19,03	0,87	30	
	Spez. Wichte	γ_s	kN/m ³	26,42	0,16	6	
	Sättigungsgrad	S	%	85,59	17,82	30	
Atterberg	Flie遡grenze	LL	%	43,69	13,49	33	Die Scherfestigkeit der Klebsande kann infolge der gro遝n Tiefenlage hinreichend genau geschätzt werden zu Reibungswinkel $\varphi' = 25^\circ$ Kohäsion $c' = 30 \text{ kN/m}^2$
	Ausrollgrenze	PL	%	17,24	5,49	33	
	Schrumpfgrenze	WS	%			0	
	Wassergehalt, korr.	wk	%	19,39	4,12	31	
	Plastizitäts-Index	Ip	%	26,01	8,95	32	
	Konsistenz-Index	Ic	-	0,91	0,10	29	
Scherfestigkeit	Einax. Druckfestigk.	qu	kN/m ²	446	250	25	Der Steifemodul wurde im Oedometer zu $E_{s,1} = 36 \text{ MPa}$ bei einer Belastung zwischen 100 und 300 kPa über die Vorbelastung gemessen; der Steifemodul für die Ent- und Wiederbelastung ist mit im Mittel $E_{s,3} = 178 \text{ MPa}$ rd. 5fach höher.
	Reibungswinkel	φ'	°			0	
	Kohäsion	c'	kN/m ²			0	
	Reibungswinkel	φ_u	°			0	
	Kohäsion	c _u	kN/m ²			0	
	Restscherfestigkeit	φ_r	°			0	
Steifemodul	Steifemodul	Es,3	MN/m ²	178	66	5	
	sv + 100 kN/m ²	Es,1	MN/m ²	35	11	5	
	sv + 300 kN/m ²	Es,1	MN/m ²	38	13	5	
	E-Modul (qu)	E	MN/m ²	23	13	19	
	Porenziffer	e0	-	0,43	0,04	3	
	Vorbelastung	p0	KN/m ²	100	0	3	
	Kompressionsindex	Cc	-	0,08	0,03	3	
Quell verh.	Quelldruck	P(s)	KN/m ²			0	
	Quellhebung	H(s)	%			0	
	Wasseraufnahme	-	%			0	
	Kalkgehalt	-	%	0,40	0,42	2	
	Glühverlust	-	%			0	
sonstige Parameter	Gehalt Feinstes	< 2 μ	%	20,92	7,86	25	
	Gehalt Feinanteile	<0,06	%	45,00	11,16	25	
	mittlerer Durchm.	d50	mm	0,14	0,11	24	
	Ungleichförmigkeit	U	-	193,37	90,49	2	
	Krümmungszahl	Cc	-	3,55	3,36	2	
	Durchlässigkeit	k _f	m/s			0	
Verdichtbarkeit	lockerste Lagerung	n ₀	-			0	
	dichteste Lagerung	n _d	-			0	
	Proctordichte	ρ _{pr}	t/m ³			0	
	opt. Wassergehalt	w _{opt}	%			0	
	Lagerungsdichte	D _r	-			0	

Schicht Nr. 6

Körnungsband Schicht 6



9.5 Mineralogische Untersuchungen

An einigen ausgewählten Proben aus Sanden und Tonen wurden am Geologischen Institut der Universität Karlsruhe Mineralogische Untersuchungen zur Bestimmung des Mineralbestandes durchgeführt. Der Bericht ist in der „Dokumentation Laborversuche“ enthalten.

Im einzelnen wurden folgende Proben analysiert:

