

# Geotechnische Beeinflussung der Nachbargrundstücke

J. Indermühle, dipl. Bauing. HTL, CSD Ingenieure und Geologen AG, Liebefeld BE

## 1. Vorbemerkungen

Die zunehmende Verknappung der Baulandressourcen, raumplanerische Belange und eine optimale Ausnutzung der Baulandreserven führen dazu, dass zusehends häufiger Bauvorhaben in schwierigen Baugrundverhältnissen realisiert werden müssen.

Wirtschaftliche Aspekte zwingen die Bauherren zu vermehrt voluminöseren, höheren Bauten mit mehreren Untergeschossen. Die Entwicklung neuer, innovativer Baumethoden ermöglichen den Projektverfassern die Planung und Realisierung tiefer Baugruben bis an die Nachbargrundstücksgrenzen. Dergestalt interessante und geotechnische anspruchsvolle Bauvorhaben stellen an die Projekttechniker von der Grundlagenbeschaffung über die Projektierung bis hin zur Bauausführung hohe Anforderungen. Zur Vermeidung unerwünschter Überraschungen im Nahumfeld kommen einer sorgfältigen Baugrundabklärung und der Risikoabwägung möglicher Auswirkungen von Baueingriffen auf die Umgebung besondere Bedeutung zu.

### 1.1 Der Werkstoff Baugrund

Bei allen Bauvorhaben sehen sich die Projektanten mit der Baugrundproblematik konfrontiert. Lieferant und Verantwortlicher für den Werkstoff Baugrund ist der Bauherr.

Es gilt zu beachten, dass es sich beim Baugrund nicht um einen homogenen, unter kontrollierten Bedingungen geschaffenen Werkstoff (wie z.B. Beton, Stahl etc.) mit eindeutig definierbaren Materialeigenschaften handelt. Der natürlich gewachsene Baugrund ist vielmehr das Produkt einer komplexen geologischen Entstehungsgeschichte über historische Zeiträume. Entsprechend heterogen und auf engem Raum oft wechselhaft manifestieren sich die Baugrundverhältnisse im Detail. Dies ist insbesondere für die Vielfalt der Lockergesteinstypen zu beachten, deren Eigenschaften massgeblich durch die jeweils herrschenden Ablagerungsbedingungen geprägt wurden. Aus geotechnischer Sicht besonders problematisch erweisen sich die unter Zusatzbelastung setzungsanfälligen Schwemm- und Verlandungsböden mit organischen Einlagerungen sowie unter Auftrieb sedimentierte Seeablagerungen. Als im Allgemeinen weniger heikel sind dagegen grobkörnige Schotter- und Moränenablagerungen anzusprechen.

Für die Festgesteine sind neben der Gesteinhärte, der mineralogischen Zusammensetzung (Gehalt an quellfähigen Tonmaterialien) vor allem das Trennflächengefüge (Schichtung, Klüftung, Zerrüttungsgrad) sowie die im Felsverband herrschenden Kluft- und Porenwasserdrücke geotechnisch relevante Parameter.

### 1.2 Baugrunduntersuchung / Verantwortlichkeiten

Die Zeiten, wo Vorinvestitionen für Baugrundabklärungen als überflüssige, die Baukosten verteuernde Auslagen angesehen wurden, gehören zur Vergangenheit. Eine Baugrundbeurteilung ist heute Stand der Technik und gilt – weil in den Normen explizit gefordert – als anerkannte Regel der Baukunde.

Bei Baugrundüberraschungen, spätestens jedoch im Schadenfall, wird der Experte Fragen zur Schadensursache und allfälliger Verfehlungen zu beantworten haben. Die Unterlassung einer Baugrundabklärung und/oder Baugrundfehlein-schätzungen werden dabei kaum verborgen bleiben. Liegt ein Kausalzusammenhang zwischen Schadenursache und mangel- oder fehlerhafter Baugrundbeurteilung vor, haben die Fehlbaren mit Regressansprüchen zu rechnen. Auch die irrtümliche Auffassung, mit dem Abschluss einer Bauherrenhaftpflichtversicherung seien die Baugrundrisiken abgedeckt, ist im Schadenfall nicht a priori zutreffend.

Hinweise und Anregungen zur Problematik „geotechnische Risiken“ und „Baugrunduntersuchungen“ finden sich in der SIA-Norm 260 Art. 3.2.6 [1] und ausführlicher in der Norm SIA 267 „Geotechnik“ Ziff. 2.2 und 3 [2] und [3].

Obwohl nicht Gegenstand der heutigen Tagung, gestatte ich mir zum Problembereich Baugrunduntersuchungen und Verantwortlichkeiten aus Erfahrung ein paar Bemerkungen.

Unbestritten ist, dass eine Baugrundbeurteilung vorgenommen werden muss. Wer diese ausführt, ist nicht vorgeschrieben, soll aber verbindlich geregelt werden.

Der Bauherr, als in der Regel nicht Baugrundsachverständiger, muss sich dabei auf seine Fachberater verlassen können. In der frühen Planungsphase sind meistens der Architekt oder Ingenieur die ersten Ansprechpartner. Es liegt in ihrer Sorgfaltspflicht, die Bauherrschaft auf die Notwendigkeit einer Baugrundabklärung und mögliche Baugrundrisiken hinzuweisen. Der Architekt oder Ingenieur kann die Baugrundbeurteilung in eigener Kompetenz vornehmen, wenn sie sich die nötige Fachkompetenz zutrauen. Sie tragen dafür die Verantwortung. Andernfalls sind sie verpflichtet, bei der Bauherrschaft die Durchführung einer Baugrunduntersuchung zu beantragen. Dies ist zunehmend häufiger und insbesondere bei geotechnisch komplexen Bauvorhaben der Fall. Verzichtet der Bauherr aus Kosten- oder anderweitigen Gründen auf eine Baugrundabklärung, empfiehlt es sich, diesen Bauherrenentscheid schriftlich festzuhalten.

Erfolgt der Beizug eines Baugrundsachverständigen (Geotechnik-Ingenieur / Geologe), liegt es in dessen Ermessen, auf Basis der Projektvorlagen, einer ersten Problemanalyse und nach Massgabe seiner ortsspezifischen Baugrundkenntnisse und Erfahrungen, der Bauherrschaft ein der Baugrundproblematik angemessenes Untersuchungsprogramm mit Kosten zu unterbreiten. Umfang und Ausmass der Sondierkampagne haben sich dabei nach Massgabe der projektspezifischen Randbedingungen, der Komplexität der geologisch-geotechnischen Problematik und der Risiken, unter Würdigung des vorhandenen Baugrundkenntnisstandes, zu orientieren.

Je nach Projektierungsablauf kann sich ein stufenweises, der Planungstiefe angepasstes Vorgehen als sinnvoll und zweckmässig erweisen. Die Kosten für eine Baugrunduntersuchung lassen sich nicht allgemein gültig in % der Bausumme beziffern.

Die Erfahrung zeigt, dass sich bei komplexeren Problemstellungen eine intensive Zusammenarbeit zwischen Projektverfasser und Baugrundspezialist über die Baugrunduntersuchung hinaus im weiteren Projektierungsverlauf für die Beteiligten oft lohnt. Dadurch können Missverständnisse vermieden und optimale Lösungen erarbeitet werden.

Spätestens während der Bauausführung sollte der Baugrundgutachter Gelegenheit erhalten, seine Prognosen und Empfehlungen zu verifizieren und ggf. den angetroffenen Verhältnissen anzupassen.

## 2. Das Baugrundrisiko

### 2.1 Zum Begriff Baugrundrisiko

Mathematisch ist der Begriff Risiko definiert als:

**Produkt aus der Grösse eines Schadenereignisses x Eintretenswahrscheinlichkeit**

Unter Baugrundrisiko wird das potentielle, baugrundbedingte Schadenrisiko verstanden.

Bauen ist immer mit einem gewissen Risiko behaftet, weil es mit noch so sorgfältigen und umfassenden Baugrunduntersuchungen kaum gelingt, über die tatsächliche Baugrundbeschaffenheit und das Baugrundverhalten abschliessende Klarheit zu erlangen. Das Baugrundrisiko ist kein unbestimmter, amorpher Begriff.

In Bezug auf die Verantwortlichkeiten der am Bau Beteiligten können drei Risikokategorien unterschieden werden [4]:

#### 2.1.1 Vorhersehbares, akzeptiertes Risiko

Es kann vorkommen, dass in gewissen Fällen ein vorhersehbares Risiko – häufig aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen – bewusst in Kauf genommen wird. Allerdings nicht frei von Sachzwängen und Geboten:

- Eine Gefährdung von Leib und Leben muss mit Sicherheit ausgeschlossen werden
- Die Tragsicherheit des Bauwerkes darf nicht in Frage gestellt sein
- Das akzeptierbare Risiko muss mit dem Auftraggeber unter Ausführung möglicher Folgen und Konsequenzen abgesprochen und schriftlich vereinbart werden.

