



Brunnenrückbau durch
Sprengverpressung
- ein probates Mittel

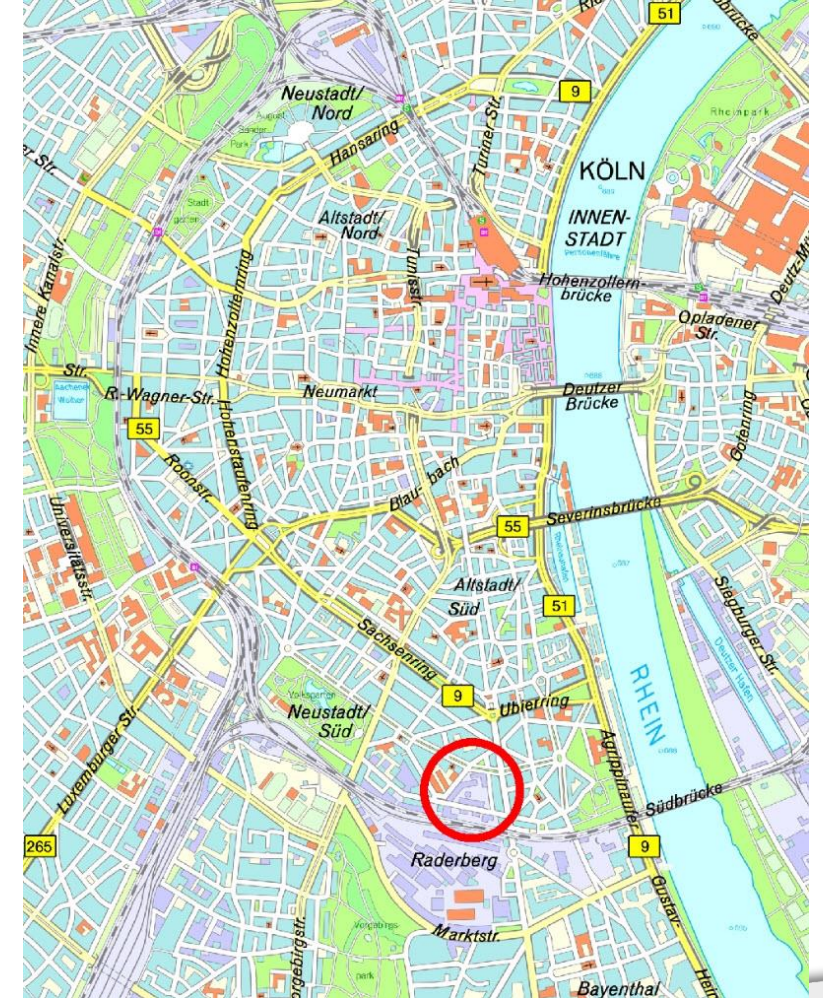
Jan Oswald

Berlin Brandenburger
Brunnentage 2018

Thema

- **Erfahrungsbericht**
Rückbau eines Brunnens mit kollabierten
OBO Brunnenfilterrohr
- **Ringraumnachdichtung von innen mittels Perforationstechnik**
-Sprengverpressung mit Schussperforation-
Rückbaumethode nach DVGW W 135
- **Sonderfallbetrachtung aufgrund standortspezifischer**
Rahmenbedingungen

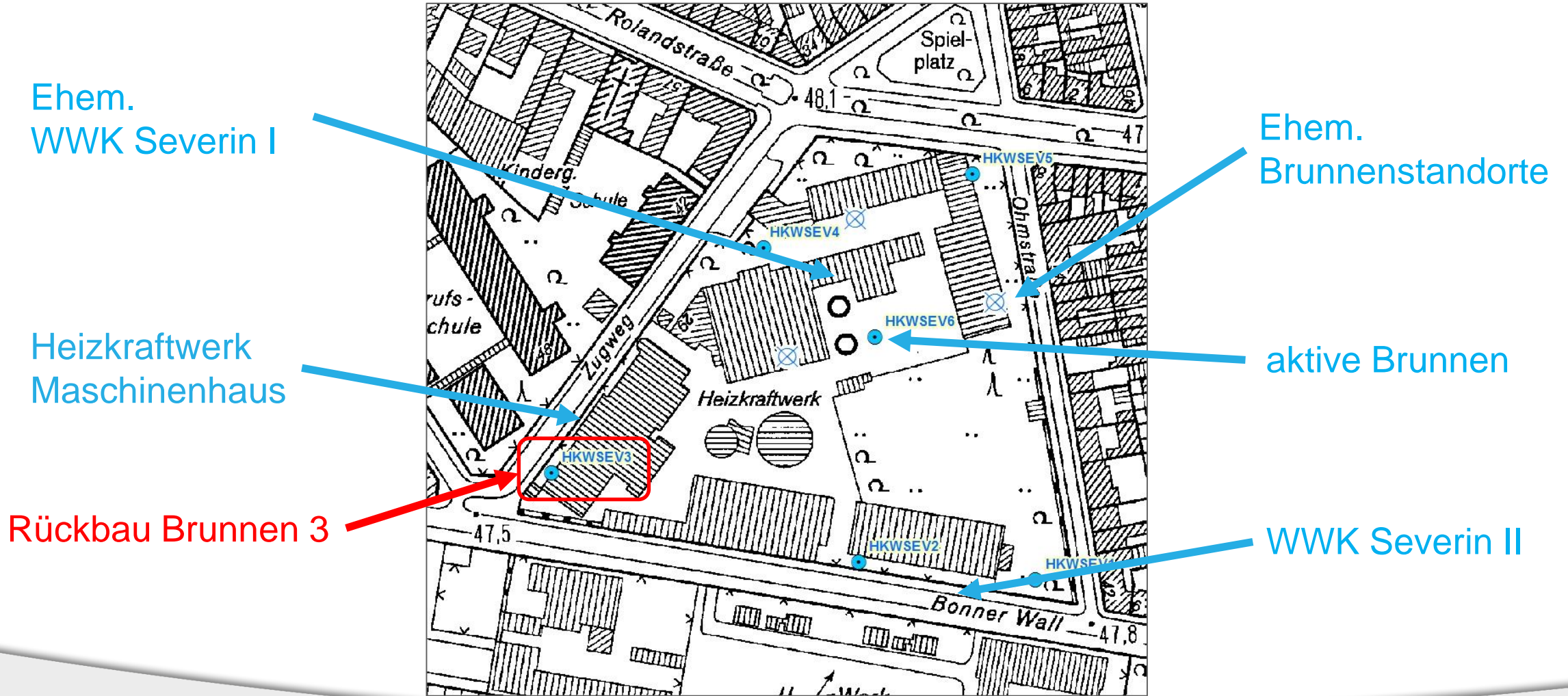
Kraftwerk Südstadt und Wasserwerk Severin in Köln – Standort mit Historie I



