

Bachelorarbeit

---

**Dimensionierung einer Gründungssituation unter  
Berücksichtigung extremer Wasserstände,  
Nutzungspotentiale für Geothermie**

Bearbeiter

**Hennes Jentsch**

**Bauhaus - Universität  
Weimar**



Bauhaus-Universität Weimar · Fakultät Bauingenieurwesen · Professur Grundbau

Prof. Dr.-Ing. Karl Josef Witt, Dipl.-Ing. Robert-Balthasar Wudtke

Bauhaus-Universität Weimar  
Fakultät Bauingenieurwesen  
Professur Grundbau

## **Aufgabenstellung zur Bachelorarbeit**

für cand. Ing. Hennes Jentsch

Matrikelnummer: 30 498

Reg.-Nr.: BB / 2007 / 4

Thema: Entwurf einer Gründung unter Berücksichtigung geothermischer Potenziale

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. K.J. Witt  
Bauhaus-Universität Weimar, Professur Grundbau

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. R.-B. Wudtke  
Bauhaus-Universität Weimar, Professur Grundbau

Arbeitsbeginn: 11. Mai 2007

Abgabetermin: 6. Juli 2007

Weimar, den 16. April 2007



---

Prof. Dr.-Ing. habil. Könke  
Vorsitzender des Prüfungsausschusses

## Thema

Im Kontext einer zunehmenden Veränderung des Klimas und einer zukünftigen Verknappung der verfügbaren fossilen Resources gewinnt die Optimierung der Energieausnutzung bei Gebäudesanierungen und –neubauten an Bedeutung.

Im Rahmen der Aufgabenstellung sind für einen in Planung befindlichen Gebäudekomplex die Gründung unter Berücksichtigung der geologischen und hydrologischen Situation zu optimieren, Empfehlungen zu notwendigen Feuchteschutzmaßnahmen zu geben und Betrachtungen zum Einsatz von Erdwärme zur Energiegewinnung anzustellen.

Im Einzelnen sind die folgenden Teilaufgaben zu bearbeiten:

- Interpretation der geologischen und hydrologischen Baugrundverhältnisse, Zusammenfassende Darstellung in einem repräsentativen Längsschnitt (Parameterdefinition, Strömungsberechnung (GW2D))
- Variantenuntersuchung zu möglichen Gründungsarten, Empfehlung und Begründung einer Vorzugslösung, Dimensionierung der Vorzugslösung
- Erstellen einer Konzeption zum Feuchteschutz der Gebäude, Maßnahmen gegen dauerhaften und temporären Einfluss, Darstellung und Erläuterung der Maßnahmen
- Variantenuntersuchung zur Anwendung von energieoptimalen Konzepten der ganzzeitigen Wärmeversorgung des Komplexes, Diskussion der Anwendbarkeit, Empfehlung einer Vorzugslösung

Die Arbeit ist in enger Abstimmung mit den Betreuern durchzuführen. Nach einer Bearbeitungszeit von ca. 1 Woche ist ein Arbeitsplan vorzulegen, der fortzuschreiben ist. Es sind 3 Pflichtkonsultationen mit Bericht über die Ergebnisse und den Arbeitsfortschritt vorgesehen. Für das Bachelorverfahren gilt die Prüfungsordnung der Fakultät Bauingenieurwesen. An der Professur Grundbau sind 2 Exemplare (physisch auf Papier als auch digital auf CD-ROM oder DVD) der Arbeit sowie eine internetfähige digitale Kurzfassung (im html- oder pdf-Format) abzugeben. Angaben zur Literatur, Schwerpunkte und zur formalen Ausführung erteilen die Betreuer.



Prof. Dr.-Ing. K. J. Witt (Erstprüfer)

# I Inhaltsverzeichnis

|     |   |    |
|-----|---|----|
| I   | Inhaltsverzeichnis .....  | I  |
| 1.  | Einleitung – Problemstellung.....                                   | 1  |
| 2.  | Baugrundverhältnisse .....  | 2  |
| 2.1 | Geologische Baugrundverhältnisse .....                              | 2  |
| 2.2 | Hydrologische Baugrundverhältnisse .....                            | 3  |
| 2.3 | Parameterdefinition .....   | 3  |
| 2.4 | Geometrisches und geologisches Bodenmodell .....                    | 7  |
| 2.5 | Strömungsberechnungen .....   | 8  |
| 2.6 | Entwicklung des repräsentativen Längsschnittes.....                 | 10 |
| 3.  | Variantenuntersuchung der Gründung .....                            | 11 |
| 3.1 | Haus I.....   | 12 |
| 3.2 | Haus II.....  | 13 |
| 3.3 | Vergleichskriterien.....  | 15 |
| 3.4 | Bewertung .....   | 17 |
| 4.  | Erdstatische Berechnungen .....                                     | 18 |
| 4.1 | Lastzusammenstellung.....   | 18 |
| 4.2 | Berechnungen.....   | 22 |
| 4.3 | Übergangsbereich zwischen den unterschiedlichen Gründungsarten..... | 25 |
| 5.  | Wasserhaltung während der Bauphase .....                            | 26 |
| 6.  | Bauablaufplan.....  | 28 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 7.  | Anwendung von Energieoptimalen Konzepten..... | 29 |
| 7.1 | Wärmefluss der festen Erde .....              | 30 |
| 7.2 | Wärmepumpen.....                              | 31 |
| 7.3 | Erschließung von Geothermiequellen.....       | 32 |
| 7.4 | Empfehlung einer Vorzugslösung.....           | 36 |
| 8.  | Schlussfolgerung .....                        | 37 |
| 9.  | Literaturverzeichnis.....                     | 39 |
| 10. | Abbildungsverzeichnis.....                    | 41 |
| 11. | Tabellenverzeichnis.....                      | 42 |
| 12. | Anhangsverzeichnis .....                      | i  |

## 1. Einleitung – Problemstellung

Grundwasser und Grundwasserströme haben auf die Gründung von Gebäuden einen nachhaltigen Einfluss. Für einen geplanten Ersatzneubau eines Altenpflegeheimes (Anhang S.43-45), in der Domäne der Gemeinde Neustadt/ Harz, ist ein Gründungskonzept zu entwickeln. Hierbei steht vor allem die geographische Nähe des Neubaus zu einem künstlichen Teich im Vordergrund der Gründungsempfehlung. Anhand der vorliegenden geologischen und hydrologischen Erkundungsergebnisse vom 05.09.2003 [1] und 08.03.2004 [2] werden unterschiedliche Profillängsschnitte des Geländes entwickelt. Die notwendigen Strömungsberechnungen zur Identifikation des maßgebenden Längsschnitts werden mit dem Programm GW2D der Firma GGU durchgeführt.

Auf der Grundlage des maßgebenden Längsschnittes und der errechneten maximalen Grundwasserstände werden verschiedene Gründungskonzepte entworfen. Aus einem anschließenden Vergleich der Gründungskonzepte geht eine Vorzugslösung hervor. Ziel des Vergleiches ist es die Gründung an die geologischen und hydrologischen Besonderheiten des Baugrundes anzupassen. Weiterhin wird ein Konzept für den Feuchteschutz entwickelt. Die Grundlage dieser Konzeption bilden wiederum die errechneten maximalen Grundwasserstände.

In Folge des Klimawandels und einer zukünftigen Verknappung der verfügbaren fossilen Ressourcen wird die Frage des ökologischen und nachhaltigen Bauens in den nächsten Jahrzehnten in den Vordergrund rücken. Auch die Gründung eines Gebäudes kann zum ökologischen und nachhaltigen Bauen beitragen. Die Nutzung von geothermaler Energie stellt eine erneuerbare, unerschöpfliche, biologisch unbedenkliche und einheimische Energiequelle dar. Sie hat geringe Auswirkungen auf die Umwelt und ist an der Erdoberfläche praktisch unsichtbar. Im letzten Abschnitt dieser Arbeit werden die Möglichkeiten und Anwendungsbereiche geothermaler Nutzungskonzepte diskutiert. Für den geplanten Neubau wird eine Empfehlung hinsichtlich der ganzzeitlichen Heiz- und Warmwasserversorgung mit geothermaler Energie erarbeitet. Diese Empfehlung eines geothermalen Nutzungskonzeptes muss mit der Gebäudegründung harmonieren. Das heißt, eine Doppelnutzung von Gebäudegründung und Energiegewinnung steht im Vordergrund.

## 2. Baugrundverhältnisse

Als Grundlage der Einordnung der Baugrundverhältnisse wurden die hydrologischen und geologischen Erkundungsergebnisse aus [1] und [2] verwendet, sowie die geologischen Übersichtskarten von Preußen und benachbarten deutschen Ländern [3] hinzugezogen.

### 2.1 Geologische Baugrundverhältnisse

Das Grundgebirge der Gemeinde Neustadt / Harz ist geprägt durch eruptives Deckgestein des Porphyrits (oberer Bronzitporphyrit). Der Porphyrit zeigt porphyrische Strukturen mit Kristallen eines Plagioglasses [3]

Das Baugebiet des geplanten Altenpflegeheims liegt in der Talaue (Abbildung 1) des Kappelbaches. Somit ist mit quartären Talsedimenten zu rechnen. Der Festgesteinkomplex des Unteren Rotliegenden ist in holozäne Schichten (11700 v. Chr.) eingebettet. Fluviale Ablagerungen aus Schotter und Feinbestandteilen sind auf den Kappelbach zurückzuführen. Es handelt sich um junge, wenig konsolidierte bindige bis gemischtkörnige Böden (Weichseleiszeit 115000 v. Chr.). Bei den Rammsondierungen wurde das Grundgebirge nicht erreicht. Die holozäne Deckschicht ist somit mächtiger als 3 m.

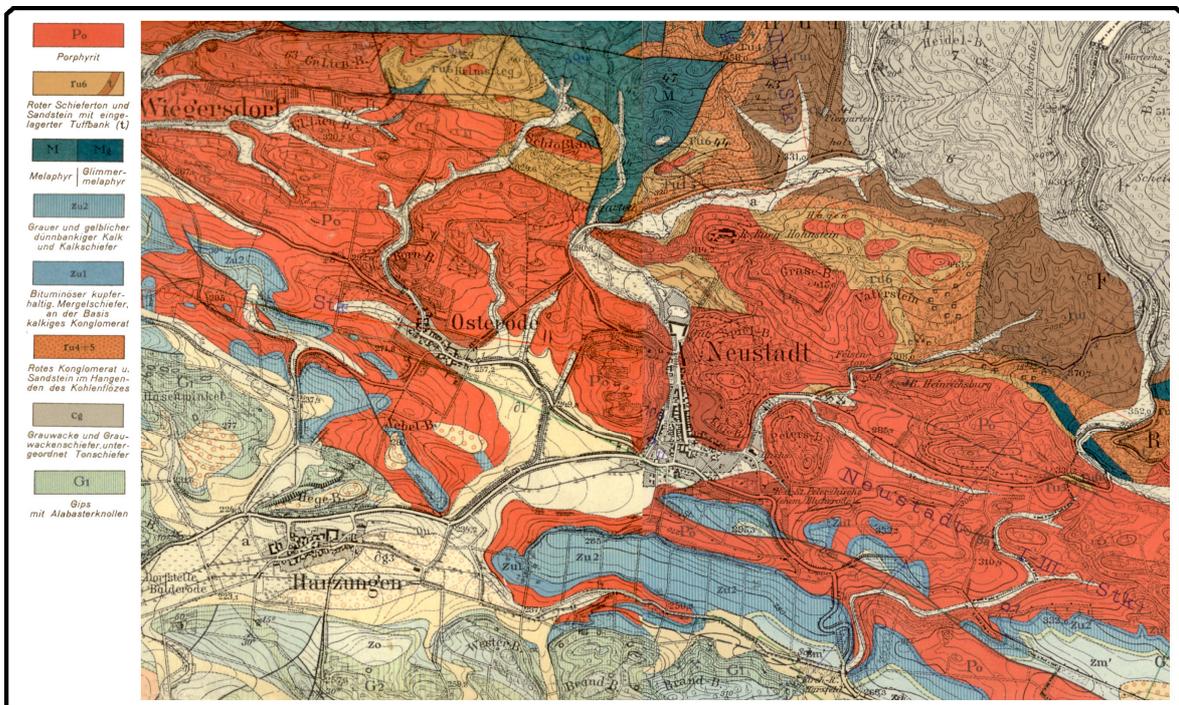


Abbildung 1 : Geologische Karte von Neustadt am Harz [3]

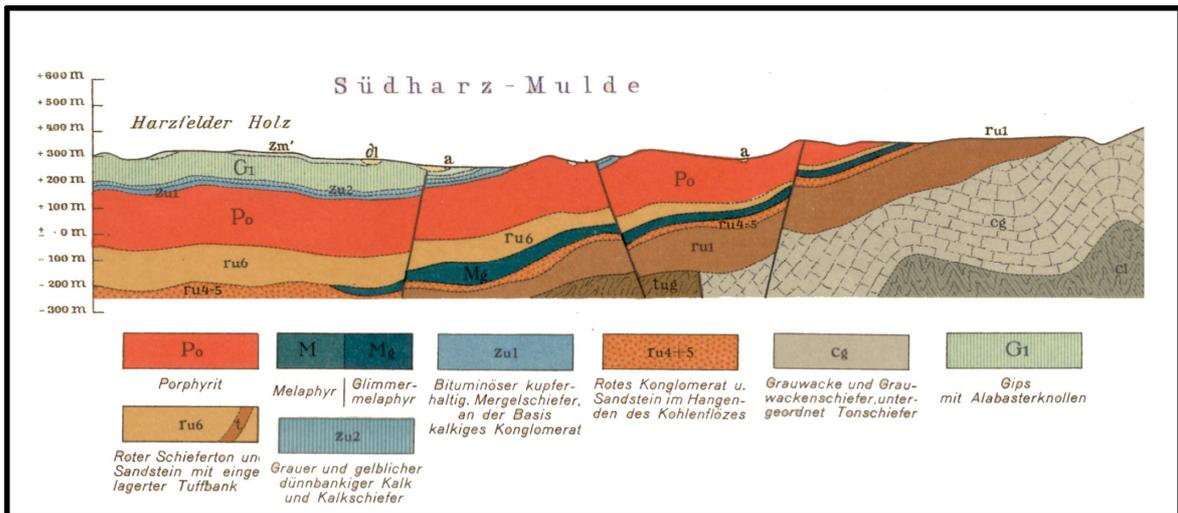


Abbildung 2 : Geologische Querschnitt der Südharzmulde [3]

## 2.2 Hydrologische Baugrundverhältnisse

Das Baugebiet liegt in der Talaue des Kappelbaches, der zum im Süden liegenden Ort hin entwässert. Wesentlichen Einfluss auf die hydrologischen Baugrundverhältnisse hat der zur Domäne gehörende Gutsteich. Dieser wurde künstlich angelegt und bestand ursprünglich aus einer Teichkaskade. Künstlich aufgeschüttete Erddämme stauen das Wasser unter Ausnutzung der natürlichen geographischen Gegebenheiten. Alle Erddämme bestehen aus dem während der Bauzeit angefallenen Teichaushub. Dicht unter Geländeoberkante des Erddammes (Anhang S.51) wurden vernässte Erdstoffe festgestellt. In allen weiteren Betrachtungen wird auf die festgestellten Wasserstände während der Rammsondierung Bezug genommen.