Beispiele eines akzeptierten Risikos können sein:

- Konzessionen an die Gebrauchstauglichkeit in Form tolerierbarer Rissbildungen an Bauwerken
- Einschränkungen an die Dichtigkeitsanforderungen, z.B. bei Einstellhallen, die nur bei Grundwasserhochständen ins Grundwasser zu stehen kommen
- Bei Hangsanierungen, wo Sanierungsmassnahmen und Kosten für eine Dimensionierung auf normkonforme Sicherheiten oft nur mit technisch und wirtschaftlich unverhältnismässigem Aufwand erreicht werden. In solchen Fällen kann der Projektverfasser nach der Beobachtungsmethode (z.B. Rückrechnung der wirksamen Scherparameter) für die Dimensionierung der Massnahmen als Zielwert eine relative Erhöhung der Gleitsicherheit gegenüber dem heutigen Zustand definieren.

#### 2.1.2 Voraussehbare, nicht erkannte Baugrundrisiken

Es handelt sich um Risiken, die aus objektiver Sicht mit der notwendigen Sorgfalt nach heutigem Stand der Technik hätten erkannt werden können. Führen solche voraussehbare, aber nicht erkannte Risiken nachweisbar zu Schäden, liegt ein Verschulden vor.

### 2.1.3 Unvorhersehbare Baugrundrisiken

Unvorhersehbar ist ein Baugrundrisiko dann, wenn es mit der unter den konkreten Verhältnissen gebotenen Sorgfalt nicht erkannt werden konnte. Der Begriff ‚gebotene Sorgfalt‘ bedeutet, dass die einzuhaltende Sorgfalt den Verhältnissen angemessen sein muss. Je nach Grösse, Wichtigkeit und Gefährlichkeit eines Bauvorhabens, umso höher sind die Anforderungen an gebotene Sorgfalt zur Erfassung möglicher Baugrundrisiken.

Bei der Abgrenzung zwischen vorhersehbarem und unvorhersehbarem Risiko besteht ein gewisser Ermessensraum.

## 2.2 Baugrundrisiko-Management

**Oberste Priorität** im Baugrund-Risiko-Management **kommt einer** umfassenden und **frühzeitigen Risikoerkennung zu**. In dieser anspruchsvollen Kunst sind die Baugrundsachverständigen gefordert. Erkannte Risiken müssen transparent und unter Hinweis möglicher Konsequenzen offengelegt, schriftlich festgehalten und mit gebührendem Respekt beachtet werden.

**Während der Bauausführung sind voraussehbare Risiken** wie z.B. Baugrubendeformationen, Setzungen, Geländebewegungen und Porenwasserdruckschwankungen **mit einem** der Problematik angepassten **Kontrollsystem zu überwachen**.

Mit einem **vorsorglichen Massnahmenplan ist sicher zu stellen, dass** bei Überschreitung der Interventionswerte **zeitgerecht adäquate Massnahmen zur Schadensvermeidung getroffen werden können**. Die SIA-Norm sieht als Instrument dafür einen objektbezogenen Nutzungs-, Sicherheits- und Kontrollplan vor.

## 3. Auswirkungen von Baugrund- und Grundwassereingriffen im Umfeld

Die SIA-Norm 267 „Geotechnik“ [2] regelt umfassend und verbindlich

- die geotechnischen Aspekte
- die Anforderungen an die Baugrunduntersuchung
- die Bestimmung der Bodenkennwerte
- Die Belastungsannahmen, Grösse und Ansätze

aus den Baugrundeinwirkungen bei der Projektierung und Bemessung von Tragwerken im Erd- und Grundbau.

Zweckentsprechend fokussieren sich die Empfehlungen auf die Dimensionierungskriterien und die Interaktion Baugrund – Bauwerk.

Nicht allgemein verbindlich erfassen und regeln lassen sich die Auswirkungen und Konsequenzen eines Baugrundeingriffes auf das Umfeld. Mitbestimmende Einflussfaktoren dafür sind neben den projektspezifischen Randbedingungen die lokal geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse sowie die topographischen und örtlichen Gegebenheiten.

Die Projektverfasser haben sich demzufolge projektbezogen und situativ mit möglichen Gefährdungsszenarien auseinander zu setzen.

### **3.1 Geotechnische Auswirkungen und Risiken auf das Umfeld bei Baugrund- und Grundwassereingriffen**

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sind in nachstehender Tabelle aus praktischer Erfahrung mögliche und geläufige Gefährdungsbilder aufgelistet und erläutert:

Gefährdungsbild	Geotechnische Auswirkungen / Risiken	Massnahmen	
		Vorsorgliche	baulich-konstruktive
<b>Beschädigung von Werkleitungen</b>	Bei baulichen Eingriffen besteht das Risiko der Beschädigung bestehender Werkleitungen. Schadenursache können direkte Verletzungen oder indirekte geotechnische Auswirkungen sein ⇒ Setzungen, Verschiebungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ortung nach Lage und Tiefe</li> <li>• Zustandsaufnahmen (Nivellement, Kanalfernsehen)</li> <li>• Erschütterungsmessungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorgängige Sicherung / Umlegung</li> <li>• Wiederinstandstellung</li> </ul>
<b>Baugrubenumschliessungen / Baugrubensicherungen</b>	Jede Baugrundentlastung bewirkt Spannungsänderungen und Deformationen im Untergrund. Diese sind abhängig von den Baugrundeigenschaften, den hydrogeologischen Gegebenheiten und dem Ausmass des Baugrundeingriffes. In schlecht konsolidierten, plastischen Böden ist mit grösseren Deformationen zu rechnen als in dicht gelagertem und/oder z.B. glazial vorbelastetem Untergrund. Bei Baugrubenumschliessungen werden zur Mobilisierung des aktiven Erddruckes Baugrunddeformationen vorausgesetzt. Die Steifigkeit des Baugrubenverbaues spielt eine massgebende Rolle ⇒ Deformationen der Baugrubenumschliessung ⇒ Setzungen und Verschiebungen im Umfeld ⇒ Hebungen der Baugrubensohle ⇒ Behinderungen und/oder Nutzungseinschränkungen auf Nachbargrundstücken (z.B. bei Verankerungen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einholen der Bewilligung für Verankerungen bei den Anstössern</li> <li>• Den Deformationsanforderungen entsprechende Erddruckannahmen bei der Dimensionierung</li> <li>• Deformationsprognosen. In komplexeren Fällen mit FE-Modellrechnungen</li> <li>• Überwachung der Deformationen (Setzungsmessungen, Inklinometer, Extensometer)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Den Anforderungen angepasste Wahl der Bauverfahren bezüglich Baugrubenumschliessung (Spundwand, Rühlwand, Pfahlwand, Schlitzwand)</li> <li>• Baugrubenabstützung (Verankerung, Spriessung, Deckelbauweise)</li> </ul>
<b>Bodenvernagelungen</b>	Häufig angewendetes, flexibles und wirtschaftliches Bauverfahren für Baugrubenböschungssicherungen in kurzfristig standfesten, drainierten Baugrundverhältnissen ⇒ Gefahr von Materialausschwemmungen und Instabilitäten bei Antreffen von Schichtwasser ⇒ Kritische Bauzustände ⇒ Systembedingt grössere Deformationen als bei rückverankerten Baugrubenabschlüssen ⇒ Risiko von Blockgleiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachweis der Gesamtstabilität (Blockgleiten)</li> <li>• Wenn Bodennägel in Nachbargrundstücke reichen Einwilligung des Grundeigentümers</li> <li>• Überwachung der Deformationen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ggf. Kombination oder Verstärkung mit vorgespannten Ankern</li> </ul>
<b>Terrainaufschüttungen</b>	Terrainschüttungen bewirken Zusatzbelastungen des Untergrundes ⇒ Setzungen ⇒ Stabilitätsprobleme in Hanglagen ⇒ Zusatzbelastungen aus negativer Mantelreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Den geotechnischen Verhältnissen angepasste Planung (z.B. Disposition Materialdepots)</li> <li>• Kontrolle Setzungsverlauf</li> <li>• Berücksichtigung negativer Mantelreibung z.B. auf Pfähle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialersatz</li> <li>• Vorwegnahme oder Beschleunigung der Setzungen durch Vorbelastung / Überschüttung</li> <li>• Endgestaltung nach Abklingen der Setzungen</li> </ul>

