

In-situ-Sanierung von Grundwasser mit Hilfe des Turbobrunnens

Bericht über sanierungsbegleitende Untersuchungen im Rahmen des Pilotprojektes
Turbobrunnen/Lübarser Straße 8-38, 13435 Berlin

-Abschlußbericht-

Auftraggeber: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin
Ref. IV E
und Herr Dipl.-Geol. Herbert Köster

gefördert von der Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück

u.ANr.: 9301704A u. 9314701A

Datum: 26.09.1994

Kurzzusammenfassung

Von Herrn Diplomgeologen Herbert Köster ist ein System zur In-situ-Reinigung von Grundwasser, das mit leichtflüchtigen Schadstoffen belastet ist, entwickelt worden. Der „Turbobrunnen“ ist ein Grundwasserzirkulationsbrunnen, wobei die Reinigung des Grundwassers durch Strippung im Brunnen selbst erfolgt.

Zwischen Oktober 1993 und Mai 1994 wurde auf dem Grundstück Lübarser Straße 8-38 in Berlin-Reinickendorf ein Pilotprojekt zur Erprobung des Verfahrens durchgeführt.

Die CSD Berlin ist von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Berlin, und Herrn Köster mit sanierungsbegleitenden Untersuchungen und einer standortbezogenen Beurteilung der Sanierungstechnik Turbobrunnen beauftragt worden. Das Projekt wurde von der Bundesstiftung Umwelt gefördert.

Bei der In-situ-Grundwasserreinigung mittels Turbobrunnen wird mit Hilfe eines im Brunnenrohr installierten Propellers, der über einen Elektromotor angetrieben wird, Luft in den Brunnenraum eingetragen. In der von Luftblasen durchperlten Wassersäule findet der Schadstoffaustausch vom Wasser zur Luft statt (Strippung). Die am Brunnenkopf ausströmende Prozeßluft wird über Aktivkohlefilter gereinigt. Durch die gleichzeitig stattfindende Anhebung des Brunnenwasserspiegels und einen speziellen Brunnenausbau wird eine Potentialdifferenz zwischen der oberen und unteren Filterlage des Brunnens hervorgerufen, die eine Zirkulationsströmung im Grundwasserleiter bewirkt. Somit wird nicht nur das Wasser im Brunnen sondern auch Grundwasser im Aquifer bis zu einer gewissen Brunnenentfernung gereinigt.

Im Rahmen des Pilotprojektes sind folgende Untersuchungen durchgeführt worden:

- Grundwasseruntersuchungen am Sanierungsbrunnen zur Feststellung seiner Stripwirkung
- Grundwasserstandsmessungen zur Registrierung von Auswirkungen des Brunnenbetriebes auf die Grundwasseroberfläche
- Beobachtung der Schadstoffkonzentrationen im Umfeld
- Auswertung der Ergebnisse von Prozeßluftuntersuchungen.
- Grundwassermarkierungsversuch zur Ermittlung der geohydraulischen Wirkungsweise des Brunnens, insbesondere seiner Reichweite

Der vorliegende Abschlußbericht legt die Ergebnisse der begleitenden Untersuchungen während des Pilotbetriebes dar.

Am Versuchsstandort besitzt der oberflächennahe, stark durch leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe belastete Grundwasserleiter eine wassererfüllte Mächtigkeit zwischen 3,0 m und 4,0 m. Lithologisch wird er durch Fein- und Mittelsande aufgebaut. Das Grundwasser ist im wesentlichen durch Trichlorethen, 1,1,1-Trichlorethan, Tetrachlorethen und Dichlormethan verunreinigt.

Während des etwa achtmonatigen Betriebs der Pilotanlage sind 4.302 m³ Grundwasser im Brunnen behandelt worden. Die Wasserdurchsatzrate im Brunnen lag bei etwa 1,0 m³/h. Bei Ausgangskonzentrationen zwischen ca. 500 und 1.000 µg/l CKW erreichte die In-situ-Strippung einen Reinigungsgrad, der im Mittel 92,1% und am Ende des Pilotbetriebes 96,5% betrug. Ein solcher Wirkungsgrad ist bei In-situ-Verfahren als gut zu bewerten.

u. ANr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. Anr.: 9314701A, Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt „Turbobrunnen“, Lübarser Straße

Im Versuchszeitraum sind insgesamt 2,2 kg leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe dem Untergrund entzogen worden.

Infolge der Oxidation des eisenreichen Grundwassers bei der Strippung mit Luft kam es zu einer Ausfällung von Eisen im Brunnen. Im Betriebszeitraum haben Verockerungsprozesse an den Brunnenfiltern jedoch nicht zu einer Abnahme des Wasserdurchsatzes geführt.

Der Grundwassermarkierungsversuch mit dem Fluoreszenzfarbstoff Sulforhodamin B ergab, daß die mit dem Verfahren angestrebte Grundwasserzirkulationsströmung tatsächlich zustandekommt. Ihre Reichweite beträgt zwischen 7,0 m und 10,0 m.

Die durch den Brunnen induzierte Zirkulationsströmung ist asymmetrisch ausgebildet, da sie die natürliche Grundwasserströmung mit einem Gefälle von $1,2 \cdot 10^{-3}$ überlagert. Dies hat zur Folge, daß ein kleiner Teil, etwa 5 %, des in den Brunnen eintretenden Grundwassers bereits nach einmaliger Brunnenpassage in den Grundwasserabstrom gelangt. Dementsprechend fließen 5 % der Brunnendurchsatzrate von $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ der Zirkulationswalze aus dem Grundwasseranstrom zu.

Die nur einmalige Behandlung eines nur kleinen Teils des belasteten Grundwassers ist angesichts der geringen Restkonzentration nach der Strippung (am Ende des Pilotbetriebs $20,2 \text{ µg/l}$) u.E. unerheblich. Die Asymmetrie der Zirkulationsströmung führt dazu, daß die Grundwasserpotentiale im Umfeld des Brunnens bis zu einer Entfernung von etwa 20,0 m beeinflusst werden.

An den innerhalb des Wirkungsradius des Brunnens (7,0 m bis 10,0 m) gelegenen Meßstellen ist eine deutliche Abnahme der Schadstoffkonzentrationen festzustellen. In diesem Bereich ist auch eine Erhöhung der Sauerstoffkonzentration des Grundwassers zu beobachten, die auf den Sauerstoffeintrag durch das gestripte Wasser zurückgeführt werden kann. Gleichfalls festgestellte CKW- und Sauerstoff-Konzentrationsänderungen (Zunahmen wie Abnahmen) an weiter entfernt liegenden Grundwassermeßstellen können nicht eindeutig auf den Brunnenbetrieb zurückgeführt werden.

Das vorliegende Gutachten kommt zu dem Schluß, daß der Turbobrunnen grundsätzlich zur Sanierung von Lockergesteinsaquiferen, die mit leichtflüchtigen Schadstoffen belastet sind, geeignet ist.

Ein weiterer Betrieb des Turbobrunnens auf dem Gelände an der Lübarserstraße würde aller Wahrscheinlichkeit nach eine weitere Abnahme der Schadstoffkonzentrationen in seinem Wirkradius zur Folge haben. Zur Sanierung des gesamten Schadens wären jedoch aufgrund seiner großen flächenhaften Ausbreitung weitere Brunnen erforderlich.

u. ANr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. Anr.: 9314701A, Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt „Turbobrunnen“, Lübarser Straße

Inhalt	Seite
Anlagenverzeichnis	V
1. Allgemeines	1
1.1 Projekt/Lage	1
1.2 Auftraggeber	1
1.3 Veranlassung und Auftrag	2
1.4 Unterlagen	3
2. Beschreibung des In-situ-Stripsystems Turbobrunnen	3
3. Allgemeines zum Standort Lübarser Straße	7
3.1 Schadensursache und vorangegangene Sanierungsmaßnahmen	7
3.2 Hydrogeologische Verhältnisse	7
3.3 Grundwasserkontamination - Ausgangssituation	9
3.4 Sanierungsbrunnen	9
3.5 Zeitlicher Ablauf des Sanierungspilotprojektes	10
4. Durchgeführte Arbeiten und Untersuchungen im Vorfeld des Pilotbetriebes	12
4.1 Grundwassermeßstellen	12
4.2 Kombiniertes Pump-/Einleitversuch am ehemaligen Sanierungsbrunnen	12
5. Sanierungsbegleitende Untersuchungen	15
5.1 Untersuchungen am Sanierungsbrunnen	15
5.1.1 Wasserdurchsatz	15
5.1.2 Beschaffenheit des Wassers am Turbobrunnen	17

	Seite
5.1.2.1 Physikochemische Eigenschaften und anorganische Wasserinhaltsstoffe	17
5.1.2.2 Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe	22
5.1.2.3 Prozeßgas	24
5.1.3. Schadstoffaustrag	25
5.2 Untersuchungen im Umfeld des Sanierungsbrunnens	31
5.2.1 Grundwasserstände	30
5.2.2 Beschaffenheit des Grundwassers	34
5.2.2.1 Physikochemische Eigenschaften	34
5.2.2.2 Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe	39
5.3 Grundwassermarkierungsversuch	42
5.3.1 Vorbereitung und Tracereingabe	42
5.3.2 Probenahme und Untersuchung	43
5.3.3 Das natürliche Strömungsfeld im Bereich des Turbobrunnens	43
5.3.4 Ergebnisse der <u>Tracerkonzentrationsmessungen</u>	43
5.3.4.1 Die Tracerdurchgangskurven	44
5.3.4.2 Dispersion des Tracers	48
5.3.4.3 Der Auffüll- und Senktrichter	49
5.3.4.4 Die Analyse von Auslaufkurven	50
5.3.4.5 Ein An- und Abstrommodell	52
5.3.4.6 Potentialverteilung	54
5.3.5 Schlußfolgerung	56
6. Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen	57

u. ANr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. Anr.: 9314701A, Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt „Turbobrunnen“, Lübarser Straße

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1 Lagepläne
 1/1 Ausschnitt topogr. Karte 1 : 4.000
 1/2 Lageplan 1 : 500
- Anlage 2 Geologischer Profilschnitt
- Anlage 3 Brunnenausbauplan
- Anlage 4 Zusammenstellung Grundwasserkennwerte
 4/1 Gw-Kennwerte Meßstellen PÜF, PÜT
 4/2 Gw-Kennwerte Meßstellen RB 1, -3, -4, -5, -6
 4/3 Gw-Kennwerte Meßstellen RB 7, -7A, -8, -8A, -9
 4/4 Gw-Kennwerte Meßstellen B 2, -3, -4, -9, -13
 4/5 Gw-Kennwerte Meßstellen P 1, -1A, -2
- Anlage 5 Zusammenstellung Analysenergebnisse CKW
 5/1 bis 5/20
- Anlage 6 Belastung des oberflächennahen Grundwassers
 Situation 20.10.1993
- Anlage 7 Grundwassergleichenpläne
 7/1 Gw-Höhensituation 19.10.1993
 7/2 Gw-Höhensituation 19.11.1993
 7/3 Gw-Höhensituation 06.12.1993
 7/4 Gw-Höhensituation 04.01.1994
 7/5 Gw-Höhensituation 28.03.1994
 7/6 Gw-Höhensituation 05.05.1994
 7/7 Gw-Höhensituation 17.05.1994
 7/8 Gw-Höhensituation 24.05.1994
- Anlage 8 Zusammenstellung Analysenergebnisse Tracerfarbstoff Sulforhodamin B
 8/1 bis 8/8
- Anlage 9 Zusammenstellung Analysenergebnisse Prozeßluft
- Anlage 10 Zusammenstellung der Grundwasserstandsmessungen
 10/1 und 10/2

CSD · Sachsenwaldstraße 3 · D-1000 Berlin 41
· unsere neue PLZ 12157

Senatsverwaltung für Stadt-
entwicklung und Umweltschutz
z.H. Herrn Naumann IV E 2
Herrn Lichy IV E 26
Lindenstraße 20-25

10969 Berlin

und
Herrn H. Köster
Schloßstraße 21

14059 Berlin

CSD Dr. Verleger Ingenieur- und
Naturwissenschaftler-GmbH
BERLIN

Sachsenwaldstraße 3
D-1000 Berlin 41
Telefon 030/855 34 34
Telefax 030/855 57 36

26.09.1994

In-situ-Sanierung von Grundwasser mit Hilfe des Turbobrunnens

Bericht über sanierungsbegleitende Untersuchungen im Rahmen des Pilotprojektes
Turbobrunnen/Lübarser Straße 8-38, 13435 Berlin
u. ANr.: 9301704A,
u. ANr.: 9314701A

Bearbeiter: Dipl.-Geol. Birgit Hofhaus
Dr. Hartmut Verleger
unter Mitwirkung von
Prof. Dr. Hanskarl Brühl
(Grundwassermarkierungsversuch)

1. Allgemeines

1.1 Projekt/Lage

Pilotprojekt zur In-situ-Grundwasserreinigung durch den „Turbobrunnen“ auf dem Grundstück der Lübarser Straße. 8-38, 13435 Berlin.

1.2. Auftraggeber

- Herr Dipl.-Geologe H. Köster, Berlin
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin, Herr Naumann - IV E 2 und Herr Lichy - IV E 26

1.3 Veranlassung und Auftrag

Von Herrn Diplomeologen H. Köster ist ein Verfahren zur In-situ-Sanierung von Grundwasser, das durch leichtflüchtige Schadstoffe belastet ist, entwickelt worden. Der sogenannte Turbobrunnen ist ein Grundwasserzirkulationsbrunnen, bei dem die Reinigung des kontaminierten Grundwassers im Brunnen erfolgt. Dem Untergrund wird kein Grundwasser, sondern nur der Schadstoff entzogen. Zur Überprüfung der Tauglichkeit dieses Verfahrens sollte ein Pilotprojekt mit den zur Beurteilung notwendigen sanierungsbegleitenden Untersuchungen durchgeführt werden. Mit diesen sanierungsbegleitenden Untersuchungen ist das Büro CSD Berlin beauftragt worden.

Als Versuchsstandort wurde ein Gelände in Berlin-Reinickendorf (Lübarser Straße 8-38) ausgewählt. Auf diesem Gelände ist bereits 1991 ein Pilotprojekt zur Grundwassersanierung durchgeführt und von CSD Berlin gutachterlich betreut worden. Grund für die Wahl dieses Standortes war vor allem, daß der Untergrund hier durch die vorangegangenen Untersuchungen relativ gut bekannt und durch Grundwassermeßstellen bereits instrumentiert war.

CSD Berlin wurde entsprechend ihrem Angebot vom 14.07.1993 (u. ANr.: 9301704A) von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin mit sanierungsbegleitenden Untersuchungen und Überwachungsarbeiten beauftragt. Seitens Herrn Köster wurden die Kosten für einen Teil der Grundwasserbeprobungen und -analysen und eines Grundwassermarkierungsversuchs übernommen.

Im einzelnen umfaßt der Gesamtauftrag folgende zur Beurteilung des Sanierungserfolges notwendige Arbeiten:

- Untersuchungen zur aktuellen Belastungssituation vor Inbetriebnahme des Sanierungsbrunnens (Nullbeprobung), Untersuchung auf leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) inklusive Monochlorethen (Vinylchlorid)
- Ergänzung des vorhandenen Meßstellennetzes in unmittelbarer Umgebung des Sanierungsbrunnens
- kombinierter Pump-/Einleitversuch zur Feststellung des Leistungs- bzw. Schluckvermögens des ehem. Sanierungsbrunnens
- wöchentliche Beobachtung des Grundwassers im Ein- (PÜT) und Austrittsfilter (PÜF) des Sanierungsbrunnens, Untersuchung auf leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW), pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur, Sauerstoffgehalt sowie einzelne Proben auf anorganische Wasserinhaltsstoffe
- monatliche Beprobung von insgesamt 18 Grundwassermeßstellen im Umfeld des Sanierungsbrunnens, Untersuchung auf leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW), pH-Wert, Leitfähigkeit, Temperatur, Sauerstoffgehalt
- Durchführung eines Grundwassermarkierungsversuchs
- Koordination, Dokumentation und Auswertung

Analysen der Prozeßluft der Sanierungsanlage sowie wöchentliche Grundwasserstandsmessungen an insgesamt 20 Grundwassermeßstellen (inkl. Sanierungsbrunnen) wurden von Herrn Köster veranlaßt bzw. durchgeführt.

Die Dauer des Sanierungsbetriebs war zunächst für sechs Monate vorgesehen. Im April 1994 wurde der Betrieb aufgrund einer Zwischenauswertung des Grundwassermarkierungsversuchs um weitere sechs Wochen verlängert (vgl. u. ANr. 9301704O, Nachtrag v. 14.04.1994).

1.4 Unterlagen

Folgende Unterlagen standen zur Verfügung:

- [1.] CSD DR. VERLEGER INGENIEUR- UND NATURWISSENSCHAFTLER GMBH
BERLIN: Bericht über die sanierungsvorbereitenden Untersuchungen zur Klärung der hydrogeologischen und geohydraulischen Verhältnisse sowie zur Beurteilung der aktuellen CKW-Belastungssituation auf dem Altstandort Lübarser Str. 8-38 in 1000 Berlin 26 (uANr.: 9117/I vom 15.03.1991) -sowie alle darin aufgeführten Unterlagen-
- [2.] CSD DR. VERLEGER INGENIEUR- UND NATURWISSENSCHAFTLER GMBH
BERLIN: Bericht über die sanierungsbegleitenden Untersuchungen zur Überwachung und Beurteilung des GW-Sanierungspilotprojektes Lübarser Str. 8-38 in W-1000 Berlin 26 (uANr.: 911725AU vom 14.12.1991)
- [3.] KWS GEOTECHNIK GMBH: Erprobung eines In-situ-Stripsystems (Turbobrunnen) auf dem Gelände des Schaltwerkes, Siemens AG, Berlin -Feldversuch vom 18.10.1991- (Ausfertigungs-Nr.: 4, vom 10.02.1992).

2. Beschreibung des In-situ-Stripsystems Turbobrunnen

Das In-situ-Stripsystem Turbobrunnen wurde für die Rückgewinnung von leichtflüchtigen Schadstoffen aus dem Grundwasser entwickelt und basiert auf der Überführung im Wasser gelöster Schadstoffe in die Gasphase (hier: Prozeßluft). Die In-situ-Reinigung funktioniert nach dem Prinzip der Grundwasserzirkulationsströmung im Untergrund:

Der Sanierungsbrunnen besitzt einen Filterbereich im unteren Teil des Aquifers, durch den verunreinigtes Grundwasser einströmt. Durch eine weitere Filterstrecke im oberen Teil des Aquifers oder auch oberhalb des Ruhewasserspiegels kann das im Brunnenrohr angehobene Wasser oberflächennah abströmen. Der Rückfluß des Wassers im Brunnen selbst wird durch einen unterhalb der oberen Filterstrecke angebrachten Pneumatikpacker (vgl. Bild 3a) verhindert.

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. ANr.: 9314701A Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

Die Wasserzirkulation erfolgt durch einen im Brunnenrohr installierten Propeller, der mit Hilfe eines Elektromotors über eine Hohlwelle angetrieben wird. In den Propellerschaufeln befinden sich Bohrungen zur Hohlwelle. Das Wasser in der Hohlwelle und den Schaufelbohrungen wird durch die Zentrifugalkräfte herausgeschleudert. Wird der Zentrifugaldruck in den Schaufelbohrungen größer, als der Gegendruck des Wassers, kann Luft durch die Hohlwelle in den Brunnenraum strömen. In der von Luftblasen durchperlten Wassersäule oberhalb des Propellers findet dann ein Schadstoffaustausch vom Wasser zur Luft statt. Die am Brunnenkopf ausströmende Luft wird über Aktivkohlefilter gereinigt. Ein Teil der gereinigten Prozeßluft kann zur Minimierung von Verockerungsprozessen in das Sanierungssystem zurückgeleitet werden. Die Funktionsweise des In-situ-Stripsystems ist in den Bildern 1 und 2 schematisch dargestellt.

Zu Beginn des Sanierungsbetriebs war der Elektromotor an einer ca. 6 m langen Hohlwelle am Brunnenkopf angebracht und lag außerhalb des geschlossenen Sanierungssystems (vgl. Bild 3b). Bei hohen Drehzahlen des Propellers ließen sich die auftretenden Schwingungen nicht ausreichend dämpfen und führten immer wieder zu Materialabrissen. Die Anlage konnte so vorerst nur mit niedrigen Drehzahlen laufen. Da aber die Wasserdurchsatzrate im Sanierungsbrunnen von der Drehzahl des Propellers abhängig ist, wurde nach ca. 14 Tagen Betriebsdauer ein Umbau der Anlage vorgenommen. Der Motor wurde durch einen Unterwassermotor ersetzt und die Welle auf eine Länge von ca. 0,7 m verkürzt (vgl. Bild 3c).