Kraftwerk Südstadt und Wasserwerk Severin in Köln – Standort mit Historie II

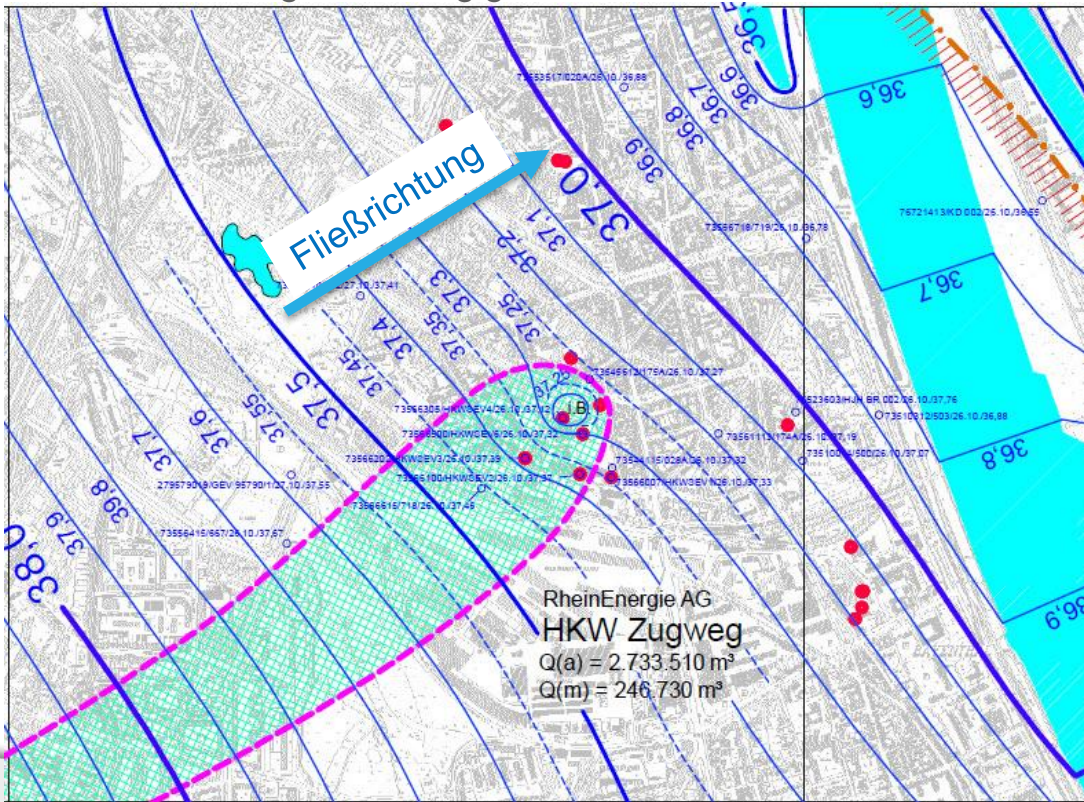
- 1885 Wasserwerk Severin I mit 6 Schachtbrunnen. Zusammen mit dem seit 1872 betriebenen Wasserwerk Alteburg bildete es die erste zentrale Wasserversorgung im linksrheinischen Köln.
- 1891 Inbetriebnahme Kraftwerk Zugweg als Stromerzeugungsanlage (Elektrizitätswerk). Es war damit eines der ersten Wechselstromkraftwerke Deutschlands.
- 1901 Wasserwerk Severin II (Trinkwasserbehälter, Maschinenhaus) als Erweiterung von Severin I.
- Nach dem 2. Weltkrieg wurde die Trinkwassergewinnung am Standort Severin I eingestellt.
- 1975 wurden drei verbliebene Schachtbrunnen durch Rohrbrunnen vertieft und drei zusätzliche Vertikalfilterbrunnen auf dem Gelände errichtet. Brunnen dienen der Betriebswasserversorgung des Kraftwerks.

