

Bundesanstalt für Wasserbau · Am Ehrenberg 8 · 98693 Ilmenau

Wasser- und Schifffahrtsamt Bremen  
z.H. Herr Thomas Seufzer  
Franziuseck 5  
28199 Bremen

Wasser u. Schifffahrtsamt Bremen

Eing. 17. April 2014

Az. ....

Anl. ....

Ansprechpartner/in:  
Dr.-Ing. U. Zerrenthin  
Bearbeiter-Nr.: 2510

Tel.: 0721 9726 2601  
Fax: 03677 669 3333  
uwe.zerrenthin@baw.de  
www.baw.de

Datum: 16.04.2014

## Ersatzneubau Cäcilienbrücke in Oldenburg Stellungnahme zu Auswirkungen von Erschütterungen

### 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Das WSA Bremen plant den Ersatzneubau der Cäcilienbrücke. Die Cäcilienbrücke, die im Stadtgebiet von Oldenburg liegt, quert den Küstenkanal (KüK) bei km 0,837. Die Notwendigkeit für den Neubau ergab sich bei der Erstellung eines Planungskonzeptes [3] für die dauerhafte Instandsetzung der Cäcilienbrücke. Die neue Brücke soll am Standort der alten Brücke in Form einer Hub- oder Klappbrücke gebaut werden. Das WSA Bremen hat die BAW, Referat Baugrunddynamik beauftragt, als Grundlage für den Planungswettbewerb eine Stellungnahme zu den möglichen Auswirkungen erschütterungsintensiver Arbeiten auf die angrenzende Bebauung beim Abriss der alten und Bau der neuen Brücke abzugeben.

### 2 Unterlagen

- [1] Auftragsschreiben, E-Mail vom WSA Bremen vom 24.03.2014
- [2] Instandsetzung Cäcilienbrücke Oldenburg (KüK – km 0,837), Geotechnischer Bericht aufgestellt von der Bundesanstalt für Wasserbau, Referat Geotechnik Nord (K1), BAW-Nr. A39550110271, Juli 2011.
- [3] Cäcilienbrücke - Hubbrücke über den Küstenkanal in Oldenburg, Bericht zum Planungskonzept für die dauerhafte Instandsetzung, Planungsgemeinschaft *Dr. Schippke+Partner, IMS Ingenieurgesellschaft mbH, Ingenieurberatung Bräggelhoff* im Auftrag des WSA Bremen, 20.07.2012.
- [4] Ersatzneubau der Cäcilienbrücke, KüK – km 0,837, Gründungstechnische Stellungnahme, aufgestellt von der Bundesanstalt für Wasserbau, Referat Geotechnik Nord (K1), BAW-Nr. A39550110379, März 2014.

- [5] Lageplan, Gebäudebeweissicherung, Maßstab 1:1000, Stand 11.03.2014, PDF-Datei, E-Mail vom WSA Bremen am 24.03.2014
- [6] Gründungsart angrenzender Gebäude mit Abständen zur vorhandenen Cäcilienbrücke, Stand 18.03.2014, Excel-Tabelle, E-Mail vom WSA Bremen am 24.03.2014
- ~~[7] DIN 4150-1, Erschütterungen im Bauwesen, Vorermittlung von Schwingungsgrößen, Juni 2001~~
- ~~[8] DIN 4150-2, Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Juni 1999~~
- [9] DIN 4150-3, Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Februar 1999
- [10] Datensammlung Erschütterungsmessungen bei Ramm-, Vibrier-, Meißel- und Sprengarbeiten sowie Schiffsverkehr, BAW-Ilmenau, Referat Baugrunddynamik (unveröffentlicht)