Gefährdungsbild	Geotechnische Auswirkungen / Risiken	Massnahmen	
		Vorsorgliche	baulich-konstruktive
<b>Hanganschnitte / Baugrubenböschungen</b>	<p>Störungen des Spannungszustandes im Untergrund. Besondere Vorsicht ist geboten, wenn Wasser im Spiel ist und/oder oberliegende Bauten gefährdet sind</p> <p>⇒ Ausschwemmungen</p> <p>⇒ Böschungs- und/oder Hanginstabilitäten (Rutschungen)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stabilitätsnachweis</li> <li>• Zustandsaufnahmen Gebäude / Infrastrukturanlagen</li> <li>• Überwachung der Hangdeformationen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stützbauwerke</li> <li>• Verankerungen</li> <li>• Hangverdübelungen</li> <li>• Hangdrainagen</li> </ul>
<b>Ramm- und Vibrationsarbeiten</b>	<p>Erzeugen dynamische Schwingungen und Erschütterungen im Untergrund</p> <p>⇒ Störung der Bodenstruktur (Verdichtung, Bodenverflüssigung)</p> <p>⇒ Setzungen</p> <p>⇒ Erschütterungsauswirkungen auf bestehende Gebäude oder Infrastrukturanlagen (Risse)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zustandsaufnahmen (Rissprotokolle)</li> <li>• Erschütterungsmessungen</li> <li>• Setzungsmessungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsatz geeigneter Ramm-Vibrationsgeräte</li> <li>• Lockerungsverbohrungen</li> <li>• Hohlraumverfüllungen beim Rammen und Ziehen von Spundbohlen</li> </ul>
<b>Verankerungen / Injektionen</b>	<p>Beim Bohren von Anker sind mögliche Bohrerschwernisse, Erschütterungen und Materialausschwemmungen zu beachten. Zu hohe Injektionsdrücke können je nach Überdeckung und Baugrundbeschaffenheit Hebungen verursachen. Mit dem Vorspannen der Anker werden in der Haftzone Schubspannungen mobilisiert und das Erdreich im Bereich der freien Ankerlänge komprimiert</p> <p>⇒ Störungen des Untergrundes</p> <p>⇒ Setzungen und/oder Hebungen in der Verankerungszone</p> <p>⇒ Übermässiger Injektionsverbrauch, unkontrollierter Abfluss des Injektionsgutes</p> <p>⇒ Reduktion der Durchlässigkeit (k-Wert) des Untergrundes</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erkundung der Baugrundverhältnisse in der Ankerhaftzone</li> <li>• Abklärung möglicher Einbauten und Hindernissen im Verankerungsbereich</li> <li>• Überwachung der Injektionsdrücke</li> <li>• Kontrolle des Injektionsverbrauches</li> <li>• Zustandsaufnahmen best. Bauten im Einflussbereich der Anker</li> <li>• Kontrolle der Ankerkräfte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Den Baugrundverhältnissen angepasstes Bohrverfahren</li> <li>• Mehrfach nachinjizierbare Anker</li> <li>• Sackanker</li> </ul>
<b>Grundwasserabsenkungen</b>	<p>Aus hydrogeologischen und wirtschaftlichen Gründen sind Fördermenge und Pumpendauer auf ein Minimum zu beschränken. Die Ausbreitung des Absenktrichters ist abhängig von</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- der Mächtigkeit und Durchlässigkeit des Aquifers</li> <li>- der erforderlichen Absenkhöhe</li> <li>- der Baugrubenabmessungen</li> <li>- der Pumpmenge und Pumpendauer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesuch für Grundwasserabsenkung i.d.R. erforderlich</li> <li>• Abklärung der geotechnisch-hydrogeologischen Verhältnisse im Absenkperimeter</li> <li>• Kataster der bestehenden Grund- und Quellwasserfassungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wahl der zweckmässigen Baugrubenumschliessungsart</li> <li>• Rückversickerung des Pumpenwassers, sofern möglich</li> </ul>

Gefährdungsbild	Geotechnische Auswirkungen / Risiken	Massnahmen	
		Vorsorgliche	baulich-konstruktive
<b>Grundwasserabsenkungen</b> (Fortsetzung)	Bei dicht umschlossenen Baugruben mit Einbindung in gering durchlässige Schichten sind die Absenkauswirkungen häufig marginal. Weitreichendere Konsequenzen ergeben sich bei offenen Wasserhaltungen, Absenkungen in gespannten Grundwasserhältnissen und insbesondere in Böden mit organischen Einlagerungen (Torf) ⇒ Setzungen im Einflussbereich des Absenktrichters ⇒ Quantitative Beeinträchtigung bestehender Grund- und/oder Quellwasserfassungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überwachung der Quellschüttungen</li> <li>• Kontrolle des Grundwasserspiegelverlaufes und der Fördermengen bei bestehenden Grundwasserfassungen</li> <li>• Grundwasserspiegelbeobachtungen im Umfeld</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dichtungsmassnahmen zur Reduktion der Pumpmengen (k-Wert-Reduktion) (Sohlenverdichtung, Injektionen)</li> <li>• Unterwasserbetonplatte</li> <li>• Bei Beeinträchtigung bestehender Brunnen oder Quellen Wasserersatzmassnahmen</li> </ul>
<b>Bauten im Grundwasser</b>	Bauwerke, die permanent im Grundwasser stehen, können die Grundwasserfliessverhältnisse beeinträchtigen ⇒ Reduktion des Durchflussquerschnittes im Aquiter ⇒ Grundwasseraufstau	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rücksprache bei den Kant. Gewässerschutzämtern betreffend Bewilligung und Auflagen</li> <li>• Grundwasserspiegelüberwachung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialaustausch (Sickerteppich)</li> <li>• Einbau Geröll- oder Rohrdücker</li> <li>• Aufstauabsicherung (Ringdrainage)</li> </ul>

Tab. 3.1: Geotechnische Gefährdungsbilder auf das Umfeld bei Baueingriffen

## 4. Fallbeispiele aus der Praxis

### 4.1 Auswirkungen der Grundwasserabsenkung beim Bau eines Seewasserpumpwerkes

#### Sachverhalt

Für die Erstellung eines Pumpwerkes im ufernahen Bereich wurde anfangs der 70-iger Jahre im letzten Jahrhundert eine Grundwasserabsenkung in 8 Filterbrunnen (installierte Pumpenleistung je 1000 l/Min.) vorgenommen. Die Filterbrunnen reichten unter rezenten Seesedimenten in gut durchlässige fluviatile Deltaschotter mit einem  $k$ -Wert von  $1 - 5 \times 10^{-3}$  m/s. Wenige Tage nach Inbetriebnahme der Wasserhaltung konnte in der Baugrube das Absenkziel von  $-7.50$  m erreicht werden. Die Anfangspumpmenge ging stark zurück und konnte im Dauerbetrieb mit zwei Pumpen bewältigt werden. Erste Schadenmeldungen an relativ weit landeinwärts gelegenen Bauten waren Anlass für umfangreiche hydrogeologische Zustandsabklärungen im Umfeld.

#### Geologisch-hydrogeologische Situation

In der Ebene zwischen dem Seeufer und dem Molassehöhenzug im SE stehen verbreitet und in grösserer Mächtigkeit junge Schwemm- und Verlandungsböden mit Torflagen an. Darunter folgt ein mächtiger Komplex aus wechsellagernd siltigen und sandigen Seeablagerungen. Eingebettet in die feinkörnigen Sedimente finden sich komplex verzahnte Lagen und Rinnenfüllungen aus gut durchlässigen fluviatilen Schotterablagerungen (Fluss- und Deltaablagerungen). Im unbeeinflussten Zustand schwankte der gespannte Grundwasserspiegel je nach Witterungsverhältnissen wenige dm bis ca. 1.00 m unter Terrain in den gesättigten Verlandungssedimenten.