BK	Tiefe	Schicht	Boden- art	Farbe	Nicht-Tonminerale		Tonminerale		
					Quarz	Karbonat	Nicht-quellbar		Quellbar
							Illit	Kaolinit	Smektit
13-2	14-15 m	3	fS, mS	rotbraun	45	-	40	5-10	2-3
13-2	18-19 m	3	fS, mS	ocker	55	-	30	2-4	6-8
16-1	24-25 m	4(S)	fS, mS	beige	55	-	25-30	15	< 0,5
13-2	37-38 m	4(S)	fS, mS	rotbraun	50	-	25-30	20	~ 1
13-2	40-41m	4(S)	fS, u	gelb	60	-	25	15	~ 1
108-4	26,70 m	4 (T)	T, u	beige	65	-	10	5-10	15
7-5	29,80 m	4 (T)	T, u	dunkelgrau	63	-	15-20	5-10	10
7-5	36,40 m	4 (T)	T, u	hellgr.-ocker	30	-	15-20	50	-
30-5	35,10 m	5	T, u	rotbraun	15	-	10	70	-
7-5	47,90 m	5(Bk)	T, u	anthrazit	22	19,7	40	15	2-3
7-5	51,80 m	6	T, u	hellgrau	18	-	15	60	5-7

Tabelle 11a: Mineralogische Untersuchung – Hauptbestandteile

BK	Tiefe	Schicht	Boden- art	Farbe	Nicht-Tonminerale		Tonminerale	
					Feldspat	Andere	Nicht-quellb.	Quellbare
							Chlorit	Andere
30-1	3- 4 m	2(s)	fS	beige	4	-	-	ML 1-2
13-2	14-15 m	3	fS, mS	rotbraun	4	-	-	-
13-2	18-19 m	3	fS, mS	ocker	5	-	-	-
16-1	24-25 m	4(S)	fS, mS	beige	2	-	-	-
13-2	37-38 m	4(S)	fS, mS	rotbraun	~ 0,5	Hä ~2	-	-
13-2	40-41m	4(S)	fS, u	gelb	< 0,5	Go <0,5	-	-
108-4	26,70 m	4 (T)	T, u	beige	2	-	-	-
7-5	29,80 m	4 (T)	T, u	dunkelgrau	2	-	-	-
7-5	36,40 m	4 (T)	T, u	hellgr.-ocker	< 0,5	Go 4	-	ML 1-2
30-5	35,10 m	5	T, u	rotbraun	-	Go,Hä,Gi 4	-	V 2-3
7-5	47,90 m	5	T, u	anthrazit	< 0,5	-	2-3	-
7-5	51,80 m	6	T, u	hellgrau	-	-	-	-

Tabelle 11b: Mineralogische Untersuchung - Nebenbestandteile

Die Hauptbestandteile der pliozän/pleistozänen Sedimente (rotbraune, beige und ockerfarbene Sande sowie beigefarbene und graue Tone aus der Schicht 4) ist Quarz (55 – 65 %), Illit (15 – 40%) und Kaolinit (5-20%). Smektite (quellfähige Tonminerale) sind im ockerfarbenen Fein-Mittelsand der Schicht 3 und in beigen sowie dem dunkelgrauen, organischen Ton in BK 7-5 mit 10- 15 % enthalten. Abweichend hiervon ist der hellgrau-ocker marmorierte Ton in Schicht 3 mit lediglich 3ß % Quarz und 50 % Kaolinit.

Die rotbraunen bzw. grauen tertiären Tone der Schichten 5 und 6 weisen dagegen einen geringeren Quarzgehalt von 15 - 22 %, dafür aber einen hohen Gehalt an Kaolinit von 60 – 70 % auf. Der anthrazitfarbene Ton der Schicht 5 hat dagegen einen höheren Illitgehalt von 40 % sowie rd. 20 % Karbonate, vorwiegend Calcit und daneben Dolomit. Der Smektitgehalt in den älteren tertiären Tonen ist dagegen relativ niedrig.

10. Geotechnische Bemessungskennwerte

Nach zusammenfassender Bewertung der Ergebnisse der Labor- und Feldversuche können den einzelnen Schichten die folgenden geotechnischen Bemessungskennwerte zugeordnet werden. Diese Werte sollen als charakteristische Werte von Bodenkenngrößen im Sinne der DIN 1054 verstanden werden.

Für die Festlegung der Wichten wird der Mittelwert angesetzt. Soweit die Anzahl der Versuche und die Qualität der Messungen zulassen, wird als charakteristischer Wert für die Scherfestigkeit der um etwa die halbe Standardabweichung verringerte Mittelwert ($\mu - \sigma/2$) verwendet (Tabelle 12). Für die Steifemoduli (Tabelle 13) wird sowohl ein oberer als auch eine unterer Bemessungswert definiert.