### 3 Vorhandenes Brückenbauwerk

Das Brückenbauwerk besteht aus einer einfeldrigen Hubbrücke. Der Antriebmechanismus der Hubbrücke wurde in vier weitgehend baugleichen Turmgebäuden (siehe Bild 1) integriert. Die Brücke wurde 1927 fertig gestellt. „Die vier Hubtürme der denkmalgeschützten Cäcilienbrücke wurden auf einer Kombination aus Trägerrost mit Sohlplatte und darunter liegenden Block- und Streifenfundamenten erbaut. ... Des Weiteren sind dem Verfasser keine Angaben zum Beton und dessen Eigenschaften wie z.B. Gefügestand, Festigkeit und Informationen über Bewehrung und deren Zustand bekannt. Informationen über Beprobungen, z.B. durch Kernbohrungen, liegen nicht vor“ [3]. Die Fundamente sind auf vertikalen und geneigten Kiefernholzpfählen mit Durchmesser von im Mittel 25 cm bis 28 cm tiefgegründet. Die UK der Pfähle liegt in einer Tiefe von ca. NH - 7,80 m.

Die gesamte Stahlkonstruktion wurde nach Kriegsende ersetzt und die Türme neu aufgebaut. Im Zeitraum 1982 bis 1984 wurde die Hubbrücke grundinstandgesetzt. Seit 1983 wurde eine kontinuierliche Abnahme des horizontalen Abstands zwischen den Widerlagern der Hubtürme auf dem Nord- und dem Südufer festgestellt. In den Jahren 2005/2006 erfolgte eine Sohlvertiefung des Kanals auf NH - 4,00 m. Vor beiden Widerlagern wurde jeweils eine neue rückverankerte Spundwand gerammt. Die UK der Spundwand liegt in einer Tiefe von ca. NH - 7,26 m. Zur Lastübertragung des bestehenden Systems auf die neue Spundwand erfolgte eine Verfüllung des Zwischenraumes mit Sohlmaterial [2]. Aufgrund des geringen Verdichtungsgrads der Verfüllung besteht bisher kein Kraftschluss über den Bodenkörper zwischen der alten und der neuen Spundwand [3].