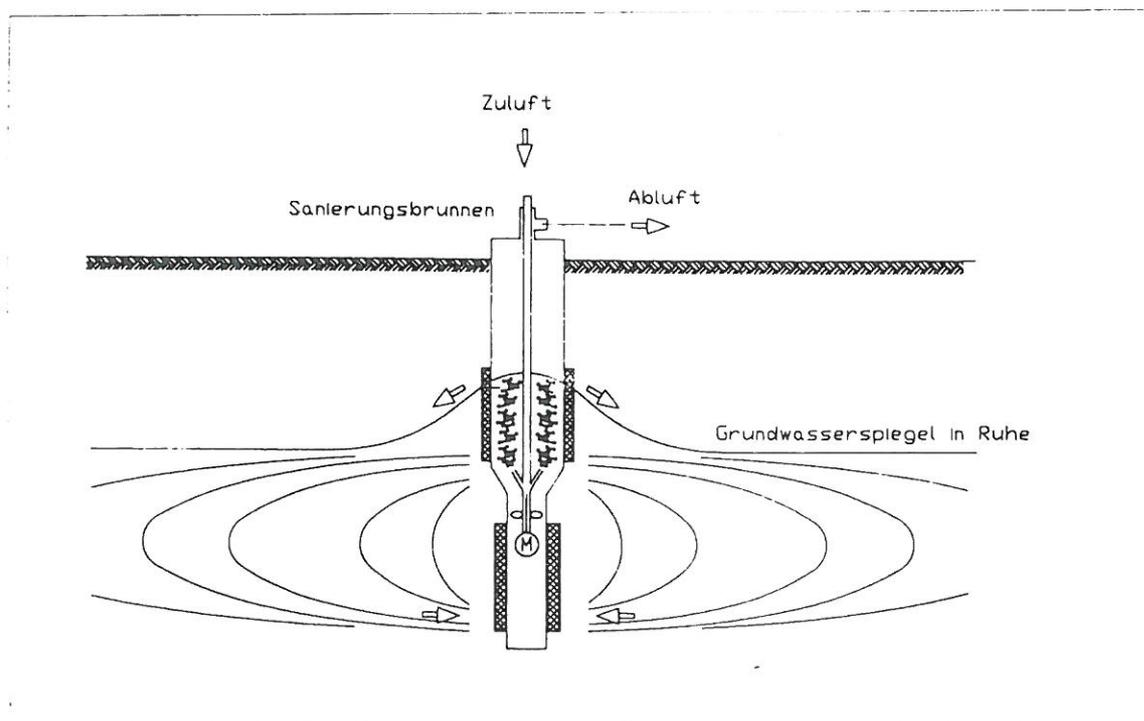


Bild 1: Prinzipskizze der Grundwasserumwälzung durch den Turbobrunnen

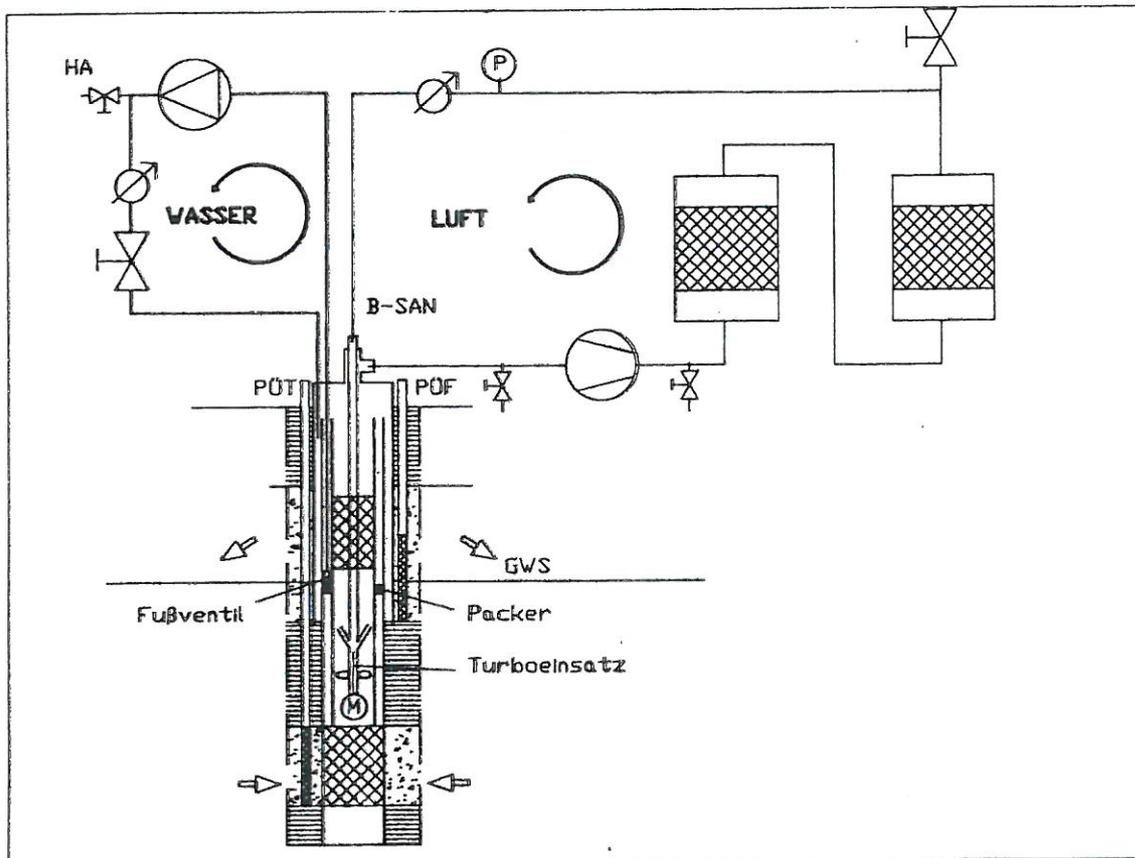


Bild 2: Fiießschema Pilotanlage Turbobrunnen



Bild 3a: Pneumatikpacker unterhalb des Austrittsfilters des Turbobrunnens

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. Anr.: 9314701A Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

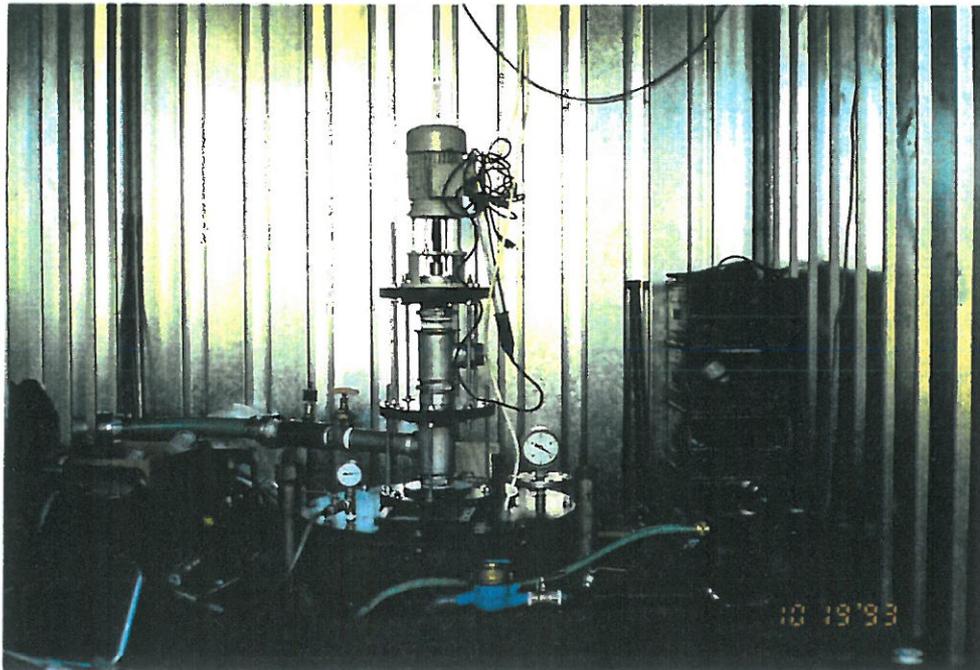


Bild 3b: Pilotanlage Turbobrunnen vor dem Umbau (Elekromotor außerhalb des Brunnens)



Bild 3c: Turbobrunneneinsatz nach dem Umbau mit Unterwassermotor

3. Allgemeines zum Standort Lübarser Straße

3.1 Schadensursache und vorangegangene Sanierungsmaßnahmen

Erkundungen und Untersuchungen im Auftrag der Senatsverwaltung zwischen 1989 und 1990 auf dem Gelände der Fa. Gühring, Lübarser Straße 8-38, vormals Standort mehrerer verschiedener Industrien, ergaben im wesentlichen eine Verunreinigung des oberflächennahen Grundwassers durch leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe. In der Hauptsache handelte es sich dabei um den Stoff Trichlorethen sowie geringe Gehalte an 1,1,1-Trichlorethan, Tetrachlorethen, cis-Dichlorethen und trans-Dichlorethen (Unterlage [1]).

Im Jahre 1991 wurde im Zeitraum von Juli bis Dezember auf dem o.g. Grundstück im Rahmen eines Pilotprojektes ein Sanierungsverfahren getestet. Hierzu wurde ein Sanierungsbrunnen in der Nähe des Schadenszentrums errichtet, der den oberflächennahen und am stärksten belasteten Grundwasserleiter erfaßte. Nach der Betriebsdauer von insgesamt ca. sechs Monaten konnte ein deutlicher Rückgang der Schadstoffkonzentrationen im nahen Umfeld des Sanierungsbrunnens verzeichnet werden. Die große flächenhafte Ausdehnung der Grundwasserkontamination hätte jedoch einen längeren Betrieb der Anlage erfordert und darüberhinaus wären weitere Sanierungsbrunnen auf dem Grundstück erforderlich gewesen (Unterlage [2]).

3.2 Hydrogeologische Verhältnisse

Der Standort Lübarser Straße 8-38 befindet sich regionalgeologisch am Südrand der Barnimhochfläche im Übergangsbereich zum Warschau-Berliner Urstromtal. Die durchschnittliche Geländehöhe liegt etwa zwischen NN +46 m und NN +47 m.

Der geologische Aufbau stellt sich wie folgt dar (vgl. Anlage 2, geologischer Profilschnitt):

Unter einer zumeist geringmächtigen Auffüllung bilden ca. 5,0 m bis 9,0 m mächtige, gut wasser-durchlässige Sande mit gelegentlichen Einschaltungen feinkörniger Lagen den oberflächennahen, ungespannten Grundwasserleiter. Der Flurabstand beträgt durchschnittlich 3,0 m, so ergibt sich eine wassererfüllte Mächtigkeit von ca. 3,0 m bis 4,0 m.

Alle zur sanierungsbegleitenden Beobachtung im Pilotprojekt Turbobrunnen ausgewählten Grundwassermeßstellen besitzen Filterlagen im Bereich der hier beschriebenen Sande. Die wichtigsten Ausbaudaten der Meßstellen sowie ihre Entfernung zum Sanierungsbrunnen ist der Tabelle 1 zu entnehmen (vgl. dazu den Lageplan, Anlage 1/2).

Tab. 1: Hauptausbaudaten der Grundwassermeßstellen und Entfernung zum Sanierungsbrunnen

GWMST	Ausbau- durch- messer	Rohrober- kante (ROK) [m ü. NN]	Geländeober- kante (GOK) [m ü. NN]	Filterstrecke (m u. GOK)	Länge der Filterstrecke [m]	Entfernung zum Sanierungsbrun- nen [m]
PÜF	DN 50	47,01	46,60	2,5 - 3,5	1,00	0,00
PÜT	DN 50	47,03	46,60	4,5 - 6,5	2,00	0,00
RB 1	DN 50	47,54	46,78	3,33 - 5,33	2,00	33,00
RB 3	DN 50	46,50	46,65	3,5 - 6,5	3,00	27,50
RB 4	DN 50	46,62	46,71	3,8 - 6,8	3,00	5,00
RB 5	DN 50	46,53	46,65	3,3 - 6,3	3,00	4,50
RB 6	DN 50	46,51	46,62	3,3 - 6,3	3,00	4,50
RB 7	DN 50	46,94	46,64	4,14 - 6,14	2,00	2,50
RB 7A	DN 50	46,51	46,64	3,13 - 4,13	1,00	2,50
RB 8	DN 50	46,48	46,65	4,18 - 6,18	2,00	1,00
RB 8A	DN 50	46,55	46,66	3,11 - 4,11	1,00	1,00
RB 9	DN 50	46,74	46,64	2,9 - 5,9	3,00	9,00
B 2	DN 50	46,75	46,60	2,6 - 4,6	2,00	7,00
B 3	DN 50	46,91	46,59	2,9 - 4,9	2,00	11,50
B 4	DN 50	46,90	46,62	2,9 - 4,9	2,00	15,50
B 9	DN 50	46,06	46,63	2,7 - 4,7	2,00	32,00
B 13	DN 50	46,53	46,58	3,15 - 5,15	2,00	33,50
P 1	DN 50	47,03	46,60	5,5 - 6,5	1,00	24,00
P 1A	DN 50	47,03	46,60	3,5 - 4,5	1,00	24,00
P 2A	DN 50	46,87	46,46	3,5 - 6,5	3,00	55,00

Die Aquifersohle bildet der gering bis sehr gering durchlässige Geschiebemergel im Liegenden der sandigen Schichten. Hierin finden sich in unterschiedlichen Tiefen geringmächtige Einschaltungen von fein- bis grobkörnigen, wasserdurchlässigen Sandlinsen, die zumeist eine geringe Ausdehnung besitzen, jedoch hydraulisch miteinander in Kontakt stehen können.

In vorangegangenen Untersuchungen wurden Durchlässigkeiten der einzelnen Sedimentschichten ermittelt (Siebanalysen, Permeameter, Einschwingversuche). Hiernach zeigten die Sande des oberen Grundwasserleiters bzw. die Sandlinsen im Geschiebemergel im Mittel Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f) zwischen $k_f = 5 \cdot 10^{-5}$ und $1 \cdot 10^{-4}$ m/s. Für den Geschiebemergel wurden im allgemeinen k_f -Werte

zwischen $2 \cdot 10^{-8}$ und $2 \cdot 10^{-9}$ m/s ermittelt, wobei in sandigeren Partien des Geschiebemergels auch Durchlässigkeiten von $k_f = 1 \cdot 10^{-5}$ bis $6 \cdot 10^{-5}$ m/s auftreten.

Die Auswertung der vor Beginn der Sanierungsmaßnahme (19.10.1994, 11:00, vgl. Anlage 7/1) gemessenen Grundwasserstände im oberflächennahen Grundwasserleiter ergab eine westliche bis südwestliche Grundwasserfließrichtung und ein mittleres Grundwassergefälle von $I = 1,2 \cdot 10^{-3}$.

3.3 Grundwasserkontamination - Ausgangssituation

Die erste Beprobung (Nullbeprobung) von insgesamt 19 Grundwassermeßstellen erfolgte im Zeitraum vom 07.09. bis 10.09.1993 und am 27.09.1993. Die Untersuchung der Grundwasserproben auf chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) ergab folgende Belastungssituation auf dem Gelände Lübarser Straße 8-38:

Eine außerordentlich hohe CKW-Konzentration (CKW-Summe) besaß das Grundwasser im Bereich der Meßstellen B 3 ($12.197 \mu\text{g/l}$), B 4 ($6.804 \mu\text{g/l}$) und RB 4 ($4.136 \mu\text{g/l}$, vgl. Anlage 6), wobei der Teufenbereich zwischen 2,9 m und 4,9 m uGOK (unter Geländeoberkante, Lage der Filterstrecken B 3, B 4) höhere CKW-Gehalte aufwies, als der tiefere Grundwasserbereich bei RB 4 (Lage der Filterstrecke 3,8 m bis 6,8 m uGOK). Diese Tendenz ist auch sehr deutlich bei den tiefendifferenzierten Meßstellen RB 7 und RB 8 zu erkennen. RB 7A und RB 8A in den oberen Filterlagen zeigen mit $2.015 \mu\text{g/l}$ und $1.082 \mu\text{g/l}$ deutlich höhere CKW-Konzentrationen, als die unteren Filterlagen (RB 7, $216 \mu\text{g/l}$ u. RB 8, $278 \mu\text{g/l}$). Die Anlage 6 zeigt die Ausgangssituation der Grundwasserbelastung durch CKW in Form einer Isoliniendarstellung (bei den tiefendifferenzierten Meßstellen ist jeweils die CKW-Belastung in den oberen Filterlagen berücksichtigt worden).

Der Gehalt an Monochlorethen lag in allen untersuchten Proben unter der Nachweisgrenze von $3 \mu\text{g/l}$.

3.4 Sanierungsbrunnen

Der auf dem Gelände noch vorhandene Sanierungsbrunnen (vormals bezeichnet als ÜDB 1) wurde 1991 als Greiferbohrung bis in eine Tiefe von 8,50 m uGOK abgeteuft und ist in Tiefen von 4,50 m bis 6,50 m uGOK (Eintrittsfilter) sowie 2,50 bis 3,50 m uGOK (Austrittsfilter) mittels Brückenschlitzfilter DN 400 bzw. DN 600 verfiltert.

Im Bereich des o.g. Eintritts- und des Austrittsfilters ist in die Kiesschüttung jeweils ein Peilrohr DN 50 zur Beprobung des ein- und ausströmenden Grundwassers sowie zur Messung der Grundwasserstände eingebracht worden. Die Beobachtungsrohre tragen die Bezeichnungen PÜF

(Piezometer flach) und PÜT (Piezometer tief). Der Brunnenausbauplan sowie das Bohrprofil sind in der Anlage 3 beigefügt.

Der Turbobrunnen wurde so im Inneren des Sanierungsbrunnens installiert (vgl. Bild 4), daß der Turboeinsatz sich direkt oberhalb des Eintrittsfilters befand. Zur Überwindung der Höhendifferenz zum äußeren Ringraum des Sanierungsbrunnens wurde eine Pumpe installiert, die das gestripte Wasser, das den Turbobrunnen durch den Austrittsfilter oberhalb des Packers verließ, anhub und in den äußeren Ringraum leitete, von wo aus es durch den Austrittsfilter des Sanierungsbrunnens in den Grundwasserleiter gelangte. Am Entnahmeschlauch der Pumpe wurde eine Wasseruhr zur Ermittlung der Wasserdurchsatzrate und ein Probenahmehahn, der die direkte Beprobung des gestripten Wassers ermöglichte, angebracht. Bild 2 (Abschn. 2) zeigt eine schematische Darstellung des Turbobrunnens im Sanierungsbrunnen.



Bild 4: Installation des Turbobrunnens im vorhandenen Sanierungsbrunnen (ÜDB)

3.5 Zeitlicher Ablauf des Sanierungspilotprojektes

Zur Überwachung und Beurteilung des Sanierungsverfahrens wurden während des gesamten Sanierungsbetriebes folgende Untersuchungen durchgeführt:

- wöchentliche Beprobung des Zu (PÜT)- und Ablaufs (PÜF) im Sanierungsbrunnen und Untersuchung der Wasserproben auf leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) sowie Vor-Ort-Messungen auf freien Sauerstoffgehalt, pH-Wert, Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, einzelne Proben auf Redoxpotential, Säure- und Basekapazität sowie Eisen, Mangan und die anorganischen Hauptinhaltsstoffe

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. ANr.: 9314701A Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

- monatliche Beprobung der umliegenden 18 Grundwassermeßstellen auf dem Grundstück und Untersuchung der Wasserproben auf CKW sowie Messung der Vor-Ort-Parameter freier Sauerstoffgehalt, pH-Wert, Temperatur und elektrische Leitfähigkeit
- wöchentliche Grundwasserstandsmessungen an allen o.g. Grundwassermeßstellen zur Ermittlung der Grundwasserpotentialverteilung und somit des hydraulischen Einflußbereichs des Turbobrunnens
- Gewinnung von Prozeßluftproben in unterschiedlichem Rhythmus und Untersuchung auf CKW
- Untersuchung der Grundwasserzirkulationsströmung und Ermittlung des Wirkradius mittels Grundwassermarkierungsversuch

Im folgenden wird ein zeitlicher Ablauf des Pilotprojektes zur Grundwassersanierung gegeben:

13.09.1993	Beprobung aller im Untersuchungsrahmen festgelegten Grundwassermeßstellen auf dem Gelände Lübarser Straße 8-38 „Nullbeprobung“
23.09. - 24.09.1993	Installation der Grundwassermeßstellen RB 7/7A, RB 8/8A und RB 9
29.09.1993	Durchführung eines kombinierten Pump-/Einleitversuches im Sanierungsbrunnen zur Ermittlung der Funktionstüchtigkeit und der Wasserdurchsatzrate
19.10.1993	Inbetriebnahme des Turbobrunnens nach Einbau in den vorhandenen Sanierungsbrunnen
19.10. - 01.11.1993	Turbobrunnen läuft nur mit geringer Drehzahl und kleiner Wasserdurchsatzrate
21.10., 25.10. u. 29.10.1993	Stillstand des Turbobrunnens aufgrund von Umbauarbeiten an der Antriebswelle
01.11.1993	Turbobrunnen läuft mit erhöhter Drehzahl und größerer Wasserdurchsatzrate, kurze Stillstandzeiten aufgrund weiterer Umbauarbeiten
18.01. - 20.01.1994	Turbobrunnen nicht in Betrieb wegen Stromausfall
16.02.1994	Start des Grundwassermarkierungsversuchs
April 1994	Verlängerung des Untersuchungszeitraumes um ca. sechs Wochen
05.05. - 06.05.1994	spezielle Probenahme im Zustrom (PÜT) des Sanierungsbrunnens
18.05. - 19.05.1994	Abschlußbeprobung des Grundwassermarkierungsversuchs
24.05. - 27.05.1994	Abschlußbeprobung sämtlicher Grundwassermeßstellen
30.05.1994	Außerbetriebnahme des Turbobrunnens und Ausbau des Turboeinsatzes
31.05.1994	Beprobung eines Aktivkohlefasces
01.06.1994	gleichzeitige Beprobung des Sanierungsbrunnens und der Meßstelle PÜT

4. Durchgeführte Arbeiten und Untersuchungen vor Beginn der Sanierungsmaßnahme

4.1 Grundwassermeßstellen

Im Rahmen eines im Jahre 1991 durchgeführten Pilotprojektes zur Sanierung des CKW-Schadens im Grundwasser auf dem Gelände der Lübarser Straße 8-38, wurden bereits zahlreiche Grundwassermeßstellen zur Beobachtung des Sanierungserfolges auf dem Gelände errichtet. Die Filterlagen der Meßstellen befinden sich in unterschiedlichen Teufenbereichen, sowohl oberhalb als auch innerhalb des Geschiebemergelkomplexes.

Zur Durchführung der sanierungsbegleitenden Untersuchungen im Pilotprojekt Turbobrunnen wurden insgesamt 15 der bestehenden Meßstellen in das Untersuchungsprogramm einbezogen (vgl. Anlage 1). Die Filteroberkanten dieser Meßstellen liegen zwischen 2,5 m und 4,18 m uGOK oberhalb des Geschiebemergels (vgl. Abschnitt 3.2, Tab. 1) im oberflächennahen, ungespannten Grundwasserleiter. Zwei der o.g. Meßstellen wurden direkt im Ringraum des Sanierungsbrunnens im Filterkies installiert und dienen der Beprobung des ein-(Meßstelle PÜT) und ausströmenden Grundwassers (Meßstelle PÜF).