## 2.3 Parameterdefinition

Die Grundlage der Parameterdefinitionen bildet die Auswertung der Rammkernsondierung vom 08.03.2004 [2]. Das Steifemodul  $E_s$  und die Wasserdurchlässigkeit  $k$  wurden anhand der Tabellen aus dem Wissensspeicher [4] ermittelt. Alle gewählten Werte entsprechen den Parametern, die sich auf die Errichtung und die Lebensdauer des Bauwerks am ungünstigsten auswirken.

**Tabelle 1 : Parameterdefinition für die Bohrung Nr. RKS 1**

| Parameterdefinition für Bohrung Nr.:RKS 1 |                   | Grundwasser 2,65 m unter Gelände (Schichtwasser) |   |  |                    |                  |  |                |                |                             |                 |                |                 |          |                    |                 |
|---|-------------------|--|---|--|--------------------|------------------|--|----------------|----------------|-----------------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------|--------------------|-----------------|
| Tiefe                                     | Bodenbeschreibung |  | Wichte nicht bindige Böden  |  |                    |                  | Reibungs-<br>winkel                            |                | Kohäsion       |                             | Steife-         |                | Wasser-         |          |                    |                 |
|   | von<br>m          | bis<br>m   | Bodenart und<br>Beimengung  | übliche<br>Benennung                         | Gruppen-<br>symbol | Boden-<br>klasse | Lagerungs-<br>dichte (nicht-<br>bindige Böden) | erd-<br>feucht |                | wässer-<br>gesättigt        |                 | unter<br>Böden |                 | auftrieb | WSP                |                 |
|   |                   |  |   |  |                    |                  |  | über<br>Wasser | cal y<br>kN/m³ | cal y <sub>r</sub><br>kN/m³ | cal y'<br>kN/m³ | Wasser         | cal y'<br>kN/m³ |          |                    | cal c'<br>kN/m² |
|   |                   |  | DIN 4022  |  | DIN<br>18196       | DIN<br>18300     | Zustand-<br>form (bindige<br>Böden)            |                |                |                             |                 |                |                 |          |                    |                 |
|   | 0,00              | 0,40   | Fein- und Mittelkies,<br>grobsandig, schwach<br>mittelsandig, schwach<br>feinsandig                                     | Kies-Sand-                                   | GW                 | 3                | mitteldicht                                    | 19,0           | 21,0           | 11,0                        | 32,5            | -              | -               | 100,0    | 1*10 <sup>-4</sup> |                 |
|   | 0,40              | 1,50   | Schluff, sandig,<br>feinkiesig  | Gemisch<br>Schluff-<br>Sand-Kies-<br>Gemisch | UL                 | 4                | steif  | 20,0           | -              | 10,0                        | 27,5            | 0,0            | 0,0             | 10,0     | 1*10 <sup>-6</sup> |                 |
|   | 1,50              | 2,00   | Ton, stark grobsandig,<br>mittelsandig, schluffig   | Ton-Sand-<br>Schluff-<br>Gemisch             | TL                 | 4                | weich  | 20,0           | -              | 10,0                        | 27,5            | 0,0            | 0,0             | 5,0      | 1*10 <sup>-8</sup> |                 |
|   | 2,00              | 2,40   | Mittel- und Grobsand,<br>schluffig, schwach<br>mittelkiesig, schwach<br>feinkiesig, vereinzelt                          | Sand-<br>Schluff-Kies-                       | SU*                | 4                | mitteldicht                                    | 20,0           | 22,0           | 12,0                        | 32,5            | -              | -               | 50,0     | 1*10 <sup>-4</sup> |                 |
|   | 2,40              | 3,00   | Grobkiese und Steine<br>Feinkies, stark<br>grobkiesig, schwach<br>mittelkiesig, schwach<br>sandig, schwach<br>schluffig | Gemisch<br>Kies-Sand-<br>Schluff-<br>Gemisch | GU                 | 3                | dicht  | 19,0           | 21,0           | 11,0                        | 32,5            | -              | -               | 120,0    | 1*10 <sup>-3</sup> |                 |

Aus den Rammsondierungen vom 08.03.2004 wurden Homogenbereiche gebildet und Schichten mit gleichen Eigenschaften zusammengefasst.

Tabelle 2 : Parameterdefinition für die Bohrung Nr. RKS 2

| Teufe |      | Parameterdefinition für Bohrung Nr.:RKS 2 |   |  |                            |                  | Grundwasser 0,74 m unter Gelände (Schichtwasser) |                                  |  |                        |          |               |                |                                |                  |                                 |       |
|-------|------|---|---|--|----------------------------|------------------|--|----------------------------------|--|------------------------|----------|---------------|----------------|--------------------------------|------------------|---------------------------------|-------|
|       |      | Bodenbeschreibung                         |   |  | Wichte nicht bindige Böden |                  | Rei-   |                                  | Kohäsion                               |                        | Steife-  |               | Wasser-        |                                |                  |                                 |       |
| von   | bis  | Schicht-<br>dicke                         | Bodenart und<br>Beimengung  | übliche<br>Benennung                         | Gruppen-<br>symbol         | Boden-<br>klasse | Lagerungs-<br>dichte (nicht<br>bindige Böden)    | erd-<br>feucht<br>über<br>Wasser | wasser-<br>gesättigt<br>über<br>Wasser | unter<br>bindige Böden | auftrieb | bindige Böden | Rei-<br>winkel | Kohäsion<br>(bindige<br>Böden) | Steife-<br>modul | Wasser-<br>durchläs-<br>sigkeit |       |
| m     | m    |   |   |  |                            |                  |  |                                  |  |                        |          |               |                |                                |                  |                                 | cal Y |
|       |      |   | DIN 4022  |  | DIN                        | DIN              | Zustand-<br>form (bindige<br>Böden)              |                                  |  |                        |          |               |                |                                |                  |                                 |       |
|       |      |   |   |  | 18196                      | 18300            |  |                                  |  |                        |          |               |                |                                |                  |                                 |       |
| 0,00  | 0,40 | 0,40                                      | Fein- und Mittelkies,<br>grob sandig, schwach<br>mittelsandig, schwach<br>feinsandig            | Kies-Sand-                                   | GW                         | 3                | mitteldicht                                      | 19,0                             | 21,0                                   | 11,0                   |          |               | 32,5           | -                              | 100,0            | 1*10 <sup>-4</sup>              |       |
| 0,40  | 1,00 | 0,60                                      | Schluff, sandig,<br>feinkiesig  | Gemisch<br>Schluff-<br>Sand-Kies-<br>Gemisch | UL                         | 4                | steif  | 20,0                             | -                                      | 10,0                   |          |               | 27,5           | 0,0                            | 10,0             | 1*10 <sup>-6</sup>              |       |
| 1,00  | 1,50 | 0,50                                      | Fein- und Mittelkies,<br>schluffig, schwach<br>sandig   | Kies-Schluff-<br>Sand-<br>Gemisch            | GU                         | 3                | mitteldicht                                      | 20,0                             | 22,0                                   | 12,0                   |          |               | 32,5           | -                              | 80,0             | 1*10 <sup>-3</sup>              |       |
| 1,50  | 2,10 | 0,60                                      | Schluff ,tonig,<br>schwach feinsandig,<br>schwach mittelsandig                                  | Schluff -Ton<br>Sand-<br>Gemisch             | UM                         | 4                | weich  | 19,0                             | -                                      | 9,0                    |          |               | 22,5           | 0,0                            | 10,0             | 1*10 <sup>-6</sup>              |       |
| 2,10  | 3,00 | 0,90                                      | Feinkies, stark<br>grobkiesig, schwach<br>mittelkiesig, schwach<br>sandig, schwach<br>schluffig | Kies-Sand-<br>Schluff-<br>Gemisch            | GU                         | 3                | dicht  | 19,0                             | 21,0                                   | 11,0                   |          |               | 32,5           | -                              | 120,0            | 1*10 <sup>-3</sup>              |       |

Aus den Rammsondierungen vom 08.03.2004 wurden Homogenbereiche gebildet und Schichten mit gleichen Eigenschaften zusammengefasst.

Tabelle 3 : Parameterdefinition für die Bohrung Nr. RKS 1

| Teufe |      | Parameterdefinition für Bohrung Nr.:RKS 3 |  |                                   |                            |                  |   | Grundwasser 2,3 m unter Gelände (Schichtwasser) |                      |                 |          |               |                    |         |                |                         |                    |                                |
|-------|------|---|--|-----------------------------------|----------------------------|------------------|---|---|----------------------|-----------------|----------|---------------|--------------------|---------|----------------|-------------------------|--------------------|--------------------------------|
|       |      | Bodenbeschreibung                         |  |                                   | Wichte nicht bindige Böden |                  |   | Rei-  |                      |                 | Kohäsion |               | Steife-            | Wasser- |                |                         |                    |                                |
| von   | bis  | Schicht-<br>dicke                         | Bodenart und<br>Beimengung                                     | übliche<br>Benennung              | Gruppen-<br>symbol         | Boden-<br>klasse | Lagerungs-<br>dichte (nicht<br>bindige Böden) | erd-<br>feucht<br>über                          | wasser-<br>gesättigt | unter<br>Wasser | auftrieb | bindige Böden | (bindige<br>Böden) | cal c'  | cal c'<br>Grad | modul<br>WSP<br>(Prinz) | WSP                | Wasser-<br>durchläs-<br>igkeit |
| m     | m    |   |  |                                   |                            |                  |   |   |                      |                 |          |               |                    |         |                |                         |                    |                                |
| 0,00  | 0,40 | 0,40                                      | DIN 4022   |                                   | DIN<br>18196               | DIN<br>18300     |   |   |                      |                 |          |               |                    |         |                |                         |                    |                                |
|       |      |   | Fein- und Mittelkies,<br>schluffig, schwach<br>sandig          | Kies-Schluff-<br>Sand-<br>Gemisch | GU                         | 3                | mitteldicht                                   | 20,0  | 22,0                 | 12,0            |          |               |                    |         |                | 80,0                    | 1*10 <sup>-3</sup> |                                |
| 0,40  | 1,90 | 1,50                                      | Schluff ,tonig,<br>schwach feinsandig,<br>schwach mittelsandig | Schluff -Ton<br>Sand-<br>Gemisch  | UM                         | 4                | steif   | 19,0  | -                    | 9,0             |          |               |                    |         |                | 10,0                    | 1*10 <sup>-6</sup> |                                |
| 1,90  | 2,90 | 1,00                                      | Ton, stark grobsandig,<br>mittelsandig, schluffig              | Ton-Sand-<br>Schluff-<br>Gemisch  | TL                         | 4                | weich   | 20,0  | -                    | 10,0            |          |               |                    |         |                | 5,0                     | 1*10 <sup>-8</sup> |                                |

Aus den Rammsondierungen vom 05.09.2003 wurden Homogenbereiche gebildet und Schichten mit gleichen Eigenschaften zusammengefasst.

## 2.4 Geometrisches und geologisches Bodenmodell

Aufgrund der beiden unterschiedlichen Rammsondierungen vom 08.03.2004 wurde es notwendig, verschiedene Bodenschichtverläufe zwischen den beiden Aufschlüssen (Anhang S. 46-48) zu untersuchen. Die Grenzen zwischen den einzelnen Bodenschichten wurden als geometrisch linear angenommen.

Die obere Schicht aus einem weitgestuften Kies–Sand-Gemisch (GW), sowie die darunter liegende Schicht aus leicht plastischen Schluff (UL) und die letzte Schicht bestehend aus einem Kies–Schluff–Gemisch, konnten als durchgehend angenommen werden. Alle unbekannt Schichtverläufe wurden als linear auslaufend angesetzt. Dadurch entstand ein variabler Bereich zwischen den beiden Rammkernsondierungen, der mit den unterschiedlichen angrenzenden Böden gefüllt wurde (Abbildung 3). Somit entstanden vier unterschiedliche geometrische Bodenschichtverläufe (Anhang S.49, 50), die im nächsten Schritt im Hinblick auf ihre geologische Plausibilität untersucht werden.

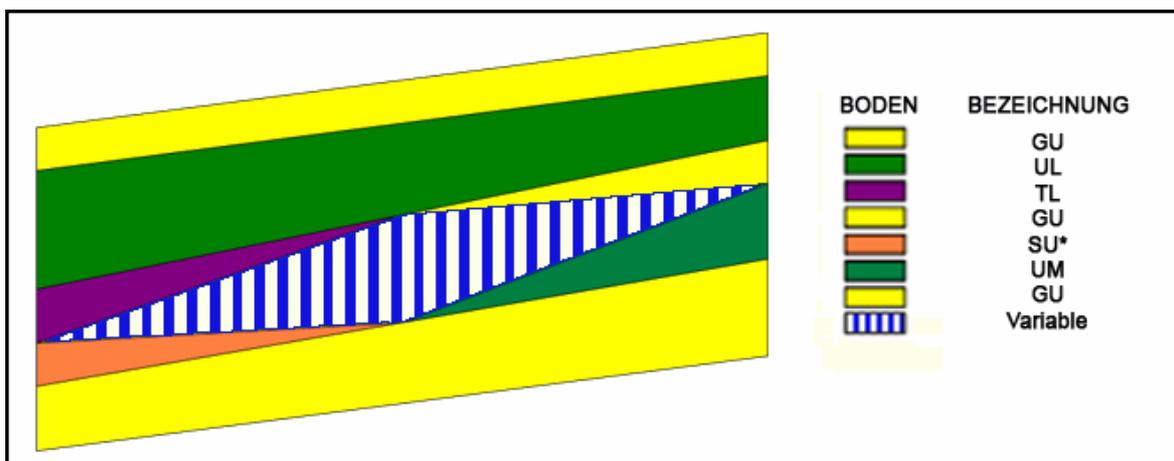


Abbildung 3 : Geometrisches Bodenmodell (nicht maßstäblich)

### Variante 1 UM (Anhang S.49)

In einer ersten Variante wird davon ausgegangen, dass sich zwischen den bekannten Aufschlüssen eine Linse aus mittelplastischem Schluff (UM) gebildet hat. Alle anderen unbekannt Bodenschichtverläufe verjüngen sich linear zur Mitte des Aufschlusses hin. Dieser Schichtverlauf könnte durch unterschiedliche Wassergeschwindigkeiten des Oberflächenwassers zum Zeitpunkt der Schichtablagerung entstanden sein.

### Variante 2 SU\* (Anhang S.49)

Bei dieser Variante wird davon ausgegangen, dass die Linse zwischen den Aufschlüssen aus einem Sand–Schluff–Gemisch (SU\*) besteht. Die Feinbestandteile sind dabei als

schluffig anzusehen. Alle anderen unbekanntem Bodenschichtverläufe verjüngen sich linear zur Mitte des Aufschlusses hin. Es wäre denkbar, dass die Feinbestandteile der oberen Schichten, in die ehemals auch aus einem Kies–Schluff-Gemisch (GU) bestehende Schicht, eingespült worden sind. Somit kommt es in der Linse zu einer höheren Konzentration im Bereich des Sandkornes.

### **Variante 3 TL** (Anhang S.50)

In dieser Variante wird die Linse zwischen den Aufschlüssen aus leicht plastischen Ton (TL) gebildet. Alle anderen unbekanntem Bodenschichtverläufe verjüngen sich linear zur Mitte des Aufschlusses hin. Dieser Schichtverlauf könnte auch durch unterschiedliche Wassergeschwindigkeiten des Oberflächenwassers entstanden sein.