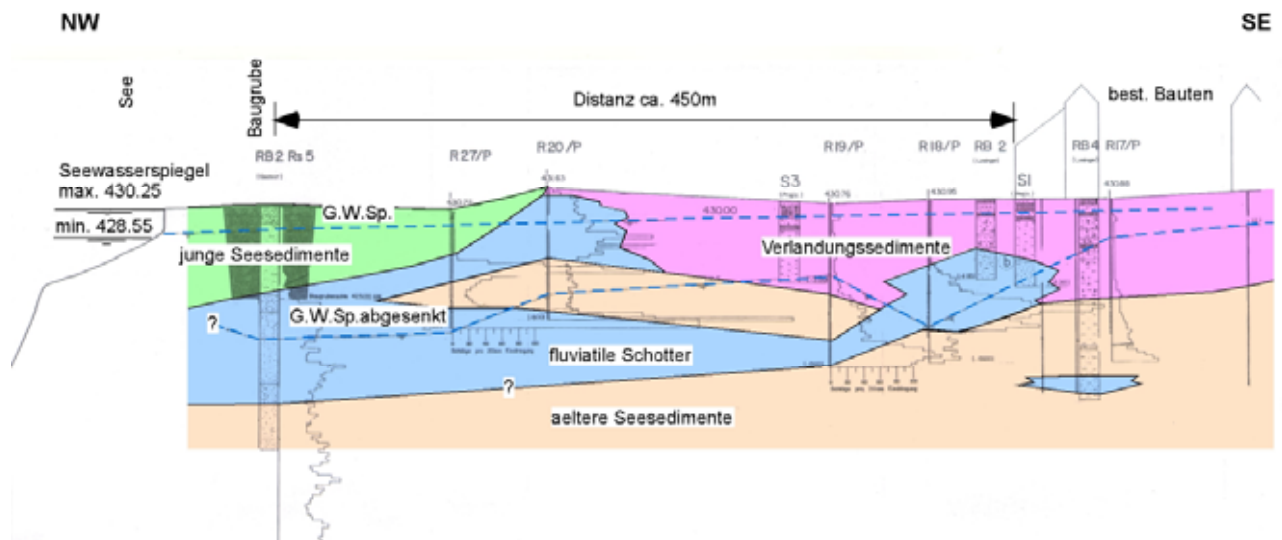


Abb. 4.1: Schematisches geologisches Profil (überhöht)

#### Auswirkungen der Grundwasserabsenkung

Mit der Wasserhaltung wurde ein weitreichendes hydraulisches System angezapft, was eine grossräumige Entspannung und Entwässerung in den setzungsempfindlichen Verlandungsböden bewirkte. Chemische Wasseranalysen zeigten eine aussergewöhnlich niedrige Sauerstoffsättigung und hohe Ammoniak-, Eisen- und Mangangehalte des gepumpten Wassers. Der Befund kann als Indiz dafür interpretiert werden, dass ein „abgestandenes“ Grundwasservorkommen mit quantitativ geringer Neubildung (Speisung) beeinflusst wurde.

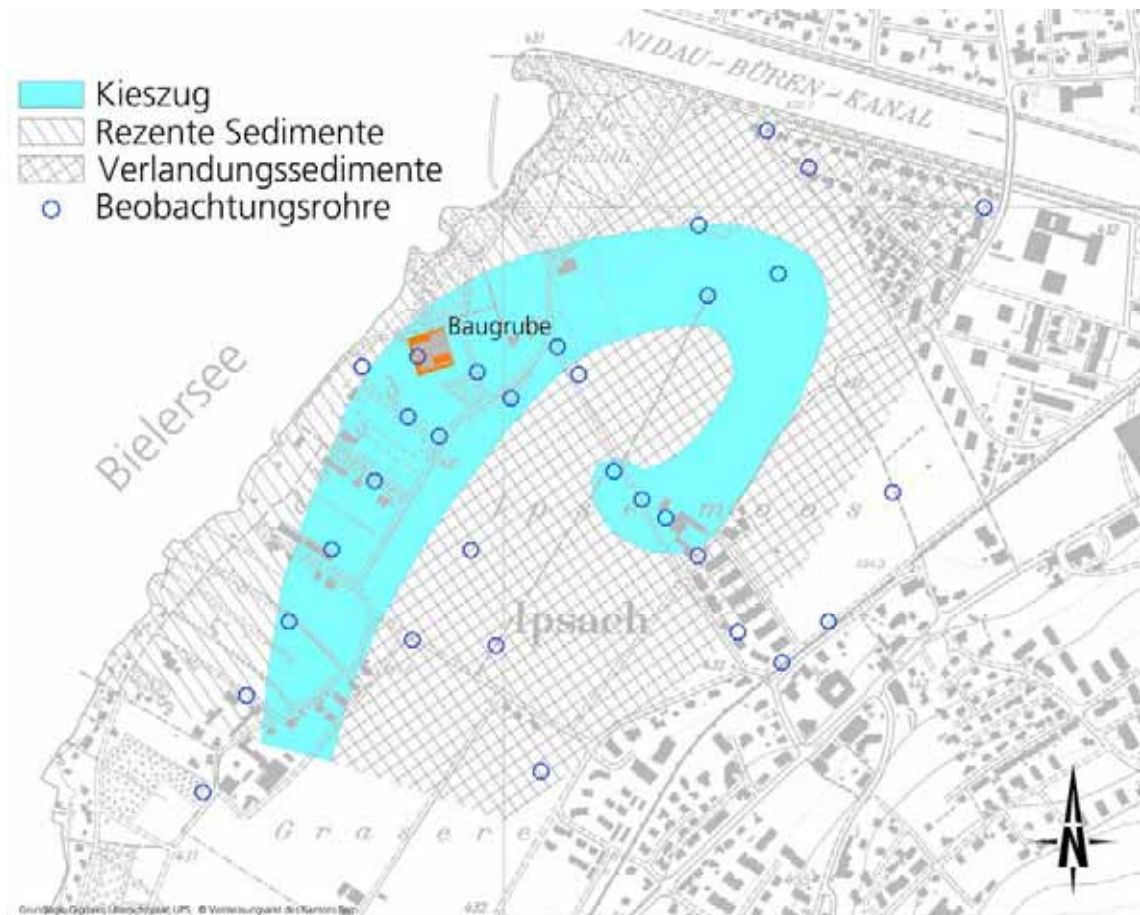


Abb. 4.2: Horizontalschnitt auf der Kote des Kieszuges

Im Ausmass erstaunlich war die Ausdehnung der Grundwasserabsenkauswirkung in der Umgebung. Anhand von Grundwasserspiegelmessungen konnte ein engerer Wirkungsbereich mit einer Ausdehnung von ca. 500 und einer Absenkung des Grundwasserspiegels zwischen -7.50 m (Baugrube) bis -2.00 m sowie ein äusserer Einflussperimeter bis ca. 800 m und einer Absenkung zwischen ca. -2.00 bis -1.00 m nachgewiesen werden.

Der Wegfall des Auftriebes und die Entwässerung der Verladungssedimente (Torflagen) bewirkten in der Umgebung Setzungen von einigen bis 25 cm. Folge davon waren Setzungsschäden an bestehenden Bauten und Infrastrukturanlagen. Augenfällig waren differenzielle Setzungen zwischen gefühlten Bauten und Umgebung.