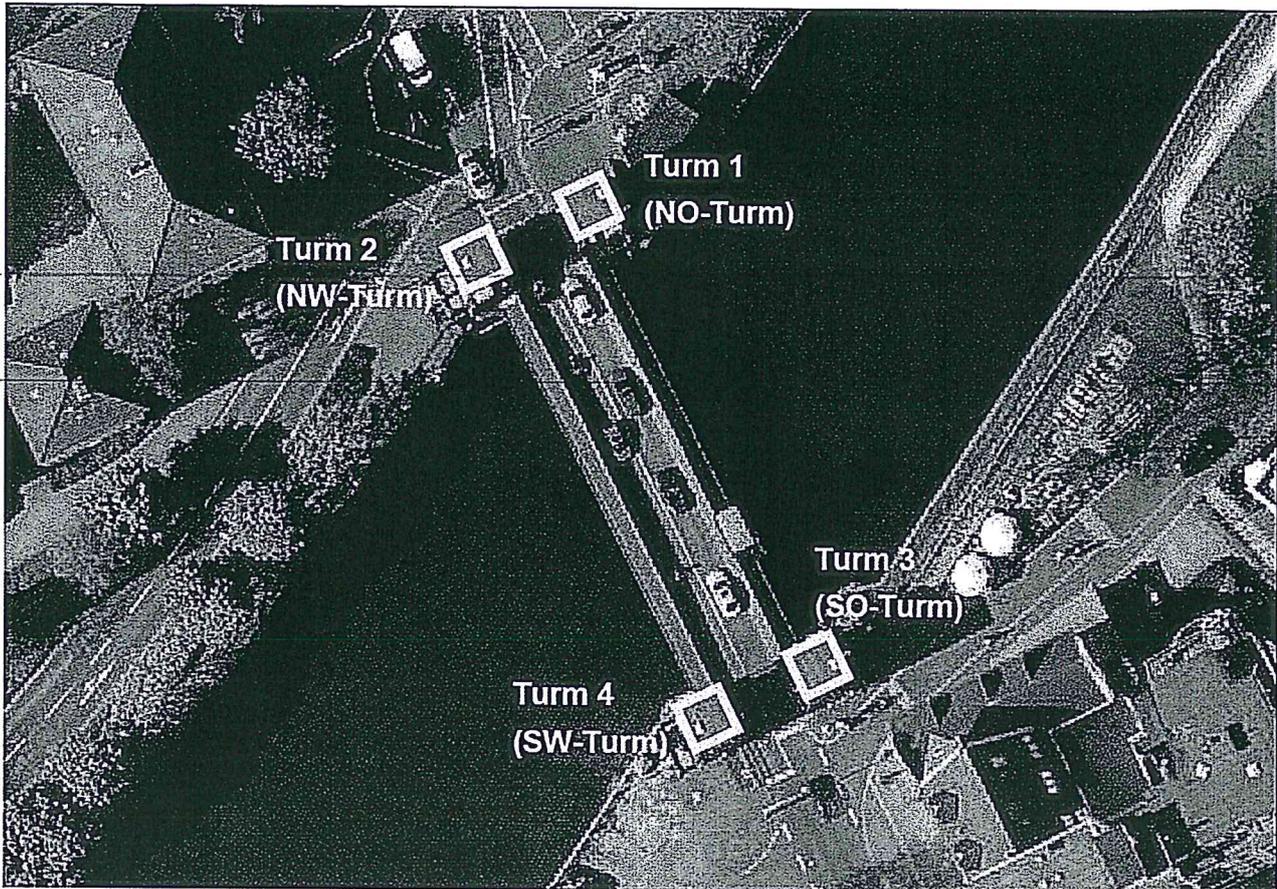


Bild 1: Cäcilienbrücke mit Kennzeichnung der Lage der Turmgebäude [2]

#### 4 Nächstliegende Schutzgüter

In unmittelbarer Nähe zum Baufeld befinden sich Wohngebäude (2 - 4 Geschosse), asphaltierte Straßen und die Uferspundwand. Das auf dem Nordufer nächstliegende Gebäude (*Damm 46*, Flurstück 944/11, Baujahr 1842) ist flach gegründet und hat einen minimalen Abstand  $R = 11$  m zur Brücke. Auf der Südseite beträgt der minimale Abstand  $R = 5$  m zum nächstliegenden Gebäude (*Uferstraße 1*, Flurstück 1645/208, Altbau, Flachgründung) [6].

#### 5 Baugrund

Die Geländeoberkante liegt im Bereich der Baumaßnahme zwischen ca. NHN + 4,2 m und NHN + 4,6 m. Der Baugrund ist im Bereich der Cäcilienbrücke nach [2] und [4] wie folgt aufgebaut:

Nordseite:

- Auffüllungen (sehr geringe - geringe Festigkeit, Mächtigkeit bis ca. 8 m, UK bei NHN - 2,5 m bis NHN - 3,8 m)
- Sande (sehr geringe bis mittlere Festigkeit, Mächtigkeit bis ca. 4 m, UK bei NHN - 5,6 m bis NHN - 8,3 m)

- Schluffige Sande (große bis sehr große Festigkeit, Mächtigkeit ca. 13 m bis Bohrende bei ca. NHN - 19,8 m bis NHN - 20,6 m)

Südseite:

- Auffüllungen (sehr geringe bis geringe Festigkeit, Mächtigkeit ca. 2 m bis 4 m, UK bei NHN + 0,5 m bis NHN + 0,5 m)
- Sande (sehr geringe bis mittlere Festigkeit, Mächtigkeit meist bis ca. 4,5 m bis 5,5 m, örtlich, d.h. wo die Schluffschicht auskeilt, auch darüber, UK bei NHN - 2,4 m bis NHN - 6 m)
- Schluff (steife Konsistenz, Mächtigkeit ca. 5 m, UK bei NHN - 7,7 m bis NHN - 8,8 m)
- Schluffige Sande (geringe bis sehr große Festigkeit, Mächtigkeit ca. 13 m bis Bohrende bei ca. NHN - 20,5 m)