### **Variante 4 GU** (Anhang S.50)

In der letzten Variante wird davon ausgegangen, dass sich zwischen den bekannten Aufschlüssen eine Linse aus einem Kies – Schluff – Gemisch (GU) gebildet hat. Alle anderen unbekanntem Bodenschichtverläufe verjüngen sich linear zur Mitte des Aufschlusses hin. Durch Ausspülung der Feinbestandteile in der zentralen Kies–Schluff–Schicht (GU) wurde der Schluff– und Sandkornanteil in den darunter liegenden Schichten (SU\*, UM) erhöht.

### **Geometrische und geologische Vorzugsvariante**

Aufgrund der geologischen Gegebenheiten und der heutigen Grundwasserstände ist der Bodenschichtverlauf 4 (Variante 4 GU) als maßgebend anzusehen. Diese Variante vereinigt am besten die örtlichen Gegebenheiten. Weiterhin ist die mögliche Entstehung als geologisch sinnvoll anzusehen.

## **2.5 Strömungsberechnungen**

Auf Grundlage der erstellten möglichen Bodenprofilverläufe wurden mittels GGU – SS 2D die Sickerlinie der einzelnen Varianten ermittelt. Dieses Programm GGU-SS 2D bietet die Möglichkeit stationären Grundwasserströmungen in zweidimensionalen Grundwassersystemen (horizontal-eben , vertikal-eben , rotationssymmetrisch) nach der Finiten-Element-Methode zu berechnen. Die Höhe der Grundwasserpotentiale ergab sich aus den Ergebnissen der Rammsondierungen vom 08.03.2004. Die spezifischen Wasserdurchlässigkeiten wurden anhand des Wissensspeichers Geotechnik [4] festgelegt. Zuerst wurden alle Bodenprofilverläufe in GGU – GW2D modelliert und ihnen die spezifischen Eigenschaften zugewiesen. Anhand der gemessenen Grundwasserstände wurden an den Rändern die

beiden Grundwasserpotentiale als Randbedingungen definiert. Beide Randpotentiale wurden zunächst als konstant vom gemessenen Grundwasserstand bis zur Profilsohle angenommen. Um die Ergebnisse der Berechnungen graphisch deutlicher hervorzuheben wurden die Bodenprofilverläufe in vertikaler Richtung um den Faktor 5 überhöht.

In den Ergebnissen der zweiten (SU\* Anhang S.53) und vierten (GU Anhang S.55) Variante wird der typische Verlauf einer Sickerlinie deutlich. Dies liegt daran, dass der Verlauf des Wassers von keinen großen Änderungen der Durchlässigkeiten beeinflusst wird. Eine hohe Wasserdurchlässigkeit der wasserführenden Schichten bewirkt einen raschen Potentialabbau des Grundwassers. Die niedrige Durchlässigkeit der Tonschicht hat keinen Einfluss auf die Sickerlinie, da diese durch den raschen Potentialabbau nicht vom Grundwasser durchflossen wird. Der schnellere Potentialabbau in der vierten Variante (GU) ist mit einer 10mal höheren Durchlässigkeit gegenüber der zweiten Variante (SU\*) zu erklären.

Durch eine niedrige Durchlässigkeit der wasserführenden Schichten wird das Anfangspotential der ersten Variante zu Beginn langsam abgebaut. Mit Erreichen der Tonschicht kommt es aufgrund der sehr niedrigen Wasserdurchlässigkeit und der zunehmenden Mächtigkeit zu einem Sprung in horizontaler Richtung. Danach wird das anstehende Potential durch eine höhere Wasserdurchlässigkeit der wasserführenden mittelplastischen Schluffschicht und der geringer werdenden Mächtigkeit schneller abgebaut.

Aufgrund der sehr niedrigen Wasserdurchlässigkeit und der großen Schichtdicke des leicht plastischen Tones (TL Anhang S.54) in der dritten Variante wird anfangs kein Potential abgebaut. Erst nachdem die Mächtigkeit der Tonschicht abnimmt, kommt es zu einem Abbau des Grundwasserpotentials. Der fast vertikale Sprung des Grundwassers ist bedingt durch die Randbedingungen, die als Zwangspunkte maßgeblich die Sickerlinienberechnung beeinflussen. Mit Erreichen der wasserdurchlässigen Bodenschichten wird das Potential annähernd linear abgebaut. Aus den berechneten Varianten wird die dritte Variante (TL), aufgrund der höchsten zu erwarteten Grundwasserverläufe, für die weiteren Berechnungen als maßgebend angesehen. Dadurch wird der angestrebte kritischste Zustand für das Bauwerk berücksichtigt.

Um eine Beeinflussung der Berechnungsergebnisse durch die Schiefstellung der Bodenlängsschnittssohle auszuschließen, wurde eine weitere Berechnung mit einer waagerechten Bodenlängsschnittssohle (Anhang S.56) durchgeführt. Aus den hieraus folgenden Ergebnissen ist keine Beeinflussung der Grundwasserstände ersichtlich. Weiterhin wurde

für die maßgebende dritte Variante eine Berechnung mit getrennten Grundwasserpotentialen durchgeführt. Dabei wurde wiederum zwischen einer schiefen und einer waagerechten Bodentängsschnittssole unterschieden (Anhang S.57, 58). Auch hierbei wurden keine bedeutenden Einflüsse auf die Sickerlinie festgestellt. Auffällig ist nur, dass die beiden getrennten Potentiale sich im Verlauf der Sickerlinie nicht beeinflussen.

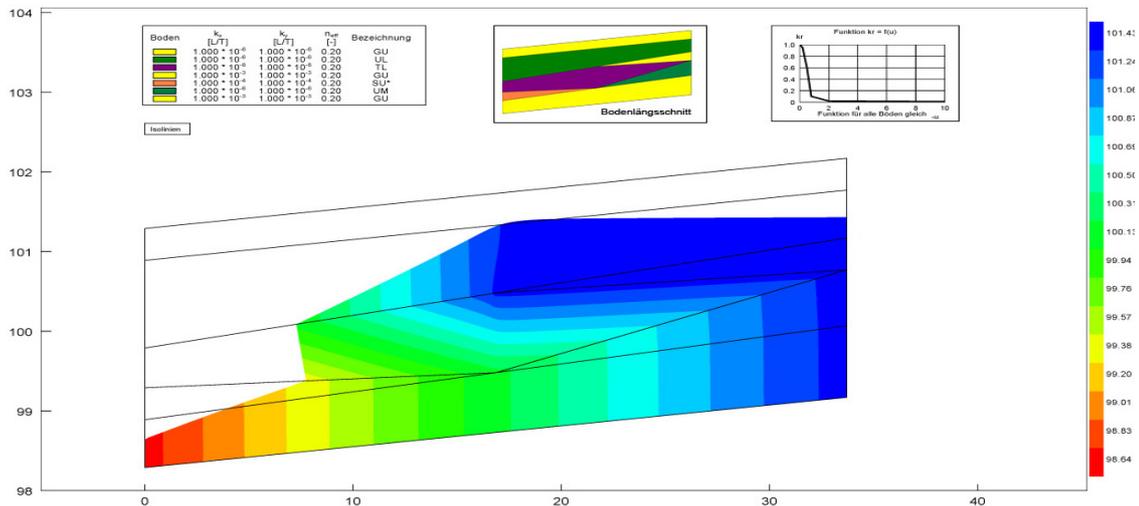


Abbildung 4 : Berechnung der extremalen Wasserstände der Variante 3 (TL)

## 2.6 Entwicklung des repräsentativen Längsschnittes

Die Grundlage des repräsentativen Längsschnittes bilden die vorhandenen Bohrprofile. Bodenschichten mit gleichen Eigenschaften wurden in einem ersten Entwurf linear miteinander verbunden. Für den Bereich zwischen dem ersten und zweiten Aufschlusspunkt (Rammkernsondierung RKS 1, RKS 2) wurde, der aus den vorangegangenen Strömungsberechnungen hervorgegangene, maßgebende Schichtverlauf angesetzt (Variante 3 TL). Der Bodenschichtverlauf bis zum Dammfußpunkt wurde mit der Schichtfolge des zweiten Aufschlusses gleichgesetzt. Alle Schichten verlaufen in diesem Abschnitt parallel zur Geländeoberkante. Aus dem dritten Aufschluss konnte der Aufbau des Dammes direkt in den Längsschnitt übernommen werden. Da dieser Aufschluss den Schichtverlauf nur bis in eine Tiefe von 3 m unter Geländeoberkante aufzeigt, ist für den tiefer liegenden Schichtverlauf der Aufschluss RKS 2 angesetzt worden. Dies spiegelt die Tatsache wieder, dass der Dammquerschnitt aus dem Aushub des Teiches hergestellt wurde, und somit nicht dem Verlauf der hier vorliegenden Geologie entspricht. Alle tiefer liegenden Bodenschichten folgen somit dem Schichtverlauf des zweiten Aufschlusses. Für den so ermittelten repräsentativen Längsschnitt wurde eine Strömungsberechnung mit GGU durchgeführt. Dabei wurden alle bekannten Grundwasserpotentiale in die Rechnung einbezogen. Der errechnete Grundwasserverlauf (Anhang S.59) wird für alle folgenden erdstatischen Berechnungen zu Grunde gelegt.

### 3. Variantenuntersuchung der Gründung

Zunächst kann der Ersatzneubau in zwei Gebäude unterteilt werden. Das Haus I, bestehend aus dem unterkellerten Teil des Gebäudes und dem ebenfalls unterkellerten Verbindler. Der nicht unterkellerte Teil des Ersatzneubaus bildet das Haus II (Abbildung 5). Beide Häuser werden konstruktiv durch eine Gebäudefuge getrennt.

Aufgrund der unterschiedlichen anstehenden Bodenprofile wird für beide Teilgebäude eine unterschiedliche Gründung notwendig. Beide Gründungsarten müssen im Hinblick auf ihre Setzungen hohen Ansprüchen genügen. Besondere Beachtung liegt hierbei auf dem Übergang vom unterkellerten Teil zum nicht unterkellerten Teil.

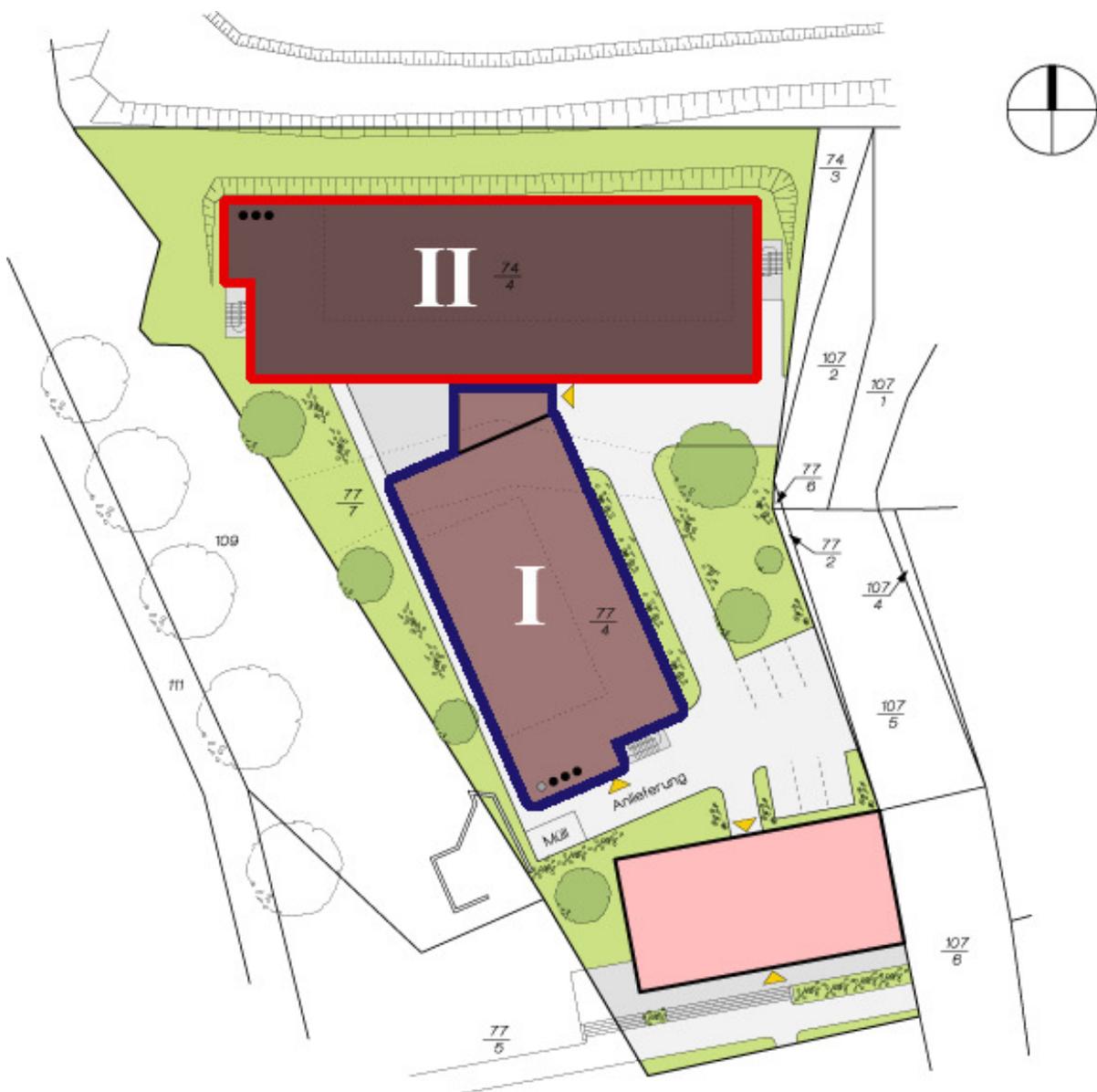


Abbildung 5 : Lageplan, AIB Jentsch & Partner, Sondershausen, 2007 (ohne Maßstab)

### 3.1 Haus I

Die Gründungssohle des Kellers liegt bereits in der letzten Bodenschicht, welche am 08.03.2004 durch eine Rammsondierung bestimmt worden ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich zwischen der letzten bekannten Bodenschicht und dem Grundgebirge keine weitere Bodenschicht befindet. Der Baugrund kann in einer ersten Vorabschätzung mit Hilfe des Wissensspeichers [4] als sehr gut geeignet eingestuft werden. Eine Gründung kann somit durch eine Platten- oder Streifenfundamentgründung erfolgen. Im Folgenden werden zwei mögliche Gründungsvarianten genauer untersucht.

#### Variante I Plattengründung

Aufgrund der sehr guten Eignung des anstehenden Bodens in der Gründungssohle, kann die Gründung des Gebäudes durch eine Plattengründung erfolgen. Da die minimale Einbindetiefe des Gebäudes mehr als 2,00 m unter Geländeoberkante liegt, ist die Forderung nach einer frostfreien Gründung erfüllt. Eine Plattengründung (Anhang S.63) stellt meist die wirtschaftlich günstigste Variante dar. Nach dem Aushub der Baugrube kann direkt auf der Baugrubensohle die Gründung hergestellt werden. Auf die Anordnung von Verstärkungen in der Gründungsplatte wird verzichtet, jedoch zieht dies eine größere Plattendicke nach sich.