Lageplan

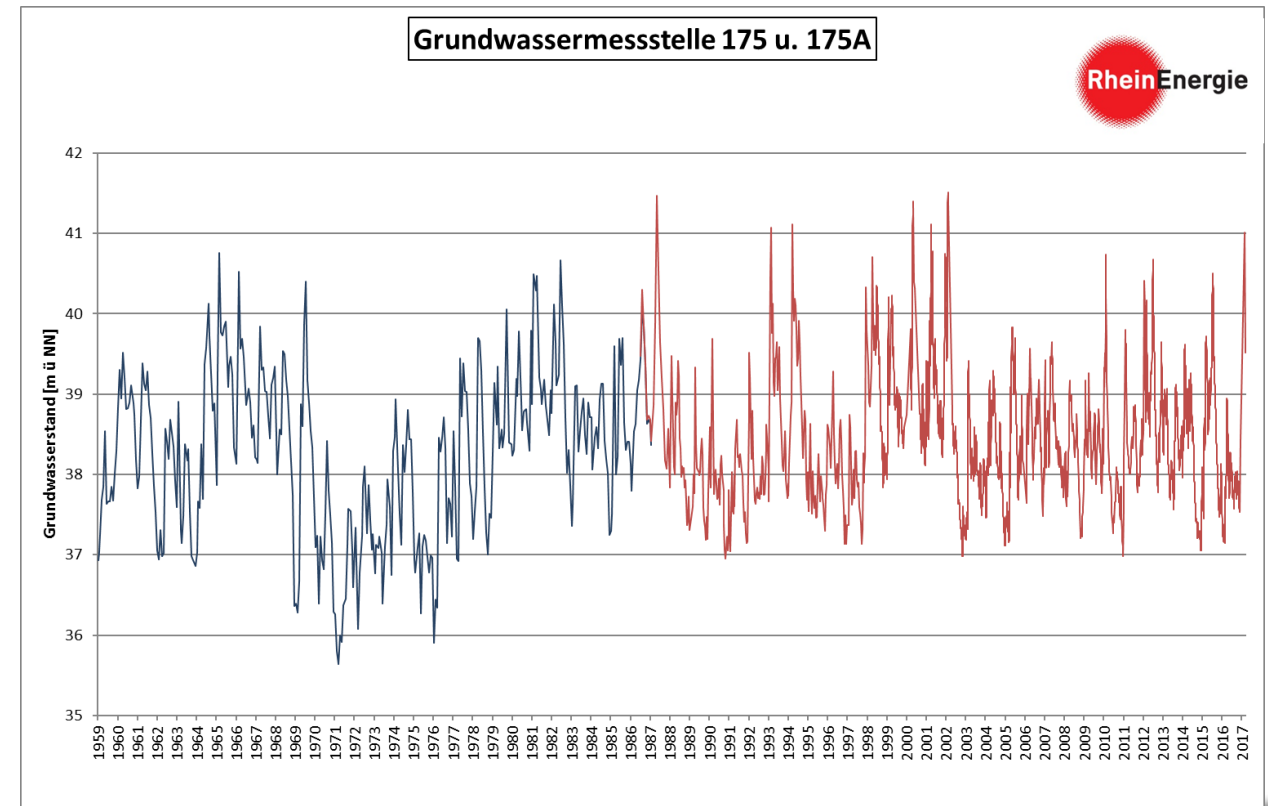


Hydrogeologische Situation

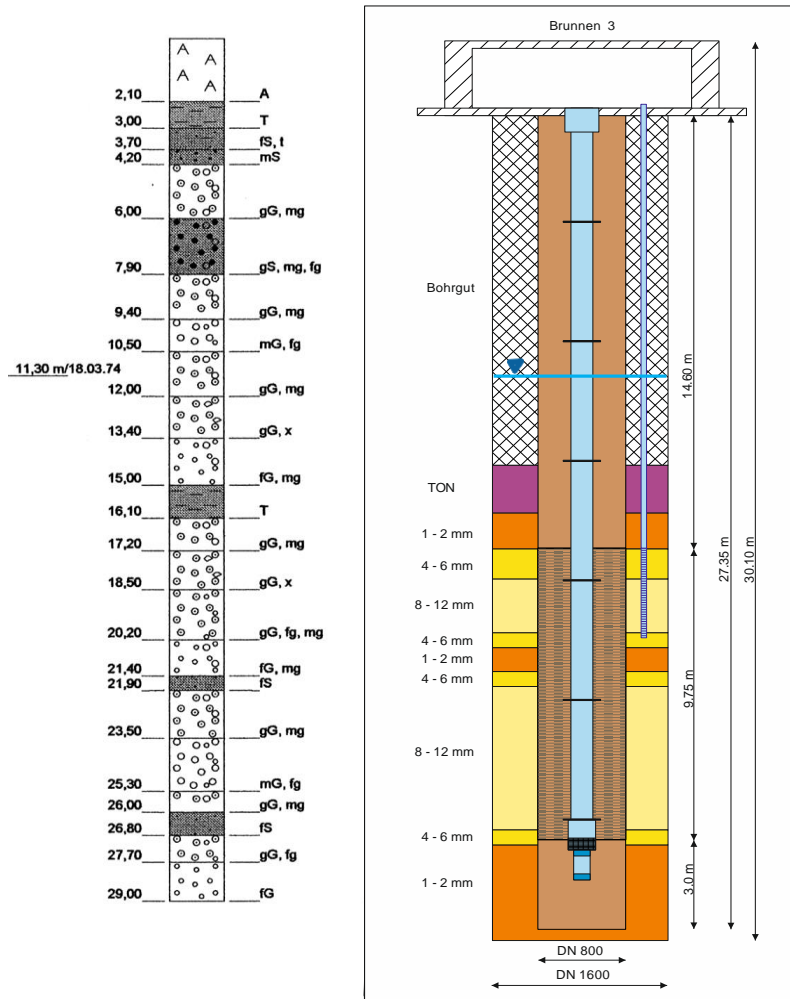
- Bewirtschaftet wird die quartäre Niederterrasse des Rheins. Oberstes Grundwasserstockwerk.
- GW- Fließrichtung zum Vorfluter (Rhein). Änderung der Fließrichtung in Abhängigkeit von den Rheinwasserständen.



- Schwankung der Grundwasserstände in Abhängigkeit von den Rheinwasserständen. Ca. 5 bis 6 m.



Ausbau Brunnen 3



- Baujahr 1975
- Bohrdurchmesser DN1600, Rohrdurchmesser DN 800
- Ausbaumaterial: OBO Filter (Kunstharzpressholz)
- Vertikaldifferenzierte Einfach-schüttung im Ringraum
- Tauchmotorpumpe im Sumpfrohr
- Der Aquifer besteht aus Sanden und Kiese der Niederterrasse. Grobe Kiese und Steine mit Korndurchmesser bis 200mm
- Keine stockwerkstrennenden Schichten. Feinkörnige Schichten nur lokal ausgebildet