Die Auffüllungen bestehen überwiegend aus gleichförmigen Fein- bis Mittelsanden, die aufgrund ihrer engen Abstufung und ihrer lockeren Lagerung als besonders verlagerungs- und setzungsempfindlich gelten. Die darunter anstehenden locker bis mitteldichten Sande reichen kornanalytisch von mittelsandigem Feinsand bis zu kiesigem Sand, wobei überwiegend Fein- bis Mittelsande erkundet wurden. Sie sind gleichförmig und eng abgestuft. Neben kiesigen Bereichen muss mit Steinen und Gerölllagen gerechnet werden. Schluff steht nur im Bereich des südlichen Widerlagers an. Darunter schließt sich bis zur maximalen Erkundungstiefe schluffiger Sand an, dessen Festigkeit stark schwankt.

Die Rammbarkeit der Böden reicht von leicht (Auffüllungen, Sande sehr geringer Festigkeit) bis schwerste Rammbarkeit (schluffige Sande sehr großer Festigkeit). Rammhindernisse (z.B. Bau-schutt, Gründungsreste, Steine usw.) können nicht ausgeschlossen werden.

## 6 Erschütterungsintensive Baumaßnahmen

### 6.1 Allgemeine Bemerkungen

Erschütterungsintensive Bauverfahren sind Bauverfahren, die mechanische Schwingungen über den Baugrund in Bauwerke einleiten mit potenziell schädigender Wirkung auf Bauwerke und/oder erheblicher belästigender Wirkung auf Menschen in Gebäuden. Zu den bei den geplanten Baumaßnahmen möglichen erschütterungsintensiven Bauverfahren gehören das Ziehen und Einbringen von Rammelementen (Spundbohlen, Gründungs- und Verankerungselemente) durch Schlag- und/oder Vibrationsrammverfahren, die Baugrundverdichtung durch Vibrationsverdichter (Rüttelplatten, Rüttelwalzen, Tiefenrüttler) und der Rückbau der bestehenden Betonelemente der Turm Gründungen mit hydraulischen Meißeln.

Die Bewertung der Bauwerks- und Bauteilschwingungen hinsichtlich ihrer Wirkung auf Bauwerke erfolgt nach DIN 4150-3 [9]. Als Mess- und Beurteilungsgröße wird vorrangig die Schwinggeschwindigkeit herangezogen, da zwischen der Schwinggeschwindigkeit und den Bauwerks- bzw. Bauteilbeanspruchungen näherungsweise ein linearer Zusammenhang nachgewiesen wurde. Die

Bewertung von Deckenschwingungen hinsichtlich ihrer Wirkung auf Menschen erfolgt nach DIN 4150-2 [8]. Für die Beurteilung der Belästigung von Menschen in Wohngebäuden wird die bewertete Schwingstärke  $KB_{Fmax}$  herangezogen, die näherungsweise aus der Schwinggeschwindigkeit bestimmt werden kann [8].

Die Auswirkungen von Erschütterungen auf den Boden im Gründungsbereich von Bauwerken werden mit den Schwingungsanhaltswerten der DIN 4150-3 nicht berücksichtigt. In der DIN 4150-3 Abschnitt 4.6 wird angeführt: „Vor allem in locker bis mitteldicht gelagerten nichtbindigen Böden (Sande, Kiese) können starke Erschütterungen zu Sackungen des Bodens und damit zu Setzungen von Gründungskörpern führen. Das gilt besonders für häufige Erschütterungen, für gleichförmige Sande und für Böden unterhalb des Grundwasserspiegels“.