Entwurfsparameter: Plattengründung

Plattendicke  $d = 0,50 \text{ m}$

Einbindetiefe  $t > 2,00 \text{ m}$

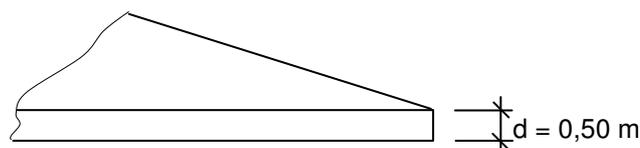


Abbildung 6 : Skizze der Plattengründung

#### Variante II durch Balken verstärkte Plattengründung

In dieser Variante wurde die Gründungsplatte mit Streifenfundamenten (Anhang S.64) ergänzt. Diese befinden sich unter den tragenden Wänden und sind mit der Platte monolithisch verbunden. Die Streifenfundamente begünstigen den Lastfluss der Gebäudelasten

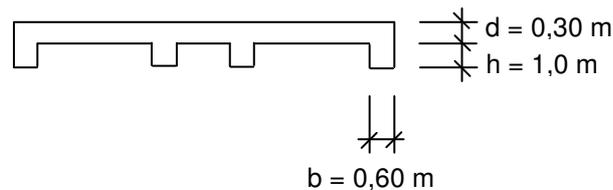
in den Baugrund. Außerdem kann die Dicke der Gründungsplatte verringert werden. Die Frostsicherheit ist aufgrund der großen Einbindetiefe gewährleistet.

Entwurfsparameter: mit Balken verstärkte Plattendründung

Plattendicke  $d = 30 \text{ cm}$

Streifenfundament  $h/b = 60/100 \text{ cm}$

Einbindetiefe  $t > 2,00 \text{ m}$



**Abbildung 7 : Skizze der mit Balken verstärkten  
Plattendründung**

### **3.2 Haus II**

Die Gründungssohle des nicht unterkellerten Gebäudeteils liegt unmittelbar unter Geländeoberkante. Die erste anstehende Bodenschicht kann als sehr gut geeignet für eine Gründung angesehen werden. Jedoch würden sich die folgenden Bodenschichten, durch ihren zu geringen Steifemodul, sehr negativ auf die angestrebten Setzungen auswirken. Deshalb muss eine Tiefengründung in Form von Bohrpfählen vorgesehen werden. Ab einer Tiefe von 2 Metern unter Geländeoberkante steht Kies an. In dieser Schicht tragen die Bohrpfähle die zu erwartenden Gebäudelasten in Form einer schwebenden Bohrpfahlgründung ab.

#### **Variante I Bohrpfahlgründung mit Frostschräge**

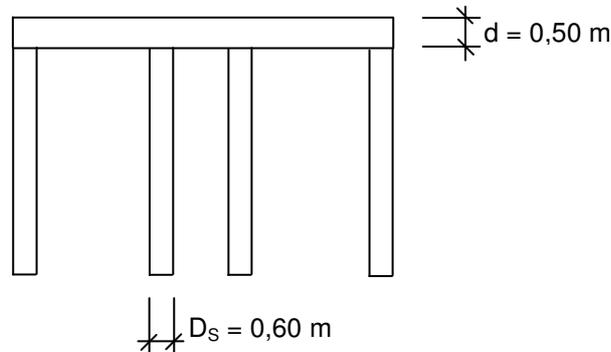
Die zwischen der obersten und der letzten erkundeten Bodenschicht liegenden Schichten sind nur gering tragfähig. Deshalb wird es notwendig das Gebäude mit Bohrpfählen zu gründen (Anhang S.67). Um einen direkten Lastfluss zu gewährleisten wurden alle Pfähle unter den tragenden Wänden angeordnet. Die Gründungssohle, der auf den Bohrpfählen lagernden Stahlbetonplatte, befindet sich in geringer Tiefe. Dadurch wird es notwendig die Gründung gegen Bodenfrost zu sichern. Dies wird durch eine Kiesfrostschräge realisiert.

Entwurfsparameter: Bohrfahlgründung mit Frostschutzschürze

Plattendicke  $d = 50 \text{ cm}$

Frostschutzschürze  $h/b = 100/60 \text{ cm}$

Bohrpfähle  $D_s = 60 \text{ cm}$



**Abbildung 8 : Bohrfahlgründung mit Frostschutzschürze aus Kies**

### Variante II Bohrfahlgründung mit Kopfbalken

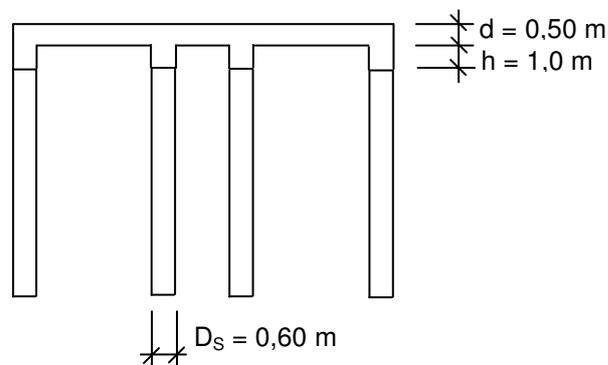
In dieser Variante wurde die geplante Bohrfahlgründung mit einem Kopfbalken (Anhang S.66) ergänzt. Der Kopfbalken bewirkt eine bessere Lasteintragung der Vertikallasten in die Bohrfähle. Die Dicke der Bodenplatte kann verringert werden. Gleichzeitig sichert der Kopfbalken die Gründung gegen Bodenfrostd.

Entwurfsparameter: Bohrfahlgründung mit Kopfbalken

Plattendicke  $d = 25 \text{ cm}$

Kopfbalken  $h/b = 100/60 \text{ cm}$

Bohrpfähle  $D_s = 60 \text{ cm}$



**Abbildung 9 : Bohrfahlgründung mit Kopfbalken**

### **3.3 Vergleichskriterien**

Als Vergleichskriterien dienen die Lastabtragung, die Frostsicherheit, der Feuchtigkeitsschutz, die Montagezeit und der Materialbedarf. Eine gute Lastabtragung, sowie eine hohe Frostsicherheit werden positiv bewertet. Materialverbrauch und Montagezeit sollten möglichst gering gehalten werden.

#### **Lastabtragung**

Bei allen Gründungsentwürfen wurde eine möglichst direkte Lastabtragung angestrebt. Die Gründung unter den tragenden Wänden wurde in einigen Varianten durch Kopfbalken oder Streifenfundamente verstärkt. Dies wird im Variantenvergleich besonders berücksichtigt. Bei einer Gründung mittels Bohrpfählen ist die Anordnung eines Kopfbalkens zwischen Pfahl und Fundamentplatte wichtig (Haus I Variante II). Die punktförmig eingeleiteten Vertikallasten haben auf die Bodenplatte eine durchstanzende Wirkung. Diese würde eine größere Plattendicke oder eine zusätzliche Durchstanzbewehrung zur Folge haben.

#### **Frostsicherheit**

Die Temperatur der obersten Bodenschicht wird maßgeblich durch die Lufttemperatur beeinflusst. Sinkt die Außentemperatur unter 0°C dringt Frost in den Boden ein. Die Eindringtiefe steigt mit der zeitlichen Dauer der Frosteinwirkung. Außerdem steigt die Eindringtiefe, je niedriger die Temperaturen sind und je größer die Wärmeleitfähigkeit des Bodens ist. Wenn gleichzeitig Wasser im Boden ist, gefriert es und vergrößert dabei sein Volumen [6]. Deshalb wird es notwendig die Gründungen gegen eindringenden Bodenfrost zu sichern. Mit Hilfe der DIN 18196 wurde die Frosteinwirkungszone bestimmt (Frosteinwirkungszone II, Schneider 12.54). Ab 1,0 m unter Geländeoberkante kann eine frostfreie Gründung als gewährleistet angesehen werden.

Für die unterschiedlichen Gründungen der einzelnen Teilgebäude erfolgt auch eine unterschiedliche Sicherung gegen eindringenden Bodenfrost. Die Plattengründung des Hauses I braucht aufgrund einer Einbindetiefe von mehr als 2,0 m nicht gegen Bodenfrost zusätzlich gesichert werden. Aufgrund der geringen Einbindetiefe des zweiten Gebäudes muss die Gründung zusätzlich gegen eindringenden Frost gesichert werden. Während in der Variante II der angeordnete Kopfbalken die frostfreie Gründung gewährleistet, muss in der Variante I dies durch eine Frostschutzschürze realisiert werden.

## Feuchtigkeitsschutz

Infolge der Belastungsintensität ist zwischen Bauwerken, die ganz oder teilweise in das Grundwasser eintauchen und Bauwerken, die oberhalb des Bemessungswasserstandes errichtet werden zu unterscheiden. Daraus ergeben sich zwei grundsätzliche Abdichtungsarten. Zum einen gegen drückendes Wasser und gegen zeitweise aufstauendes Wasser. Abdichtungen gegen drückendes Wasser sind hauptsächlich gegen Grundwasser und Schichtwasser. Dabei wird die Gründungstiefe, die Eintauchtiefe oder die Bodenart nicht berücksichtigt. Die zulässige Gründungstiefe beträgt dabei 3,00 m unter Geländeoberkante. Weiterhin bezieht sich diese Abdichtungsart auf wenig durchlässige Böden ( $k < 10^{-4}$  m/s) ohne Dränung.

Aufgrund der unterschiedlichen Gründungstiefen und den damit verbundenen Bemessungswasserständen liegen unterschiedliche Anforderungen an die Abdichtung vor. Der Keller und die Gründung des Haus I befinden sich im Bereich von drückendem Grundwasser. Die Abdichtung erfolgt somit durch die Ausbildung einer weißen Wanne. Zusätzlich wird ein Schutzanstrich auf der wasserseitigen Seite der Kelleraußenwand angebracht. Dadurch wird der wasserundurchlässige Beton vor dem Angriff aggressiver Grundwässer geschützt (Anhang S.69). Die Gründungsplatte des Haus II liegt oberhalb des errechneten Grundwasserstandes. Somit ist eine Abdichtung gegen zeitweise aufstauendes Wasser erforderlich. Die Ausbildung einer kapillarbrechenden Sauberkeitschicht und einer horizontalen Abdichtung schützen das Gebäude gegen aufsteigendes und zeitweise aufstauendes Grundwasser (Anhang S.70).

Der hohe Grundwasserstand macht die Ausbildung einer Dränage nicht möglich. Dies liegt darin begründet, dass die Dränage im Bereich von drückendem Grundwasser liegen würde.

Auf der Grundlage der DIN 18195 wird eine Abdichtungsempfehlung gegeben. Das Haus I steht im Bereich von drückendem Wasser und taucht 4 m in das Grundwasser ein. Eine Abdichtung mit nackten Bitumenbahnen ist mit mindestens 3 Lagen auszubilden und im Bürsten- oder Gießverfahren herzustellen. Die nötige Abdichtung gegen aufsteigende Bodenfeuchte im Haus II wird ebenfalls mit nackten Bitumenbahnen hergestellt. Sie muss mindestens 1 Lage stark sein und im Bürsten- oder Gießverfahren aufgebracht werden.

## Materialbedarf

Anhand der vorliegenden Entwurfszeichnungen wurden die Massen, für die Gründung des Stahlbetonfundaments ermittelt.

|  | Haus I     |             | Haus II    |             |
|--|------------|-------------|------------|-------------|
|  | Variante I | Variante II | Variante I | Variante II |
| Plattendicke [m]                           | 0,50       | 0,30        | 0,50       | 0,25        |
| Grundfläche [m <sup>2</sup> ]              | 639,61     | 649,24      | 797,33     | 797,33      |
| Plattenvolumen [m <sup>3</sup> ]           | 319,81     | 194,77      | 398,67     | 199,33      |
| Streifenfundamentvolumen [m <sup>3</sup> ] | -          | 111,383     | -          | 119,04      |
| Gesamtvolumen [m <sup>3</sup> ]            | 319,81     | 306,16      | 398,67     | 318,37      |

**Tabelle 4 : Massenermittlung der Gründungsvarianten**

## Montagezeit

Die Montagezeit hängt stark von den konstruktiven Besonderheiten der einzelnen Varianten ab. Während die Platten direkt auf die Gründungssohle betoniert werden können, wird es bei einer Gründungsverstärkung mittels Kopfbalken oder Streifenfundament nötig zusätzliche Baugruben auszuheben. Auch das Einbringen einer nachträglichen Frostschutzschürze erfordert das Ausheben weiterer Baugruben.

### 3.4 Bewertung

Bewertet werden die Vergleichskriterien durch ein Punktesystem von 1 bis 6. Die 6 stellt dabei das bestmöglich Bewertungsergebnis dar und die 1 das Schlechteste. Aufgrund der großen Bedeutung von: Lastabtragung, Frostsicherheit und Feuchtigkeitsschutz wird die Wertung dieser Kriterien mit dem Faktor Zwei multipliziert. Nach der Vergabe der einzelnen Punkte werden diese aufsummiert. Diejenige Variante mit den meisten Punkten wird Vorzugsvariante.

| Haus I               | Variante I                |                   |           | Variante II   |                   |           |
|----------------------|---------------------------|-------------------|-----------|---|-------------------|-----------|
|                      | Beschreibung              | Bewertungs-faktor | Punkte    | Beschreibung  | Bewertungs-faktor | Punkte    |
| Lastabtragung        | Plattengründung           | 2                 | 4         | Plattengründung mit Verstärkung durch ein Streifenfundament | 2                 | 5         |
| Feuchtigkeits-schutz | gegen drückendes Wasser   | 2                 | 3         | gegen drückendes Wasser                                     | 2                 | 3         |
| Frostsicherheit      | Einbindetief>2,00m        | 2                 | 6         | Einbindetief>2,00m  | 2                 | 6         |
| Materialverbrauch    | 319,81                    | 1                 | 5         | 306,16  | 1                 | 4         |
| Montagezeit          | direkt auf Baugrubensohle | 1                 | 6         | weitere Gräben für Streifenfundamente nötig                 | 1                 | 3         |
| Summe                | <b>Vorzugsvariante</b>    |                   | <b>37</b> |   |                   | <b>35</b> |

**Tabelle 5 : Variantenvergleich Haus I**

| Haus II                  | Variante I  |                       |        | Variante II  |                       |        |
|--------------------------|---|-----------------------|--------|--|-----------------------|--------|
|                          | Beschreibung  | Bewertungs-<br>faktor | Punkte | Beschreibung   | Bewertungs-<br>faktor | Punkte |
| Lastabtragung            | Bohrpfahl-<br>Plattengründung                             | 2                     | 3      | Bohrpfahl-<br>Plattengründung mit<br>Verstärkung durch<br>Kopfbalken | 2                     | 5      |
| Feuchtigkeits-<br>schutz | Frostschutzschürze<br>wirkt dränierend auf<br>Grundwasser | 2                     | 3      | gegen zeitweise<br>aufstauendes Wasser                               | 2                     | 4      |
| Frostsicherheit          | Anbringe einer<br>Frostschutzschürze                      | 2                     | 5      | Kopfbalken kann als<br>Frostschutzschürze<br>angesetzt werden        | 2                     | 5      |
| Materialverbrauch        | 398,67  | 1                     | 4      | 318,37   | 1                     | 5      |
| Montagezeit              | direkt auf<br>Baugrubensohle                              | 1                     | 6      | weitere Gräben für<br>Streifenfundamente<br>nötig                    | 1                     | 4      |
| Summe                    |   |                       | 32     | Vorzugsvariante  |                       | 37     |

**Tabelle 6 : Variantenvergleich Haus II**

## 4. Erdstatische Berechnungen

### 4.1 Lastzusammenstellung

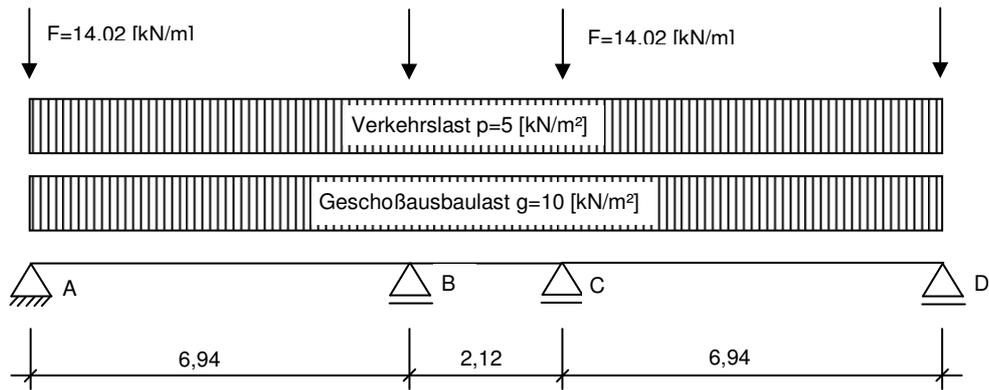
#### Geschossausbaulast und Verkehrslast

Die Verkehrslast ist mit 5 kN/m<sup>2</sup> anzusetzen [5]. Da für den geplanten Neubau noch keine Lastzusammenstellungen getroffen wurden, wird von einer Geschossausbaulast von 10 kN/m<sup>2</sup> ausgegangen. Das Gewicht der Wände wird als Linienlast eingetragen. Alle Schnittgrößen werden anhand eines Durchlaufträgers geschossweise ermittelt und beziehen sich auf den laufenden Meter.