10.1 Scherfestigkeit

Schicht	SPT	Wichte				Scherfestigkeit		Anfangsfestigkeit	
	N ₃₀	γ_n	γ_g	γ'	γ_s	Reibungs- winkel φ'	Kohäsion c'	Reibungs- winkel φ_u	Kohäsion c_u
-	[-]	[kN/m ³]				[°]	[kN/m ²]	[°]	[kN/m ²]
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2(s)	20 – 25	20	21	11	26,5	30	5	30	-
2(u)	15 – 20	-	21	11	26,8	25	10	-	150
3	25 - 30	-	21	11	26,5	33	0	33	-
4(S)	35 - 40	-	21	11	26,6	30	5	-	60
4(T)	30 - 35	-	21	11	26,8	25	15	-	100
5	45 - 50	-	20	10	27,0	20	20	-	140
6	55 - 60	-	21,5	11,5	26,7	25	30	-	160

Tabelle 12: charakteristische Bodenkennwerte der Scherfestigkeit

10.2 Verformbarkeit

Schicht	Lagerungs- dichte oder Konsistenz		Poren- volume n	E- Modul	Oedo- meter- modul	Pressio- meter- modul	Steifemodul			
	I_d	I_c					Erstbe- lastung	$E_{s,1}$ [MN/m ²]	Wieder- belastg.	$E_{s,3}$ [MN/m ²]
	[-]	[-]	[-]	[MN/m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ²]	von	bis	von	bis
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2(s)	0,67	-	0,34	-	-	20 - 50	30	40	80	120
2(u)	-	0,76	0,33	4,5	12 - 17	10 - 15	15	25	40	60
3	0,67	-	0,33	-	-	25 - 60	40	60		
4(S)	0,67	-	0,34	-	-	-	40	60		
4(T)	-	0,87	0,33	16	14 - 17	25 - 30	25	40	60	90
5	-	0,95	0,42	12	22	-	25	40	60	90
6	-	0,91	0,28	23	36	(32)	50	80	150	200

Tabelle 13: charakteristische Bodenkennwerte der Verformbarkeit

Eine bessere Definition der Verformbarkeit, besonders für bindige Böden, besteht in der Formulierung eines tiefen- und lastabhängigen Steifemoduls mit Hilfe des normierten Kompressionsindex C_c nach der Gleichung

$$E_s = \frac{(p_2 - p_1) * (1 + e_1)}{C_c * \log\left(\frac{(p_2 - p_1) + p_0}{p_0}\right)}$$

Der Kompressionsindex C_c wurde aus den Oedometerversuchen nach der Gleichung

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log\left(\frac{(p_2 - p_1) + p_0}{p_0}\right)}$$

ermittelt (vgl. Tabellen in Anhang 4).

Die mittleren gemessenen Werte sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt (es gilt: $p_0 = 100 \text{ kPa}$). Die empfohlenen Bemessungswerte berücksichtigen einen Erhöhungsfaktor des Oedometer-Moduls um rd. 20 – 25 %, die Werte für die Sande sind aufgrund von Erfahrungswerten geschätzt: Die Werte C_c sollten mit einer Varianz von etwa $\pm 20 \%$ beaufschlagt werden:

Schicht		2(s)	2(u)	3	4(S)	4(T)	5	6
Werte aus Oedometerversuchen	e_0	-	0,46	-	-	0,58	0,72	0,43
	C_c	-	0,070	-	-	0,100	0,110	0,080
Bemessungswert	e_0	0,50	0,50	0,50	0,50	0,58	0,72	0,43
	C_c	0,030	0,060	0,030	0,030	0,075	0,090	0,060

Tabelle 14: Kompressionsindex

10.3 Zeitabhängige Setzungen

Für die Berechnung der zeitabhängigen Setzungsverläufe können die folgenden Kennwerte angesetzt werden:

Schicht		2(s)	2(u)	3	4(S)	4(T)	5	6
Sofortsetzung	$s(\text{sof.})$ [%]	80	40	90	80	40	25	40
Zeit - setzung	C_v [m ² /s]	$3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-8}$
Wirksame Schichtdicke	d_w [m]	3	3	3	2	2	6	4

Tabelle 15: Konsolidierungsverhalten

10.4 Auslegung gegen Erdbeben

Der Standort Darmstadt-Wixhausen kann nach DIN 4149 wie folgt eingestuft werden

- Erdbebenzone 1
- Baugrundklasse C
- geologische Untergrundklasse S.