## 6.2 Vibrationsrammung

Insbesondere für Vibrationsrammverfahren im Nahbereich von Gründungen auf locker bis mitteldicht gelagerten nichtbindigen Böden (Sande, Kiese) werden im Anhang C der DIN 4150-3 (informativ) Sicherheitsabstände zwischen Rammelement und Bauwerksgründung empfohlen: „Es sollte deshalb der Abstand zu Gebäuden so gewählt werden, dass zwischen Erschütterungsquelle und Gebäudefundament ein Winkel von mindestens  $30^\circ$  zur Vertikalen eingehalten wird. Im Grundwasser kann ein größerer Winkel,  $45^\circ$ , angebracht sein“ (s. Anlage 1). „Auch in größerer Entfernung von Erschütterungsquellen können schwingungsinduzierte Fundamentverschiebungen bereits bei Erschütterungen auftreten, bei denen keine Gebäudeschäden aus direkter Schwingungsbeanspruchung zu erwarten sind“ [9]. Beim Einbringen und Ziehen von Rammelementen durch Vibrationsrammung sind nach vorliegenden Erfahrungen Bodenumlagerungen mit Setzungen  $S \geq 1$  mm im Entfernungsbereich bis ca. 25 m möglich.

Neben der möglichen Setzungsgefahr für die angrenzenden Straßenbeläge und die auf beiden Seiten jeweils nächstliegenden Gebäude besteht auch ein hohes Risiko zur Überschreitung der Erschütterungsanhaltswerte der DIN 4150-2 und DIN 4150-3 für diese Gebäude. Zur Vermeidung von Schäden an den Gebäuden und erheblicher Belästigung von Anwohnern wird die Anwendung des Vibrationsverfahrens zum Ziehen und Einbringen von Rammelementen nicht empfohlen.

## 6.3 Schlagrammung

Bei Einsatz eines langsam schlagenden Rammbäres ist die Gefahr von Bauwerkssetzungen durch erschütterungsbedingte Bodenumlagerungen erheblich geringer als bei Vibrationsrammung [9]. Die Größe der erzeugten Schwingungen ist hauptsächlich von der Größe der kinetischen Schlagenergie  $E$  des Rammbäres abhängig. Explosionsrammen erfordern eine ca. 2,5-fach höhere Rammenergie pro Schlag als hydraulisch angetriebene Rammen für gleichen Rammfortschritt und bei etwa gleicher Erschütterungsemission. Eine statistische Auswertung von Schwingungsmessungen bei vergleichbaren Vorhaben zeigt, dass auf der Nordseite des Kanals bei Schlagenergien  $E \leq 90$  kNm einer Explosionsramme (entspricht  $E \leq 36$  kNm bei einem Hydraulikbär) die Anhaltswerte der DIN 4150-3 im Mittel eingehalten werden können (statistische Sicherheit  $P = 50$  %). Auf der Südseite gilt das für Explosionsbäre mit  $E \leq 30$  kNm (bzw.  $E \leq 12$  kNm bei einem Hydraulik-

bär). Mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ist mit erheblichen Belästigungen der Anwohner in den nächstliegenden Gebäuden zu rechnen. Bei einer statistischen Sicherheit von  $P = 95 \%$  können bei den genannten Schlagenergien die Anhaltswerte der DIN 4150-2 und der DIN 4150-3 um bis zu 100% überschritten werden. Es wird empfohlen, die Schlagammung von Rammelementen auf der Südseite nicht einzusetzen. Auf der Nordseite führen Explosionsbäre mit Energien  $E \leq 20 \text{ kNm}$  mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht zur Überschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150-3. Aufgrund des hohen Alters des nächstliegenden Gebäudes (*Damm 46*) auf der Nordseite wird aber auch auf dieser Seite der Einsatz von Schlagrammen nicht empfohlen.

#### 6.4 Baugrundverdichtung mit Vibrationstechnik

Tiefenrüttler haben vergleichbare Auswirkungen wie Vibrationsrammen. Der Einsatz von Tiefenrüttlern wird deshalb nicht empfohlen.

Die wichtigsten Gerätedaten von Vibrationswalzen und Plattenrüttlern in Zusammenhang mit der Schwingungsabstrahlung sind die Gerätemasse, die Fliehkraft, die Vibrationsfrequenz, die Bodeneigenschaften und die Richtung der Kraftübertragung auf den Baugrund. Die Größe der Schwingungen nimmt im Allgemeinen mit dem Verdichtungsgrad des Bodens zu. Bei Verdichtung des Baugrundes mit Walzen im Oszillationsbetrieb erfolgt die Kraftübertragung nur horizontal, d.h. in Form von Scherkräften. Die Schwingungsabstrahlung im Oszillationsbetrieb ist im Vergleich zur Vibrationsverdichtung (vertikale Kraftübertragung) wesentlich geringer.