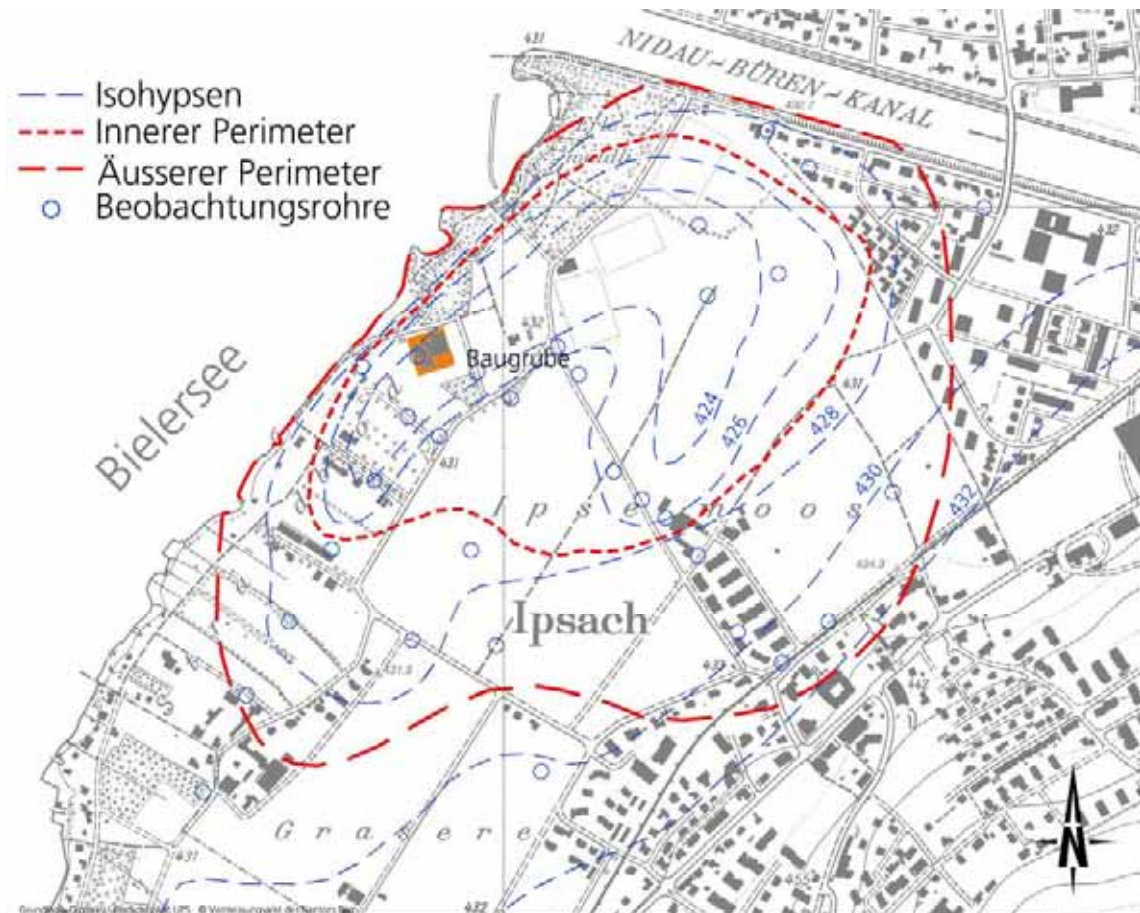


Abb. 4.3: Ausdehnung und Isohypsen der G.W.-Absenkung

### Massnahmen

Als Massnahmen wurden das Absenkziel und die Fördermenge auf das absolute Minimum reduziert und das Pumpenwasser ausserhalb der Baugrube in die Schotter rückversickert. Damit konnte ein sukzessiver Anstieg des Grundwasserspiegels im Umfeld erreicht werden. Irreversible Schäden mussten, soweit noch möglich, behoben oder entschädigt werden.

## 4.2 Hangrutsch bei Baugrubenaushub für ein EFH

### Sachverhalt

Beim Baugrubenaushub für ein Einfamilienhaus wurde ein mit ca. 20° einfallender Hang auf eine Höhe von lediglich 2.80 m mit einer Baugrubenböschungsneigung ca. 1:1 angeschnitten. Die Aushubarbeiten fielen in die Periode nach der Schneeschmelze und vorausgegangener Regenfälle. Eine Baugrundabklärung wurde nicht ausgeführt. Mit dem Aushub ist es zu einem progressiv rückschreitenden Hangrutsch auf der oberliegenden Nachbarparzelle gekommen. Durch die Rutschung war eine Stützmauer auf der Nachbarparzelle gefährdet. Es bestand das Risiko, dass bei hangseitiger Ausdehnung der Rutschung das oberliegende Wohnhaus beschädigt werden konnte.

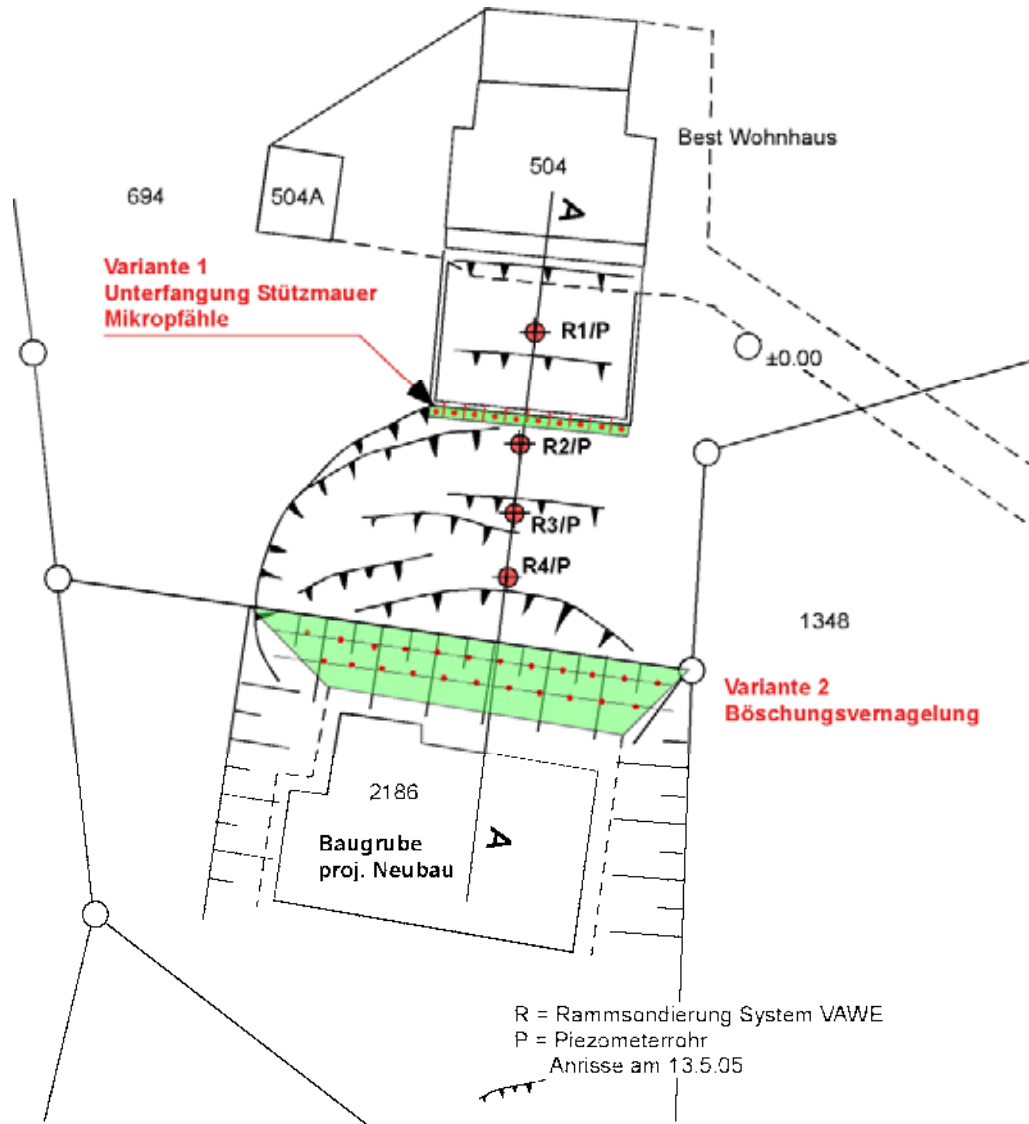


Abb. 4.4: Situationsübersicht

### Geologische Situation

Das Baugebiet liegt auf einer tiefgründigen, heute noch gering aktiven Molassesackung. Die ca. 2.50 m mächtigen Deckschichten bestehen aus zu Gehängelehm verwitterten Molassemergeln. In den Deckschichten zirkuliert Hangwasser. Die Hangwasserspiegelschwankungen reagieren rasch und stark auf die Witterungsverhältnisse im Einzugsgebiet. In den Piezometerrohren wurde das Druckniveau zwischen ca. 0.50 – 1.20 m unter Terrain gemessen.

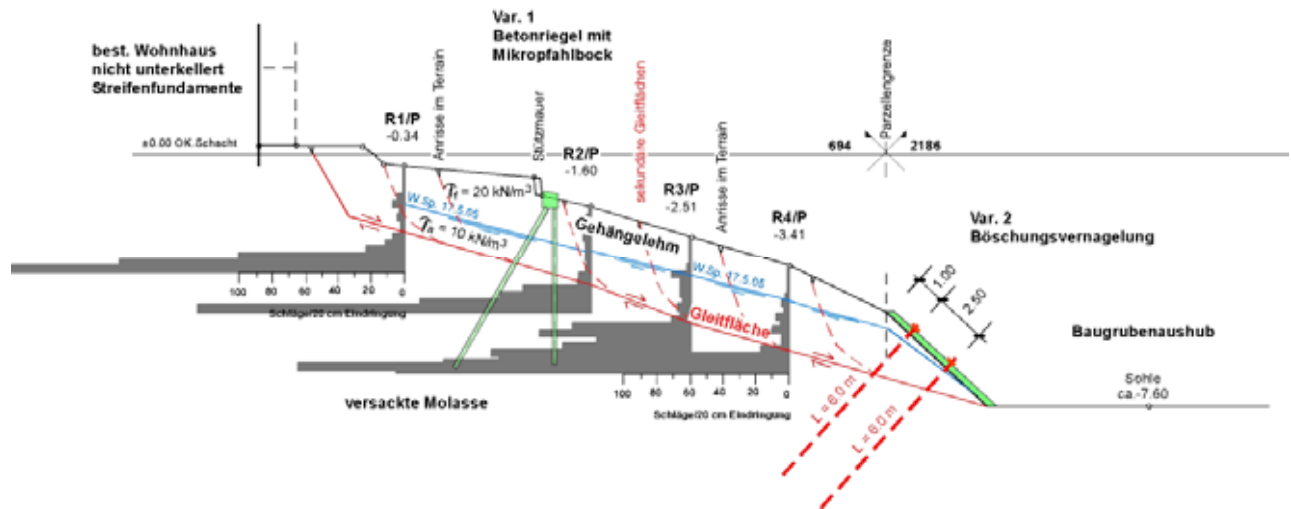


Abb. 4.5: Geotechnisches Hangprofil A-A

### Auswirkungen des Baugrubeingriffes

Durch den Baugrubenaushub (Hangfussentlastung) und austretendes Hangwasser wurde das Gleichgewicht des Hanges gestört, es kam zur Ausbildung einer Primärgleitfläche über der festeren Molasse und diverser Sekundärgleitflächen bis an die Terrainoberfläche, was letztlich zum progressiv fortschreitenden, schollenartigen Hangrutsch führte. Die folgenden Bilder illustrieren die Auswirkungen des Hangrutsches.