Die Instrumentierung der direkten Umgebung des Sanierungsbrunnens wurde, aufgrund der geringen wassererfüllten Mächtigkeit des oberflächennahen Grundwasserleiters und der damit zu erwartenden geringen Reichweite des Turbobrunnens, mit fünf zusätzlichen Grundwassermeßstellen, die als Rammbrunnen errichtet wurden, ausgestattet. Die mit RB 7/RB 7A und RB 8/RB 8A bezeichneten Meßstellen wurden mit tiefendifferenzierten Filterlagen installiert, wobei die mit „A“ benannten Filterstrecken im oberen Bereich des Grundwasserleiters (3,13 - 4,13 m uGOK) und die übrigen im unteren Bereich (4,0 - 6,0 m uGOK) verfiltert sind. Eine weitere Grundwassermeßstelle (RB 9) mit einer Filterlage von 2,9 bis 5,9 m uGOK wurde im Abstrombereich errichtet. Der tiefendifferenzierte Ausbau der o.g. Meßstellen wurde zur Beobachtung der sich einstellenden Grundwasserzirkulationsströmung im Bereich des Sanierungsbrunnens gewählt. Die Installation der Meßstellen und die Vermessung ihrer Rohroberkanten auf NN erfolgte im Zeitraum vom 23.09. bis 24.09.1994.

4.2 Kombiniertes Pump-/Einleitversuch am ehemaligen Sanierungsbrunnen

Da beabsichtigt war, das In-situ-Stripsystem in einen vorhandenen Brunnen einzubauen, der zuletzt 1991 in einem Pilotprojekt in Betrieb war, wurde zur Feststellung seines Leistungs- bzw. Schluckvermögens (eventuelle Verockerung des Austrittsfilter) ein kombinierter Pump-/Einleitversuch durchgeführt. Zudem war im anfänglich geplanten Sanierungsablauf keine direkte Messung der Wasserdurchsatzrate (Wasseruhr) vorgesehen, und so sollte der Versuch weiterhin der Aufstellung eines Diagramms zur Ermittlung der Durchsatzrate (vgl. Bild 5) über die gemessenen Grundwasserstände dienen. Der spätere Aufbau erforderte jedoch den Zusatz einer Pumpe (vgl. Abschn. 3.4), die das

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. ANr.: 9314701A Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

gestripte Wasser, das den Turbobrunnen verließ, anhob und in den äußeren Ringraum des Sanierungsbrunnens leitete. Direkt vor der Pumpe wurde eine Wasseruhr installiert, an der die genauen Durchflußmengen abgelesen werden konnten.

Der Pumpversuch wurde am 29.09.1993 um 11:00 h gestartet, gefördert wurde mit einer frequenz-gesteuerten Tauchmotorpumpe (Grundfos MP1) im Sanierungsbrunnen. Das geförderte Grundwasser wurde im äußeren Ringraum des Brunnens wiedereingeleitet.

Die Grundwasserstände der folgenden Meßstellen wurden während des Versuchs kontinuierlich aufgezeichnet: PÜT, PÜF, Sanierungsbrunnen und äußerer Ringraum, B 2, RB 4, RB 5, RB 6, RB 7, RB 7A, RB 8, RB 8A und RB 9.

Es wurde mit drei gestaffelten Förderleistungen (Phase 1-3) jeweils 2,0 h gepumpt (vgl. Tabelle 3).

Tab. 3: Pump-/Einleitversuchsmodalitäten

	Pumpleistung [l/h]	Pumpdauer [min]
Phase 1	193,5	126
Phase 2	450	120
Phase 3	654,5	119

Für die Meßstellen PÜT/PÜF sowie RB 8/RB 8A wurden in einem Diagramm die Grundwasserpotentialdifferenzen gegenüber der Durchflußmenge aufgetragen. Mit Hilfe der dargestellten Geraden durch die einzelnen Meßpunkte läßt sich dann die Durchflußmenge bei einer bestimmten gemessenen Potentialdifferenz bestimmen (vgl. Bild 5).

Der Pumpversuch hat gezeigt, daß der im Jahr 1991 gebohrte Brunnen eine ausreichende Ergiebigkeit als Zirkulationsbrunnen besitzt und die Peilrohre PÜF und PÜT hydraulisch funktionstüchtig sind.

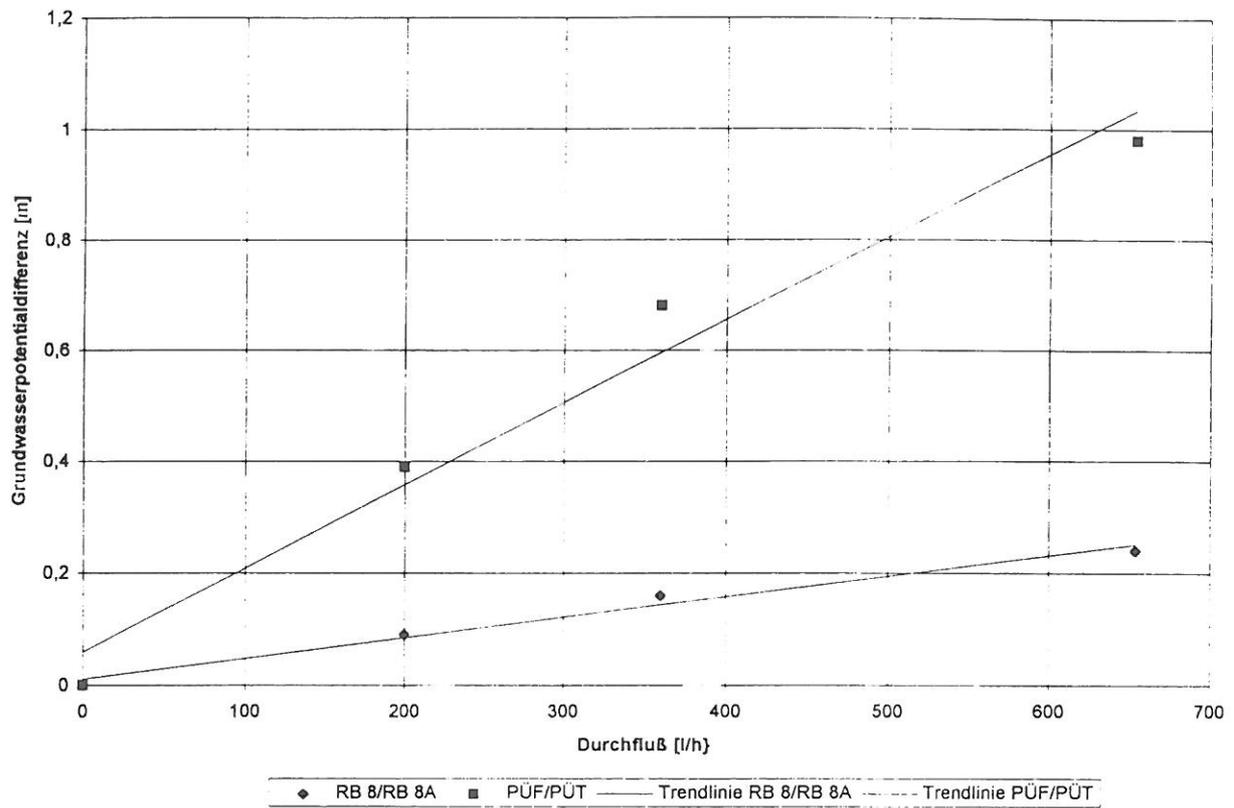


Bild 5: Potentialdifferenzen in den Meßstellen PÜT/PÜF und RB 8/8A bei verschiedenen Durchflußmengen

5. Sanierungsbegleitende Untersuchungen

Die sanierungsbegleitenden Untersuchungen erstrecken sich neben der Beobachtung der Schadstoffverteilung im Grundwasser auf Untersuchungen am Sanierungsbrunnen (chemische Beschaffenheit des Grundwassers am Ein- und Austrittsfilter, Wasserdurchsatzrate), Analysen der Prozeßluft (Schadstoffbelastung, Volumenstrom, Temperatur und Druckverhältnisse) und Beobachtungen des Grundwassers im Umfeld des Sanierungsbrunnens (Grundwasserströmungsverhältnisse, Grundwasserbeschaffenheit, Wirkungsradius).

Die im folgenden aufgeführten Firmen und Institutionen waren an der Durchführung der Untersuchungen beteiligt:

CSD DR. VERLEGER INGENIEUR- UND NATURWISSENSCHAFTLER-GMBH BERLIN:
Grundwasserbeprobungen einschl. Vor-Ort-Untersuchungen (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Redoxpotential, Säure- Basekapazität)

INGENIEURBÜRO KOBERT & PARTNER GMBH:

Grundwasserstandsmessungen, Prozeßluftprobenahme, Messung von Volumenstrom, Druck, Temperatur, Wasserdurchsatz

BIFAU UMWELTANALYTIK GMBH:

Laboruntersuchungen der Wasserproben und Prozeßgasproben auf leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (Dichlormethan, cis-1,2-DCE, Trichlorethan, 1,2-Dichlorethan, 1,1,1-Trichlorethan, Trichlorethen, Tetrachlorethen), ausgewählte Wasserproben auf Eisen, Mangan, Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium, Chlorid, Sulfat, Nitrat, Nitrit, Ammonium und Monochlorethen

RADIOHYDROLOGISCHES LABOR DER FACHRICHTUNG ROHSTOFF- UND UMWELT GEOLOGIE IM INSTITUT FÜR GEOLOGIE, GEOPHYSIK UND GEOINFORMATIK DER FREIEN UNIVERSITÄT BERLIN:

Fluoreszenzspektrometrische Bestimmung des Farbstoffes Sulforhodamin B in Wasserproben (Grundwassermarkierungsversuch)

5.1 Untersuchungen am Sanierungsbrunnen

5.1.1 Wasserdurchsatz

Die Wasserdurchsatzrate in einem Grundwasserzirkulationsbrunnen in Verbindung mit der Reinigung des Grundwassers bestimmt maßgeblich die Wirksamkeit der Sanierungsmaßnahme.

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. ANr.: 9314701A Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

Wie bereits in Abschnitt 3.4 erwähnt, wurde in den Wasserkreislauf des Sanierungsbrunnens eine Pumpe eingebaut, die das gestripte Wasser in den äußeren Ringraum des Sanierungsbrunnens pumpt. Unmittelbar vor diese Pumpe wurde eine Wasseruhr installiert. Die durchgeflossenen Wassermengen wurden wöchentlich registriert, so daß für die jeweiligen Zeiträume durchschnittliche Fördermengen angegeben werden können.

Aufgrund der geringen wassererfüllten Mächtigkeit des oberflächennahen Grundwasserleiters konnten nur vergleichsweise niedrige Förderraten von ca. $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ im Sanierungsbrunnen gefahren werden.

Bild 6 zeigt den Volumenstrom für den Betriebszeitraum des Turbobrunnens vom 18.10.1993 bis 26.05.1994. Nach einer Anfangsphase von stark schwankenden Entnahmemengen zwischen $0,2 \text{ m}^3/\text{h}$ und $0,9 \text{ m}^3/\text{h}$ bis zum 11.11.1993, wurden nach dem Umbau der Anlage (vgl. Abschn. 2) bis Ende Dezember 1993 im Mittel $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$, bis Ende Januar 1994 im Mittel ca. $0,7 \text{ m}^3/\text{h}$ und bis Anfang Mai mit geringfügigen Schwankungen durchschnittlich wieder $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ kontaminiertes Grundwasser entnommen. Ab der zweiten Maihälfte bis zum Abstellen des Turbobrunnens fiel die Entnahmemenge dann wieder auf durchschnittlich $0,8 \text{ m}^3/\text{h}$ ab.

Obwohl es nachweislich während des Sanierungsbetriebes zur Ausfällung von Eisen- und Manganhydroxiden infolge der Strippung gekommen ist (vgl. Abschn. 5.1.2.1 u. 5.1.3), war keine signifikante Abnahme der Wasserdurchsatzrate durch eine Verockerung der Brunnenfilter zu verzeichnen.

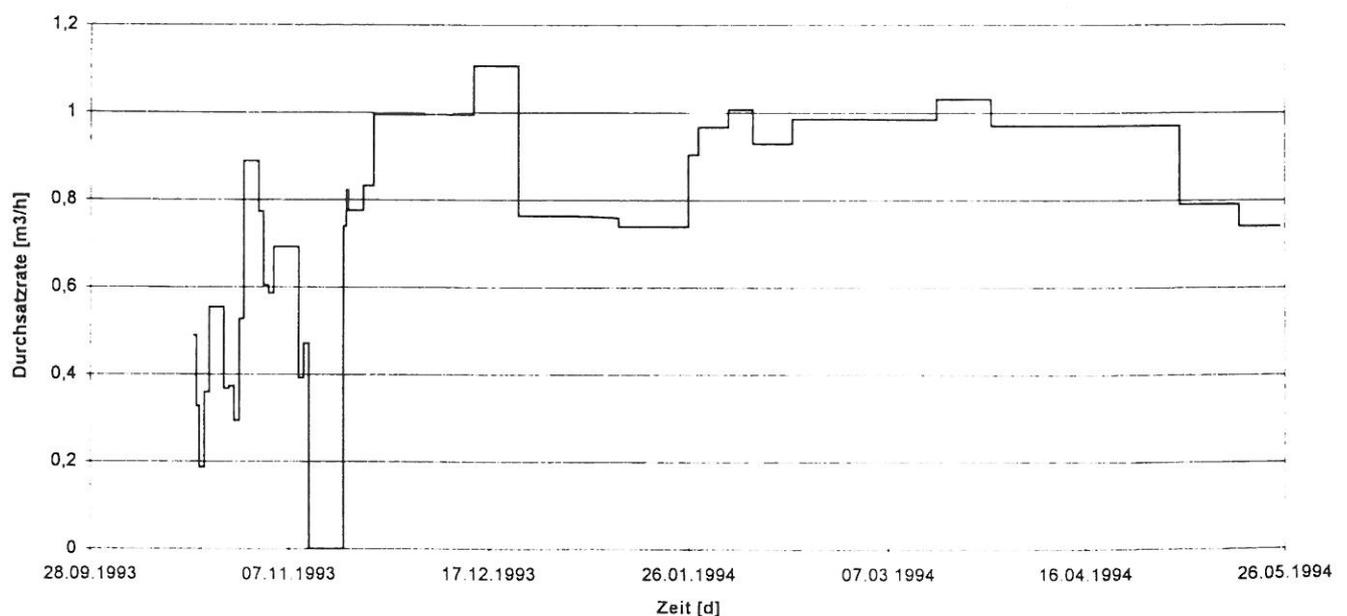


Bild 6: Wasserdurchsatzraten während des Pilotbetriebes

5.1.2 Beschaffenheit des Wassers

Die beiden im Filterkies des Sanierungsbrunnens installierten Grundwassermeßstellen PÜF (Bereich Austrittsfilter) und PÜT (Bereich Eintrittsfilter) wurden mittels einer Tauchmotorpumpe in Zeitabständen von einer Woche, in den letzten sechs Wochen nur noch alle 14 Tage, beprobt. Die Probenahme erfolgte nach Konstanz der Kennwerte (Temperatur, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit). Bei einzelnen Probenahmen wurde zusätzlich das Redoxpotential bestimmt. Die Meßergebnisse sind der Anlage 4 zu entnehmen.

Die genauen Probenahmemodalitäten liegen dem Auftraggeber in Form von Probenahmeprotokollen vor (vgl. Anlage zum Abschlußbericht u.ANr.: 9301704A).

5.1.2.1 Physikochemische Eigenschaften und anorganische Wasserinhaltsstoffe

Davon ausgehend, daß bei PÜT das in den Brunnen eintretende Wasser und bei PÜF das austretende Wasser erfaßt wird, können die Auswirkung der Strippung auf die Grundwasserbeschaffenheit beschrieben werden.

Die während der Probenahme im abgepumpten Grundwasser gemessenen **Temperaturen** lagen zwischen 13,3 °C und 16,4 °C bei der Meßstelle PÜF, und zwischen 13,8 °C und 16,1 °C bei der Meßstelle PÜT (Bild 7a). Eine Temperaturbeeinflussung des Grundwassers durch den Sanierungsbetrieb ist nicht zu erkennen. Die zeitlichen Temperaturänderungen von 2 °C bis 3 °C können auf die jahreszeitlichen Schwankungen zurückzuführen sein (vgl. Abschn. 5.2.2.1, Bild 14a).

Die **pH-Werte** liegen bei der Meßstelle PÜF zwischen 6,64 und 7,88, bei der Meßstelle PÜT zwischen 7,04 und 7,47 (vgl. Bild 7b). Das gestripte Wasser zeigt im Mittel einen leicht höheren pH-Wert, als das eintretende Grundwasser, was auf das Ausgasen von CO₂ als Folge der Strippung zurückzuführen ist.

Die **elektrische Leitfähigkeit** (Bild. 7c) liegt im Beobachtungszeitraum für die Meßstelle PÜF zwischen 613 µS/cm und 758 µS/cm und für die Meßstelle PÜT zwischen 628 µS/cm und 901 µS/cm. Ab dem 13.01.1994 sind die im Eintrittsfilter (PÜT) gemessenen Leitfähigkeiten geringfügig höher, als die im Austrittsfilter gemessenen, was vermutlich durch die Ausfällung von Karbonat bedingt ist.

Das in den Brunnen eintretende Grundwasser besitzt im Mittel einen Gehalt an **freiem Sauerstoff** von 0,1 - 0,2 mg/l. Das gestripte Wasser (Bild 7d) weist dagegen Sauerstoffgehalte zwischen 0,5 mg/l und 8,0 mg/l auf. Das sauerstoffarme Grundwasser wird bei der Brunnenpassage nahezu an Sauerstoff gesättigt.

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. Anr.: 9314701A Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

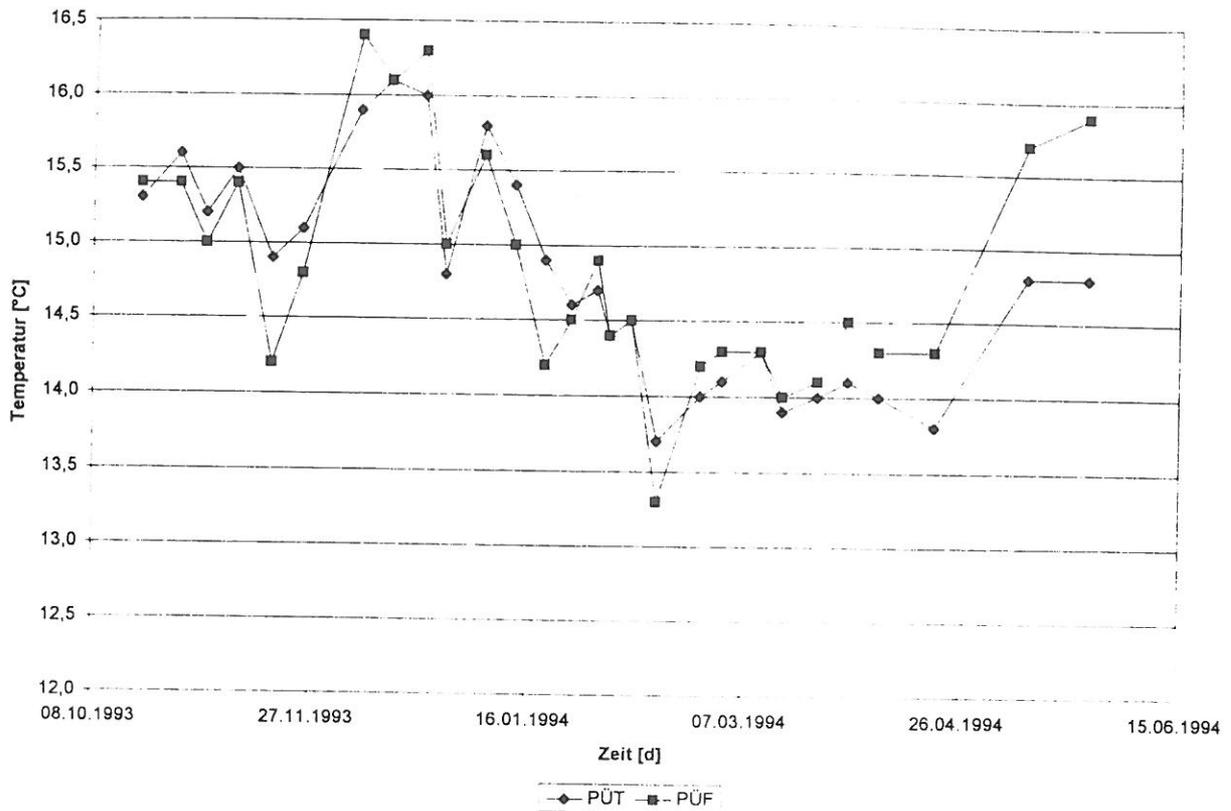


Bild 7a: Zeitliche Entwicklung der Grundwassertemperatur in den Meßstellen PÜF und PÜT