Brunnenstandort



Blickrichtung Süden



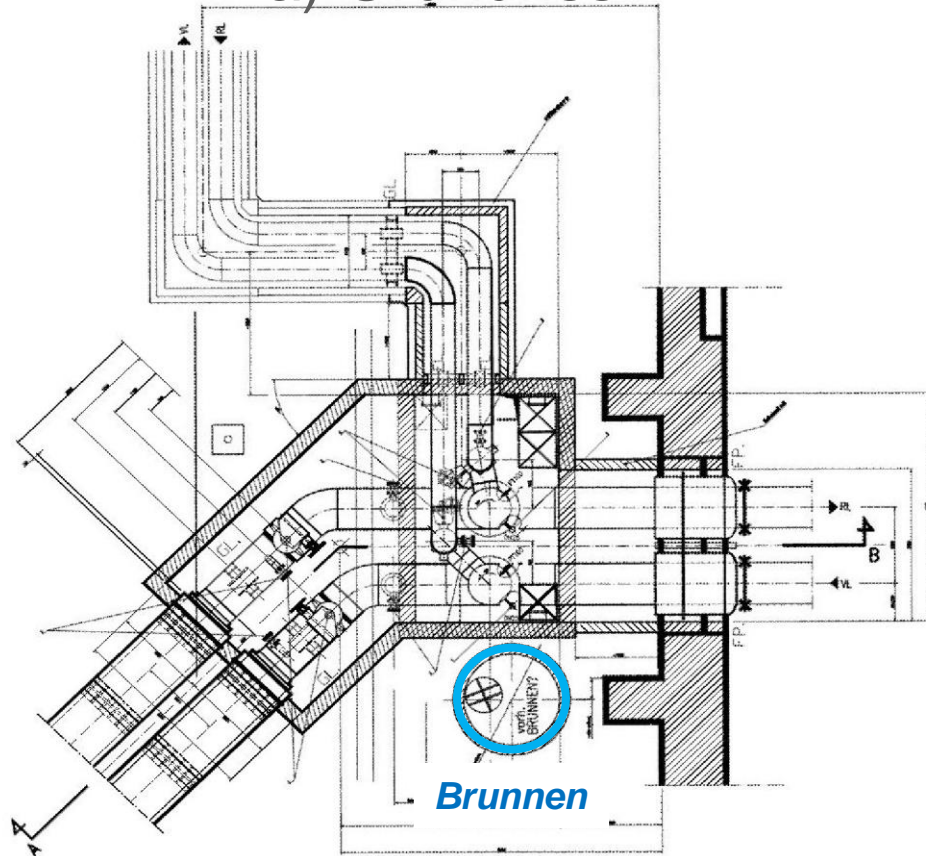
Blickrichtung Norden
Fernwärmeschacht



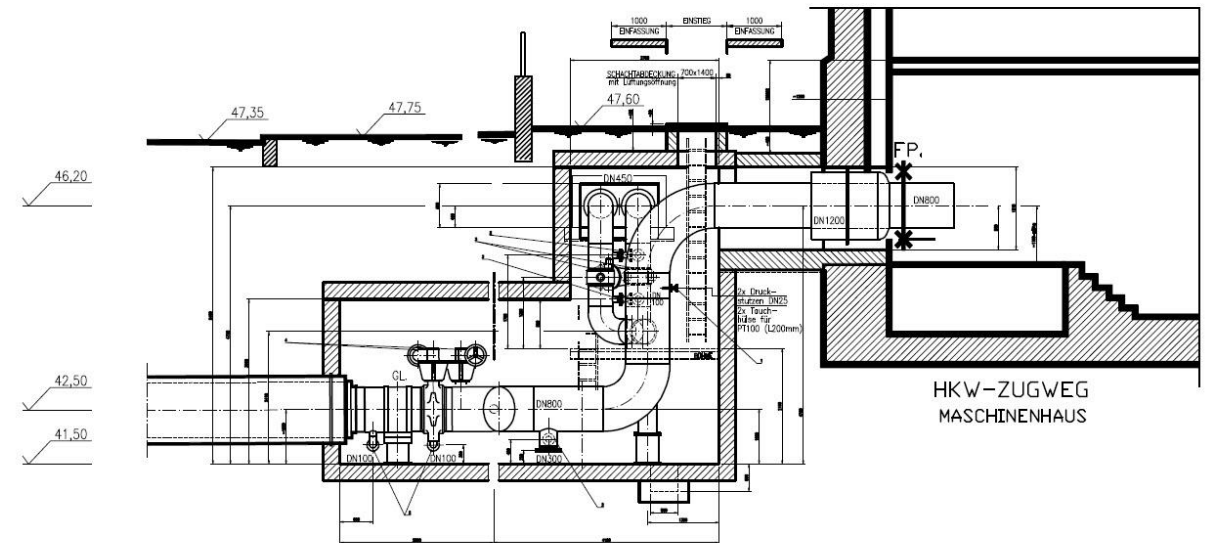
Pfeiler -Gebäudefront

Fernwärmeschacht (1999)

a) Grundriss



b) Profilschnitt



Tiefe Fernwärmeschacht bis 6m unter GOK

Schadensmeldung

- Ausfall der Pumpe Mitte 2016 (wahrscheinlich Zeitpunkt des Brunnenkollaps) nach Störmeldung im Leitsystem.
- Zur Jahreshauptmessung im Oktober 2016 konnte der Brunnenwasserspiegel nicht gemessen werden.
- Bei einer daraufhin veranlassten Kamerabefahrung fiel auf, dass das Brunnenrohr eingestürzt war und sich unterhalb der Brunnenstube ein Hohlraum von 1.8m Tiefe gebildet hatte.
- Die Steigleitung der Brunnenpumpe stand völlig frei im Hohlraum. Trümmer des OBO Brunnenrohres lagen verstreut im Einsturztrichter.
- Das Hohlraumvolumen unter der Brunnenstube wurde grob auf etwa 8 - 9 m³ geschätzt.
- Ursachen für den Brunnenkollaps –spekulativ! Keine optischen Auffälligkeiten bei der letzten Kamerabefahrung in 2012!

Schadensbild I

Geländeabsenkung an der Brunnenstube



Blick durch den Brunnenstubenboden



Schadensbild II

Brunnenkopf von unten



Blick auf Bodenfläche



Hohlraum unter der Brunnenstube



Sicherungsmaßnahmen

Perforation des Brunnenstubenbodens mit 300mm Kernbohrung.



Hohlraum unter Brunnenstube mit Kies 2 – 8 mm aufgefüllt.
Geschüttet und eingespült über Pumpensumpfföpfung und Kernbohrung.



Eingeschüttete Menge Filterkies entspricht einem Volumen von etwa 8 m³ und ergänzt den geschätzten Volumenverlust unter der Brunnenstube!

Volumen des eingestürzten Brunnenrohrs ca. 13 m³.

Volumendefizit nach Abzug der Hohlraumverfüllung beträgt ca. 5 m³.

➤ Existieren noch weitere Hohlräume?

Erdrutsch an der Brunnenstubenwand 1. März 2017



Sicherungsmaßnahme:

Saugbagger



Verfüllung mit Kies/Sand und Verdichtung



➤ Seitlicher Erdrutsch neben der Brunnenstube. Die Größe des entstandenen Hohlraums betrug etwa 2 - 3 m³.

Rückbaukonzepte

Abstimmung unter Beteiligung von Brunnenbauunternehmen, Statiker und Genehmigungsbehörde (Bez. Reg. Köln).

1. Bergen der Steigleitung und Pumpe

- Geringe Erfolgsaussichten für Bergung der Steigleitung und Pumpe.
- Verbleib der Teile im Untergrund aus Sicht des Gewässerschutzes unbedenklich.

2. Rückbau Brunnenschacht

- Aufgrund der standortspezifischen Verhältnisse (Kopplung der Brunnenstube an Kraftwerksgebäude und Fernwärmeschacht) wird ein Gesamtrückbau der Brunnenstube als kritisch bewertet.
- Teilrückbau bis mindestens 1m unter Gelände, bei Vermeidung von Stauwasserbildung durch Perforation der Brunnenstubenbodens möglich.