#### Wandlasten

$$p = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad (\text{Schneider 3.5, Steinrohddichte } 2,0 \text{ [g/cm}^3]) \quad b = 0,24\text{m} \quad h = 2,92\text{m}$$

$$F = b \cdot h \cdot p = 0,24\text{m} \cdot 2,92\text{m} \cdot 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 14,02 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$



**Abbildung 10 : Systemskizze des Durchlaufträgers, nicht maßstäblich**

Aufgrund der Symmetrie des Tragwerks sind die Auflagerkräfte der Auflager A und D, sowie B und C gleich (Anhang S.60-62).

Daraus ergeben sich folgende Schnittgrößen pro Geschoß

|       | A     | B     | C     | D     |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| $G_n$ | 42,60 | 65,44 | 65,44 | 42,60 |
| $Q_n$ | 14,59 | 25,71 | 14,59 | 25,71 |

**Tabelle 7 : Schnittgrößen pro Geschoß**

Aufgrund der unterschiedlichen Anzahl der Stockwerke werden die errechneten Schnittgrößen mit der jeweiligen Anzahl der Geschosse multipliziert. Die Lasten des Flachdaches werden jeweils mit einer halben Geschosslast angesetzt.

Haus I → 4 Vollgeschoße + Dach

| Haus I    | A      | B      | C      | D      |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| $G_k$     | 191,70 | 294,48 | 294,48 | 191,70 |
| $Q_k$     | 65,66  | 115,70 | 115,70 | 65,66  |
| $G_k+Q_k$ | 257,36 | 410,18 | 410,18 | 257,36 |

**Tabelle 8 : Summe der charakteristischen Vertikallasten Haus I**

Haus II → 3 Vollgeschoße + Dach

| Haus II   | A      | B      | C      | D      |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| $G_k$     | 149,10 | 229,04 | 229,04 | 149,10 |
| $Q_k$     | 51,07  | 89,99  | 89,99  | 51,07  |
| $G_k+Q_k$ | 200,17 | 319,03 | 319,03 | 200,17 |

**Tabelle 9 : Summe der charakteristischen Vertikallasten Haus II**

## Schneelast

Das Gebäude befindet sich in der Schneelastzone III auf ca. 260 - 300 über NN. Die Dachneigung des Flachdaches beträgt  $\alpha=18^\circ$

Daraus ergeben sich:

$$k_s = 1,0$$

$$S_0 = 0,75 \frac{kN}{m^2}$$

$$\bar{S} = k_s \cdot S_0 = 1,0 \cdot 0,75 \frac{kN}{m^2} = 0,75 \frac{kN}{m^2}$$

$$S_k = \bar{S} = 0,75 \frac{kN}{m^2}$$

Die Schneelast wird wie eine Verkehrslast betrachtet. Deshalb werden die Kombinationsbeiwerte nicht mit in die Rechnung einbezogen. Die errechneten Schnittgrößen sind somit größer als die Tatsächlichen.

|          | A    | B    | C    | D    |
|----------|------|------|------|------|
| $S_{nk}$ | 2,14 | 3,86 | 3,86 | 2,14 |
| $S_{nd}$ | 3,21 | 5,79 | 5,79 | 3,90 |

**Tabelle 10 : Vertikallasten aus Schnee**

## Summe der charakteristischen Einwirkungen

| Haus I    | A      | B      | C      | D      |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| $G_k+Q_k$ | 257,36 | 410,18 | 410,18 | 257,36 |
| $S_{nk}$  | 2,14   | 3,86   | 3,86   | 2,14   |
| Summe     | 259,50 | 414,04 | 414,04 | 259,50 |

**Tabelle 11 : Summe der charakteristischen Einwirkungen Haus I**

| Haus II   | A      | B      | C      | D      |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| $G_k+Q_k$ | 200,17 | 319,03 | 319,03 | 229,04 |
| $S_{nk}$  | 2,14   | 3,86   | 3,86   | 2,14   |
| Summe     | 202,31 | 322,89 | 322,89 | 231,18 |

**Tabelle 12 : Summe der charakteristischen Einwirkungen Haus II**

Für alle ständigen und veränderlichen Lasten gelten folgende Teilsicherheitsbeiwerte:

-ständige Einwirkungen  $\gamma_G = 1,35$

-veränderliche Einwirkungen  $\gamma_Q = 1,5$

### Bemessungseinwirkung

| Haus I | A      | B      | C      | D      |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| $G_n$  | 258,80 | 397,55 | 397,55 | 258,80 |
| $Q_n$  | 98,49  | 173,55 | 173,55 | 98,49  |
| Summe  | 357,29 | 571,10 | 571,10 | 357,29 |

**Tabelle 13 : Summe der vertikalen Einwirkungen aus Verkehr  
und Eigengewicht Haus I**

| Haus II | A      | B      | C      | D      |
|---------|--------|--------|--------|--------|
| $G_n$   | 201,29 | 309,20 | 309,20 | 201,29 |
| $Q_n$   | 76,08  | 134,99 | 134,99 | 76,08  |
| Summe   | 277,37 | 444,19 | 444,19 | 277,37 |

**Tabelle 14 : Summe der vertikalen Einwirkungen aus Verkehr  
und Eigengewicht Haus II**

### Summe der vertikalen Einwirkungen

| Haus I | A      | B      | C      | D      |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| Summe  | 357,29 | 571,10 | 571,10 | 357,29 |
| Schnee | 3,21   | 5,79   | 5,79   | 3,21   |
| Vd     | 360,50 | 576,89 | 576,89 | 360,50 |

**Tabelle 15 : Summe der vertikalen Einwirkungen Haus I**

| Haus II | A      | B      | C      | D      |
|---------|--------|--------|--------|--------|
| Summe   | 277,37 | 444,19 | 444,19 | 277,37 |
| Schnee  | 3,21   | 5,79   | 5,79   | 3,21   |
| Vd      | 280,58 | 449,98 | 449,98 | 280,58 |

**Tabelle 16 : Summe der vertikalen Einwirkungen Haus II**

## 4.2 Berechnungen

### Widerstands-Setzungslinie Bohrpfahl

Die Berechnung der Widerstands-Setzungslinie erfolgt mit Hilfe des Programms GGU-Axpile. Dieses Programm führt die Berechnungen von Bohrpfählen nach DIN 4014 durch. Unter den gegebenen Umständen wurde eine zulässige Setzung von 2 cm vorgegeben. Für diese Setzung wird die zulässige maximale Vertikallast auf den maßgebenden Bohrpfahl errechnet. Der Pfahl wurde ab Unterkante Kopfbalken gerechnet. Weiterhin wurde eine schwebende Pfahlgründung angestrebt. Als Ausgangspunkt diente ein Bohrpfahl mit einem Durchmesser von 0,60 m. Im Zuge der Berechnungen wurden die Gründungstiefen variiert. Damit wird eine höhere Wirtschaftlichkeit erzielt. Es ist vom Arbeitsaufwand günstiger die Pfähle tieferer zu Gründen, als den Abstand zu verringern und somit mehr Pfähle herzustellen. Bei der Einteilung der Achsabstände wurde darauf geachtet, dass der Abstand der Pfähle zueinander größer als  $6 \times D_s$  (Pfahldurchmesser) ist. Damit würde eine Pfahlgruppenwirkung vermieden. Dies konnte jedoch nicht immer gewährleistet werden. Nach Abschluss der Berechnung wurde ein Pfahl mit 0,60 m Durchmesser und 20 m Länge gewählt. (Anhang S.73)

Nachweis der zulässigen Vertikallast

$$a = 8,18m$$

$$V_k = 0,414 \frac{MN}{m}$$

$$\max V = a \cdot V_k = 3,39MN \leq \text{zul. max } V = 3,91MN$$

### Bohrpfahlwand

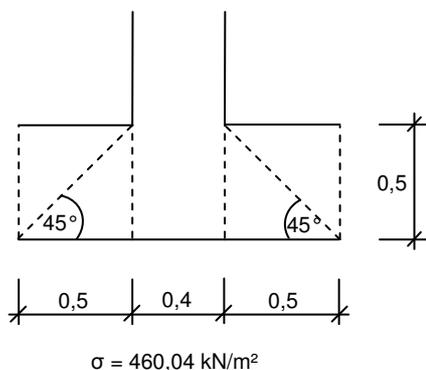
Der Nachweis der nötigen Einbindetiefe der aufgelösten Bohrpfahlwand erfolgte durch das Programm GGU-Retain. Die Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben (EAB) bilden die Grundlage des Programms. Auch hier wurde die Bohrpfahlwand (Anhang S.68) erst ab der Unterkante des Kopfbalkens modelliert. Die Grundlage der Berechnung bildeten die vorhandenen Bodenparameter sowie die extremalen Grundwasserstände. Gewählt wurde eine aufgelöste Bohrpfahlwand: mit einem Bohrpfahldurchmesser von 0,60 m und einem lichten Pfahlabstand von ebenfalls 0,60 m. Eine mögliche bauzeitliche Absenkung des Grundwassers wurde in den Berechnungen nicht berücksichtigt, damit wird eine höhere Sicherheit gegen einen möglichen Versagensfall gewährleistet. Daraus ergab sich

eine minimale Einbindetiefe von 6,0 Metern unter Baugrubensohle und eine minimale Gesamtlänge von 9,18 Metern (Anhang S.74).

### Setzungsberechnungen Platte

Die Setzungsberechnungen für die Plattengründung des Hauses I erfolgen mit dem Programm GGU-Settle. Die Berechnung der Fundamentsetzungen erfolgt nach DIN 4019 mittels Rechteck- oder Dreiecksfundamenten. Dabei wird die gegenseitige Beeinflussung der Fundamente berücksichtigt. In einem ersten Schritt wurden die Koordinaten der Eckpunkte des Gebäudes und der tragenden Wände eingegeben. Um die Lastverteilung in der Bodenplatte zu berücksichtigen, wurde unter Einhaltung des Lastverteilungswinkels für Beton eine „mittragende Plattenbreite“ (Abbildung 11) konstruiert. Auf diese zusätzliche Fläche wird die Vertikalspannung des Gebäudes flächengleich verteilt. Danach wurden die Koordinaten der Aufschlusspunkte eingegeben. Zusätzlich zu den charakteristischen Bodenparametern und deren Schichtmächtigkeit wurde eine imaginäre Bodenschicht eingeführt. Diese dient dazu das Gefälle des Geländes zu berücksichtigen. Die Eigenschaften dieser Schicht wurden so gering gesetzt, dass sie keinen Einfluss auf die Setzungsberechnung haben. Als Grenzbedingung der Berechnung wurde eine maximale Setzung von 2 cm vorgegeben. Diese wurde mit 0,76 cm eingehalten. Der Nachweis der zulässigen Setzungen gilt somit als erfüllt. (Anhang S.75-77)

#### Ermittlung der Bemessungsspannung



$$\sigma A_k = 404,01 \text{ [kN/m}^2 \text{ pro m]} / (0,4 + 0,5 \text{ [m]})$$

$$\sigma A_k = 460,04 \text{ [kN/m}^2 \text{ pro m]}$$

$$\sigma B_k = 259,5 \text{ [kN/m}^2 \text{ pro m]} / (0,4 + 0,5/2 \text{ [m]})$$

$$\sigma B_k = 415,2 \text{ [kN/m}^2 \text{ pro m]}$$

$$\sigma = 415,20 \text{ kN/m}^2$$

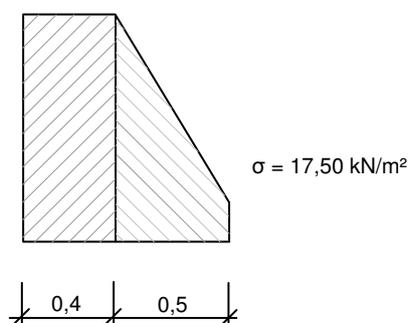
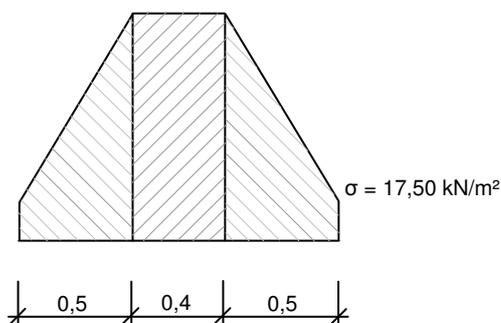


Abbildung 11 : Systemskizze der Lastabtragung, Plattengründung

## Nachweis gegen Aufschwimmen des Haus I

Für die bauzeitliche Grundwasserabsenkung ist der Nachweis gegen Auftrieb zu führen. Dabei ist besonders der Zeitpunkt der Beendigung der Grundwasserabsenkung von Interesse. In der Nachweisführung werden die Summen der haltenden und treibenden Kräfte verglichen. Die Summe der haltenden Kräfte ist erst mit der Fertigstellung der Stahlbetondecke des Kellergeschosses größer als die Summe der treibenden Kräfte. Daraus folgt, dass die bauzeitliche Grundwasserabsenkung erst nach der Fertigstellung des Kellergeschosses und dem Verfüllen des Arbeitsraumes beendet werden kann.