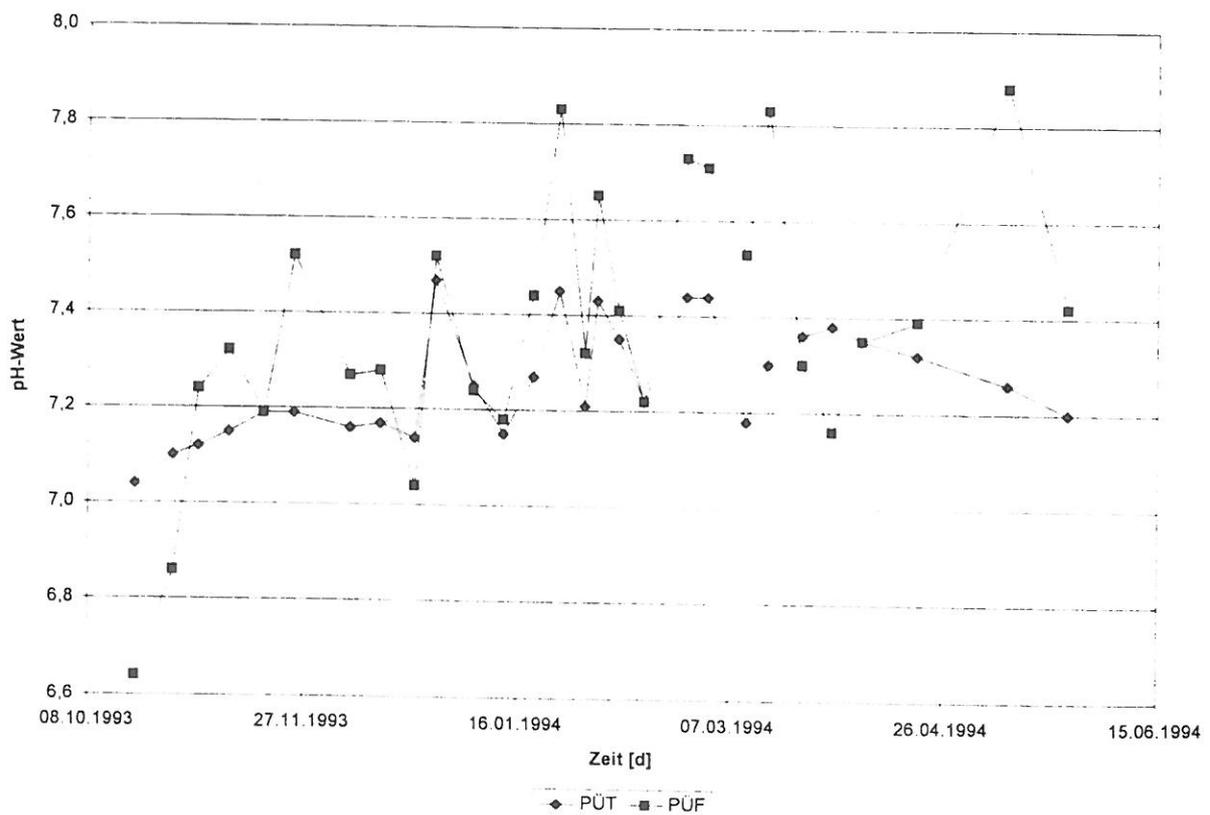


Bild 7b: Zeitliche Entwicklung des pH-Wertes in den Meßstellen PÜF und PÜT

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. Anr.: 9314701A Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

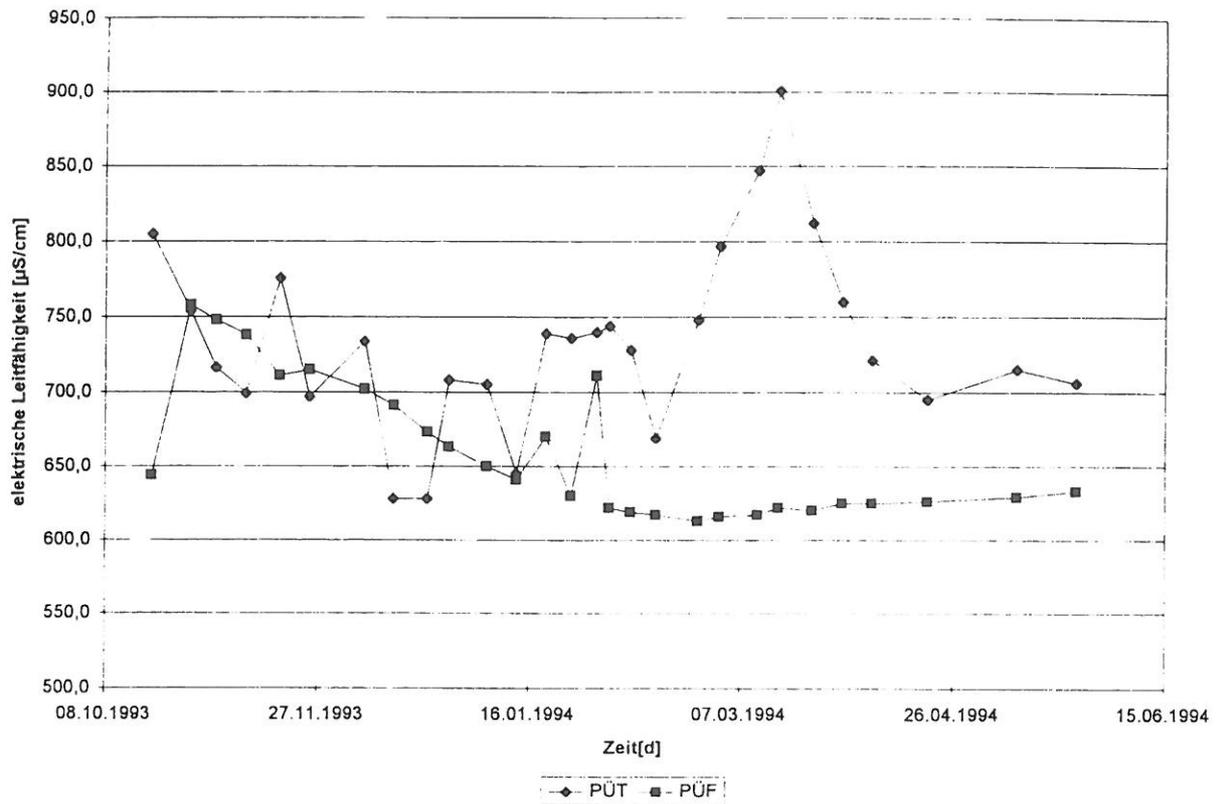


Bild 7c: Zeitliche Entwicklung der Leitfähigkeiten in den Meßstellen PÜF und PÜT

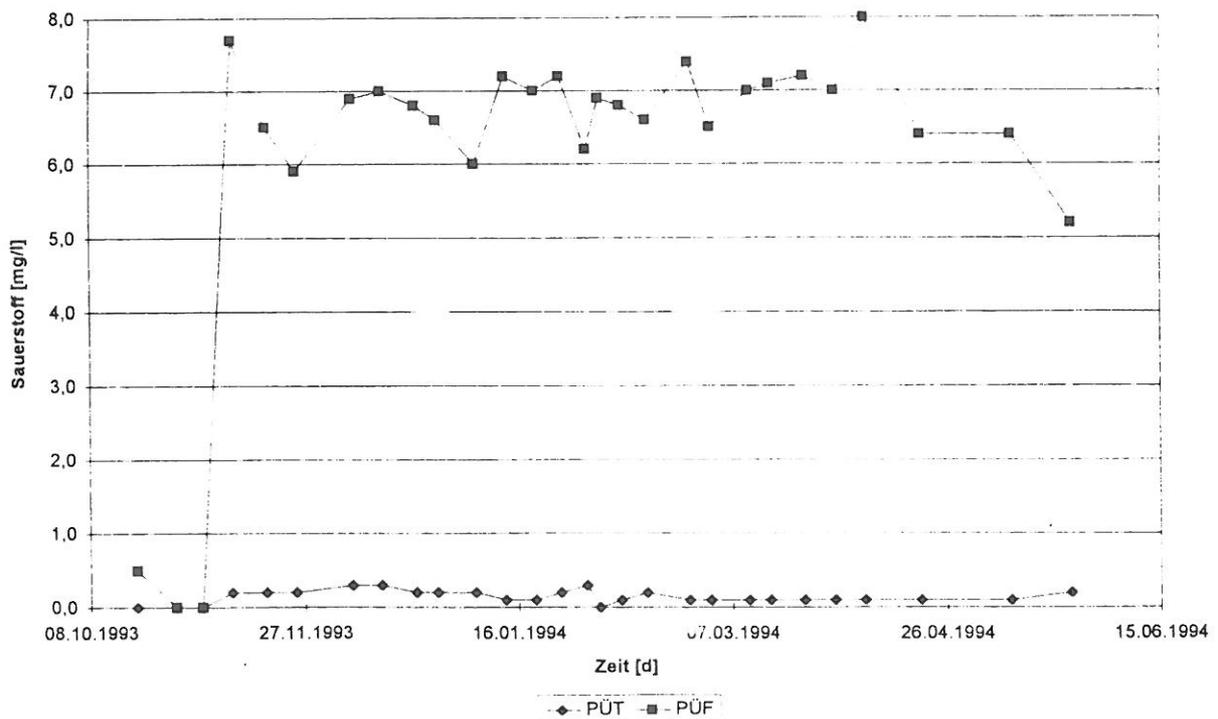


Bild 7d: Zeitliche Entwicklung des Sauerstoffgehaltes in den Meßstellen PÜF und PÜT

Die gemessenen **Redoxpotentiale** zu Beginn der Sanierungsmaßnahme zeigen entsprechend der Sauerstoffgehalte einen deutlichen Unterschied zwischen einströmendem und ausströmendem Grundwasser. So liegen die Werte für PÜF zwischen + 237 mV und +326 mV und die Werte für PÜT zwischen + 111 mV und +127 mV (vgl. Tab. 4).

Tab. 4: Redoxpotentiale am Sanierungsbrunnen

Datum	Eh [mV]	
	PÜF	PÜT
19.10.1994	+326	+111
28.10.1994	+237	+127
03.11.1994	+270	+233
10.11.1994	n.b.	+244
25.05.1994	+221	+37

Das dem Sanierungsbrunnen zuströmende Grundwasser ist entsprechend seiner Ionenverteilung ein **Calcium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Wasser**, welches in Bezug auf die Gehalte seiner Hauptionen als ein relativ schwach mineralisiertes oberflächennahes Grundwasser im dicht bebauten Berliner Stadtgebiet anzusehen ist (vgl. Tab. 5).

Hinsichtlich der Hauptinhaltsstoffe ergeben sich keine nennenswerten Unterschiede zwischen zuströmendem Grundwasser und gestriiptem Wasser. Die Basekapazität ($K_{B 8,2}$) als Maßzahl für freie Kohlensäure ist während des Sanierungsbetriebs (Messung 25.05.94) im gestriipten Wasser etwas niedriger, was für eine Verschiebung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes infolge der Strippung spricht. Gleichzeitig ist der Anteil an Hydrogencarbonat im gestriipten Wasser geringer, es kommt zu einer Karbonatfällung (vgl. Tab. 5).

Die **Eisen-** und **Mangangehalte** im Grundwasser wurden im Verlauf des Sanierungsbetriebes mehrmals gemessen (vgl. Tab. 5). Die Bestimmung der Inhaltsstoffe wurde an unfiltrierten Wasserproben vorgenommen, so daß auch kolloidal gelöstes bzw. an feinste Schwebeteilchen gebundenes Eisen und Mangan mit erfaßt wurde. Die zur Untersuchung entnommenen Proben wurden zur Konservierung mittels HNO_3 suprapur auf pH 2,0 angesäuert.

Tab. 5: Kennwerte am Sanierungsbrunnen

Meßstelle		PÜF		PÜT	
		19.10.1994	25.05.1994	19.10.1994	25.05.1994
T	[°C]	15,4	15,9	15,3	14,8
pH		6,64	7,42	7,04	7,20
LF	[µS/cm]	644	633	805	706
Eh	[mV]	+ 112	+221	+ 103	+ 251
O ₂	[mg/l]	0,6	5,2	0,0	0,2
K _{S 4,3}	[mmol/l]	2,80	1,35	3,25	4,25
K _{B 8,2}	[mmol/l]	1,05	0,15	0,65	0,69
Meßstelle		PÜF		PÜT	
		26.10.1994	02.12.1994	26.10.1994	02.12.1994
Ca	[mg/l]	78,6		93,2	
K	[mg/l]	9,62		8,12	
Fe	[mg/l]	0,168	0,24	1,920	1,97
Mn	[mg/l]	0,313	0,029	0,984	0,372
Na	[mg/l]	30,6		55,2	
Mg	[mg/l]	6,64		7,32	
HCO ₃	[mg/l]	170,80	82,35	195,20	259,25
Cl	[mg/l]	18,7	24,2	20,1	22,4
SO ₄	[mg/l]	175	208	218	133
NO ₃	[mg/l]	12,7	29,1	7,24	1,27
NO ₂	[mg/l]	0,09	0,07	0,49	0,21

Wie aus der Tabelle 5 zu entnehmen ist, besitzt das anströmende Grundwasser Eisengehalte zwischen 1,92 und 1,97 mg/l, die Mangangehalte variieren zwischen 0,37 und 0,98 mg/l. Nach der Brunnenpassage sind die Eisen- und Mangangehalte (Eisen 0,16 - 0,24 mg/l, Mangan 0,029 - 0,31 mg/l) deutlich niedriger, dementsprechend ist es infolge der Sauerstoffanreicherung durch die Stripung zu Eisenausfällungen gekommen. Bei der über den gesamten Sanierungszeitraum recht geringen Durchsatzrate im Sanierungsbrunnen von ca. 1,0 m³/h, führten die Eisen- und Manganhydroxid- ausfällungen offenbar nicht zu Verlusten im Wasserdurchsatz als Folge einer Brunnenverockerung (vgl. Abschn. 5.1.1).

5.1.2.2 Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe

Im Verlauf des Pilotprojektes, insbesondere nach Auswertung der ersten Ergebnisse des Grundwassermarkierungsversuchs (vgl. Abschn, 5.3 ff.) hatte sich der Verdacht eingestellt, daß das in der Meßstelle PÜT entnommene Grundwasser hinsichtlich seines Gehaltes an leichtflüchtigen **chlorierten Kohlenwasserstoffen** nicht repräsentativ für den gesamten Brunnenanstrom ist (vgl. Abschn. 5.1.3).

Die zeitliche Entwicklung der Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser vor und nach der Brunnenpassage nach Analysenergebnissen der Wasserproben aus den Meßstellen PÜF und PÜT ist in Bild 8a dargestellt, demnach hätte der Wirkungsgrad der Strippingung zwischen 92 und 99 % betragen.

Die am Eintrittsfilter (PÜT) gemessenen Gehalte an leichtflüchtigen **chlorierten Kohlenwasserstoffen** lagen zwischen 508 µg/l und 6.818 µg/l, wobei zu Beginn der Sanierung ein leichter Anstieg zu verzeichnen war. Ab dem 25.11.1993 schwankten die Gehalte nicht mehr so stark und bewegten sich bis zum Abstellen des Sanierungsbrunnens zwischen 2.488 und 6.810 µg/l. Im gestriipten Grundwasser lagen die CKW-Konzentrationen zwischen 355 µg/l und 37 µg/l. Seit dem 01.11.1994, ca. eine Woche nach Beginn der Sanierung, unterlagen die CKW-Gehalte am Austrittsfilter nur noch geringfügigen Schwankungen im Bereich zwischen 20 µg/l und 100 µg/l.

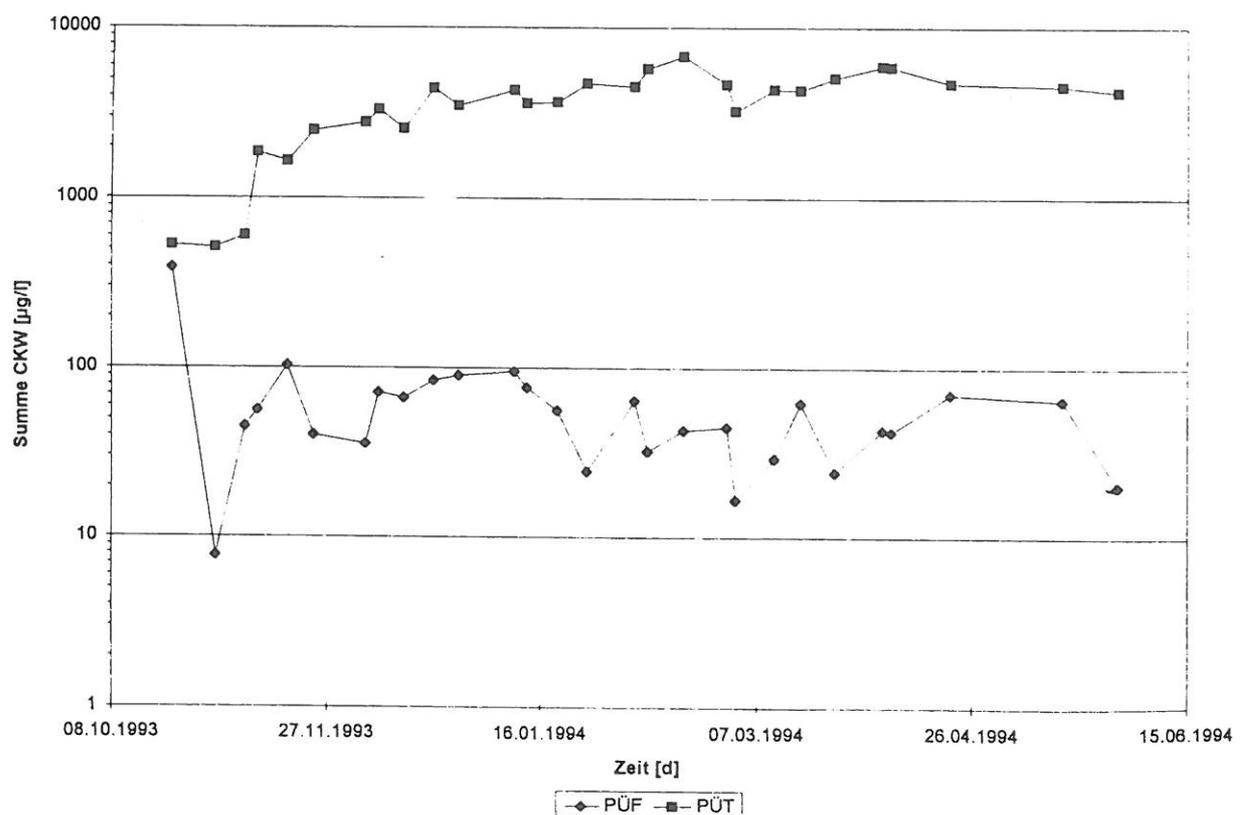


Bild 8a: Entwicklung der CKW-Konzentration in den Meßstellen PÜT und PÜF

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. ANr.: 9314701A Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

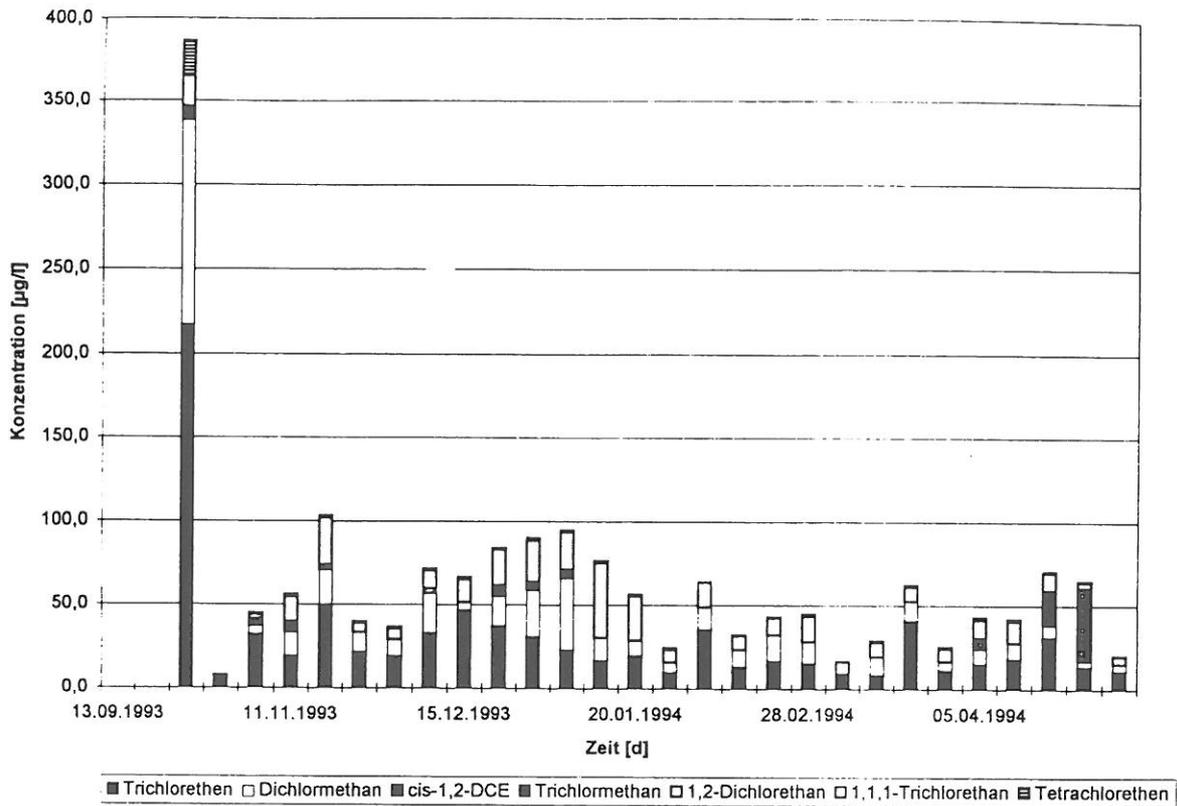


Bild 8b: Zeitliche Entwicklung der CKW-Einzelanteile in der Meßstelle PÜF

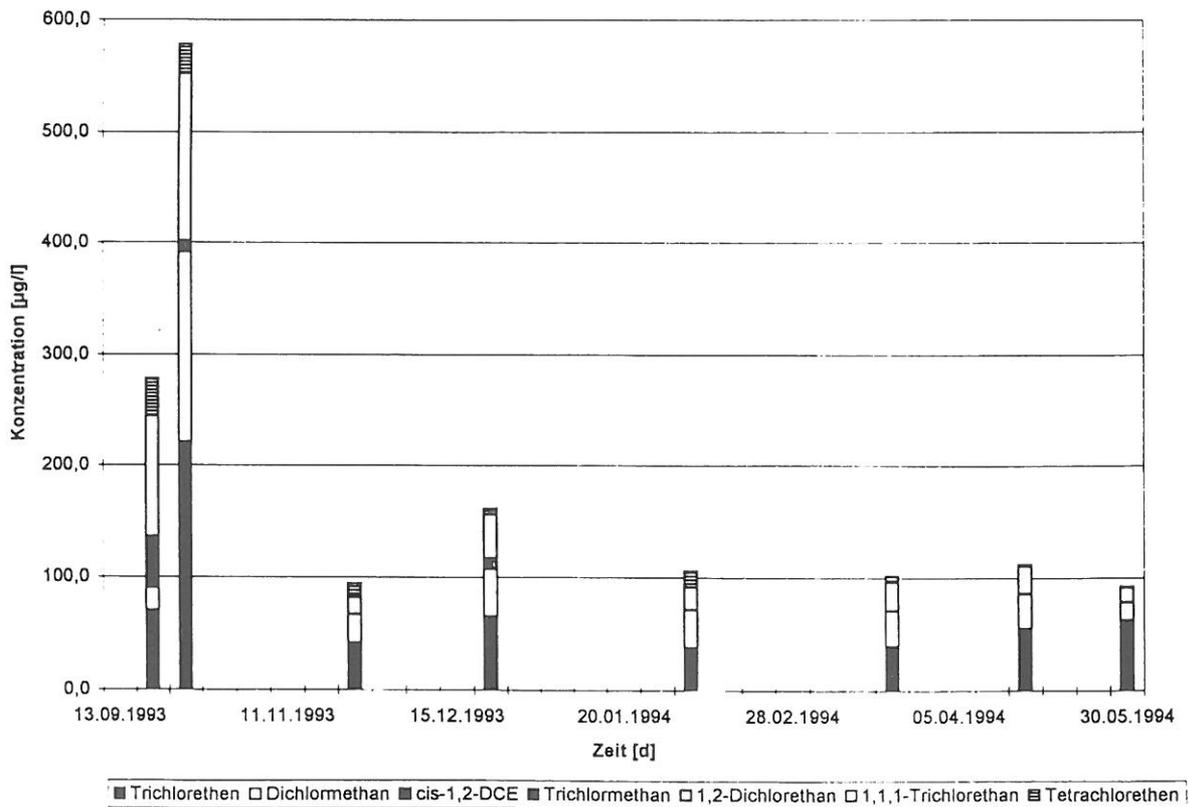


Bild 8c: Zeitliche Entwicklung der CKW-Einzelanteile in der Meßstelle RB 8

Im Verlauf des Pilotprojektes war keine erkennbare Konzentrationsabnahme des Gesamtgehaltes an CKW (Σ CKW) des den Turbobrunnen zuströmenden Grundwassers zu verzeichnen (vgl. Abschn. 5.1.3). Die CKW-Gehalte an der Meßstelle PÜT liegen kurz vor dem Abschalten der Sanierungsanlage (26.05.1994) bei 4.253 $\mu\text{g/l}$.