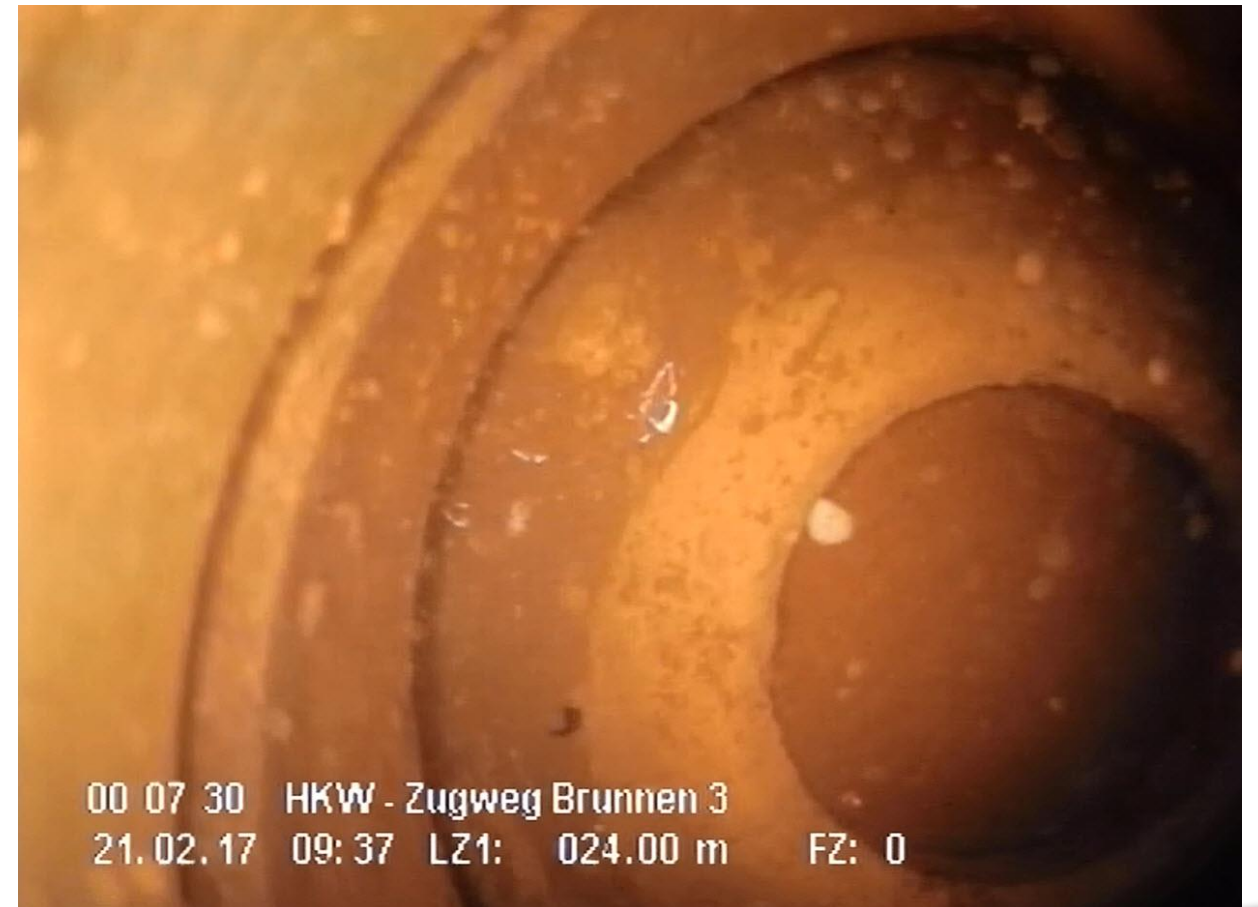
3. Überbohren/ Nachdichtung

- Aufgrund des großen Ausbaudurchmessers (DN 1600/ DN 800) wird auf Überbohren verzichtet.
- Verfüllung/ Nachverdichtung möglicher verbliebener Hohlräume zur Vermeidung von Bodensetzung/ Erdfall erforderlich.
- Erfolgskontrolle durch Massen-/Volumenbilanz.

Kamerabefahrung Steigleitung 21.02.2017

- 23 m Steigleitung DN 200 PN10.
Flanschverbindung Außenmaß 340mm.
Stahlstärke 5 mm.
- Kamerabefahrung innerhalb der Steigleitung. Bis zur Pumpe durchgängig befahrbar
- Keine offensichtlichen Beschädigungen an den Rohrstücken sowie an den Flanschverbindungen.
Keine Knickstellen.

Blick auf Pumpe. Rückschlagventil

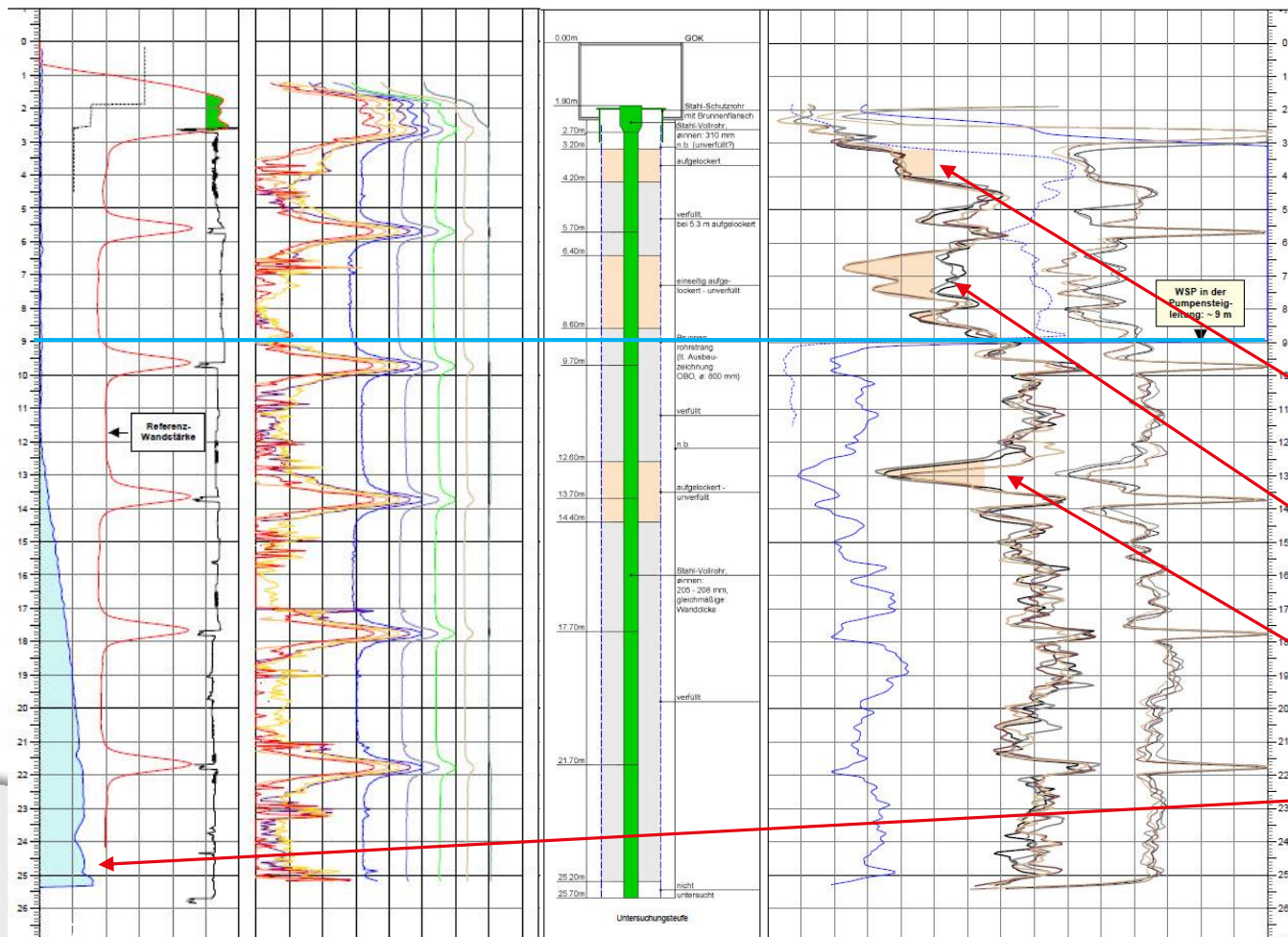


Bohrlochgeophysikalische Untersuchung 21. März 2017

Bohrlochverlauf
Kaliberlog

Elektromagnetische
Wandstärke

Messung der Ringspaltweite
GG, NN



Geringe Lagerungsdichte unterhalb der Brunnenstube (eingespülte Filterkies/ Hohlraumverfüllung)

Geringe Lagerungsdichte/ Hohlraum einseitig zwischen 6.4 m – 8.6 m (oberhalb Grundwasserspiegel)

Geringe Lagerungsdichte/ Hohlraum zwischen 12.6 m – 14.4 m (unterhalb Grundwasserspiegel)

Leichte Abweichung der Steigrohrachse auf bis zu 10 cm

Rückbaumaßnahmen

1. Bohrungen innerhalb des Ringspalts zwischen Brunnenrohr und Steigleitung

- Einspülen von Filterlanzen bis zu den Hohlräumen. Verpressen der Hohlräume mit Dämmern.
- Kleinkalibrige Bohrungen innerhalb des Ringspalts bis zu den Hohlräumen und Verpressen von Dämmern über eingebaute Manschettenrohre.
- **Schmale Ringspaltöffnung zwischen Brunnenrohr und der Steigleitung. Eingerolltes Aquifermaterial kann grobe Kiese und Steine (<200mm) enthalten!**