Die größte Schwingungsabstrahlung erfolgt häufig beim Durchfahren der Resonanzfrequenz des Systems *Gerät – Boden* beim An- und Auslaufen der Vibrationsantriebe. Die Resonanzfrequenz liegt nach vorliegenden Erfahrungen im Bereich  $15 \text{ Hz} \leq f \leq 60 \text{ Hz}$ , wobei mit zunehmender Gerätemasse die Resonanzfrequenz abnimmt. Bei geringen Resonanz- und Betriebsfrequenzen ( $f < 30 \text{ Hz}$ ) erhöht sich die Gefahr von Resonanzschwingungen an Bauteilen der nächstliegenden Gebäude. Überwiegend sind es Decken, die wegen der Größe ihrer Eigenfrequenz (im Mittel bei 15 bis 30 Hz, Häufung bei 20 bis 25 Hz) und der vergleichsweise geringen Dämpfung bei Übereinstimmung von anregender Frequenz und Eigenfrequenz zu großen Resonanzschwingungen (Resonanzüberhöhung gegenüber anregender Fundamentalschwingung etwa bis 25fach [7], Häufung im Bereich 5 bis 15fach [10]) angeregt werden können.

Der Einsatz schwerer Vibrationswalzen mit vertikaler Kraftübertragung auf den Baugrund und schwerer Rüttelplatten führt mit hoher Wahrscheinlichkeit zur Überschreitung der Anhaltswerte der DIN 4150-2 und DIN 4150-3 in den nächstliegenden Gebäuden auf beiden Kanalseiten. Es wird empfohlen, auf der Südseite ausschließlich Plattenrüttler mit einer maximalen Fliehkraft  $F = 25 \text{ kN}$  und Rüttelfrequenzen oberhalb  $f = 30 \text{ Hz}$  einzusetzen. Auf der Nordseite kann auch der Einsatz von größeren Rüttelplatten und Walzen im Oszillationsbetrieb möglich sein, wobei die Einhaltung der empfohlenen Anhaltswerte der DIN 4150-3 und gegebenenfalls (bei Beschwerden von Anwohnern) auch der DIN 4150-2 durch kontinuierliche Messungen am nächstliegenden Gebäude mit

zeitnaher Bewertung nachgewiesen werden sollte. Verdichtungsgeräte mit geringerer Schwingungsabstrahlung sollten vorgehalten werden.

## 6.5 Abrissmeißeln

Die Größe der bei Meißelarbeiten erzeugten Erschütterungen hängt von der Stoßenergie der Meißel, aber auch vom Andruck, der Neigung und Richtung des Meißels sowie von der Gründung des abzureißenden Bauwerks ab. Statistisch gesicherte Erfahrungen liegen nur für sehr schwere, leistungsstarke Meißel vor. Im Vergleich zu Rammerschütterungen ist die Erschütterungsemission gering.

Auf der Nordseite werden die empfohlenen Anhaltswerte der DIN 4150-3 bei einem leistungsstarken Meißel mit hoher Sicherheit eingehalten. Bei Beschwerden von Anwohnern wegen erheblicher Belästigungen sollten Schwingungsmessungen veranlasst werden. Die Einhaltung der Anhaltswerte der DIN 4150-2 kann gegebenenfalls durch die Verringerung der täglichen Einwirkungszeit erreicht werden.