Wegen der geringen Nähe zum Sprendlinger Horst ist zu prüfen, ob hier nicht ein Mittelwert der beiden geologischen Untergrundklassen S und T angesetzt werden sollte.

11. Verwendbarkeit der Böden im Aushubbereich

11.1 Allgemeine Hinweise zum Lösen und Zwischenlagern

Der (belebte) **Oberboden** (Schicht 1) ist beim Aushub getrennt zu gewinnen und zu lagern für die Wiederverwendung als Kulturboden. Die Böden sind locker gelagert und nicht für die Gründung geeignet; unter flach gegründeten Fundamenten sind sie auszukoffern und durch geeignetes zu verdichtendes Material zu ersetzen.

Die Böden der **Schicht 2** sind so weit möglich getrennt in Sande und Schluffe zu lösen und zwischenzulagern. Insbesondere die schluffig-tonigen Böden müssen bei der Zwischenlagerung leicht verdichtet und mit einer ausreichend geneigten Oberfläche versehen werden, um das Eindringen von Niederschlägen und ein Aufweichen, das den Wiedereinbau und die Verdichtung erschweren oder gar unmöglich machen würde, zu vermeiden.

Ausgeprägt plastische Tone aus der Schicht 2(u) sollten hierbei getrennt von den sandigen Schluffen gelagert werden, da eine Vermischung die spätere Verdichtbarkeit ungünstig beeinflusst.

Die Sande der **Schicht 3** können ggf. gemeinsam mit den Sanden der Schicht 2 zwischengelagert werden.

11.2 Wiedereinbau und Verdichtbarkeit

Sowohl die Sande der Schichten 2 und 3 als auch die sandigen Schluffe der Schicht 2 sind für den Wiedereinbau geeignet. Eine Vermischung ist nicht angeraten. Die Sande sollten in Bereichen mit höheren Anforderungen an die Tragfähigkeit / Setzungsarmut eingebaut werden.

Tone sollten nur als Abdichtungsschichten in nicht wesentlich belasteten Bereichen wieder eingebaut werden.

Bei der Planung der Rückverfüllungen sollte die Wiederherstellung der hydraulischen Trennschicht zwischen dem oberen und dem mittleren Grundwasserspiegel in Schicht 3 beachtet werden

Sofern keine abweichenden Bedingungen bei den Ausführungsplanung zu berücksichtigen sind, sollten die Böden auf 92 %, in belasteten Bereichen auf 95 % der verbesserten Proctordichte verdichtet werden. Für letztere sollten ausschließlich Sande verwendet werden

Hierzu gelten folgende Einbauwerte, die mit den im Kapitel 6 beschriebenen Ergebnissen der Proctorversuche belegt sind:

Bodenart	Proctordichte	Optimaler Wassergehalt	Einbaudichte (trocken)	Einbauwassergehalt	Natürlicher Wassergehalt
	$\rho_{P,mod.} [t/m^3]$	$w_{opt} [\%]$	$\rho_E [t/m^3]$	$w_E [\%]$	$w_n [\%]$
Schluffige Sande	1,95	11 ± 2	1,85 (95 %)	6 - 14	17 ± 3
Sandige Schluffe	2,03	9 ± 2	1,85 (92 %)	6 - 14	17 ± 3

Tabelle 14: Verdichtbarkeit

Die natürlichen Wassergehalte liegen über dem optimalen, teilweise bereits im Bereich der Wassersättigung, bei dem keine Verdichtung mehr möglich ist, so daß die Böden vor dem Einbau heruntergetrocknet werden müssen. Eventuell kann der Wassergehalt auch durch die Zumischung von Kalk- oder Zementklinker gesteuert werden.