Das Verhältnis der einzelnen CKW-Anteile im zuströmenden und abströmenden Grundwasser, die sich im wesentlichen aus Trichlorethen, 1,1,1-Trichlorethan und Dichlormethan zusammensetzen, unterliegt insgesamt nur sehr geringfügigen Schwankungen (vgl. Bilder 8b und 8c). Zum Vergleich herangezogen wurden die Meßstellen PÜF (abströmendes Grundwasser) und RB 8 (zuströmendes Grundwasser, da die Meßstelle PÜT wie weiter unten aufgeführt keine für den gesamten Brunnenanstrom repräsentativen CKW-Gehalte zeigte).

5.1.2.3 Prozeßgas

Der Turbobrunnen wurde mit Luft betrieben und die mit CKW beladene Prozeßluft zur Reinigung über Aktivkohlefilter geleitet. An der Prozeßluft sind wöchentlich (bis zum 30.11.1993 täglich) folgende Messungen vorgenommen worden:

- Volumenstrom
- Drücke im Sanierungsbrunnen, in der Abluft, am eingebauten Packer (vgl. Abschn. 2)
- Entnahme von Prozeßgasproben in der Abluft, zur gaschromatographischen Untersuchung im Labor

Zu Beginn der Sanierungsmaßnahme wurden parallel zur gaschromatographischen Untersuchung der Abluft auch halbquantitative Untersuchungen mittels Dräger-Teströhrchen vor Ort durchgeführt. Die Empfindlichkeit der Teströhrchen erwies sich jedoch als zu gering.

Der Volumenstrom der Prozeßluft schwankte zwischen 35 und 90 m^3/h und betrug im Mittel bei 33 Messungen für den Zeitraum vom 19.10.1993 bis 24.05.1994 63,7 m^3/h .

Im Leitungssystem der Prozeßluft wurde an verschiedenen Stellen der Druck gemessen, so herrschte im Sanierungsbrunnen ein leichter Unterdruck von durchschnittlich etwa -25 mbar. Der gemessene Druck im Abluftrohr betrug durchschnittlich etwa 30 mbar. Der eingebaute Packer zeigte während der Sanierung einen konstanten Druck von 0,4 bar an, so daß eine Kurzschlußströmung innerhalb des Sanierungsbrunnens ausgeschlossen werden konnte (vgl. Abschn. 2)

Die gaschromatographischen Untersuchungen der Prozeßluft (Abluft) ergaben bei insgesamt 34 Messungen CKW-Gehalte (Σ CKW) zwischen 245 mg/m^3 und 0,36 mg/m^3 . Im Verlauf der Sanierungsmaßnahme ist eine deutliche Abnahme der Schadstoffkonzentration in der Prozeßluft zu verzeichnen. Eine Aufstellung der Einzelergebnisse der Prozeßluftuntersuchungen enthält Anlage 9.

5.1.3 Schadstoffaustrag

Der Schadstoffaustrag eines Grundwasserzirkulationsbrunnens mit Abluftreinigung über Aktivkohle kann grundsätzlich auf drei verschiedene Arten ermittelt werden:

- aus dem Schadstoffkonzentrationsunterschied zwischen dem in den Brunnen einströmenden Grundwasser und dem Wasser, das den Brunnen nach der Behandlung wieder verläßt, und der Wasserdurchsatzrate
- aus den Schadstoffkonzentrationen der Abluft
- aus dem Beladungsgrad der Aktivkohle

Um nach der Methode der Differenzenbildung zwischen CKW-Konzentration im anströmenden und abströmenden Wasser den Reinigungsgrad (hier Stripeffekt) und den Schadstoffaustrag zu erfassen, sind die Meßstellen PÜT (anströmendes Grundwasser) und PÜF (Wasser nach der Reinigung) regelmäßig beprobt worden (vgl. Kap. 5.1.2.2). Hiernach ergibt sich ein Wirkungsgrad für die Stripung, der im Verlauf des Pilotprojektes zwischen etwa 92 und 99 % variiert und im Mittel (26 Messungen) 97 % beträgt. Bei einer Gesamtumwälzmenge des Grundwassers von 4.302 m^3 innerhalb von etwa acht Monaten errechnet sich der durch den Turbobrunnen bewirkte CKW-Austrag zu 18,61 kg.

Die Ermittlung des Schadstoffaustrags über die Konzentrationen der Abluft und ihres Volumens ergab mit 1,58 kg in acht Monaten nicht einmal 10 % des Wertes nach der Berechnung über die Wasserkonzentrationen.

Diese sehr große Diskrepanz zwischen den beiden Berechnungsmethoden war zunächst überraschend, da gewöhnlich an Grundwasserzirkulationsbrunnen eine erheblich bessere Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen beider Verfahren festzustellen ist. Die Angabe einer derartig großen Spannbreite des Austrags und somit auch des Wirkungsgrades der Stripung ist zur Beurteilung einer Sanierungstechnik völlig unzureichend. Es wurden daher Überlegungen und weitere Untersuchungen zur Klärung dieser Frage vorgenommen.

Der Grundwassermarkierungsversuch mit dem Farbstoff Sulforhodamin B (vgl. Abschn. 5.3 ff.) hatte Zweifel daran erweckt, daß das Wasser der Meßstelle PÜT repräsentativ für das den Turbobrunnen insgesamt anströmende Grundwasser ist. Die hydraulische Funktionstüchtigkeit der Meßstelle PÜT

hatte der Pumpversuch vor Aufnahme des Pilotbetriebes (vgl. Aschn. 4.2) insofern gezeigt, als hier plausible Grundwasserpotentiale gemessen wurden. Dies bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, daß auch kurzfristig eine vollständige Durchströmung der Filterstrecke erfolgte.

Um zu untersuchen, inwieweit unterschiedliche Probenahmemodalitäten auch zu unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich der Beschaffenheit der Proben aus der Meßstelle PÜT führten, wurde die Meßstelle am 05.05 und 06.05.1994 mit unterschiedlichen Techniken beprobt.

Die Entnahme erfolgte

1. mit unterschiedlichen Pumpen (Peristaltikpumpe und Tauchmotorpumpe)
2. bei unterschiedlicher Einbautiefe der Pumpe bzw. des Ansaugschlauches (am oberen und unteren Ende der Filterstrecke)
3. bei unterschiedlicher Gesamtentnahmemenge zum Zeitpunkt der Probenahme (nach 1,0 l bzw. 25,0 l Abpumpen)

Die Ergebnisse sind in der Tabelle 6 zusammengestellt, dabei entspricht die Probe PÜT-8 der Entnahmeart, wie sie im Verlauf des Pilotprojektes für die CKW-Analysen routinemäßig durchgeführt worden ist.

Die gefundenen CKW-Gehalte variieren mit 4.469 bis 16.671 µg/l sehr stark. Im Mittel lieferten die Probenahmen mit der Peristaltikpumpe höhere Gehalte (13.079 µg/l), als die mit der Tauchpumpe (8.219 µg/l). Bei diesem Vergleich ist allerdings zu berücksichtigen, daß zwischen den Beprobungen mit den beiden Pumpen eine Zeitdifferenz von etwa einem Tag lag, was notwendig war, um den Einfluß unterschiedlicher Gesamtentnahmemengen zu untersuchen.

Eine Abhängigkeit von der Einbautiefe der Pumpe bzw. des Ansaugschlauchs ist nicht deutlich erkennbar.

Tab. 6: Beprobungsmodalitäten und Ergebnisse Probenahme PÜT 05.05. und 06.05.1994

Probe-Nr.	PÜT-1	PÜT-2	PÜT-3	PÜT-4	PÜT-5	PÜT-6	PÜT-7	PÜT-8
Datum	05.05. 94	05.05. 94	05.05. 94	05.05. 94	06.05.94	06.05.94	06.05.94	06.05.94
Entnahmegesät	Peristalik- pumpe	Peristalik- pumpe	Peristalik- pumpe	Peristalik- pumpe	MP 1	MP 1	MP 1	MP 1
Tiefe der Entnahme [muROK]	4,0	6,4	4,0	6,4	4,0	6,5	4,0	6,5
Förderdauer [min]	5	5	21	23	5	5	21	21
Gesamtfördermenge [l]	1,0	1,0	25,0	25,0	1,0	1,0	25,0	25,0
Temperatur [°C]	15,1	13,8	13,3	13,1	14,1	13,6	14,5	14,3
Elektrische Leitfähig- keit [μ S/cm]	650	752	739	750	670	750	736	737
pH-Wert	7,73	7,02	7,65	7,59	6,64	6,93	7,55	7,57
Sauerstoffgehalt [mg/l]	0,9	0,7	0,1	0	0,5	1,2	0,1	0
Redoxpotential [mV]	+264	+150	+70	+211	+360	+207	+81	+74
Basekapazität ($K_B, s,2$) [mmol/l]	0,44	0,47	0,36	0,46	0,47	0,41	0,47	0,44
Säurekapazität ($K_B, s,2$) [mmol/l]	2,4	4,3	4,15	4,1	3,15	4,25	4,0	3,9
Fe ²⁺ [mg/l]	n.b. *)	n.b.	n.b.	n.b.	2,01	2,19	1,92	1,84
Fe ²⁺ (filtriert) [mg/l]	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,33	1,30	1,10	1,30
Mn ²⁺ [mg/l]	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,21	0,14	0,15	0,15
Mn ²⁺ (filtriert) [mg/l]	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,21	0,13	0,15	0,15
S.-Rhodamin B [μ g/l]	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	29,2	38,9	1,3	1,4
Σ CKW [μ g/l]	4.469	16.671	16.029	15.148	10.170	10.512	6.976	5.219

Die Proben, die bereits nach einer Abpumpmenge von nur einem Liter entnommen worden sind (PÜT-1, -2, -5 und -6), zeigen die höchsten Sauerstoffgehalte und im Durchschnitt auch die höchsten Redoxpotentiale. Sie sind damit für das unbeeinflusste Grundwasser, das im allgemeinen sauerstoffarm ist, weniger repräsentativ als die nach 25,0 l Abpumpmenge entnommenen Proben. Die auffallend niedrigen pH-Werte der 1,0 l-Proben dicht unterhalb der Grundwasserspiegeloberfläche (PÜT-1 und -5) können durch den Kontakt von Wasser und atmosphärischer Luft im Meßrohr bedingt sein (Verschiebung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts).

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. ANr.: 9314701A Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

Bei den Proben, die mit der Tauchpumpe entnommen worden sind, wurden zusätzlich Eisen, Mangan und der Tracerstoff Sulforhodamin B bestimmt. Die Eisengehalte, die sowohl an einer unfiltrierten, als auch an einer filtrierten Probe (über 450 nm Milli-Pore-Filter) gemessen wurden, zeigten, daß die 1,0 l-Probe (PÜT-5) zwar relativ viel Gesamteisen enthält (2,01 mg/l), von dem aber nur ein kleiner Teil gelöst war (0,33 mg/l). Bei der Probe PÜT-8 (Gesamtentnahmemenge 25,0 l) war der Anteil des gelösten Eisens mit 1,3 mg/l bei einem Gesamtgehalt Eisen von 1,84 mg/l deutlich höher. Demnach fiel Eisen durch Oxidation im Meßrohr aus und führte zu einer Verockerung (vgl. auch Abschn. 5.1.2.1). Der Analysebefund korrespondiert mit der Beobachtung, daß das Wasser aus der Meßstelle PÜT beim Abpumpen zunächst braun gefärbt war und dann erst langsam klarer wurde.

Signifikant unterscheiden sich die Proben PÜT-5 und PÜT-6 (Gesamtentnahmemenge 1,0 l) von den Proben PÜT-7 und PÜT-8 (Gesamtentnahmemenge 25,0 l) hinsichtlich der Sulforhodamin B-Gehalte. Wenn die Meßstelle PÜT Wasser liefern würde, das für den gesamten Grundwasseranstrom des Sanierungsbrunnens repräsentativ wäre, müßten zu diesem Zeitpunkt etwa 100 µg/l gemessen worden sein (Konzentration des gestriipten Wassers in der Meßstelle PÜF vgl. Abschn. 5.3 ff.). Die äußerst niedrigen Tracergehalte in den Proben PÜT-7 und PÜT-8 zeigten somit, daß dieses Wasser nicht typisch für den Brunnenanstrom war. Die zwar deutlich höheren, aber immer noch zu niedrigen Tracerwerte der beiden 1,0 l-Proben PÜT-5 und PÜT-6 wurden eventuell durch Adsorption des Tracerstoffes an Eisenhydroxidpartikeln hervorgerufen. Möglicherweise waren derartige Adsorptionsvorgänge auch für die relativ hohen CKW-Werte der Proben PÜT-5 und -6 mitverantwortlich. Nach den dargelegten Untersuchungen können die CKW-Gehalte der Meßstelle PÜT nicht den Berechnungen des Reinigungsgrades und des Schadstoffaustrages zugrundegelegt werden. Der obengenannte Austragswert von 18,61 kg ist demnach zu hoch, was durch zwei nachfolgend durchgeführte Untersuchungen bekräftigt wird:

- Nach Ausbau des Turboeinsatzes im Sanierungsbrunnen wurde am 01.06.1994 eine Wasserprobe durch Abpumpen aus dem Brunnen selbst und parallel dazu aus der Meßstelle PÜT entnommen. Die Analyse ergab folgende Gesamt-CKW-Gehalte:

	ÜDB	PÜT
Datum	01.06.1994	01.06.1994
Σ CKW [µg/l]	578	3.456

Entsprechend dieser Werte ist das Wasser des PÜT etwa sechsmal so stark mit CKW belastet wie das Wasser im Sanierungsbrunnen. Legt man den Wert des Brunnenwassers von 578 µg/l (anstelle der Konzentration in PÜT) und die letzte Messung des gestriipten Wassers (PÜF vom 20.05.1994, 20,2 µg/l) zugrunde, errechnet sich ein **Wirkungsgrad für die Strippung von 96,5%**.

- Nach Abschluß des Pilotprojektes ist die zur Abluftreinigung eingesetzte Aktivkohle beprobt und auf CKW hin analysiert worden. Die Beprobung erfolgte schichtweise. Aus dem 0,8 m hohen Aktivkohlefilter wurden über eine Schichtdicke von jeweils 20 Zentimetern insgesamt vier repräsentative Mischproben entnommen. Die Analyseergebnisse, bezogen auf eine Gesamtmenge Aktivkohle von 100 kg, sind in der Tabelle zusammengestellt.

Tab. 7: CKW-Menge in der Aktivkohle

	0,0-0,2 m	0,2-0,4 m	0,4-0,6 m	0,6-0,8 m	Summe	%
	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	
Dichlormethan	6,60	6,30	4,40	0,00	17,30	1
cis-1,2- DCE	0,30	12,10	17,70	0,60	30,70	1
Trichlormethan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
1,1,1-Trichlorethan	0,00	0,00	0,50	0,30	0,80	0
Tetrachlormethan	1,50	61,30	58,00	15,30	136,10	5
Trichlorethen	0,10	3,90	371,70	961,30	1.337,00	49
Tetrachlorethen	0,00	0,25	3,40	660,50	664,20	44
Σ CKW	8,50	167,40	908,10	1.638,00	2.186,00	100

Die CKW-Beladung der Aktivkohle liefert den zuverlässigsten Wert für den Gesamtaustrag, der nun mit 2,2 kg für einen Zeitraum von acht Monaten angegeben werden kann.

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. ANr.: 9314701A Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

Bei bekanntem Gesamtaustrag und bekannter CKW-Konzentration im gestripten Wasser kann die mittlere CKW-Konzentration im Brunnenanstrom wie folgt errechnet werden:

$$K_A = \frac{K_G + K_W}{Q}$$

K_A : Konzentration Σ CKW Gw-Anstrom [kg]

K_G : Gesamtaustrag Σ CKW Aktivkohle[kg]

K_W : Restkonzentration Σ CKW Gw-Abstrom [kg]

Q : Gesamtwasserdurchsatzmenge [m³]

bei:

$$K_G = 2,186 \text{ kg}$$

$$K_W = 0,323 \text{ kg}$$

$$Q = 4.302 \text{ m}^3$$

$$K_A = 562 \text{ } \mu\text{g/l}$$

Die berechnete CKW-Konzentration des Grundwasseranstroms liegt somit in der gleichen Größenordnung, wie der durch die Beprobung des Sanierungsbrunnens am 01.06.1994 ermittelte CKW-Gehalt von 588 $\mu\text{g/l}$.

Setzt man eine mittlere Konzentration des gestripten Wassers von 54 $\mu\text{g/l}$ (PÜF, bei 26 Messungen) voraus, ergibt sich ein durchschnittlicher **Wirkungsgrad der Strippung von 92,1%**.

5.2 Untersuchungen im Umfeld des Sanierungsbrunnens

5.2.1 Grundwasserstände

Seit dem 18.10.1994 wurden in einem wöchentlichen Rhythmus die Grundwasserstände von insgesamt 20 Grundwassermeßstellen auf dem Gelände Lübarser Straße gemessen. Die Entwicklung der Grundwasserhöhen-situation für den gesamten Betriebszeitraum ist in Form von Grundwasserganglinien dargestellt (vgl. Bild 9a bis 9c).