Auf der Südseite besteht eine geringe Wahrscheinlichkeit für die Überschreitung der empfohlenen Anhaltswerte der DIN 4150-2 und der DIN 4150-3. Die Einhaltung der empfohlenen Anhaltswerte der DIN 4150-3 und gegebenenfalls (bei Beschwerden von Anwohnern) auch der DIN 4150-2 sollten deshalb durch kontinuierliche Messungen am nächstliegenden Gebäude mit zeitnaher Bewertung nachgewiesen werden. Leistungsärmere Meißel sollten vorgehalten werden.

## 7 Erschütterungsarme Bauverfahren

Die Herstellung von Bohrpfählen, von Schlitzwänden mit eingestellten Elementen, hydraulisches Einpressen von Rammelementen und die Baugrundverdichtung mit kleinen Rüttelplatten (maximale Fliehkraft  $F \leq 25 \text{ kN}$  [7]) werden nach vorliegenden Erfahrungen als erschütterungsarm eingeschätzt. Überschreitungen der zulässigen Schwingungsanhaltswerte der DIN 4150-2 und DIN 4150-3 sowie durch Erschütterungen verursachte schädliche Setzungen anliegender Bauten sind bei sachgemäßer Ausführung dieser Verfahren nicht zu erwarten.

Bundesanstalt für Wasserbau  
Ilmenau, 16.04.2014

im Auftrag

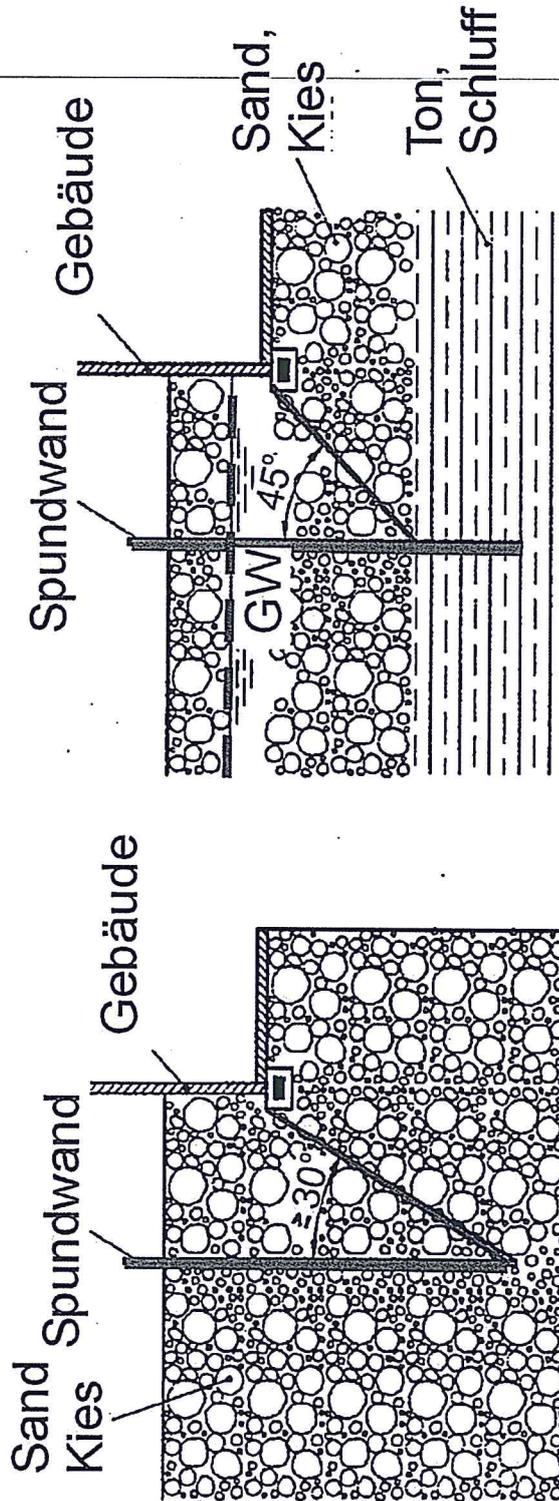


(Dipl.-Phys. R. Zierach)

Bearbeiter



(Dr.-Ing. U. Zerrenthin)



GW - Grundwasserspiegel