11.3 Bodenart, Bodengruppen und Bodenklassen

In der folgenden Tabelle ist der Vollständigkeit halber die Zuordnung der Böden in Bodenarten, Bodengruppen, Bodenklassen sowie die Bohrklassen zusammengestellt:

Schicht		Lagerungs- dichte	Konsi- stenz ²⁾	Bodenart ¹⁾ (DIN 4022)	Boden- gruppe ¹⁾ (DIN 18196)	Boden- klasse (DIN 18300)	Bohr- klasse (DIN 18301)
1	Ober- boden	locker	weich - steif	Mu	MU	1 - 3	BO 1 - 2
2(s)	Feinsande	mitteldicht	steif	S,u', S,u	SU, SU*	3 - 4	BN 1 - 2
2(u)	Schluffe	mitteldicht	steif	S,u*, S,u', S,u, T,s*, S,u',t'	SU*, ST*, SU	2 - 3	BB 1 - 2
3	Fein - Mittelsande	dicht	steif	S,u, S,u', S,u*, S,u,g', S,u',g', T,s	SU, SU*, ST, ST*	3 - 4	BN 1 - 2
4(T)	Tone	sehr dicht	steif- halfest	T,u,s', T,s*, T,s, T,s', S,u *	TA, TM, TL, ST*, SU*	3 - 5	BB 1 - 3
4(S)	Sande und Schluffe		k. A.			3 - 4	BB 1 - 3
5	Tertiäre Tone rotbraun	sehr dicht	steif- halfest	T,o, T,u,o', T,u	TA, TM	3 - 5	BB 1 - 3
	Tertiäre Tone, schwarz		halfest			3 - 5	BB 1 - 3, BO 1
6	Klebsande Tone,	dicht	halfest	T,s*	ST*,TA, TM	3 - 5	BB 2 - 3

1) Gemäß den durchgeführten Laborversuchen

2) Für die bindigen Bereiche der jeweiligen Schicht gemäß der durchgeführten Feldversuche

12. Schlußbemerkungen

Der Baugrund im Bereich der geplanten Forschungseinrichtung FAIR der GSI in Darmstadt-Wixhausen wurde in mehreren Phasen durch Aufschlussbohrungen, Feld- und Laborversuche untersucht. Die Untersuchungsergebnisse sind in dem vorliegenden Bericht zusammengestellt und zusammenfassend bewertet, wobei die Bewertung vorrangig auf den Ergebnissen der durch den Unterzeichner geleiteten Untersuchungsphase 1.2 im Jahr 2007/2008 basiert.

Der Baugrundaufbau, die Lagerung der Schichten und die Grundwasserverhältnisse wurden dokumentiert und beschrieben; der Süden des Baufeldes wird durch eine dort nach Norden streichenden, vor dem Beschleunigerring aber nach Osten abbiegenden Störung mit bis zu 18 m Vertikalversatz gekennzeichnet. Die Störung ist „aktiv“ und kann sich mit der Hauptrandstörung bewegen, wobei die mittleren Abschiebungsbeträge hier nur Bruchteile der Beträge an letzterer von 0,1 - 0,2 mm/a betragen dürften. Diese etwa parallel zur wenige 100 m östlich des Baufeldes gelegenen Randstörung des Oberrheingrabens ist bei der Planung der Bauwerke zu beachten.

Die bodenmechanischen Kennwerte der einzelnen Schichten, die bis in 80 m Tiefe aufgeschlossen wurden und unter pleistozänen Sedimenten tertiäre (pliozäne und miozäne) Sedimente angetroffen haben, wurden auf der Grundlage von Feld- und Laborversuchen abgeleitet. Die mittleren Bemessungskennwerte sind angegeben.

Insgesamt ist der Baugrund als gut tragfähig zu beschreiben, wobei die vorwiegend tonigen tertiären Sedimente als „setzungsfähig“ anzusehen sind und bei höheren und großflächigen Belastungen zu größeren Setzungen, im Bereich der Störung auch zu entsprechenden Setzungsunterschieden führen werden.



(W. Romberg)

Anlagen 2750 / 1 - 14

Anlagen 2750 / DPH 1 - 5

Anhang 1 - 4