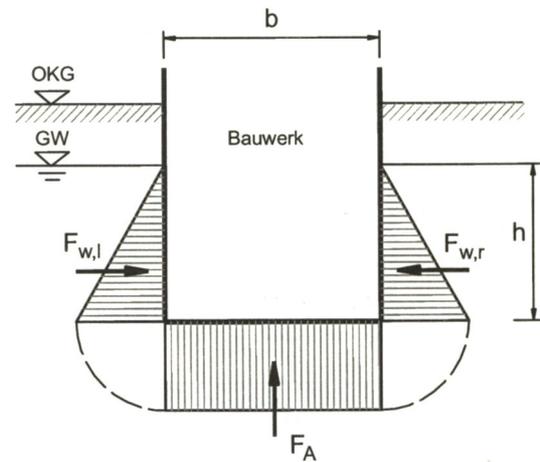


Abbildung 12 : Hydrostatischer Druck, [4]

## Nachweis

Summe der treibenden Kräfte

$$F_k = \gamma_w \cdot h \cdot b$$

$$F_k = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 2,0\text{m} \cdot 16,365\text{m}$$

$$F_k = 327,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{Gdst} = \gamma_{G,dst} \cdot F_k = 1,0 \cdot 327,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\underline{F_{Gdst} = 327,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}$$

Summe der haltenden Kräfte

$$F_G = \gamma_G \cdot h \cdot b$$

$$F_{GP} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0,50\text{m} \cdot 16,365\text{m} = 204,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{GW} = \left( 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 2,9\text{m} \cdot 0,4\text{m} \right) \cdot 4 = 93,44 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{GD} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0,25\text{m} \cdot 16,365\text{m} = 102,28 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\sum F_G = 400,29 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{Gst} = \gamma_{G,stb} \cdot F_G = 0,9 \cdot 400,29 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\underline{F_{Gst} = 360,03 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}$$

Nachweis:  $\underline{F_{Gdst} \leq F_{Gst}}$  ist erfüllt

### 4.3 Übergangsbereich zwischen den unterschiedlichen Gründungsarten

Beide Teilgebäude werden unterschiedlich gegründet. Haus I wird durch eine Platten-gründung gegründet und Haus II mittels einer schwebenden Bohrpfahlgründung. Der Übergangsbereich von Haus I zum Haus II wird durch eine aufgelöste Bohrpfahlwand hergestellt. Diese dient gleichzeitig als Gründung des Haus II.

Die einzelnen Teilgebäude sind konstruktiv voneinander zu trennen. Dadurch wird eine Bewegungsfuge zwischen den Häusern notwendig. Die Bewegungsfuge muss die Setzungsdifferenz aufnehmen und gleichzeitig das Bauwerk gegen Feuchtigkeit schützen.

#### Setzungsdifferenz $\Delta s$

$$\begin{array}{ll} \max s_I = 0,76[cm] & \Delta s = \max s_{II} - \max s_I \\ \max s_{II} = 2,0[cm] & \Delta s = 2,0[cm] - 0,76[cm] \\ & \underline{\Delta s = 1,24[cm]} \end{array}$$

#### Abdichtung der Bewegungsfuge

Es ist zwischen zwei Arten der Abdichtung von Bewegungsfugen zu unterscheiden. Diese unterscheiden sich durch die Art der maßgebenden Beanspruchung. Langsam ablaufende und einmalige oder selten wiederholte Bewegungen, wie Setzungsbewegungen, werden durch den Fugentyp I abgedichtet. Für schnell ablaufende oder häufig wiederholte Bewegungen wird der Fugentyp II angewendet.

In dem betrachteten Bereich ist die Belastung durch Setzungen und somit die Ausbildung nach Fugentyp I maßgebend. Dabei darf ein Höchstmaß von 4 cm nicht überschritten werden. Da die Differenz der Setzungen der beiden Teilgebäude unter 1,24 cm beträgt, darf die Abdichtung nach dem Fugentyp I erfolgen. Die Flächenabdichtung ist dabei über die Fuge durchzuziehen und durch mindestens zwei 30 cm breite Streifen zu verstärken. Die Verstärkungsstreifen bestehen aus mindestens 0,2 mm starken Kupfereinlagen.

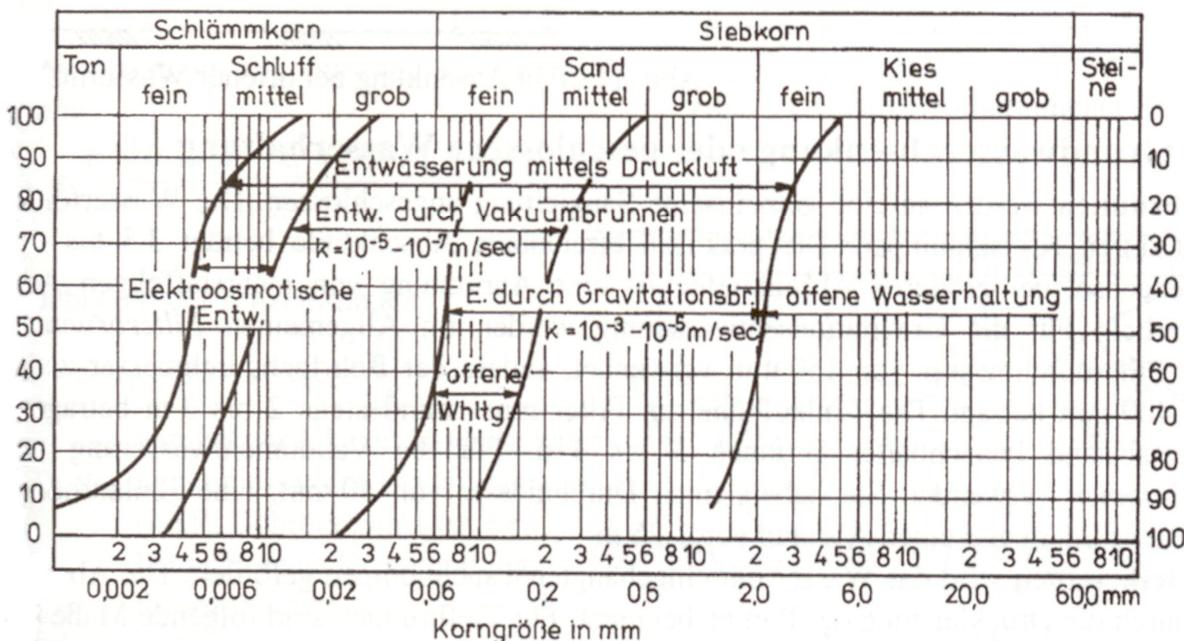
## 5. Wasserhaltung während der Bauphase

Bei der Herstellung des Gebäudekomplexes wird es notwendig Baugruben auszuheben. Die hohen errechneten Grundwasserstände bedingen eine Wasserhaltung während der Bauzeit.

Das näher zum Seeufer zu errichtende Haus II wird auf Bohrpfählen errichtet und ist nicht unterkellert. Um einen besseren Lastfluss beim Übergang vom Bauwerk zum Bohrpfahl zu gewährleisten, wurde ein Kopfbalken zwischen Pfahl und Platte angeordnet. Beim Ausheben der Gräben für die Kopfbalken wird das Grundwasser angeschnitten, dadurch wird eine Wasserhaltung notwendig. Aufgrund der geringen zu erwarteten Grundwasserzuflüsse und des anstehenden Bodens (

Abbildung 13), kann eine offene Wasserhaltung zur Absenkung des Grundwassers vorgesehen werden [6]. Am unteren Grabenrand, der für die Herstellung des Kopfbalkens benötigt wird, ist ein Filtergraben (Anhang S.71-72) anzulegen. Während der Bauzeit wird mittels Pumpen das anfallende Wasser abgepumpt und somit der Grundwasserstand abgesenkt.

Das Haus I und der Verbinder sind unterkellert und bindet daher wesentlich tiefer in das Gelände ein. Auch hier sind geringe Grundwassermengen zu erwarten. Eine offene Wasserhaltung wird auch hier angewandt. Die bei diesem Gebäude gewählte Plattengründung vereinfacht die Wasserhaltungsmaßnahmen, da hier direkt neben der Baugrube die Filtergräben angelegt werden können.





## 6. Bauablaufplan

Der geplante Neubau besteht aus zwei Teilgebäuden, die unterschiedlich gegründet werden. Haus I wird durch eine Bohrpfahlgründung gegründet und das Haus II durch eine Plattengründung. Die Herstellung der einzelnen Gründungen geschieht zeitversetzt. Die anstehenden Bodenschichten und die Grundwasserverhältnisse ermöglichen eine offene Wasserhaltung, die durch Entwässerungsgräben umgesetzt werden. Der gesamte Bauablauf kann in drei Bauphasen unterteilt werden. In einem ersten Arbeitsschritt werden sämtliche Bohrpfähle gebohrt, bewehrt und betoniert. Die nächsten Bauphasen hängen von der bauzeitliche Senkung des Grundwassers ab. Dabei werden zuerst die Pumpensümpfe hergestellt und der anstehende Boden entwässert. Danach kann die Baugrube zunächst nur für Haus I ausgehoben werden. Die aufgelöste Bohrpfahlwand wird schrittweise abgegraben, bewehrt und mit Spritzbeton ausgefacht. Anschließend kann die Bodenplatte geschalt, bewehrt und betoniert werden. Dann werden die Wände und die Decke des Kellergeschoßes geschalt, bewehrt und betoniert. Hierbei ist darauf zu achten, dass wasserundurchlässiger Beton verwendet wird, da der Gebäudekeller im Bereich von drückendem Grundwasser errichtet wird. Dabei ist besondere Sorgfalt bei der Herstellung des innen liegenden Fugenbandes geboten. Die Wände werden ebenfalls aus wasserundurchlässigem Beton errichtet, so dass eine weiße Wanne ausgebildet wird. Ein von außen aufgebracht Schutzanstrich sichert zusätzlich den Beton gegen aggressive Grundwässer. Nach dem Verfüllen der Baugrube kann die bauzeitliche Grundwassersenkung beendet werden, da nun das Gesamtgewicht der Konstruktion größer ist als der zu erwartende hydrostatische Auftrieb.

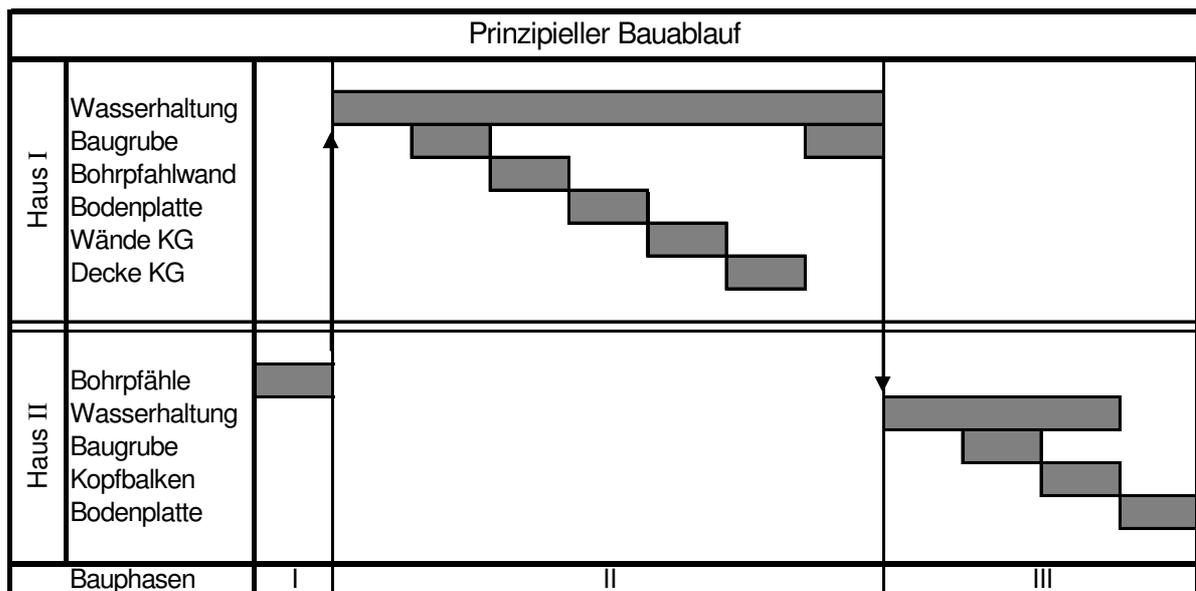


Abbildung 15 : Prinzipieller Bauablaufplan

In der letzten Bauphase wird die Gründung des Haus II gefertigt. Zuerst muss das Grundwasser mittels Pumpensümpfe wieder abgesenkt werden. Anschließend kann mit dem Aushub der Baugrube begonnen werden. Danach werden die Gräben für die Herstellung der Kopfbalken schrittweise ausgehoben. Anschließend kann der Kopfbalken geschalt, bewehrt und betoniert werden. Nun werden die zur Herstellung des Kopfbalkens benötigten Gräben wieder verfüllt und die Bodenplatte hergestellt. Anschließend kann die bauzeitliche Grundwasserabsenkung beendet werden.

Auf Grund des drückenden Grundwassers kann keine Dränage um das Gebäude angeordnet werden, da eine Ableitung des Grundwassers nicht möglich ist. Das anfallende Oberflächenwasser wird durch einen Traufstreifen in den Baugrund abgeführt.

## **7. Anwendung von Energieoptimalen Konzepten**

Im Kontext einer zunehmenden Veränderung des Klimas und einer zukünftigen Verknappung der verfügbaren fossilen Ressourcen gewinnt die Optimierung der Energieausnutzung bei Gebäudesanierung und –neubauten an Bedeutung. Neben der Energiegewinnung aus Sonne, Wasser und Wind stellt die Geothermie eine weitere Form der Energiegewinnung dar. Die Oberflächentemperatur der Erde, die weltweit im Mittel zwischen 13°C liegt, wird durch das Gleichgewicht zwischen einstrahlender Sonneenergie, Wärmeaustauschstrahlung ins Weltall, geothermischen Wärmefluss und Variationen dieser Faktoren bestimmt. Bis jetzt beschränkt sich die Nutzung der Geothermie auf Heizzwecke, allerdings wird sich in Zukunft ebenfalls die Stromproduktion aus geothermischen Ressourcen von Interesse sein. Erdwärme stellt eine erneuerbare, unerschöpfliche, biologisch unbedenkliche und einheimische Energiequelle dar. Die Nutzung der Erdwärme hat geringe Auswirkungen auf die Umwelt und ist an der Erdoberfläche praktisch unsichtbar.

Der interessante Tiefenbereich für eine geothermische Wärmenutzung ist in der Regel nicht tiefer als 1000 m, für Erdwärmesonden in der Regel 250 m und für Geostrukturen mehrere 10 m. Aufgrund der jahreszeitlichen Temperaturschwankungen bietet eine geothermische Anlage die Möglichkeit überschüssige Wärme während des Sommers im Untergrund zu speichern. Eine Kühlung des Gebäudes während der Sommermonate ist ebenfalls möglich.

Eine Anlage zur Nutzung von geothermischer Energie besteht in der Regel aus einem Rohrregister und einer Wärmepumpe. Diese beiden Systemkomponenten werden im folgenden näher erläutert (Abbildung 16).