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. Anr.: 9314701A Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

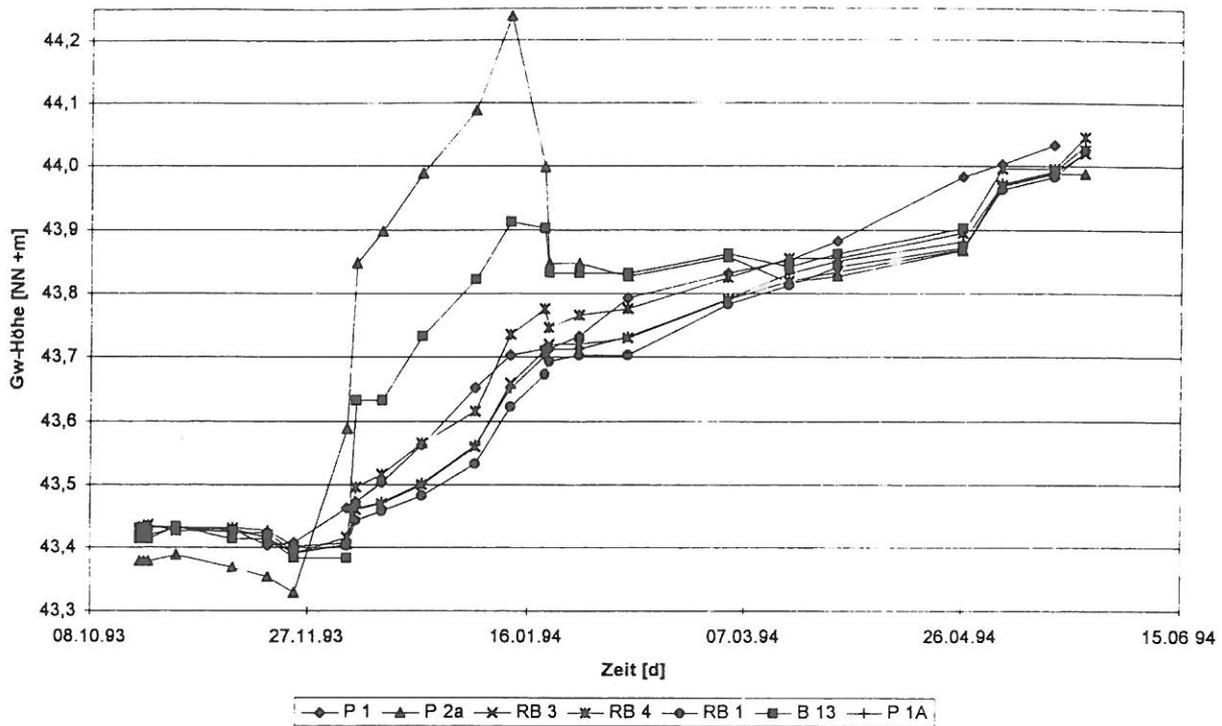


Bild 9a: Grundwasserstandsganglinien RB 1, -3, -4, P 1, -1A, -2A, B13

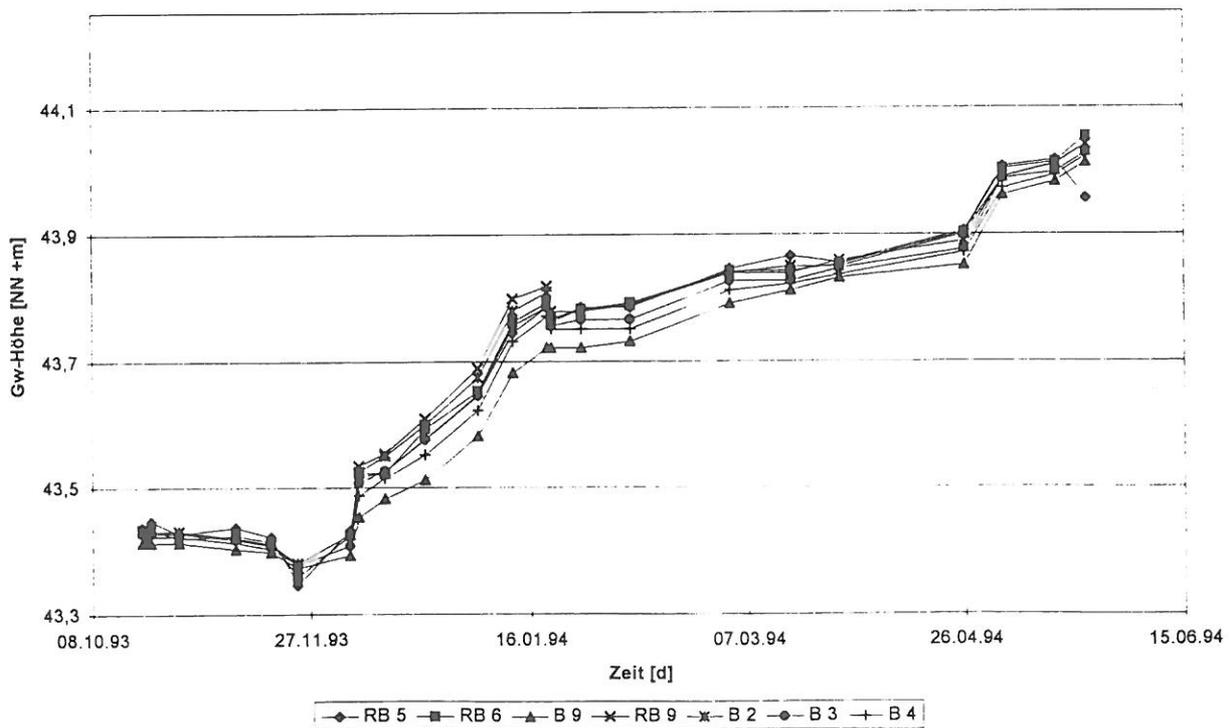


Bild 9b: Grundwasserstandsganglinien RB 5, -6, -9, B 3, -4, -9

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. ANr.: 9314701A Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

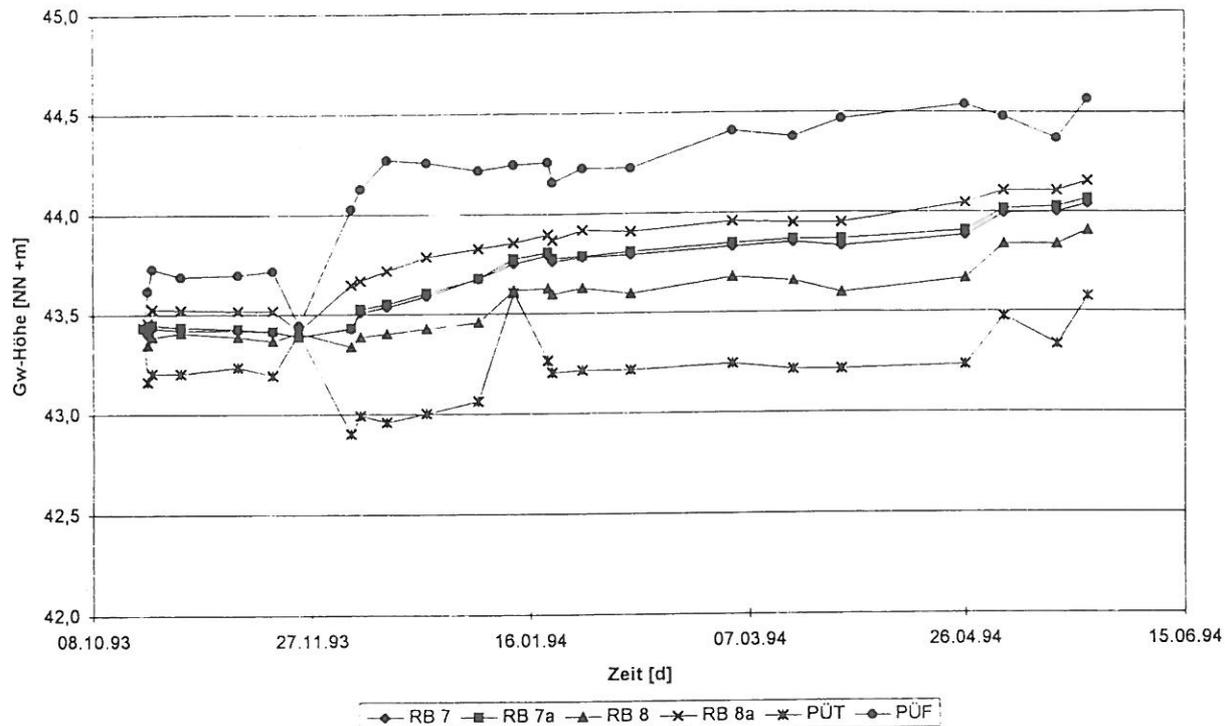


Bild 9c: Grundwasserstandsganglinien RB 7, -7A, -8, -8A, PÜF, PÜT

Allgemein ist ab dem 27.11.1993 für alle Meßstellen ein relativ gleichmäßiger Anstieg der Wasserstände um ca. 0,5 m zu verzeichnen, der jahreszeitlich bedingt ist.

Der zeitliche Gang der Grundwasserstände in den Meßstellen B13 und P 2A, rapider Anstieg um ca. 0,9 m (B 13) und nachfolgender Abfall um ca. 0,5 m, ist wahrscheinlich auf eine Leckage im Trinkwasserleitungssystem auf dem Betriebsgelände Lübarser Straße zurückzuführen.

Nach Einschalten des Turbobrunnens kam es durch die Grundwasserzirkulationsströmung zu einer meßbaren Absenkung der Grundwasserpotentiale in den Meßstellen PÜT und RB 8 und zu einer Aufhöhung der Grundwasseroberfläche in den Meßstellen PÜF und RB 8A. Die Potentialdifferenzen zwischen der oberen (PÜF) und der unteren Filterlage (PÜT) im Sanierungsbrunnen betragen vor dem Umbau des Turbobrunnens (vgl. Abschn. 2) durchschnittlich 0,5 m. Nach der Erhöhung der Wasserdurchsatzrate durch den Umbau lagen die Potentialdifferenzen zwischen 0,65 m und 1,31 m, im Durchschnitt bei 1,0 m. In den ca. 1,0 m vom Sanierungsbrunnen entfernten Meßstellen RB 8 (untere Filterlage) und RB 8A (obere Filterlage) lagen die Potentialdifferenzen bei durchschnittlich 0,3 m. An den weiter entfernt liegenden, tiefendifferenzierten Meßstellen RB 7 und RB 7A ist eine Potentialdifferenz nicht mehr meßbar (vgl. Bild 9c). Auf die Reichweite und die Symmetrie der induzierten Zirkulationsströmung wird in Abschnitt 5.3 ff. Grundwassermarkierungsversuch näher eingegangen.

Vor dem Beginn der Sanierungsmaßnahme lagen die Grundwasserstände zwischen NN + 43,38 m und NN +43,44 m, die Grundwasserfließrichtung war südlich bis südwestlich mit einem Gradienten von $i = 1,2 \cdot 10^{-3}$.

In der Anlage 7 sind die Grundwassergleichen zu verschiedenen Zeitpunkten des Sanierungsbetriebes dargestellt.

Für die angegebenen Zeitpunkte ist eine Aufhöhung des oberflächennahen Grundwassers erkennbar. Daß das Zentrum der Aufhöhung in den Darstellungen an der Meßstelle RB 8A und nicht am Sanierungsbrunnen erscheint, liegt daran, daß bei der Berechnung der Grundwassergleichen die Messungen am Brunnen selbst nicht berücksichtigt wurden. Wegen des hohen Austrittsfilterwiderstandes sind sie nicht repräsentativ für das Grundwasser in unmittelbarer Brunnenumgebung.

Die Grundwassergleichenpläne (Anlage 7) zeigen, daß sich die Grundströmungsrichtung des Grundwassers im Untersuchungsgebiet ab dem 06.12.1993 änderte. Die ursprüngliche westliche bis südwestliche Fließrichtung wechselte auf einen nördlich gerichteten Grundwasserabstrom. Die Änderung der Abstromrichtung geschah zeitgleich mit der plötzlich auftretenden Grundwasseraufhöhung in den Meßstellen B 13 und P 2A. Die Grundwassergleichen vom 28.03.1994 zeigen wieder eine westliche Grundwasserfließrichtung für das untersuchte Gebiet.

Die instabilen Strömungsverhältnisse waren ein Grund dafür, warum der ursprünglich für Anfang Dezember geplante Grundwassermarkierungsversuch erst Mitte Februar 1994 gestartet werden konnte (vgl. Abschn. 5.3 ff.).

5.2.2 Beschaffenheit des Grundwassers

5.2.2.1 Physikochemische Eigenschaften

Das Grundwasser der 18 Grundwassermeßstellen in der Umgebung des Sanierungsbrunnens wurde in einem vierwöchigen Turnus beprobt. Analog zur Beprobung des Sanierungsbrunnens wurden die Kenngrößen Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert und Sauerstoffgehalt direkt im Gelände ermittelt. Eine Zusammenstellung der Einzelergebnisse ist in der Tabelle der Anlage 6 vorgenommen worden. Die Beprobung erfolgte mit einer frequenzgesteuerten Tauchmotorpumpe, die Probenahmemodalitäten sind in der Tabelle 8 zusammengefaßt.

Tab. 8: Probenahmemodalitäten der Wasserprobenahmen im Umfeld des Sanierungsbrunnens

GWMS	Ausbau- durch- messer	Filterstrecke (m u. GOK)	Einbautiefe der Pumpe (m u. ROK)	Pumpleistung [l/min]	Gesamt- fördermenge [l]
PÜF	DN 50	2,5 - 3,5	3,7	0,90	16
PÜT	DN 50	4,5 - 6,5	5,0	0,75	16
RB 1	DN 50	3,33 - 5,33	5,8	1,12	28
RB 3	DN 50	3,5 - 6,5	6,0	1,14	36
RB 4	DN 50	3,8 - 6,8	6,0	1,24	37
RB 5	DN 50	3,3 - 6,3	5,5	1,19	27
RB 6	DN 50	3,3 - 6,3	5,5	1,18	37
RB 7	DN 50	4,14 - 6,14	5,7	1,21	33
RB 7A	DN 50	3,13 - 4,13	3,7	0,79	17
RB 8	DN 50	4,18 - 6,18	5,7	1,14	32
RB 8A	DN 50	3,11 - 4,11	3,7	0,79	17
RB 9	DN 50	2,9 - 5,9	5,7	1,41	34
B 2	DN 50	2,6 - 4,6	4,7	0,65	22
B 3	DN 50	2,9 - 4,9	4,7	0,55	20
B 4	DN 50	2,9 - 4,9	4,7	0,22	15
B 9	DN 50	2,7 - 4,7	4,7	0,83	23
B 13	DN 50	3,15 - 5,15	4,7	0,60	22
P 1	DN 50	5,5 - 6,5	6,0	1,39	75
P 1A	DN 50	3,5 - 4,5	4,5	1,36	56
P 2A	DN 50	3,5 - 6,5	6,0	1,51	72

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. Anr.: 9314701A Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

Die **Grundwassertemperaturen** im oberflächennahen Grundwasserleiter variieren von 10,8 °C (RB 3) bis 17,8 °C (RB 1). Die zeitlichen Temperaturänderungen an den einzelnen Meßstellen von ca. 2 °C bis 3 °C können jahreszeitlich bedingt sein. Ab September 1993 ist ein allgemeines Abfallen der Grundwassertemperaturen zu verzeichnen, während ab Mitte Februar 1994 die Temperaturen wieder leicht ansteigen (vgl. Bild 10a).

Eine Beeinflussung der Temperaturen im Umfeld des Turbobrunnens läßt sich nicht erkennen.

Die **pH-Werte** der Meßstellen liegen weitestgehend im neutralen Bereich zwischen 6,5 und 7,5 und entsprechen somit den im Sanierungsbrunnen gemessenen Werten (Bild 10b).

Die **elektrische Leitfähigkeit** als Summenparameter für die dissoziierten Substanzen im Wasser liegt zwischen 355 $\mu\text{S/cm}$ (B13) und 1.659 $\mu\text{S/cm}$ (RB 3). Hohe Leitfähigkeiten treten an den durch CKW stark kontaminierten Meßstellen auf (vgl. Bild 10c).

Bei RB 8A betrug die elektrische Leitfähigkeit vor der Sanierungsmaßnahme 1.343 $\mu\text{S/cm}$, später sank sie auf Werte zwischen 733 $\mu\text{S/cm}$ und 619 $\mu\text{S/cm}$. Analog verhalten sich die Leitfähigkeitswerte der Meßstelle 7 A. Dies könnte als Indiz für eine Durchmischung des Grundwassers in Brunnennähe durch die induzierte Zirkulationsströmung gewertet werden.

Bei der Betrachtung der **Sauerstoffgehalte** der einzelnen Meßstellen lassen sich zwei Gruppen unterscheiden (Bild 10d). Zum einen Meßstellen, in denen der Sauerstoffgehalt im Grundwasser im Verlauf der Sanierungsmaßnahme angestiegen ist (RB 5, RB 6, RB 7, RB 7A, RB 8, RB 8A, RB 9, P 2A, B13), zum anderen Meßstellen, in denen er relativ konstant geblieben ist (RB 1, RB 4, B 3, B 4, P1, P1A). Die zuerst genannte Gruppe (vgl. Bild 10e) liegt im Einflußbereich der Grundwasserzirkulationsströmung (bis in eine Entfernung von ca. 10,0 m zum Sanierungsbrunnen), wie durch den Grundwassermarkierungsversuch (vgl. Abschn. 5.3 ff.) festgestellt wurde. Eine Ausnahme bilden lediglich die sehr weit vom Sanierungsbrunnen entfernt liegenden Meßstellen P 2A und B 13, hier könnte die Veränderung des Sauerstoffgehaltes durch den vermuteten Zutritt von Trinkwasser durch eine Leckage im Leitungssystem hervorgerufen worden sein. Alle übrigen Meßstellen wurden von der Sanierungsmaßnahme offenbar nicht beeinflußt, was sich ebenfalls in den Ergebnissen des Markierungsversuchs widerspiegelt.

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. ANr.: 9314701A Köster
Abschlussbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

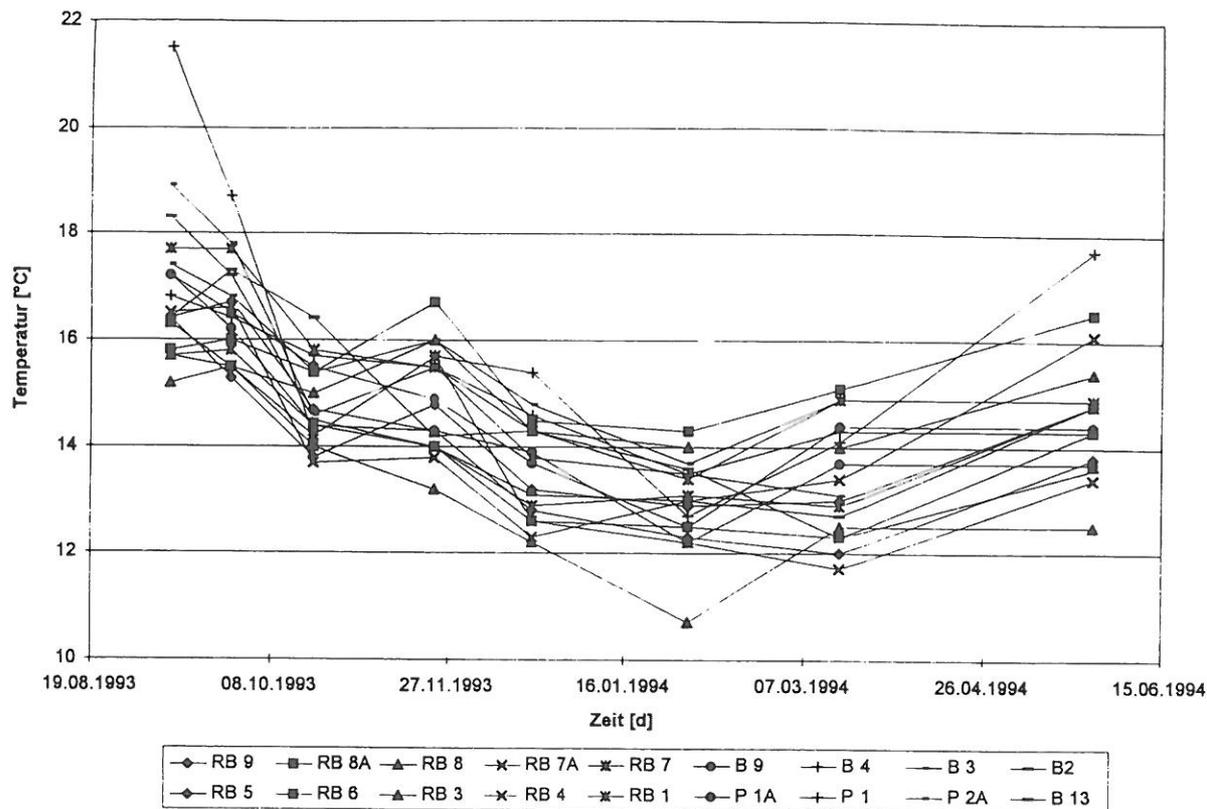


Bild 10a: Zeitliche Entwicklung der Grundwassertemperaturen im Umfeld des Sanierungsbrunnens

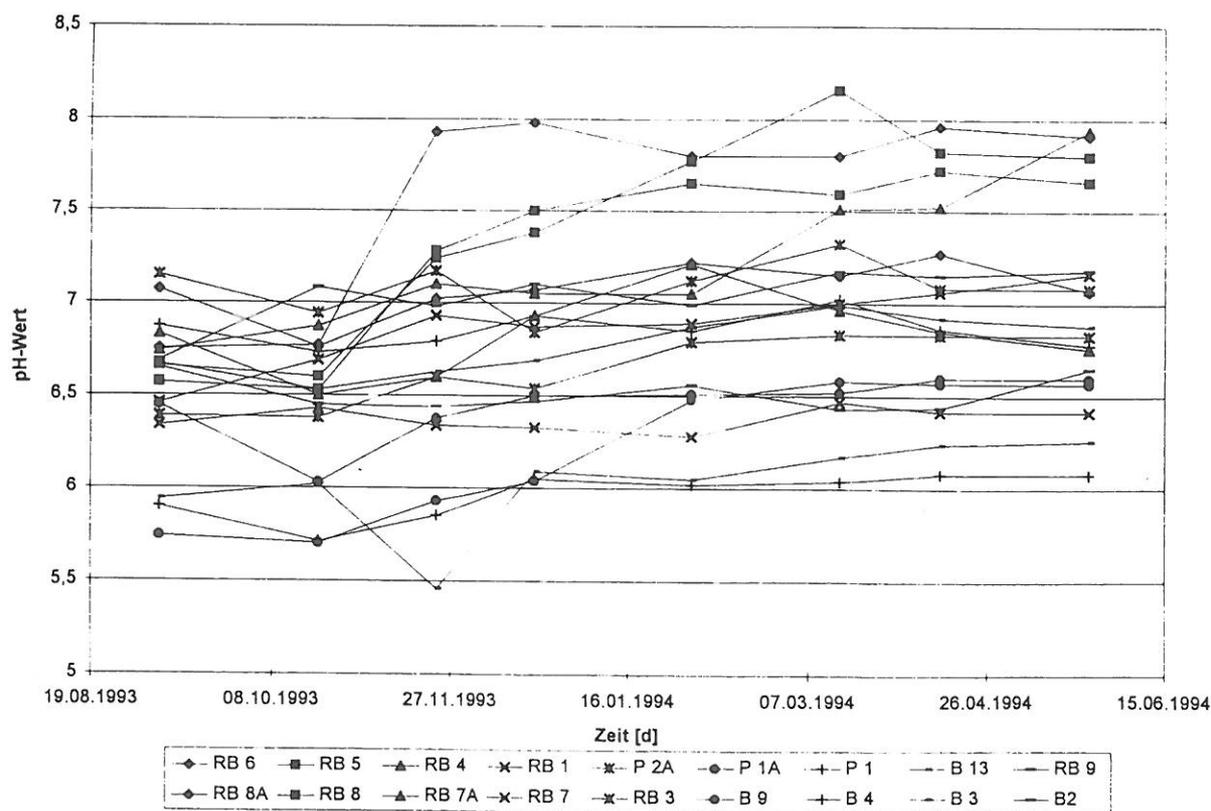


Bild 10b: Zeitliche Entwicklung der pH-Werte im Umfeld des Sanierungsbrunnens

u. ANr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. ANr.: 9314701A Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