Foto 4.1: Blick in Baugrube vor Rutsch



Foto 4.2: Erste Anrisse im Terrain



Foto 4.3: Anriss bei Stützmauer



Foto 4.4: Zustand vor Sanierung der Stützmauer



Foto 4.5: Zustand bei Mauerstabilisierung



Foto 4.6: Etappenweiser Bau Kellergeschoss

## Getroffene Massnahmen

Nach Erkennen der ersten Anrisse wurde als Sofortmassnahme mit vorhandenem Aushubmaterial eine Fussschüttung zur Böschungsstabilisierung aufgebracht. Als Sanierungsmassnahmen standen zwei Varianten oder eine Kombination beider Varianten zur Diskussion.

**Variante 1:** Sicherung der Stützmauer mit vertikalen und schrägen Mikropfählen (Unterfangung und Bodendübelung)

**Variante 2:** Baugrubenböschungssicherung mit Bodenvernagelung in der Molasse

Um weitergehende Schäden an der Stützmauer zu verhindern und aus zeitlichen Gründen gelangte in einer Blitzaktion Variante 1 zur Ausführung.

Das Kellergeschoss wurde etappenweise erstellt und hinterfüllt. Abschliessend erfolgte die Terrainwiederinstandstellung zwischen Stützmauer und dem Neubau.

## Fazit

Das Fallbeispiel zeigt, dass auch vermeintlich harmlose Baugrundeingriffe unerwünschte Überraschungen, Aufregung bei den Beteiligten und letztlich Bauverzögerungen und Mehrkosten verursachen können.

## 4.3 Tiefe Baugrube in städtischen Verhältnissen

### 4.3.1 Bauvorhaben

In den Jahren 1992 – 1995 wurde an der Eigerstrasse in Bern ein grosses Verwaltungsgebäude, die Titanic II, gebaut. Für den Neubau mit 4 UG war eine Baugrube mit Abmessungen von ca. 128 x 28 m, allseitig bis an die Nachbargrundstücke reichend notwendig. Im Süden grenzt das Bauwerk an die Unterführung Eigerstrasse, im Osten an die alte Dammschüttung der Monbijoustrasse. Die nördliche Begrenzung bilden bestehende Wohn- und Geschäftsbauten. Die Baugrubensohle des 4. UG's reichte -14.50 m unter Niveau Monbijoustrasse. Bei mittlerem Grundwasserstand steht das Gebäude ca. 6.00 m im Grundwasser.

Die örtlichen Gegebenheiten, projektspezifische Anforderungen und Auflagen aus den Baubewilligungsverfahren stellten an die Projektverfasser besondere Anforderungen. Aus hydrogeologischen Gründen wurde ein rückbaubarer Baugrubenabschluss verlangt. EDV-Anlagen im nördlich angrenzenden Bau erforderten sehr restriktive Toleranzwerte bezüglich Erschütterungsauswirkungen. Oberstrom bestand eine Grundwasserfassung eines lebensmittelverarbeitenden Betriebes und am Sulgenrain diverse Quellwasserfassungen, die unter Androhung von Schadenersatz sichergestellt werden mussten. Die Bauherrschaft wünschte in den beengten Platzverhältnissen eine Grundwasserentnahme von  $Q \cong 1100$  l/Min. für Kühlzwecke. Mit entsprechenden Massnahmen musste der Grundwasserfluss im Talquerschnitt des einstmaligen Sulgenbachlaufes im Endzustand gewährleistet sein.

### 4.3.2 Geologisch-hydrogeologische Situation

Das Bauareal befindet sich im nördlichen Randbereich einer nacheiszeitlich geprägten und mit Schotter aufgefüllten Schmelzwasserabflussrinne des Köniz- und Sulgenbaches. Die Basis bilden glazigene, feinkörnige Schmelzwassersedimente. Hydrogeologisch charakterisiert der Sulgenbachlauf eine Art Überlaufsystem aus dem Mattenhofgrundwasserbecken in die tieferliegenden Aarealluvionen im Marzili. Aus einem Grosspumpversuch wurde für die Schotter ein Gebiets-k-Wert von  $2 \times 10^{-3}$  m/s ermittelt.

### 4.3.3 Baugrubenabschluss und Wasserhaltung

Als Baugrubenabschluss war eine mehrfach rückverankerte, temporäre Spundwand praktisch gegeben. Zur Sicherung des angrenzenden Gebäudes in der NE-Parzellenecke an der Monbijoustrasse wurde auf Intervention eine überschnittene Bohrpfehlwand aus Erschütterungs- und Deformationsgründen ausnahmsweise bewilligt (Verlauf parallel zur generellen Grundwasserfließrichtung).

Die Grundwasserabsenkung im Schutze der Spundwand erfolgte mit sieben grosskalibrigen Filterbrunnen. Für das partiell 4. UG gelangte eine Rühlwand mit Betonausfachung als integrierender Bestandteil des Bauwerkes zur Ausführung. Die in dieser Tiefe anstehenden, wassergesättigten Sande wurden mittels Wellpoint entwässert.

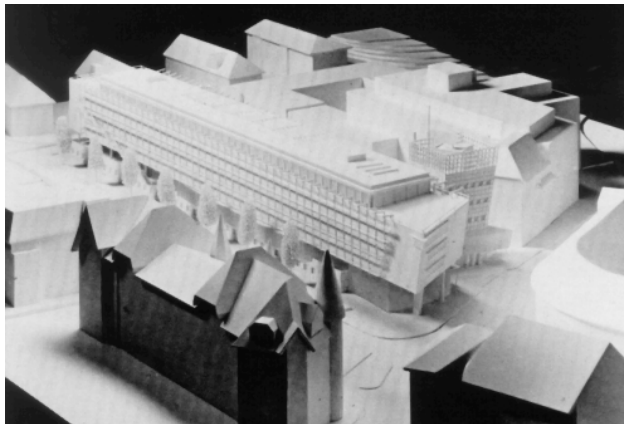


Foto 4.7: Neubau Titanic II im Modell



Foto 4.8: Blick von der Bovetstrasse in die Baugrube

### 4.3.4 Beweissicherungs-, Kontroll- und Überwachungsmassnahmen

Vor Baubeginn wurde der Zustand umliegender Gebäude (Rissprotokolle) festgehalten, entlang des Baugrubenumfanges Messbolzen für Setzungskontrollmessungen versetzt und im Umfeld der Baugrube ein Grundwasserspiegel-Überwachungsnetz installiert. Die Überwachung der Baugrubendeformationen erfolgte in 7 Messquerschnitten mittels Inklinometer, Extensometer und Einbau von Druckmessdosen zur Überwachung der Ankerkräfte. Eine besonders heikle Problemstellung waren die Erschütterungsauswirkungen während den Rammarbeiten auf die EDV-Anlagen der ASCOM und Schweizer Mobilversicherung im Gebäude Monbijoustrasse 68. Mittels Rammversuchen und Erschütterungsmessungen konnte dieser Problembereich gelöst werden. Auf Basis einer sorgfältigen Analyse wurden die Risiken möglicher Auswirkungen aufgelistet, kostenmässig quantifiziert und im Kostenvoranschlag als Reserveposition berücksichtigt.