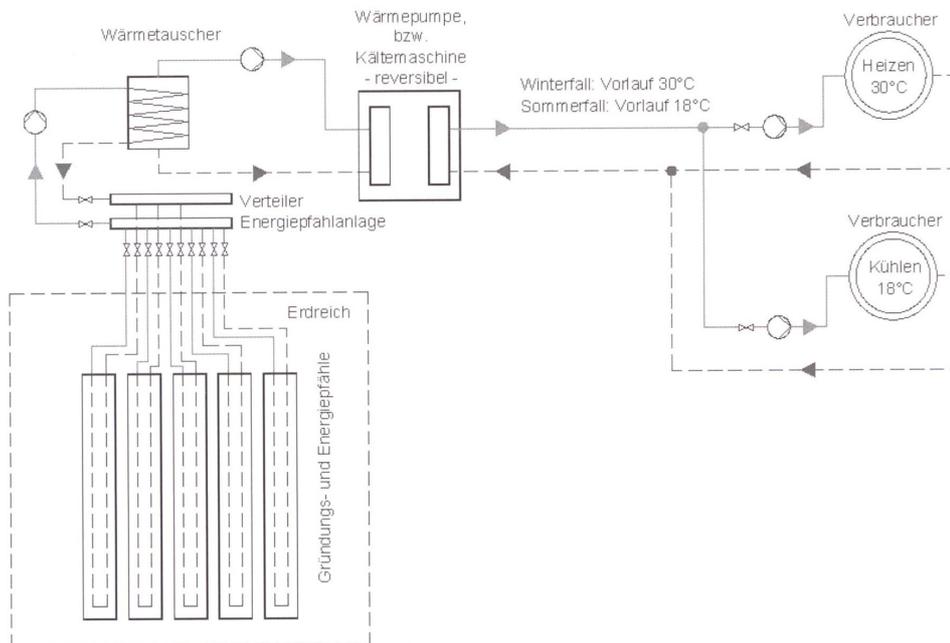


Abbildung 16 : Prinzipschema Nutzung der Geothermie zum Heizen und Kühlen [11]

### 7.1 Wärmefluss der festen Erde

Allgemein ist bekannt, dass die Temperatur mit größerer Tiefe zunimmt. Im Mittel kann eine Temperaturzunahme vom 3 K/100m (Temperaturgradient) angenommen werden. Genau genommen ist die Temperaturzunahme bei (Abbildung 17) unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten  $\lambda$  der Gesteine nicht konstant, sondern richtet sich nach den jeweiligen geologischen Strukturen. Dieser terrestrische Wärmefluss ist um mehrere Größenordnungen geringer als der solare

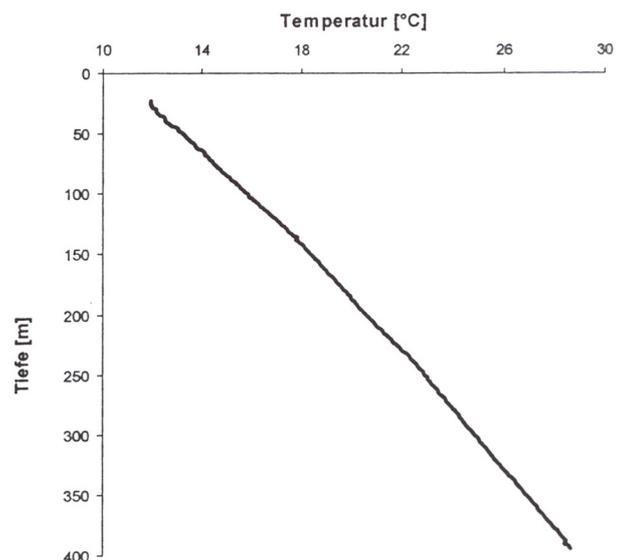


Abbildung 17 : Temperaturprofil [10]

Wärmefluss Diese Variation kann mit Topographie, tiefer Untergrundstrukturen und Wasserzirkulationen erklärt werden. Für den terrestrischen Wärmefluss sind zwei Ursachen hauptverantwortlich: die Abkühlung der Erde und die Wärmeproduktion von radioaktiven Gesteinen. Letztere sammeln sich hauptsächlich in der nur etwa 30 km dicken Erdkruste an. Man kann davon ausgehen, dass 50% des Oberflächenflusses aus der dünnen Erdkruste und damit nur 50% aus dem tieferen und mächtigeren Erdmantel stammt.

## 7.2 Wärmepumpen

Wärmepumpen sind aufgrund der geologischen Gegebenheiten unabdingbar, da bei un-tiefen Nutzungsszenarien die Temperatur im Untergrund nur relativ gering zunimmt. Eine Wärmepumpe ist im Grunde genommen eine Wärmeenergiemaschine wie eine Dampfmaschine oder ein Verbrennungsmotor nur mit dem Unterschied, dass die Kreisprozesse mit den dazugehörigen Zustandsänderungen zeitlich in umgekehrter Reihenfolge ablaufen (Abbildung 18). Die wichtigste Zustandsänderung ist hierbei die isotherme Zustandsänderung. Während dieses Prozesses ist die Temperatur und die innere Energie konstant. Damit bei der Ausdehnung des Arbeitsstoffes (z.B. Gas) die Temperatur gleich bleibt, muss das Gas von außen Wärme aufnehmen. Die zugeführte Wärmemenge wird in mechanische Arbeit umgewandelt. Damit dieser Prozess periodisch abläuft, muss der Ausgangszustand immer wieder hergestellt werden. Die Energieübertragung erfolgt somit in umgekehrter Richtung (Abbildung 19). Der Maschine wird von außen Arbeit zugeführt, dem kälteren Wärmespeicher wird bei der tieferen Temperatur Wärme entzogen und dem wärmeren Speicher zugeführt. Hingegen wird bei der Kältemaschine die Abkühlung eines Kältemittels beim Entspannen und Verdampfen genutzt, um ein Fluid abzukühlen. Dies entspricht demselben thermischen Kreisprozess. Wärmepumpen können nach folgenden Verfahren unterteilt werden.

Abbildung 18 : Arbeitsdiagramm Wärmepumpe [13]

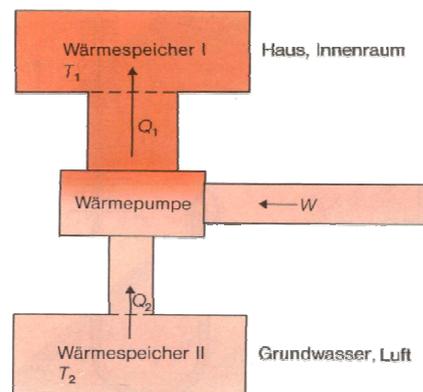
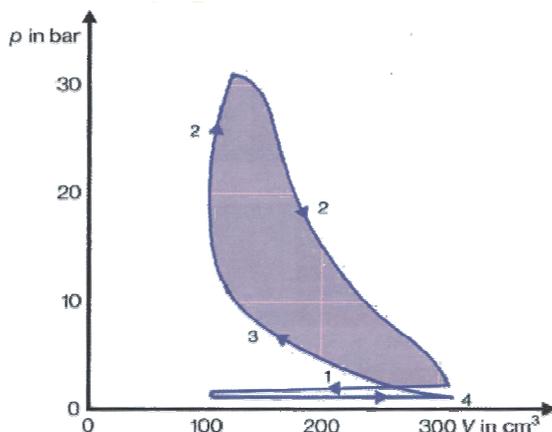


Abbildung 19 : Energieschema einer Wärmepumpe

## **Kompressions-Wärmepumpe**

Dabei wird der physikalische Effekt der Verdampfungswärme ausgenutzt. Im Kreislauf der Anlage zirkuliert ein Kältemittel, das durch einen Kompressor angetrieben wird. Die Aggregatzustände flüssig und gasförmig wechseln ständig.

## **Absorptions-Wärmepumpe**

Hierbei wird die Reaktionswärme beim Mischen zweier Flüssigkeiten oder Gase genutzt. In einem Lösungsmittelkreislauf zirkuliert ein Kältemittel, das bei geringer Temperatur in einen zweiten Stoff absorbiert wird und bei höheren Temperatur desorbiert.

## **Adsorptions-Wärmepumpe**

Diese Wärmepumpe arbeitet mit einem festen Lösungsmittel. An diesem Lösungsmittel wird das Kältemittel periodisch adsorbiert oder desorbiert. Beim Vorgang des adsorbierens wird Wärme entnommen.

### ***7.3 Erschließung von Geothermiequellen***

Die Möglichkeiten zur Erschließung von Geothermiequellen können wie folgend unterteilt werden.

#### **Horizontale Systeme**

Bei horizontalen Systemen werden die erdwärmeaufnehmenden Bauteile horizontal in den Baugrund eingebracht. Die Tiefe beträgt dabei zwischen 1,2 m und 3 m. Der Einbau von horizontalen Systemen benötigt einen geringen technischen Aufwand, da diese in nur geringer Tiefe von 1,2 m bis 3 m verlegt werden. Allerdings kühlen die obersten Erdschichten aufgrund der geringen Verlegetiefe flächenhaft aus. Es wird zwischen verschiedenen horizontalen Systemen unterschieden.

Erdregister bestehen aus Rohrsystemen, die horizontalen bis in eine Tiefe von 3 m verlegt werden und dem Erdreich Wärme entziehen. Bei Erdreichkollektoren werden Polyethylenrohre in einer Tiefe von ca.1,2 m schlaufenförmig verlegt. Eine weitere Form sind Grabenkollektoren. Dabei werden mehrere Rohre in den gleichen Graben verlegt, wodurch bedeutend weniger Erdbewegungen nötig sind.

Alle horizontalen Systeme benötigen einen erheblichen Platzbedarf. Das spätere Überbauen des Geländes ist nicht möglich. Ebenfalls ist bei Gartengestaltungen Vorsicht geboten.

## Vertikale Systeme

Hierbei werden die Bauteile, die dem Erdreich Wärme entziehenden vertikal in den Baugrund eingebracht. Der Erdboden hat das ganze Jahr über die gleiche Temperatur. Jahreszeitliche Schwankungen können bei Tiefen ab ca. 10 m nicht mehr wahrgenommen werden. Mit zunehmender Tiefe wächst auch die Temperatur des umgebenden Erdreiches. Dadurch nimmt auch die zur Verfügung stehende Energie zu. Grundsätzlich kann zwischen zwei unterschiedlichen vertikalen Systemen unterschieden werden.

## Erdwärmesonden

Erdwärmesonden entziehen dem Boden Wärme. Sie sind geschlossene, vertikal ins Erdreich eingebrachte Wärmetauscher, die meist als U-Rohre eingesetzt werden. In ihnen zirkuliert eine Wärmeträgerflüssigkeit, welche den Energietransport zwischen Baugrund und Gebäude gewährleistet (Abbildung 20). Der gleichmäßige Betrieb verlängert die Lebensdauer und setzt die Störanfälligkeit herab. Damit zählt dieses System zu den sichersten Heizungssystemen. Die Erdwärmesonde ist vor Verletzungen weitgehend geschützt. Für reine Heizzwecke ist eine Tiefe von maximal 400 m nötig. Hingegen benötigt ein kombiniertes Heiz- und Kühlsystem nur maximal 100 m.

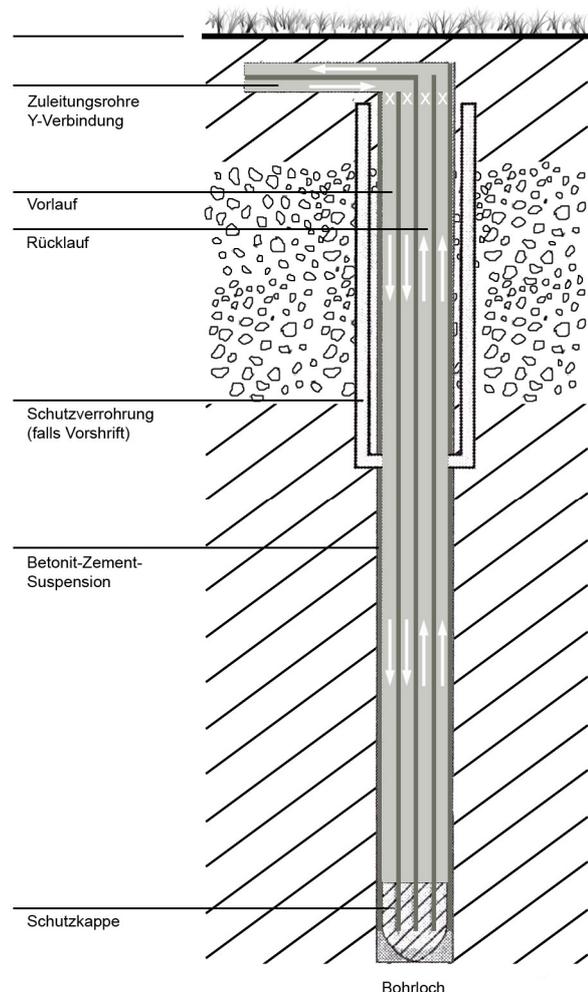


Abbildung 20 : Aufbau einer Erdwärmesonde [10]

## Energiepfähle

Eine weitere Möglichkeit dem Erdreich Wärme zu entziehen sind Energiepfähle. Muss wegen schlechtem Baugrund gepfählt werden, so können diese Pfähle kostengünstig als Energiepfähle ausgelegt werden. Energiepfähle bringen denselben Nutzen wie Erdwärmesonden. In den Bewehrungskorb werden Rohre aus Polyethylen eingelegt (Abbildung 21). Energiepfähle können direkt zum Heizen und Kühlen verwendet werden. Besonders ist hierbei die Doppelnutzung von Gebäudegründung und Energiegewinnung hervorzuheben. Vor äußeren Einflüssen und Verletzungen ist ein Energiepfahl weitgehend geschützt. Zu unterscheiden ist zwischen den drei folgenden Pfahltypen: In *Rammpfähle*, diese werden bereits im Werk mit Rohrregistern aus Polyethylen ausgerüstet. *Schleuderbeton-Rammpfähle* weisen in der Mitte eine zylindrische Öffnung auf. Nachdem der Pfahl gerammt wurde, kann in den Hohlraum ein vorkonfektioniertes Rohrregister eingebracht werden. Anschließend wird der Ringraum mit Quarzsand verfüllt. Bei *Ortbeton- oder Bohrpfählen* wird eine Bewehrung vor dem Einbringen in das Bohrloch mit PE-Rohren ausgekleidet. Die Enden der Rohre werden durch ein Schutzrohr an der Pfahloberkante geschützt. Neben Bohrpfählen ist auch die energetische Nutzung von Schlitz- und Spundwänden möglich.

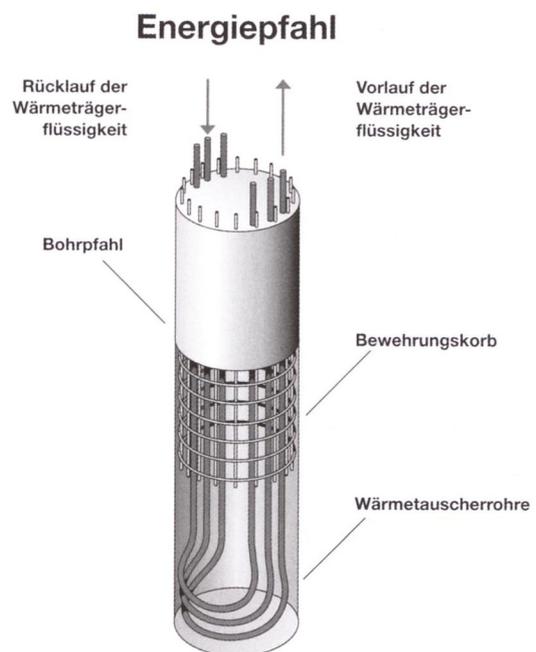


Abbildung 21 : Prinzip eines Energiepfahles,  
[11]

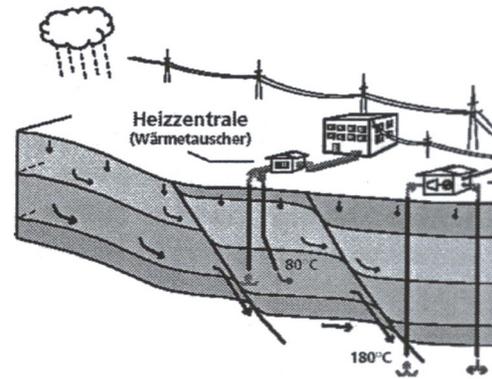
## Spezielle Systeme

### Erdwärmekörbe

Erdwärmekörbe werden in ein ausgebaggertes ca. 2-4 m tiefes Erdloch eingebracht. Die Körbe werden hintereinander in Reihe geschaltet. Erste Anwendungen mit diesen Systemen zeigt trotz der Tiefe eine überraschend hohe Wirksamkeit. Falls keine Einflüsse auf die Vegetation feststellbar sind, sind sie in Zukunft eine Alternative zu kleineren Wärmesondenanlagen.