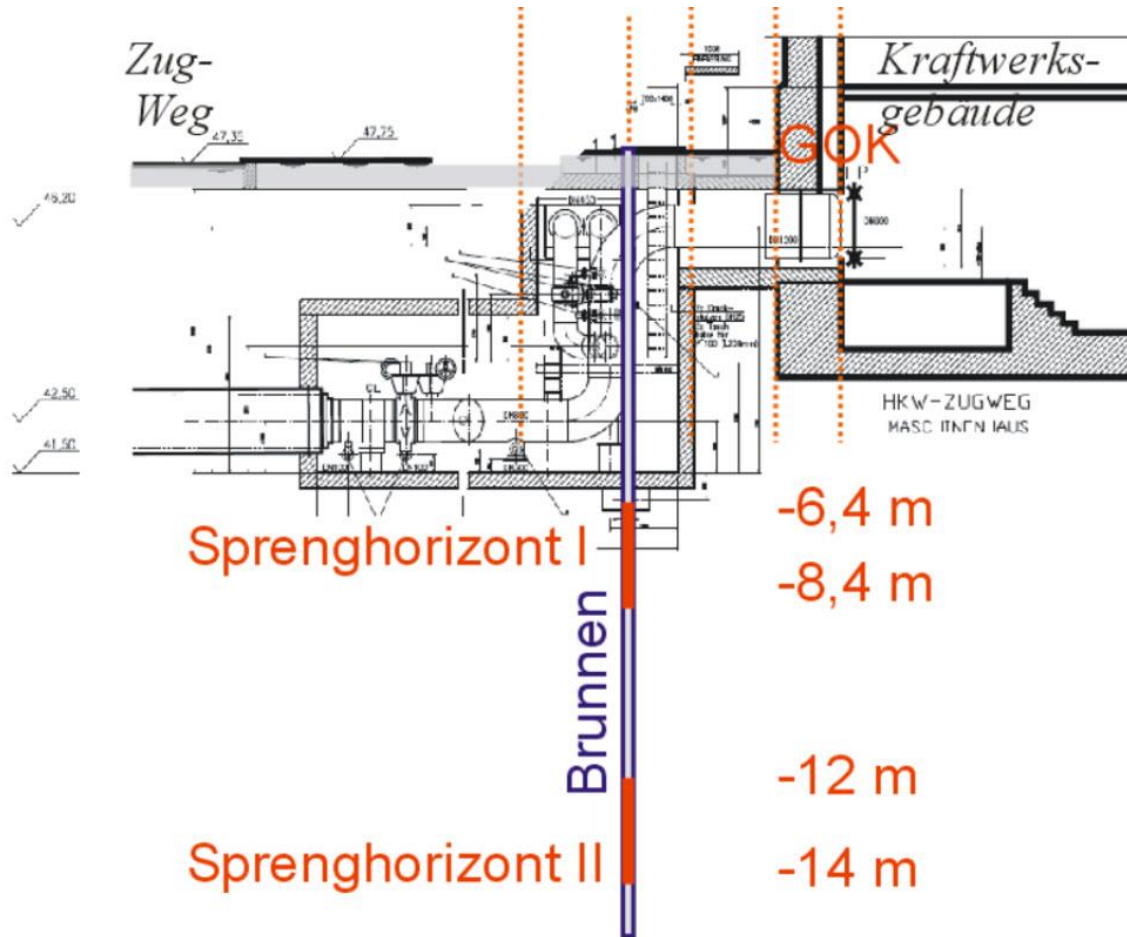
2. Perforation der Steigleitung und Verpressen der Hohlräume

- Schussperforation mit Hohlladungsgeschossen. Verpressen der Hohlräume mit Dämmern durch die perforierte Steigleitung.
- **Prüfung der Einsatzmöglichkeit von Sprengmitteln durch Erschütterungsprognose!**

Erschütterungsprognose

- **Ortsbegehung und Sichtung der Bauwerksunterlagen durch Gutachter.**
 - **Festlegen von Anhaltswerten der max. Schwingungsgeschwindigkeiten nach DIN 4150-3:**
 - Kraftwerksgebäude (Denkmalschutz)
 - Fernwärmeschacht incl. Leitungen.
 - **Empfehlungen für den Sprengeinsatz:**
 - Anordnung der Hohlgeschosse
 - Zeitversetztes Sprengen/ Differenzierte Perforation
 - Abschieben der Fernwärmeleitungen im Verteilerschacht.
 - Begleitende Schwingungsmessungen
- **Gutachterliche Prognose: „Bei dem Sprengimpuls handelt es sich mehr um ein Schallereignis und nur zum Teil um ein Erschütterungsereignis. Die Gefahren für die umliegenden Objekte werden als gering beurteilt.“**

Sprengverpressung: Perforation der Steigleitung und Verpressen über Brunnenkopf



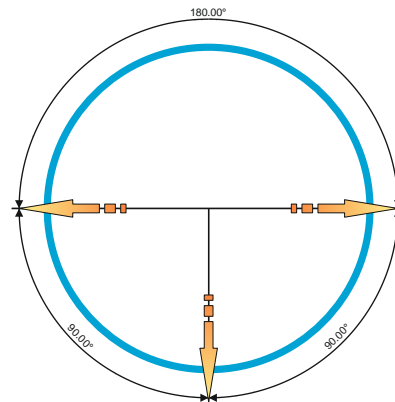
- Verfüllen der Steigleitung mit Dämmen bis Unterkante Sprenghorizont II
- Einbau der Sprengladung
- Verfüllen der Steigleitung mit Dämmen bis Brunnenkopf.
- Zündung der Perforatoren. Dämmen fließt aufgrund des hydrostatischen Überdrucks in die Hohlräume
- Nachfüllen von Dämmen bis Sättigung
- Bei defizitärer Massenbilanz kann Dämmen über Druckaufschlag nachgepresst werden
- gleicher Ablauf für Sprenghorizont I (oberhalb Grundwasserspiegel)

Schussperforation

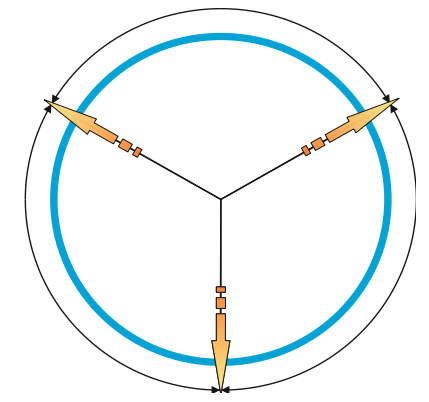
Differenzierte Perforation (zum Schutz der umliegenden Gebäude):

- Horizont I mit niedrigerer Sprengladung und Schussrichtung in 90°-90°-180° Stellung (1). Zur Vermeidung direkter Stoßwellen in Wandrichtung zum Fernwärmeschacht.
- Horizont II mit höherer Sprengladung und Schussrichtung in 120° Stellung (2)

1)
Anordnung der Hohlgeschosse in
90°- 90°- 180° Stellung.
(Sprenghorizont I)