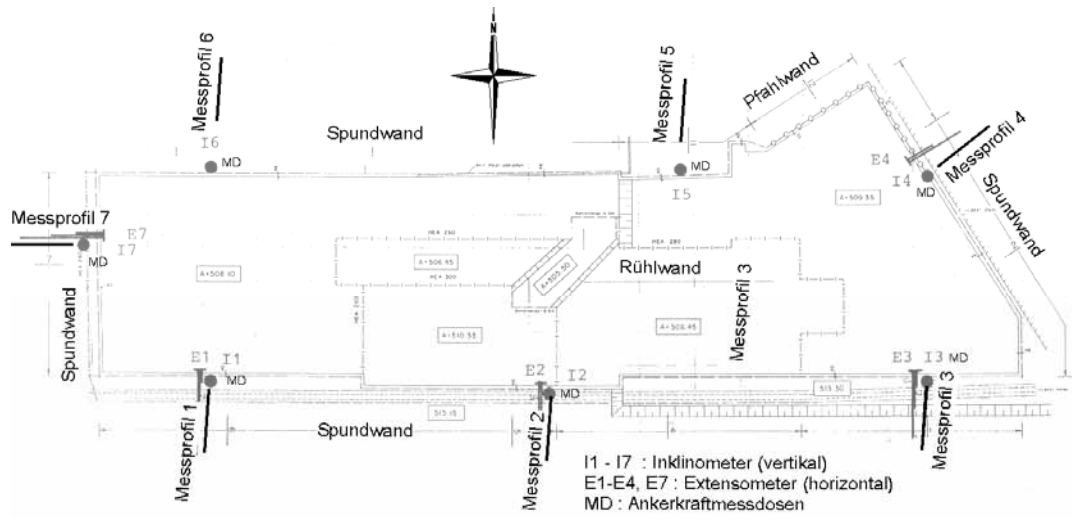


Abb. 4.6: Messkonzept Baugrubendeformationen

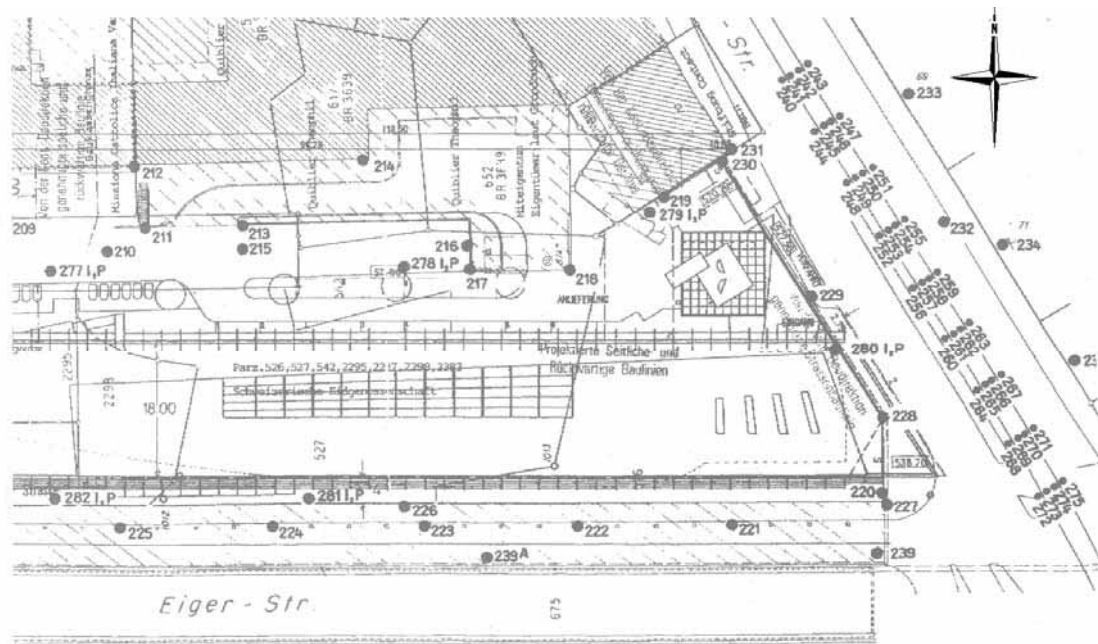


Abb. 4.7: Geodätisches Messkonzept (Ausschnitt)

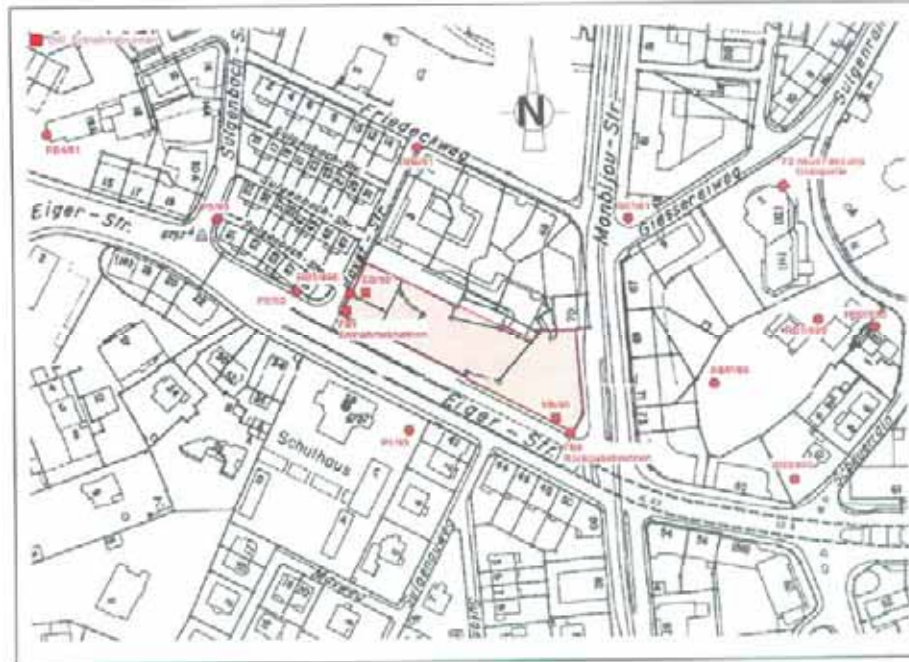


Abb. 4.8: Grundwasserspiegelmessnetz

### 4.3.5 Messresultate, getroffene Bauhilfsmassnahmen

#### Deformationen Baugrubenabschluss

Verformungen der Spundwand (weicher Baugrubenabschluss) waren zu erwarten. Die grössten Deformationen resultieren aus den Bauzuständen. Die Messwerte bestätigten die rechnerisch prognostizierten Wanddeformationen. Die Ankerkraftmessungen zeigten keine Kraftzunahmen. Der Kraftabfall lag signifikant unter dem Toleranzwert von 10%.

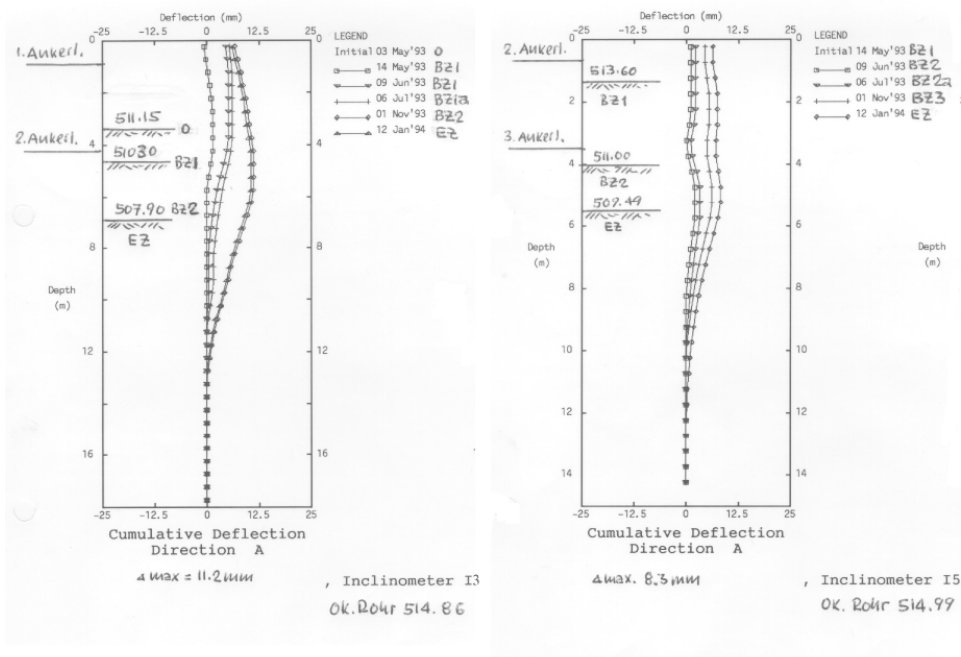


Abb. 4.9 und 4.10: Messresultate Inklinometermessungen

## Setzungsmessungen

An der Lehnkonstruktion der Unterführung Eigerstrasse und der umliegenden Gebäude wurden Setzungen von 0 – 4 mm gemessen. Erwartungsgemäss grössere Setzungsbeträge bis zu 28 mm resultieren für die Einstellhallenrampe, unmittelbar hinter der Spundwand im Norden. Instandstellungsarbeiten an der Einfahrtsrampe waren im KV vorgesehen.