## Tiefe Aquifernutzung

Unter dem Begriff Aquifer versteht man einen Gesteinskörper mit Hohlräumen, der zur Leitung von Grundwasser geeignet ist (Abbildung 22). Die Aquifernutzung schließt sowohl die Thermalbadnutzung wie auch die künstliche Zirkulationsysteme im Untergrund ein. Thermalbäder stellen die älteste Nutzung geothermischer Energie dar. Ursprünglich wurden nur oberflächennahe heiße Quellaustritte genutzt. Heute ist es durch Tiefenbohrungen möglich die Temperatur der geförderten Grundwässer zu erhöhen und somit auch die Energieausbeute zu steigern. Die gewonnene Energie kann zum Heizen von Gebäuden verwendet werden. Weiterhin besteht bei hohen Grundtemperaturen die Möglichkeit die geförderte Energie zur Stromerzeugung zu verwenden.



**Abbildung 22 : Konzept einer Aquifernutzung [10]**

## Grundwasser – Wärmepumpen - Systeme

Grundwasser – WP – Systeme nutzen das Grundwasser als Wärmelieferant für Heizzwecke und Wassererwärmung. Die Grundwassertemperatur in unseren Lagen liege im Mittel zwischen 8 – 12°C. Im Gegensatz zu Oberflächenwässern ist das Grundwasser nur sehr geringen jahreszeitlichen Temperaturschwankungen unterworfen. Die Fördertemperaturen sind in der Regel höher als die von Erdwärmesystemen. Dadurch sind diese Systeme auch bedeutend effizienter. Die Förderung des Grundwassers erfolgt entweder durch Einzel- oder Mehrfachflächbrunnen. Voraussetzung dafür ist, dass das aus den Brunnen entnommene Wasser in ausreichender Qualität und Menge zur Verfügung steht. Eine solche Anlage bedarf einer Genehmigung der zuständigen Wasserbehörde.

#### **7.4 Empfehlung einer Vorzugslösung**

Geothermie ist im Untergrund eine nahezu unerschöpfliche Energiequelle. Geothermische Hochtemperatur-Systeme und Niedrigtemperatur-Systeme zur Wärmeproduktion zeigen ähnliche Eigenschaften. Sie sind eine lokale Energiequelle, die keine weiten Transportwege benötigt. Diese „Kraftwerke“ sind regenerierbar und ihr Betrieb ist CO<sub>2</sub> senkend. Für eine optimale Ausnutzung muss das System der geothermischen Wärmegewinnung mit einem effizienten Wärmepumpensystem gekoppelt werden.

Für die Planung einer Anlage zur geothermischen Energiegewinnung sind die geologischen Gegebenheiten maßgebend. Die Mächtigkeit der holozänen Deckschichten beträgt ca. 80 m. Das Grundgebirge bestehend aus Porphyrit und kann nur durch eine Tiefenbohrung erreicht werden. Grundwasser steht oberflächennah unter der Geländeoberkante an. Beide Teilgebäude binden mit ihrer Gründung in ein gesättigtes Kies–Schluff–Gemisch ein. Gegründet werden die Teilgebäude durch eine Plattengründung und eine Pfahlgründung.

Das anstehende oberflächennahe Grundwasser kann mit einem Grundwasser-Wärmepumpen–System gefördert werden. Es müssen allerdings Brunnen gebohrt werden um Grundwasser in ausreichender Menge und Qualität zu fördern. Desweiteren können die Ortbetonpfähle als Energiepfähle ausgebildet werden. Besonders ist hierbei die Doppelnutzung von Gebäudegründung und Energiegewinnung hervorzuheben. Aus diesen Gründen wird eine geothermische Anlage bestehend aus Energiepfählen vorgeschlagen.

## 8. Schlussfolgerung

Die Aufgabenstellung der Dimensionierung einer Gründungssituation wurde in vier Arbeitsschritten bearbeitet. Nach den Betrachtungen zum Baugrund einhergehend mit Strömungsberechnungen wurden verschiedene Varianten der Gründung untersucht. Anschließend wurden die erdstatischen Berechnungen durchgeführt, deren Ergebnisse in einem letzten Schritt in die konstruktive Lösungen und deren Umsetzung als Bauablauf eingearbeitet wurden. Nachfolgend möchten wir die einzelnen Schlussfolgerungen je Arbeitsschritt erläutern.

In einem ersten Schritt wurde aus den vorhandenen Aufschlusspunkten ein geometrisches Geländemodell erstellt. Auf der Grundlage der vorhandenen Aufschlüsse und Geländeerkundungen wurde der für dieses Gebäude maßgebende Längsschnitt ermittelt. Anhand dieses Modells wurden für alle geologisch möglichen Bodenschichtverläufe eine Strömungsberechnung durchgeführt. Für die weiteren Berechnungen und Konstruktionen des Gebäudekomplexes wird der Bodenschichtverlauf Variante 3 (TL, Anhang S.50, 54) maßgebend, bei dem die höchsten zu erwartenden Grundwasserstände vorliegen. Da die weiteren Aufschlüsse weitestgehend einander entsprechen, können diesen linear miteinander verbunden werden. Der so ermittelte repräsentative Längsschnitt (Anhang S.59) bildet die Grundlage aller folgenden Berechnungen, Konstruktionen und Betrachtungen.

Für die Gründungsempfehlung muss zunächst die Kubatur des Gebäudekomplexes genauer betrachtet werden. Aufgrund der unterschiedlichen Gründungstiefen und des damit unterschiedlichen Verlaufes der Bodenschichten im Bereich der Gründungssohle, muss eine konstruktiv von einander getrennte Gründung der einzelnen Teilgebäude erfolgen. Besonderen Einfluss auf die Entscheidung der Gründungsvorzugslösung hatte der errechnete Grundwasserstand, da der Keller des Hauses I im drückendem Grundwasser steht und eine Dränage nicht möglich ist. Demzufolge ist besondere Sorgfalt bei der Abdichtung gegen drückendes Wasser geboten. Nach einer Abwägung der Vorzüge und Nachteile der einzelnen Gründungsentwürfe, wurde eine Vorzugslösung für die zu erstellenden Gründungen festgelegt. Die Plattengründung im Unterkellerten Bereich und eine Bohrpfahlgründung im nicht unterkellerten Bereich werden als Vorzugsvarianten vorgeschlagen. Eine Bohrpfahlwand bildet den bautechnischen Schnittpunkt der beiden Gründungssituationen.

Für diese Vorzugsgründungen wurden alle notwendigen erdstatischen Nachweise durchgeführt. Alle Berechnungen sind mit speziellen, für diese Nachweise ausgelegten, Pro-

grammen der Firma GGU durchgeführt worden. Somit konnten die nötigen Einbindetiefen der aufgelösten Bohrpfahlwand und der Bohrpfahlgründung festgelegt werden. Auch die Setzungsberechnungen ergaben, dass die gewählten Gründungsvarianten alle Nachweise erfüllten.

In einem letzten Schritt wurden alle für die Fertigung der Gründung notwendigen technische Zeichnungen erstellt und die wichtigsten Fragen der baulichen Umsetzung erläutert. Dabei wurde nochmals auf den Einfluss der notwendigen Grundwasserabsenkung auf den Bauablauf eingegangen. Es wird darauf hingewiesen, dass eine ungefährdete Abschaltung der Wasserhaltung erst nach Fertigstellung der Bodenplatten im Erdgeschoss erfolgen darf. Besondere Sorgfalt sollte man bei der konstruktiven Detailplanung und Erstellung der Gebäudetrennfuge walten lassen.

Durch den spürbar werdenden Klimawandel und einer zukünftigen Verknappung der verfügbaren fossilen Ressourcen gewinnt die Optimierung der Energieausnutzung bei Gebäudeneubauten an Bedeutung. Neben der Energiegewinnung aus Sonne, Wasser und Wind stellt die Geothermie eine weitere Form der Energiegewinnung dar. Im Zuge dieser Arbeit wurde eine mögliche Heiz- und Warmwasserversorgung durch Geothermie untersucht. Aus den technischen Möglichkeiten der Erdwärmennutzung ist besonders die Ausbildung der Bohrpfähle als Energiepfähle für dieses Gebäude interessant. Energiepfähle können direkt zum Heizen und Kühlen verwendet werden. Dies bringt auch den Vorteil überschüssige Energie während des Sommers in den Untergrund einzulagern. Besonders ist hierbei die Doppelnutzung von Gebäudegründung und Energiegewinnung hervorzuheben. Vor äußeren Einflüssen und Verletzungen ist ein Energiepfahl weitgehend geschützt. Erdwärme stellt eine erneuerbare, unerschöpfliche, biologisch unbedenkliche und einheimische Energiequelle dar. Die Nutzung der Erdwärme hat geringe Auswirkungen auf die Umwelt und ist an der Erdoberfläche praktisch unsichtbar.

## 9. Literaturverzeichnis

- [1] Nordthüringer Ingenieurbüro GmbH  
**“Antrag auf Wasserrechtliche Genehmigung nach § 79 ThürWG”**  
Nordthüringer Ingenieurbüro für Verkehr- Tiefbau und Wasserwirtschaft, Nordhausen, 2004
- [2] Nordthüringer Ingenieurbüro GmbH  
**“Gemeinde Neustadt/Harz Dammsicherung Gondelteich”**  
Nordthüringer Ingenieurbüro für Verkehr- Tiefbau und Wasserwirtschaft, Nordhausen, 2004
- [3] Preußische Geologische Landesanstalt  
**“Erläuterungen zu Blatt Stolberg am Harz”**  
3. Auflage, Preußische Geologische Landesanstalt, Berlin, 2004
- [4] Rütz / Schmidt / Wendt / Witt  
**Wissensspeicher Geotechnik**  
15 .Auflage, Bauhaus Universität Weimar, Weimar, 2004, Universitätsverlag
- [5] Klaus Jürgen Schneider  
**Bautabellen für Ingenieure**  
15 .Auflage, Düsseldorf, 2002, Werner Verlag
- [6] Konrad Simmer  
**Grundbau 1, Bodenmechanik und erdstatische Berechnungen**  
19 .Auflage, Stuttgart, 1994, Teubner Verlag
- [7] DIN 18195  
**Bauwerksabdichtungen**  
Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Beuth Verlag
- [8] Dietrich Neumann, Ulrich Weinbrenner  
**Frick / Knöll, Baukonstruktionslehre 1**  
33. Auflage, Stuttgart, 2002 ,Teubner Verlag

- [9] Dr. Gerd Stadermann  
**Wärme und Kälte-Energie aus Sonne und Erde**  
Jahrestag des Forschungsverbandes Sonnenenergie 2005 ,Berlin, 2006,
- [10] Schweizerischer Ingenieur – und Architektenverein  
**Energie aus dem Untergrund, Erdspeicher für moderne Gebäudetechnik**  
Dokumentation der sia, Zürich, 2003, Schwabe & Co. AG
- [11] Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach  
**Vorträge zum 14. Darmstädter Geotechnik - Kolloquium**  
Heft 76, Darmstadt, 2007
- [12] Wikipedia.de
- [13] Joachim Grehme  
**Metzler Physik**  
2. Auflage, Hannover, 1998 ,Schroedel Schulbuchverlag

## 10. Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1 : Geologische Karte von Neustadt am Harz [3].....                           | 2  |
| Abbildung 2 : Geologische Querschnitt der Südharzmulde [3] .....                        | 3  |
| Abbildung 3 : Geometrisches Bodenmodell (nicht maßstäblich) .....                       | 7  |
| Abbildung 4 : Berechnung der extremalen Wasserstände der Variante 3 (TL) .....          | 10 |
| Abbildung 5 : Lageplan, AIB Jentsch & Partner, Sondershausen, 2007 (ohne Maßstab) ..... | 11 |
| Abbildung 6 : Skizze der Plattengründung .....  | 12 |
| Abbildung 7 : Skizze der mit Balken verstärkten.....                                    | 13 |
| Abbildung 8 : Bohrpfahlgründung mit Frostschutzschürze .....                            | 14 |
| Abbildung 9 : Bohrpfahlgründung mit Kopfbalken.....                                     | 14 |
| Abbildung 10 : Systemskizze des Durchlaufträgers, nicht maßstäblich.....                | 19 |
| Abbildung 11 : Systemskizze der Lastabtragung, Plattengründung .....                    | 23 |
| Abbildung 12 : Hydrostatischer Druck, [4].....  | 24 |
| Abbildung 13 : Auswahl des Absenkverfahrens in Abhängigkeit von der Bodenart [5] .....  | 27 |
| Abbildung 14 : offene Wasserhaltung [6] .....   | 27 |
| Abbildung 15 : Prinzipieller Bauablaufplan.....   | 28 |
| Abbildung 16 : Prinzipschema Nutzung der Geothermie zum Heizen und Kühlen [11].....     | 30 |
| Abbildung 17 : Temperaturprofil [10].....   | 30 |
| Abbildung 18 : Arbeitsdiagramm Wärmepumpe [13] .....                                    | 31 |
| Abbildung 19 : Energieschema einer Wärmepumpe.....                                      | 31 |
| Abbildung 20 : Aufbau einer Erdwärmesonde [10].....                                     | 33 |
| Abbildung 21 : Prinzip eines Energiepfahles, [11].....                                  | 34 |
| Abbildung 22 : Konzept einer Aquifernutzung [10].....                                   | 35 |

## 11. Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1 : Parameterdefinition für die Bohrung Nr. RKS 1 .....       | 4  |
| Tabelle 2 : Parameterdefinition für die Bohrung Nr. RKS 2 .....       | 5  |
| Tabelle 3 : Parameterdefinition für die Bohrung Nr. RKS 1 .....       | 6  |
| Tabelle 4 : Massenermittlung der Gründungsvarianten .....             | 17 |
| Tabelle 5 : Variantenvergleich Haus I.....                            | 17 |
| Tabelle 6 : Variantenvergleich Haus II.....                           | 18 |
| Tabelle 7 : Schnittgrößen pro Geschoß .....                           | 19 |
| Tabelle 8 : Summe der charakteristischen Vertikallasten Haus I .....  | 19 |
| Tabelle 9 : Summe der charakteristischen Vertikallasten Haus II ..... | 19 |
| Tabelle 10 : Vertikallasten aus Schnee .....                          | 20 |
| Tabelle 11 : Summe der charakteristischen Einwirkungen Haus I .....   | 20 |
| Tabelle 12 : Summe der charakteristischen Einwirkungen Haus II .....  | 20 |
| Tabelle 13 : Summe der vertikalen Einwirkungen aus Verkehr .....      | 21 |
| Tabelle 14 : Summe der vertikalen Einwirkungen aus Verkehr .....      | 21 |
| Tabelle 15 : Summe der vertikalen Einwirkungen Haus I.....            | 21 |
| Tabelle 16 : Summe der vertikalen Einwirkungen Haus II.....           | 21 |
| Tabelle 17 : Berechnung des Spitzenabflusses .....                    | 27 |