2)
Normalanordnung der
Hohlgeschosse in 120° Stellung.
(Sprenghorizont II)



Sprengverpressung 10.10.2017



Steuereinheit und Dreikomponentensensor

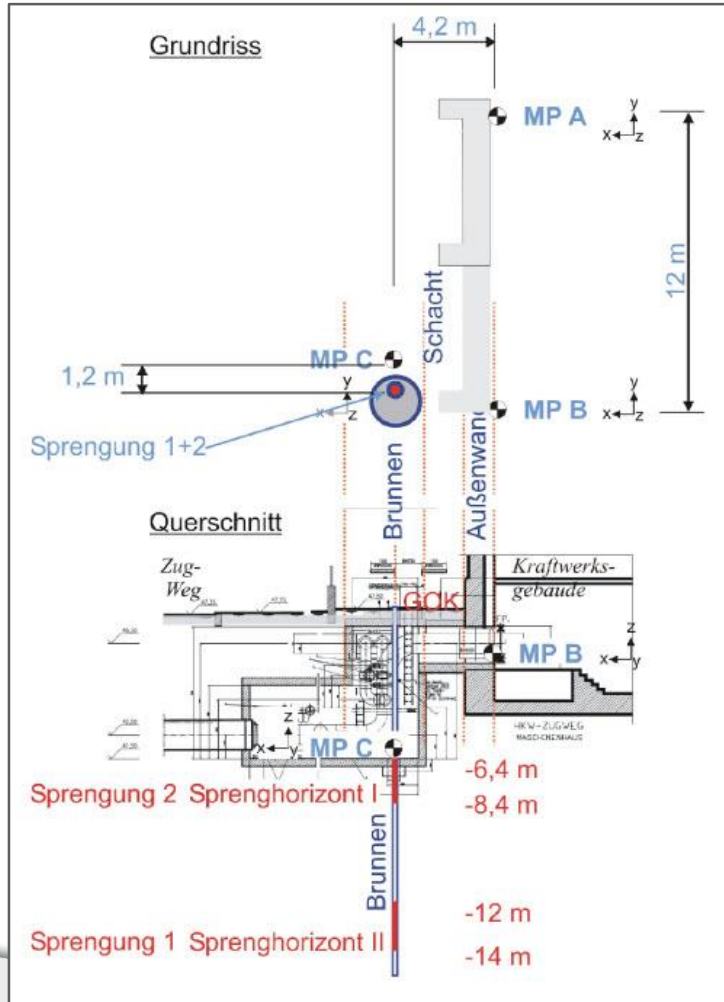


Perforationsvorrichtung
Hohlladungsgeschosse



Sprengverpressung mit Brunnendämmer

Erschütterungsmessungen I



Messergebnisse:

Messpunkt	Sprengung 1		Sprengung 2	
	V_{max} in mm/s	F in Hz	V_{max} in mm/s	F in Hz
Ax	2,42	32,8	1,70	14,0
Ay	2,42	28,1	0,53	21,8
Az	10,91	51,6	1,04	24,2
Bx	6,68	54,7	1,31	54,7
By	6,46	31,3 (202)	1,18	28,9 (229)
Bz	14,96	18,8	1,12	15,6
Cy	11,0	26,6	3,96	23,4
Cz	19,2	29,7	8,07	24,2

➤ Die Sprengung 2 oberhalb des Grundwasserspiegels hat eine deutlich geringere Erschütterungswirkung, als die Sprengung 1 im Grundwasser!

Erschütterungsmessungen II

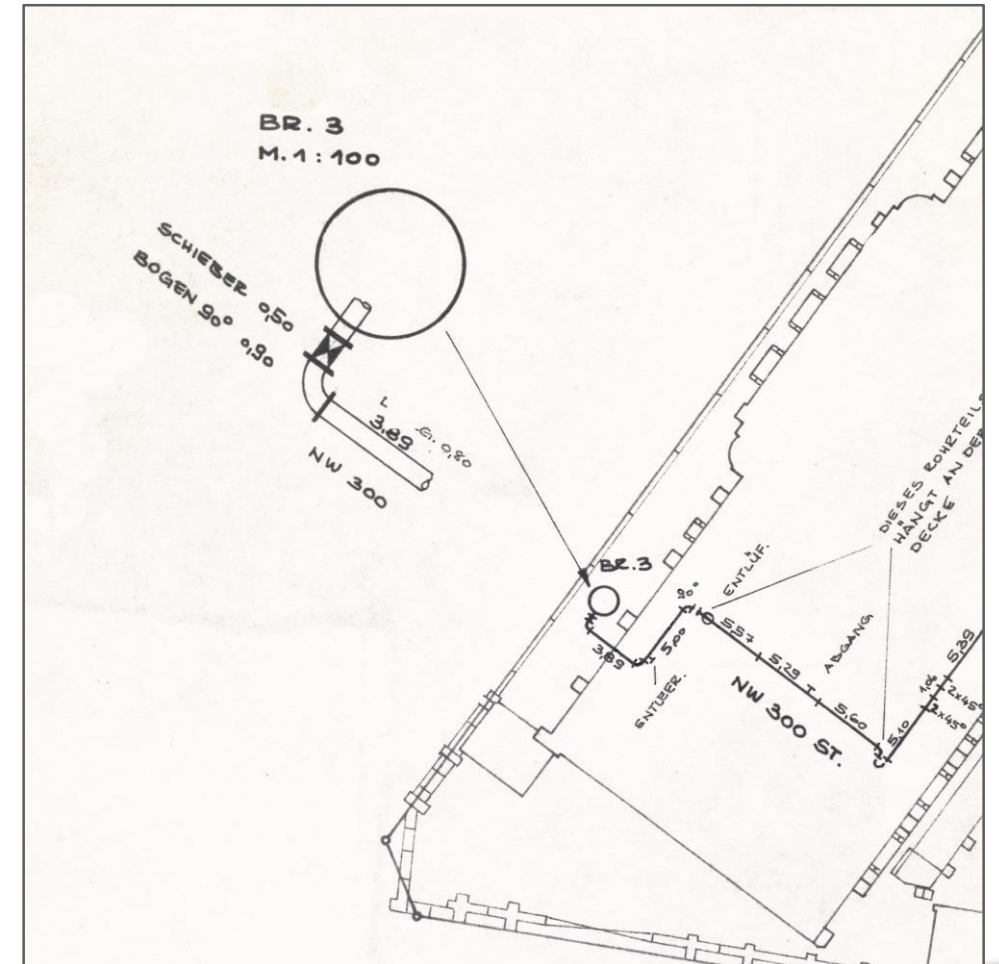
- Die Anhaltswerte der Schwinggeschwindigkeiten werden eingehalten bzw. unterschritten.

Messpunkte	Anhaltswerte aus der Erschütterungsprognose mm/s	Max. Messwerte der Erschütterungsmessung mm/s
Kraftwerksgebäude Fundament	20	14.96
Verteilerschacht incl. Fernwärmeleitung	50	19.20

- Der Nachweis auf Einhaltung der Anhaltswerte nach DIN 4150-3 ist erbracht. Erschütterungsbedingte Schäden an der Bausubstanz und der Anlagentechnik sind nicht zu erwarten.