## Grundwasserabsenkauswirkungen in der Umgebung

Oberstrom waren die Auswirkungen der Grundwasserabsenkung marginal und bewegten sich im Rahmen der langjährigen, natürlichen Grundwasserspiegelschwankungen. Stromabwärts am Sulgenrain dagegen haben die Piezometerrohre auf die Absenkung reagiert. Bezogen auf den Ausgangswasserstand vor Pumpenbeginn konnten Grundwasserspiegelschwankungen bis 0.90 m festgestellt werden. Eine Rückversickerung des Pumpenwassers während der Bauphase war von den Platzverhältnissen her nicht möglich.

Das Absinken des Grundwasserstandes unter die Auslaufkote in der Brunnstube der Glurquelle führte dazu, dass die vorsorglich installierte Pumpe in Betrieb genommen werden musste. Nach Abstellen der Wasserhaltung haben sich die Grundwasserstände rasch wieder erholt.

Aus hydrogeologischen Erwägungen und Kostenüberlegungen (Pumpkosten, Ableitungsgebühren) wurden das 4. UG und das 3. UG teilweise geflutet. Mit dieser im Projekt vorgesehenen Massnahme konnte die Pumpendauer um ca. 1 Jahr reduziert werden.

Als vorsorgliche Massnahme zur Aufstauabsicherung (Auftrieb) gelangte auf der Westseite eine „Abrahmdrainage“ mit Anschluss an den Entnahmebrunnen zur Ausführung.

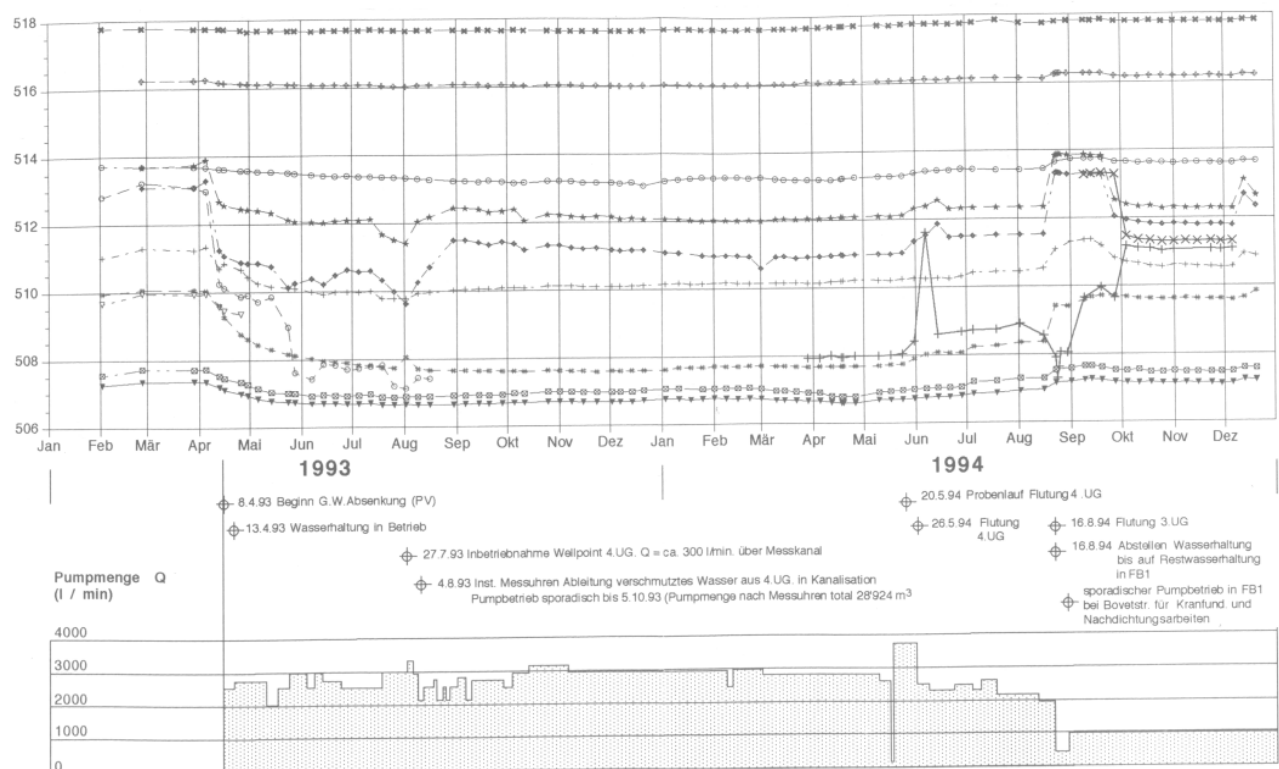


Abb. 4.11: Pumpmenge und Ganglinien ausgewählter Piezometerrohre im Umfeld

## Erschütterungsauswirkungen der Rammarbeiten

Zur Abklärung der Erschütterungsauswirkungen auf bestehende Gebäude und insbesondere die empfindlichen EDV-Anlagen in der Liegenschaft Monbijoustrasse 68 gelangten vorgängig Rammversuche, kombiniert mit Erschütterungsmessungen, zur Durchführung. Die Versuche ergaben bei den bestehenden Gebäuden Messwerte deutlich unter den Richtwerten nach SN 640 312a. Hingegen konnte die Einhaltung der restriktiven Toleranzwerte der Lieferfirma für die empfindlichen EDV-Anlageteile trotz Lockerungsbohrungen nicht garantiert werden.

In Zusammenarbeit mit der Fa. AIRLOC SCHREPFER Küsnacht wurden auf Basis der Erschütterungsmessresultate „Dämpfungsmatten“ dimensioniert und unter den sensiblen EDV-Anlageteilen eingebaut.

Mit dieser Massnahme konnten die Rammarbeiten ohne Betriebsbeeinträchtigungen der Anlieger problemlos ausgeführt werden.

## Grundwasserentnahme für Kühlzwecke

Die hydrogeologischen Verhältnisse für eine Grundwasserentnahme wurden als günstig beurteilt. Beim geringen Grundwassergefälle ( $i \cong 7\text{‰}$ ) und einer Distanz des Entnahme- zum Versickerungsbrunnen von 110 m stellte sich die Frage des Rückflusses von erwärmten Wasser in den Fassungsbrunnen (thermischer Kurzschluss). Zur Abklärung wurden zwei grosskalibrige Filterbrunnen an den vorgesehenen Entnahme- und Rückgabestandorten abgeteuft und die Anlage in einem Grosspumpversuch im Massstab 1:1 getestet. Bei einer Entnahme im Betriebszustand von  $Q \cong 1100 \text{ l/Min.}$  konnte der Rückfluss aus dem Versickerungsbrunnen auf ca. 300 l/Min. beziffert werden. Das Bauwerk als Hindernis zwischen Entnahme- und Rückgabestelle konnte in der Prognose allerdings nicht wirklichkeitsnah berücksichtigt werden. Entschärft wurde das Problem eines möglichen thermischen Kurzschlusses durch eine in der Tiefe gestaffelte Wasserentnahme und Rückgabe.

Die Versickerung erfolgte über einen Drainagekoffer im Osten unter der Bodenplatte 3. UG und 6 Kiespfähle  $\varnothing 700 \text{ mm}$  im tieferen Bereich des Grundwasserleiters mit Überdruck.

Abgesehen von anfänglichen Steuerungsproblemen funktioniert die Grundwasserentnahme aus hydrogeologischer Sicht bis heute ohne nennenswerte Probleme.

## Fazit

Am Beispiel Verwaltungsgebäude Titanic II soll gezeigt werden, dass bei umsichtiger Planung, enger Zusammenarbeit zwischen Bauherrschaft, Planer und Spezialisten und einer sorgfältigen Bauausführung und Überwachung komplexe Bauvorhaben in schwierigen Verhältnissen ohne unliebsame Überraschungen und Kostenkonsequenzen realisiert werden können.

## Literaturhinweise:

- [1] SIA Norm 260: 2003 Bauwesen, Schweizer Norm SN 505 260 „Grundlagen der Projektierung von Tragwerken“, 2003-01 1. Auflage
- [2] SIA Norm 267: 2003 Bauwesen, Schweizer Norm SN 505 267 „Geotechnik“, 2003-01 1. Auflage
- [3] SIA Norm 267/1: 2003 Bauwesen, Schweizer Norm SN 505 267/1 „Geotechnik – Ergänzende Festlegungen“, 2003-01 1. Auflage
- [4] SIA Dokumentation D016: „Die Tätigkeit als Experte“, SIA-Informationstagung vom 15. September 1987, Bern
- [5] Baugrundarchiv CSD: „Fallbeispiele aus der Praxis“, Dokumentation