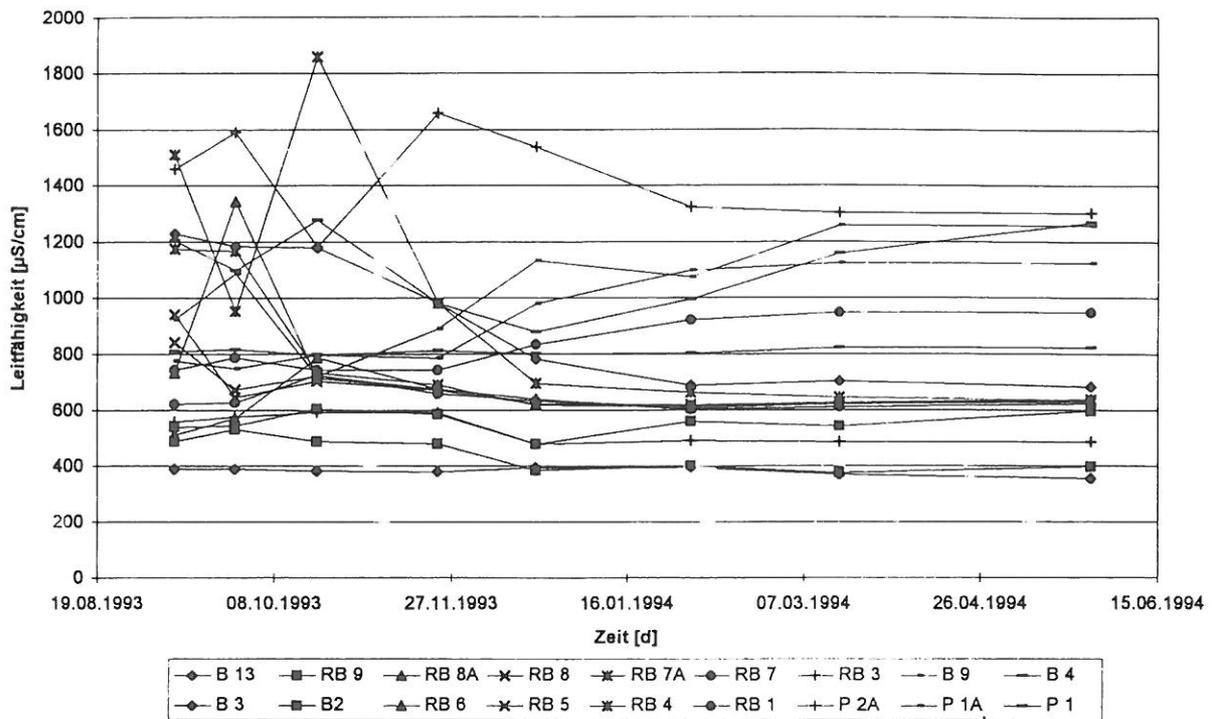


Bild 10c: Zeitliche Entwicklung der Leitfähigkeiten im Umfeld des Sanierungsbrunnens

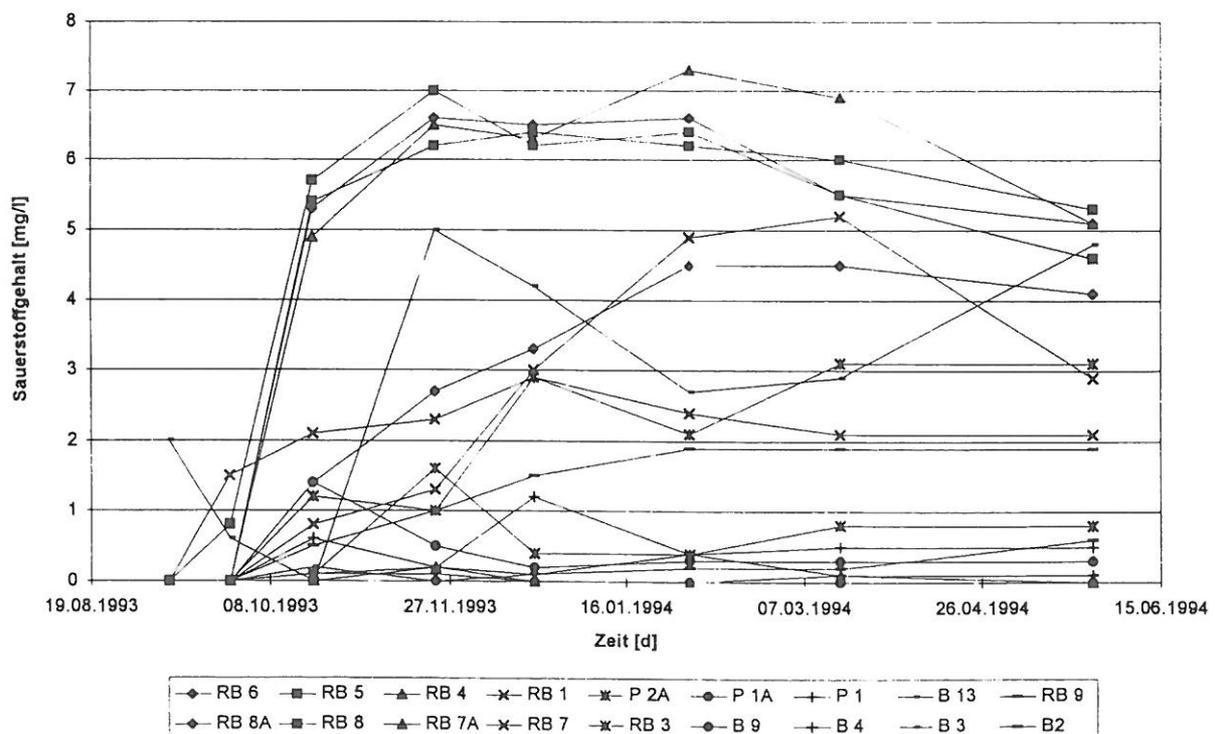


Bild 10 d: Zeitliche Entwicklung der Sauerstoffgehalte im Umfeld des Sanierungsbrunnens

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. ANr.: 9314701A Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

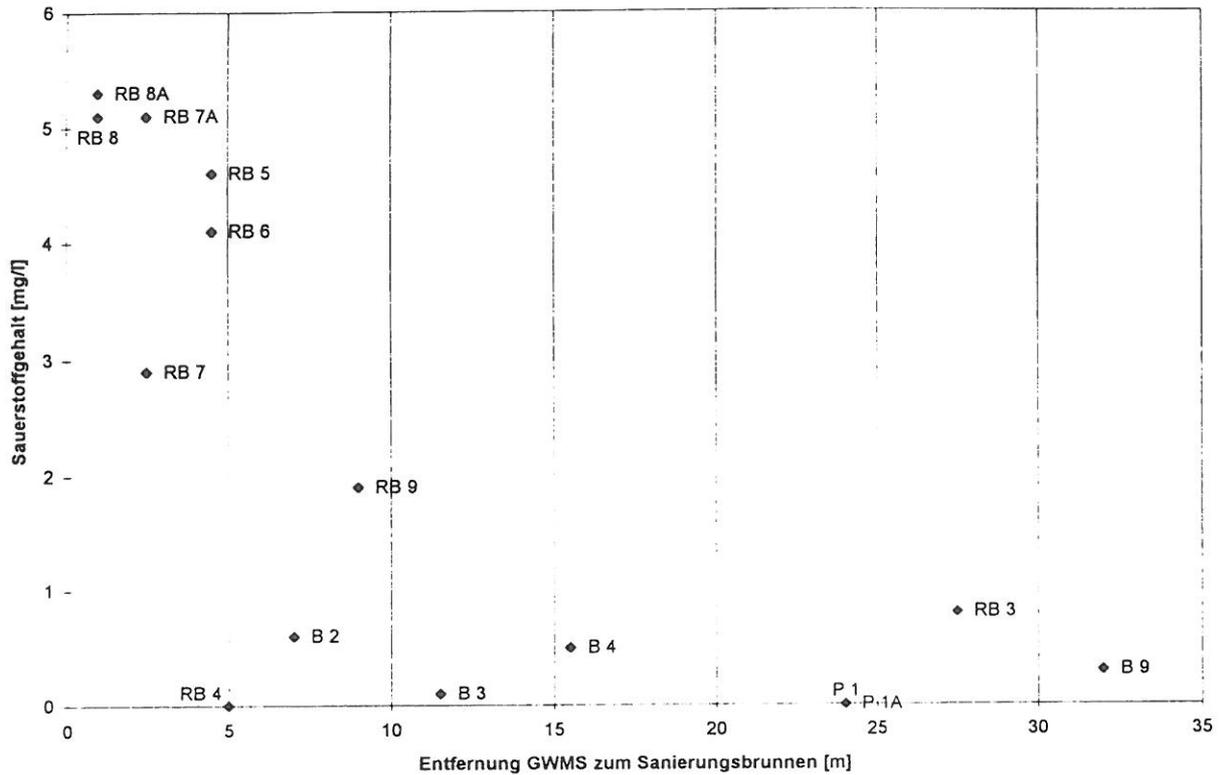


Bild 10e: Entwicklung des Sauerstoffgehaltes im Grundwasser in Abhängigkeit zur Entfernung vom Sanierungsbrunnen

5.2.2.2 Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe

Die Veränderung der CKW-Konzentration im Grundwasserumfeld der Sanierungsanlage ist in den Bildern 11a bis 11c in Form von Ganglinien dargestellt.

Es ist ein deutlicher Rückgang der Schadstoffkonzentrationen in unmittelbarer Nähe des Sanierungsbrunnens zu konstatieren.

Eine Abnahme der CKW-Gehalte mit offenbar anhaltender Tendenz ist seit Beginn der Sanierung in den Meßstellen (RB 5, RB 6, RB 7, RB 7A, RB 8 und RB 8A) zu erkennen. In Einzelfällen beträgt die Abnahme an CKW mehr als 90 %, bezogen auf die Ergebnisse der Nullbeprobung (27.09.1993), wie bei RB 7A (von 2.015 µg/l auf 52,5 µg/l) und RB 8A (1.082 µg/l auf 47,2 µg/l), deren Filterlagen sich im Höhengniveau des Austrittsfilters des Sanierungsbrunnens befinden. Die Meßstellen mit tieferen Filterlagen im Bereich des Eintrittsfilters (RB 7, RB 8) zeigen geringere Abnahmen der CKW-Gehalte, wobei hier die anfängliche Belastungssituation auch sehr viel niedriger war (RB 7 von 216 µg/l auf 108 µg/l; RB 8 von 278 µg/l auf 112 µg/l). An den Filterlagen RB 5 und RB 6 sind die CKW-Gehalte während des Brunnenbetriebes auch deutlich niedriger als zuvor, die Abnahme der Gesamt-CKW-Gehalte liegt zwischen 70 und 80 % im Vergleich zur Nullbeprobung. Die Entfernung der o. a. Meßstellen zum Sanierungsbrunnen (maximale Entfernung 5,0 m), in Verbindung mit den Ergebnissen des Grundwassermarkierungsversuches (vgl. Absch. 5.3 ff.), lassen darauf schließen, daß die Abnahme der CKW-Konzentrationen in diesem Bereich eindeutig auf die Sanierungsmaßnahme zurückzuführen ist.

Die weiter entfernt liegenden Meßstellen (vgl. Bild 11b und 11c) zeigen unterschiedliche zeitliche Entwicklungen der CKW-Konzentrationen. Bei B 3 und B 9 sind die CKW-Gehalte niedriger im Vergleich zur Ausgangssituation, B 3 zeigt beispielsweise zunächst eine deutliche Abnahme von 12.197 µg/l auf 2.223 µg/l mit danach wieder leicht ansteigender Tendenz. Die im Vergleich näher am Sanierungsbrunnen gelegene Meßstellen RB 4 weist einen deutlichen Anstieg von 4.136 µg/l auf 17.482 µg/l im gleichen Zeitraum auf, ein Anstieg in ähnlicher Größenordnung ist an der Meßstelle B 4 mit einer Entfernung von 15,5 m zum Sanierungsbrunnen zu verzeichnen. Die Veränderung der Schadstoffkonzentrationen in diesem Bereich sind möglicherweise Folge eines Transportes durch die natürliche Grundwasserströmung, die sich im Laufe der Sanierungsmaßnahme mehrfach änderte (vgl. Abschn. 5.2.1).

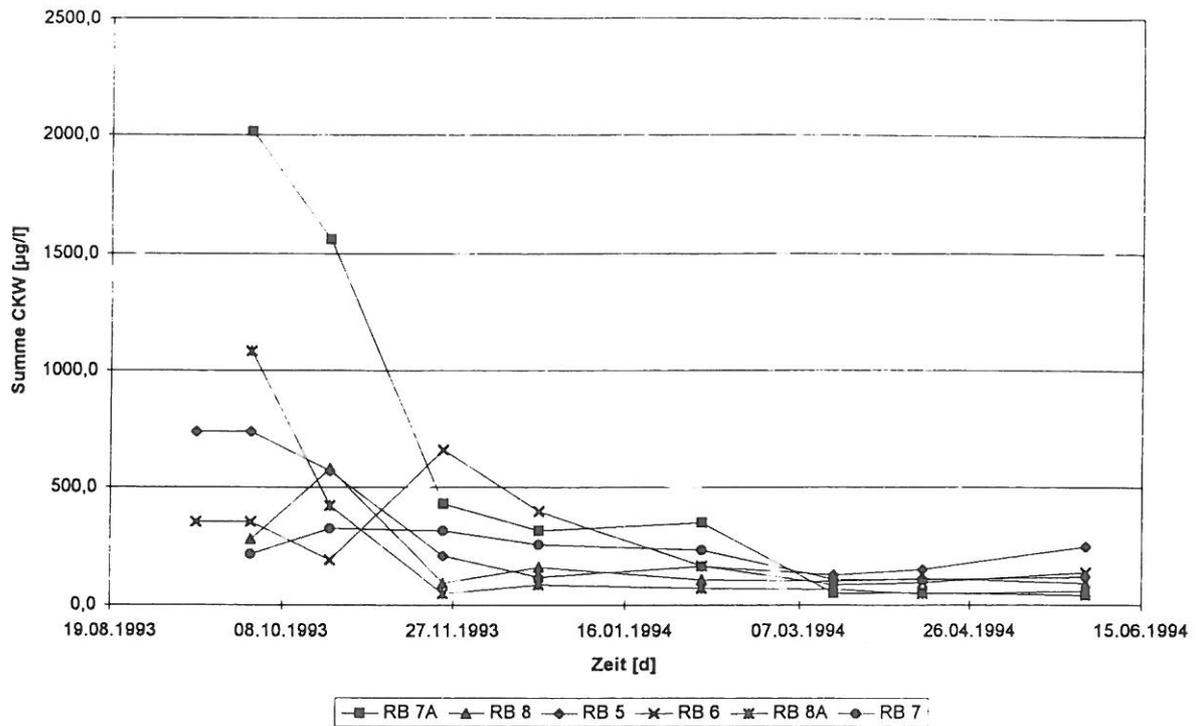


Bild 11a: Zeitliche Entwicklung der CKW-Konzentrationen im Grundwasserumfeld des Sanierungsbrunnens Meßstellen RB 5, -6, -7, -7A, -8, -8A

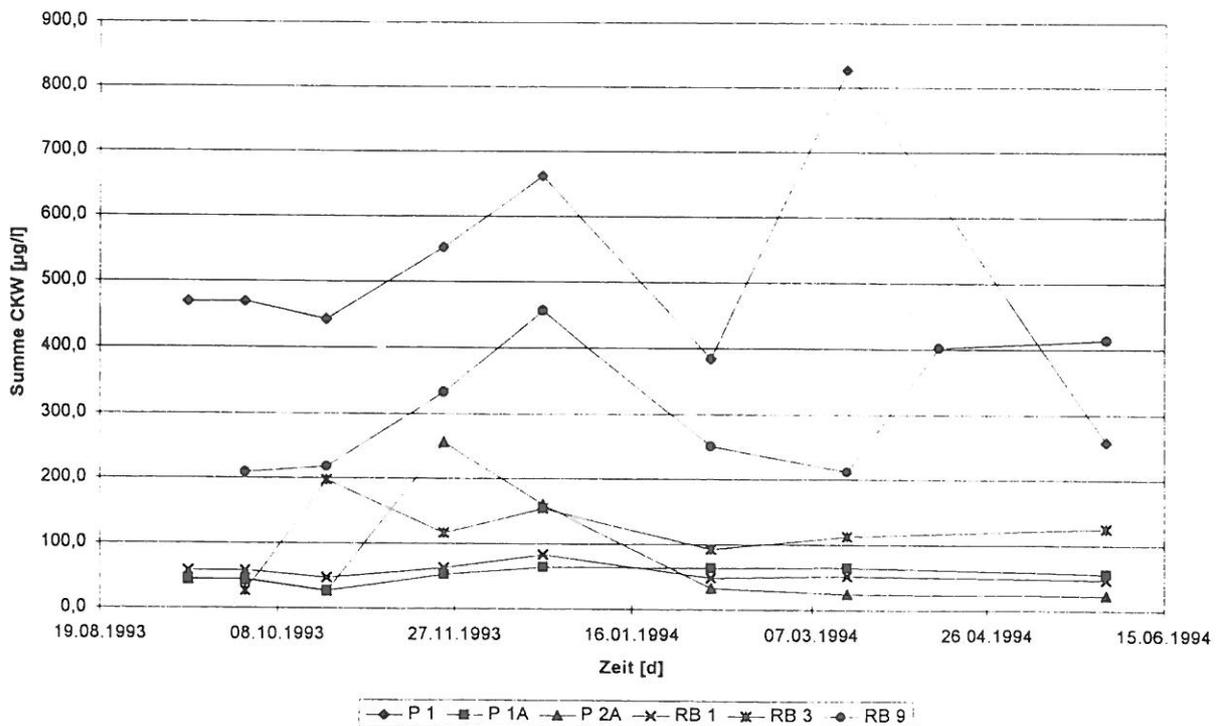


Bild 11b: Zeitliche Entwicklung der CKW-Konzentrationen im Grundwasserumfeld des Sanierungsbrunnens Meßstellen RB 1, -3, -9, P 1, -1A, -2A

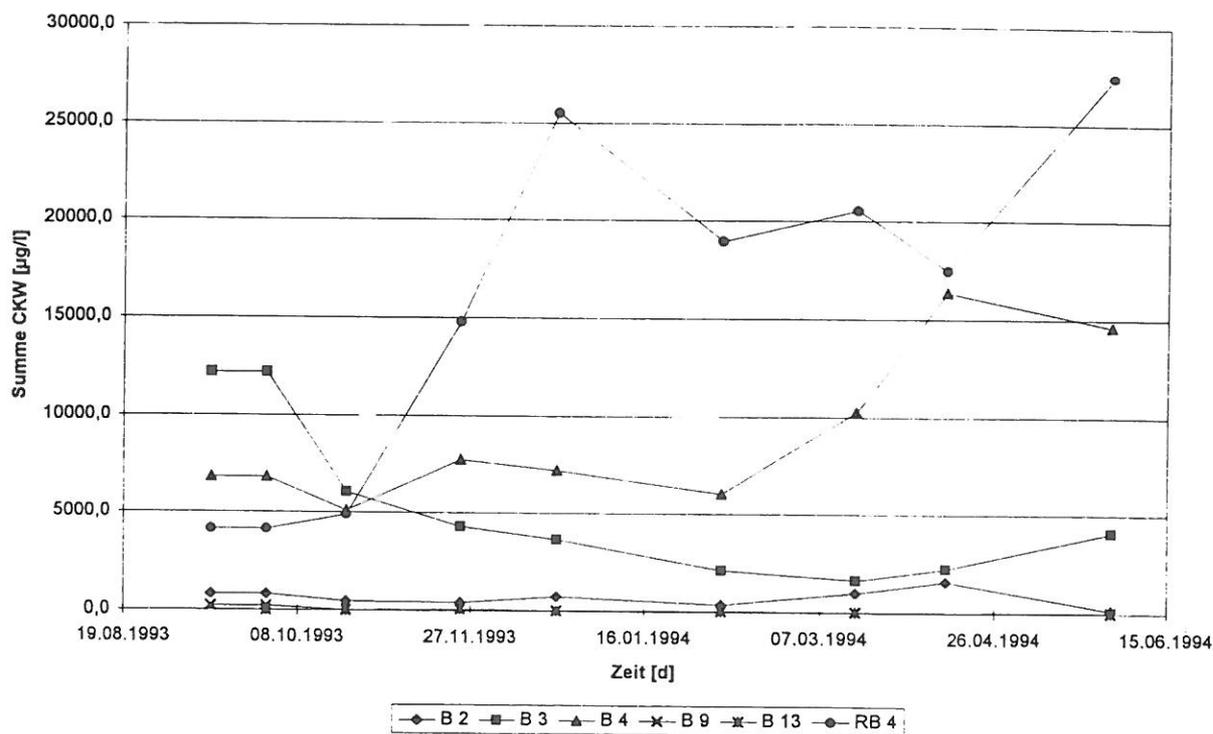


Bild 11c: Zeitliche Entwicklung der CKW-Konzentrationen im Grundwasserumfeld des Sanierungsbrunnens Meßstellen B 2, -3, -4, -9, -13, RB 4

5.3 Grundwassermarkierungsversuch

5.3.1 Vorbereitung und Tracereingabe

In dem Untersuchungsfeld zeigten verschiedene Grundwasserproben während der Vorlaufzeit zum Tracerversuch bei der Lumineszenzuntersuchung im Parallelscan, daß neben anderen auch Fremdstoffe vorhanden waren, welche im Bereich des Uraninpeaks lagen (im Äquivalent bis $> 5,0 \mu\text{g/l}$ Uranin). Deshalb wählten wir den Farbstoff Sulforhodamin B als Tracer. Wegen der geringen Mächtigkeit des zu prüfenden Grundwasserleiters von nur etwa 3,0 Metern reichten 100 g des Farbstoffes aus. Die Farbstofflösung (100 g in ca. 30 l Wasser) ist am 16.02.1994 um 11:00 h mittels Druckluft über einen dünnen Schlauch innerhalb von etwa 15 Minuten in den Einleitungsraum des Turbobrunnens (vgl. Bild 12 u. Bild 2 Abschn. 2) eingegeben worden. Damit ist der Kiesmantel des Austrittfilters während des Brunnenbetriebes bei ca. $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ Leistung mit einem Wasservolumen von etwa 250 l, welches auch dem Porenvolumen des Kiesel entspricht, mit Tracerlösung erfüllt worden, die damit am Umlauf teilnahm. Die Primärkonzentration mag maximal bei 400 mg/l gelegen haben.