Rückbau der Brunnenstube und Versorgungsleitung I

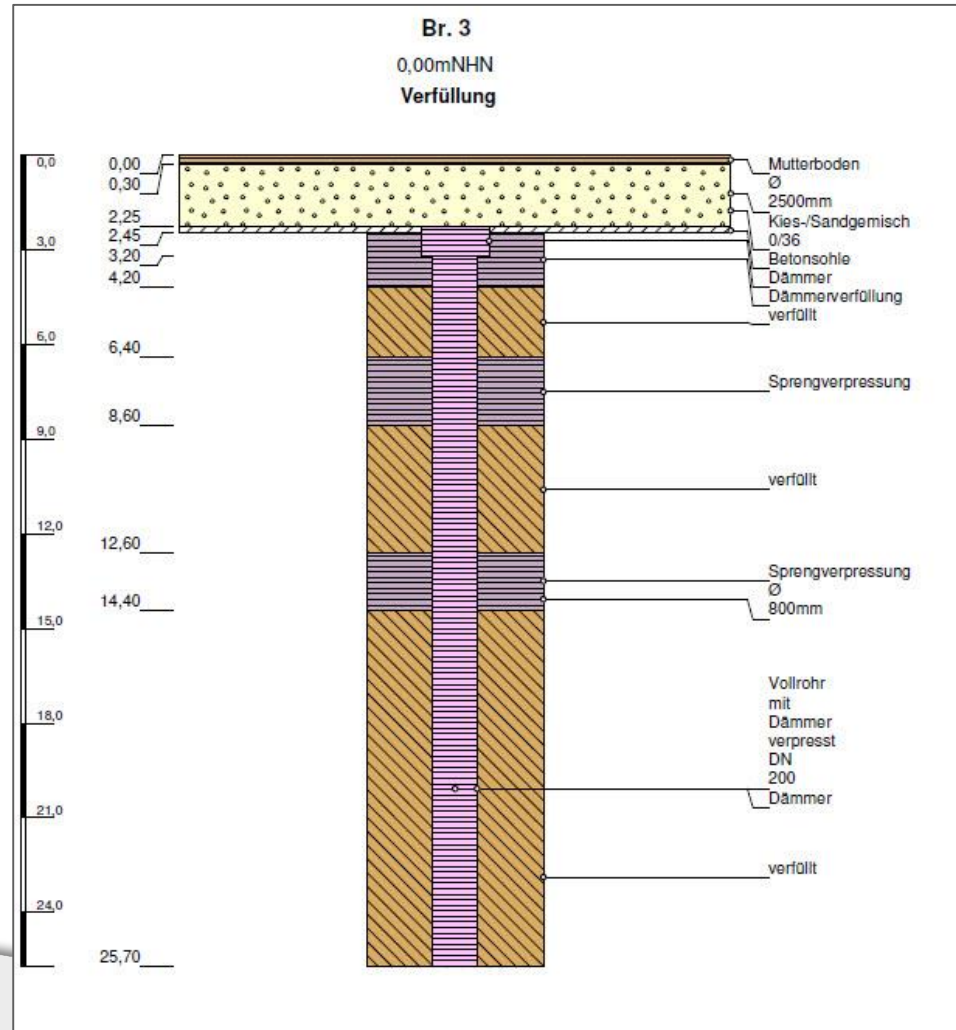
- Verpressen der unverdichteten Hohlraumverfüllung unterhalb der Brunnenstube mit Dämmen
- Demontage der Betonringe des Brunnenschachts soweit möglich.
- Bodenplatte mit Brunnenkopf verbleibt im Untergrund
- Durchgängigkeit der Bodenplatte durch Perforation erhalten.
- Rückbau der Rohrleitungsstücke bis zur Gebäudeeinführung.
- Lageweise Verfüllung und Verdichtung der Baugrube mit Kies-/Sandgemisch. Abschließend Auftrag einer 30 cm mächtigen Schicht aus Mutterboden.



Rückbau der Brunnenstube und Versorgungsleitung II



Dokumentation Brunnenrückbau – Volumenbilanz I



Volumenbilanz

1. Leervolumen eingestürztes Brunnenrohr (excl. Steigrohr):	13 m ³
2. Entstandene Hohlräume:	
Hohlraum unter Brunnenstube:	ca. 8 - 9 m ³
Erdrutsch neben Brunnenstube:	ca. 2 - 3 m ³
Oberer Hohlraum ehem. Brunnenrohr :	ca. 1 m ³
Unterer Hohlraum ehem. Brunnenrohr :	<u>ca. 1 m³</u>
Summe aller Hohlräume:	ca. 12 - 14 m³
Bilanz: Volumen Brunnenrohr 13 m³ entspricht Summe aller Hohlräume (12 - 14 m³)!	

➤ Aufgrund der Volumenbilanz sind keine weiteren Hohlräume zu erwarten!

Dokumentation Brunnenrückbau – Volumenbilanz II Erfolgskontrolle

- Auflockerungszone unterhalb der Brunnenstube auf ca. 2,8 m³ abgeschätzt (Auflockerungsgrad/ Porenraum ca. 30%).
- 2.76 m³ Dämmer unterhalb Brunnenstube eingepresst.
- Das gesamte Hohlraumvolumen der beiden Sprenghorizonte zzgl. Volumen der kompletten Steigleitung beträgt 2.7 m³.
- 3.06 m³ Dämmer wurde in beide Sprenghorizonte verpresst und die Steigleitung dabei verfüllt.

Bereiche	Volumen Leerraum m ³	Volumen Brunnedämmer m ³	Differenz m ³
Auflockerungszone unter Brunnenstube (30%)	2.8	2.76	-0.04
Hohlraum I, II und Steigleitung	2.7	3.06	+0.36

➤ Nachweis einer auskömmlichen Nachdichtung der Hohlräume wurde im Rahmen der Volumenbilanz erbracht!

Abmeldung und Ausblick

- **Abmeldung des Brunnens bei der Genehmigungsbehörde (Bez. Reg. Köln) Februar 2018:**
 - Rückbaubericht mit Volumenbilanz zur Erfolgskontrolle
 - Dokumentierte Verfüll- und Verpressmengen
 - Erschütterungsgutachten
 - Unbedenklichkeitserklärung zum Einsatz von Sprengstoffen im Grundwasser hinsichtlich der Wasserqualität
- **Schlussfolgerung und Ausblick für den Betrieb von OBO Filterbrunnen**
 - Betriebsdauer der bei Rheinenergie vorhandenen Brunnen mit OBO Filter liegt bei > 40 Jahren.
 - Zukünftig verstärkte Kontrolle aller Brunnen mit OBO Filterausbau.
 - Rechtzeitige Entscheidung hinsichtlich der weiteren Bewirtschaftung, sowie Sanierung oder Rückbau der Brunnen.

Vielen Dank für
Ihre
Aufmerksamkeit !

„Dat Wasser vun Kölle is jot“ (BLÄCK FÖÖSS 1983)