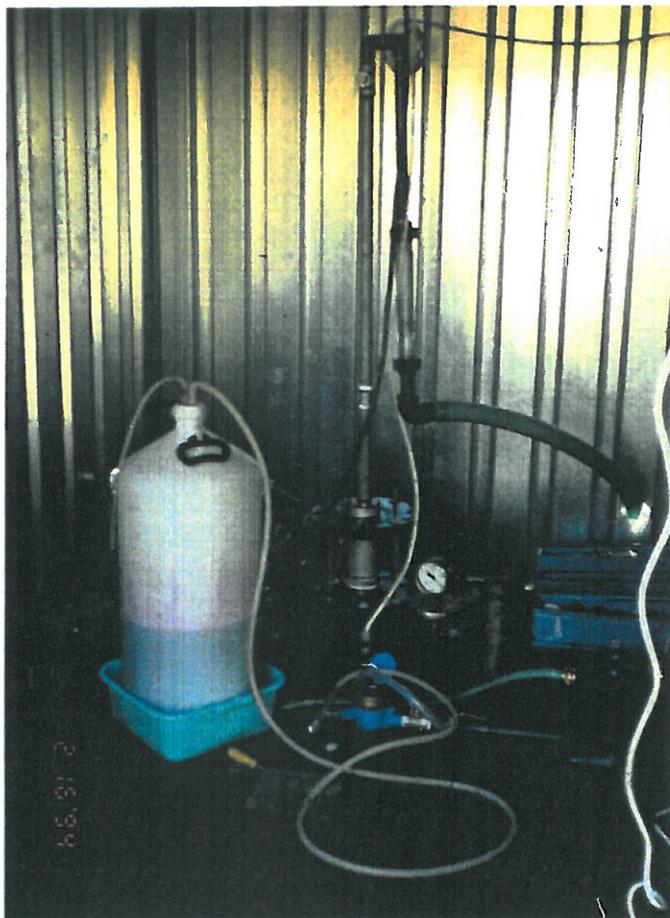


Bild 12: Eingabevorrichtung für den Tracerfarbstoff Sulforhodamin B

5.3.2. Probenahme und Untersuchung

Mittels einer Peristaltikpumpe erfolgte die Wasserprobenahme aus den angegebenen Grundwassermeßstellen nach einem vorbestimmten Zeitplan aus einem jeweils eigenen Schlauch. Unmittelbar nach der Probenahme kamen die Proben ins Labor, wo sie belüftet, entsprechend verdünnt (1:1 bis 1:40) und pH- gepuffert wurden. Alsdann fanden sofort die Lumineszenzmessungen statt. Die Ausdrucke der Ergebnisse in Tabellenform (Anlage 8) weisen die errechneten Tracerkonzentrationen in $\mu\text{g/l}$ aus.

5.3.3. Das natürliche Strömungsfeld im Bereich des Turbobrunnens

Die Grundlage für die Betrachtung der Tracerverteilung ist das natürliche Strömungsfeld, welches einerseits im ungestörten Zustand je nach dem Betrachtungszeitpunkt eine Fließrichtung überwiegend nach N, NW und NNW aufweist, mit einem mittleren Gefälle von etwa 1 ‰. Diese schwach geneigte Grundwasseroberfläche wird von dem Turbobrunnen in Gestalt eines Auffülltrichters überlagert und damit deformiert. Die Isolinienbilder aus den in den Grundwassermeßstellen ermittelten Grundwasserständen sind für verschiedene Zeitpunkte in der Anlage 7 dargestellt und zeigen entsprechend den Grundwasserstandsganglinien in den Bildern 9a bis 9c (vgl. Abschn. 5.2.1) jahreszeitlich sehr unterschiedliche Verhältnisse, weil während des Winters und Frühjahres 1994 infolge natürlicher Grundwasserneubildung die Grundwasseroberfläche generell um etwa 0,7 Meter, sowohl zeitlich wie räumlich unregelmäßig, anstieg.

Der Beginn des Tracerversuchs mußte durch eine Einwirkung dritter Art auf das Grundwasserfeld mehrfach verschoben werden, weil durch einen Trinkwasseraustritt aus dem Betriebsnetz des Firmengeländes die Grundwasseroberfläche im Süden des Untersuchungsgebietes kräftig angehoben wurde, wodurch sich die Abstromrichtungen veränderten. In dieser gestörten Grundwassersituation war der Tracerversuch unangebracht.

5.3.4. Ergebnisse der Tracerkonzentrationsmessungen

Die Voraussetzungen für eine korrekte Auswertung war gegeben durch eine über den Zeitraum vom 16.02.-18.05.1994 gleichmäßige Förderleistung des Brunnens von ca. $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$, eine verhältnismäßig gut verteilte Instrumentierung durch Grundwassermeßstellen im engeren Umfeld des Brunnens (vgl. Anlage 1/2) und indem neben dem Brunnen zwei Meßstellen jeweils im oberen und unteren Bereich

des Grundwasserleiters verfiltert waren, wobei allerdings die inneren Enden der Filterstrecken sehr dicht übereinander liegen. Dennoch stellte sich bei den Auswertearbeiten heraus, daß Unregelmäßigkeiten und Besonderheiten sowohl im brunnentechnischen Bereich wie im Grundwasserleitersystem z. T. zu schwer deutbaren Erscheinungen führten. Deshalb wurde versucht, auf unterschiedlichen Wegen die Untersuchungsergebnisse zu verifizieren.

5.3.4.1 Die Tracerdurchgangskurven

Die für die einzelnen Meßstellen zeitabhängig aufgetragenen Tracerkonzentrationen sind in den Bildern 13a bis 13c dargestellt. Es ergeben sich folgende Befunde:

Die Charaktere der Kurven sind sehr unterschiedlich. Die zeitlichen Konzentrationsverteilungen sind, ausgehend vom Austrittsfilter (PÜF mit 3,7 mg/l, 4 Stunden nach der Eingabe) konform mit deutlich ausgeprägten Peaks im oberen Filter RB 8A nach 1,06 Tagen (1,7 mg/l), im unteren Filter RB 8 nach 5,1 Tagen (0,7 mg/l) und in RB 5 nach 11 Tagen (0,5 mg/l, vgl. Bild 13a). Eine weitere Gruppe von drei Meßstellen (RB 6, RB 7, RB 7A) hat als gemeinsames Merkmal ein stark verzögertes Eintreffen des Tracers (nach 30 bis 50 Tagen), verbunden mit einem allmählichen Konzentrationsanstieg über 2-3 Dekaden bis zu Maximalwerten zwischen 60 und 170 µg/l, die jeweils eine scheinbare Endkonzentration bilden; sie gestalten sich nicht als Durchbruchskurve, wie in der erstgenannten Gruppe (Bild 13b). Im oberen Filter RB 7A ist gegenüber RB 7 ein Vorlauf von etwa 15 Tagen festzustellen. Die dritte Gruppe wird gebildet von den Meßstellen PÜT (am tiefen Eintrittsfilter des Brunnens) und RB 4. Beide zeigen ab dem fünften Versuchstag einen Konzentrationsanstieg innerhalb von etwa einem Monat auf ein ziemlich konstantes Niveau von ca. 2,5 µg/l (vgl. Bild 13c), die Bestimmungsgrenze liegt bei < 0,2 µg/l. Die Daten des Brunnen- und Meßsystems sind unmittelbar zu vergleichen in der Tabelle 9.

Tab. 9: Daten Brunnen- und Meßsystem Markierungsversuch

GWMS	Entfernung zur Brunnenachse [m]	Filter- länge [m]	Tiefe d. Filter [NN+m]	GW- Oberfläche [NN+m] 26.04.94	Tracer 1. Wert [d]	Tracer Maxima- durchgang [d]	C _{max} [µg/l]	C ₉₁ [µg/l]
PÜF	0,4	1,0	43,1-44,1	44,48	0	0,17	3.655	76
PÜT	0,4	2,0	40,1-42,1	43,48	7	33	4	2
RB 8A	1,0	1,0	42,55-43,55	44,05	0,15	1,1	1.702	76
RB 8	1,0	2,0	40,47-42,47	43,66	2	5,1	710	87
RB 7A	2,5	1,0	42,51-43,51	43,91	29	55	169	128
RB 7	2,5	2,0	40,50-42,50	43,88	43	91	58	58
RB 5	4,5	3,0	40,35-43,35	44,01	6	12,4	480	100
RB 6	4,5	3,0	40,32-43,32	44,01	45	78	97	93
RB 4	5,0	3,0	39,91-42,91	43,99	7	51	4	3
B 2	7,0	2,0	42,0-44,0		51	51	4	0

Fortsetzung Tab. 9:

GWMS	V _{max} [m/d]	V _{dom} (Peak) [m/d]	D _L [m ² /d]	Dispersions- länge α [m]	Tracerver- dünnung 1. HWZ [d]	Tracerver- dünnung 2. HWZ [d]	Zunahme [µg/l*d]
PÜF	-	-	-	-	9	100	-
PÜT	(0,3)	(0,08)	-	-	-	-	0,1
RB 8A	7	1,0	28	30	5	100	-
RB 8	1	0,4	3,5	9	9	100	-
RB 7A	0,09	0,04	-	-	-	53	6,1
RB 7	0,09	0,04	-	-	13	-	2,1
RB 5	0,75	0,45	2,8	7	-	111	-
RB 6	0,1	0,05	-	-	-	-	4,1
RB 4	0,71	0,1	-	-	-	-	0,1
B 2	0,14	0,14	-	-	-	-	-

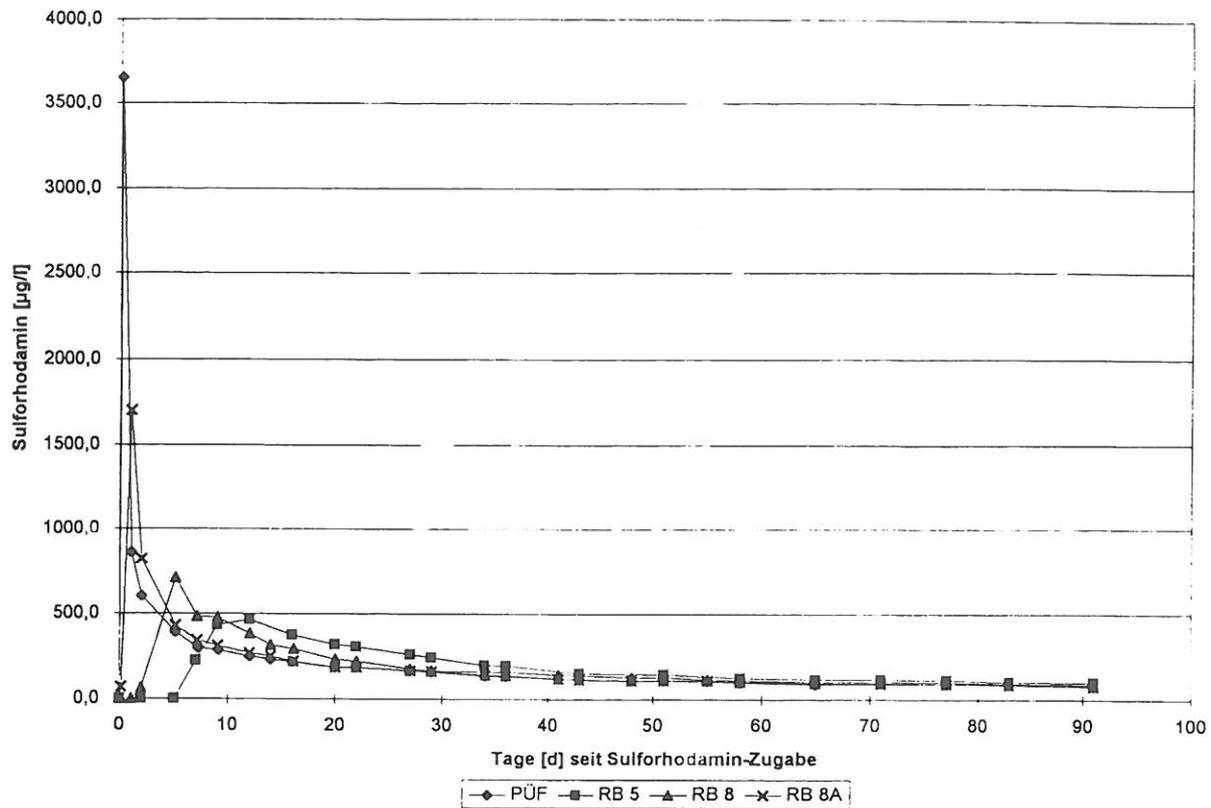


Bild 13a: Tracerdurchgang an den Meßstellen PÜF, RB 5, -8, -8A

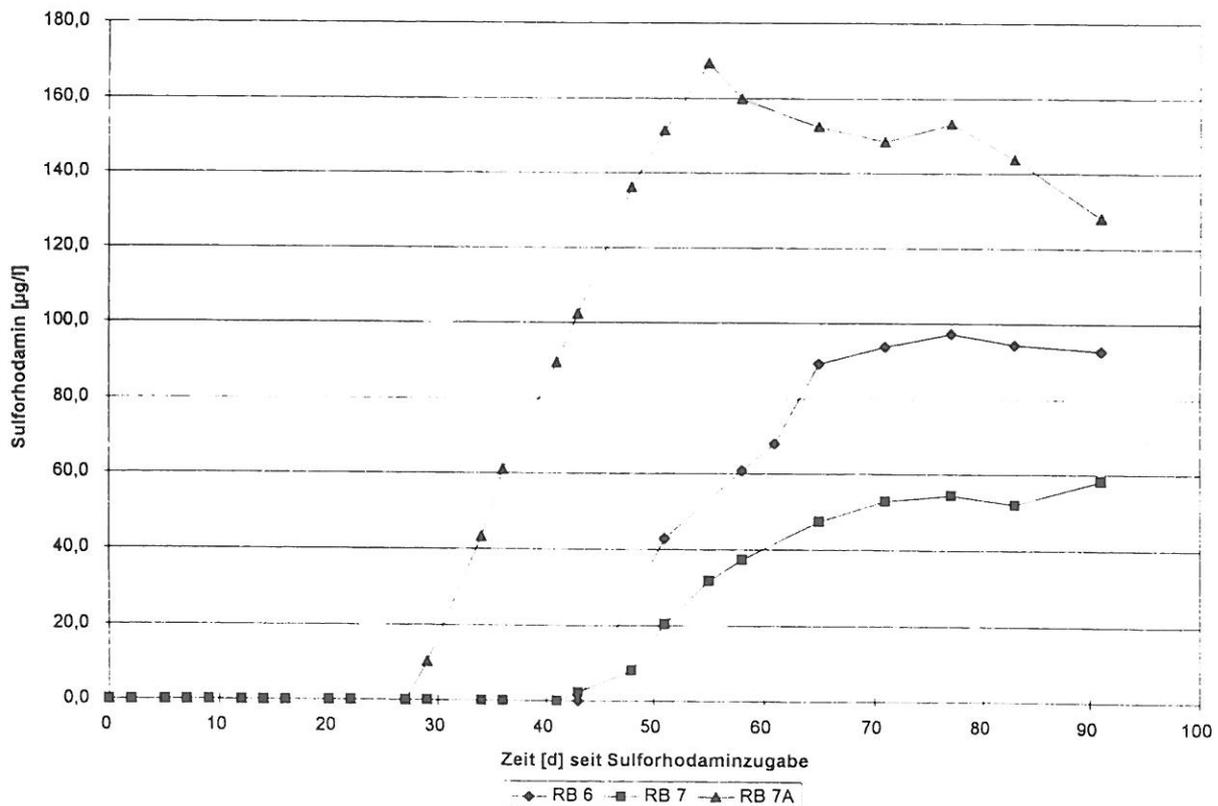


Bild 13b: Tracerdurchgang an den Meßstellen RB 7, -7A, 6

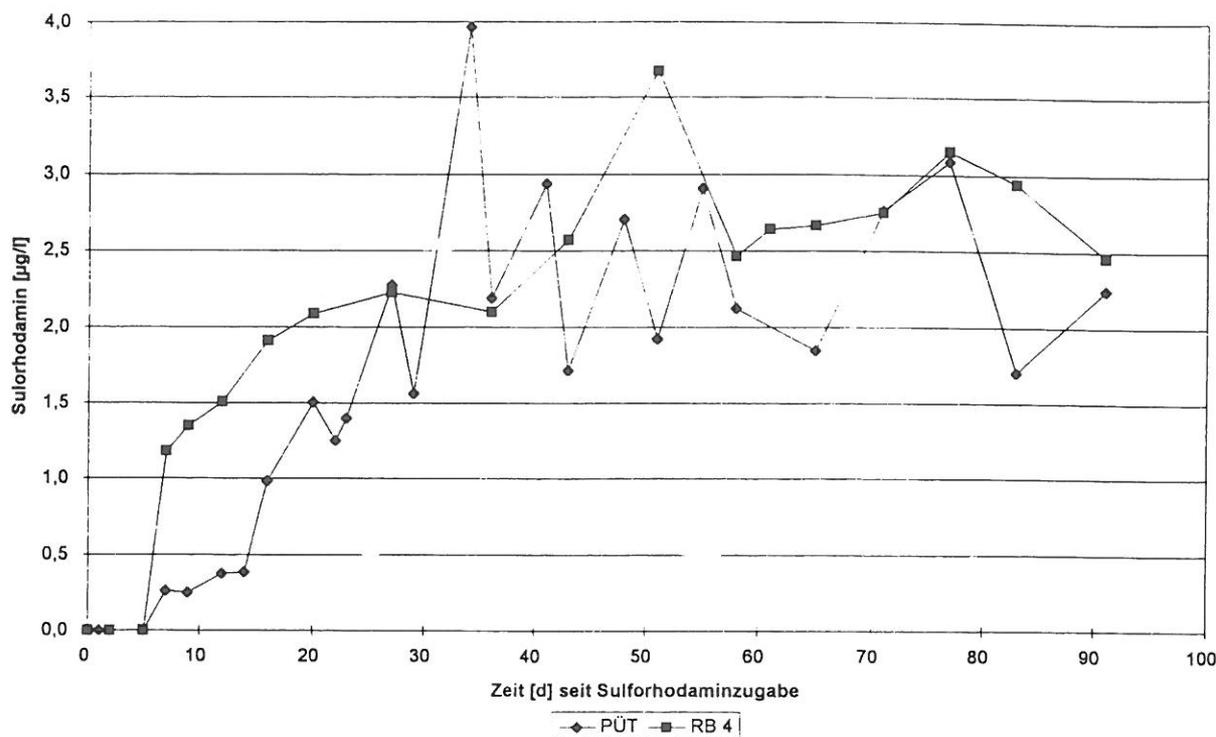


Bild 13c: Tracerdurchgang an den Meßstellen PÜT, RB 4

Nicht nur die scheinbaren Endkonzentrationen von RB 6, RB 7 und RB 7A liegen im Bereich von $100\mu\text{g/l}$ bis $150\mu\text{g/l}$, sondern auch die von RB 5, RB 8, RB 8A und PÜF. Hier scheint sich nach einem langen Tailing ein konstanter Wert einstellen zu wollen. Zugleich ist ein minimaler Verteilungsradius für diese Konzentration durch die Abstände der Meßstellen RB 5 und RB 6 vom Brunnen mit 4,5 m gegeben. Theoretisch würde bei vollkommener Zirkulation die damit zu errechnende Verdünnung der Tracerlösung nur etwa 7,0 g Farbstoff beinhalten. Die anderen 93,0 g wären außerhalb verschwunden. Auffällig ist in diesem Zusammenhang allerdings, daß der Konzentrationsabfall am Ende der Kurven noch in sehr geringer Ausprägung fortbesteht:

Grundwassermeßstelle	Konzentrationsabfall/Zeit
PÜF	7,6 $\mu\text{g}/10$ Tage
RB 8	7,9 $\mu\text{g}/10$ Tage
RB 8A	7,0 $\mu\text{g}/10$ Tage
RB 5	7,7 $\mu\text{g}/10$ Tage
RB 6	1,9 $\mu\text{g}/10$ Tage
RB 7A	18 $\mu\text{g}/10$ Tage
RB 7	Zunahme

D. h. abgesehen von der Ausnahmesituation in dem Filterpaar RB 7/7A und RB 6 ist ein Verlusttrend aus dem Strömungssystem von etwa $7,5 \mu\text{g/l}$ innerhalb von 10 Tagen nach 80 Tagen Versuchsdauer zu beobachten.

5.3.4.2 Die Dispersion des Tracers

Versucht man, die wenigen mit einem Peak erschienenen Durchgangskurven zu Dispersionsberechnungen heranzuziehen, kann nur auf die longitudinale Dispersion, d. h. eindimensional abgestellt werden, weil die Ausbreitung radial erfolgt bei einem besonderen Hin- und Rückströmungsmuster in der Vertikalen. Dadurch wird ein Potentialfeld durchflossen, welches sehr unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten nicht nur als Funktion des Abstandes vom Brunnen, sondern auch über die Innenzone hinweg zwischen Ab- und Rückstrom ergibt. Die Gradienten ändern sich in extremer Weise (vgl. Bild 17a, Abschn. 5.3.4.6). Für die Ermittlung der Dispersionskoeffizienten bietet sich das Unschärfeverfahren mit Hilfe der Auswertung von Summenkurvenparametern an. Hierfür wird die mittlere Abstandsgeschwindigkeit gebraucht. Weder die Geschwindigkeit v_{med} , welche berechnet wird über den Medianwert der Durchgangssummenkurve, noch der v_a - Wert, ermittelt über den halben Wert zwischen dominanter Geschwindigkeit (dem Peak entsprechend) und der Mediangeschwindigkeit, erbrachte plausible Werte. Als Abstandsgeschwindigkeit wurde letztlich gegen die Regel die dominante Geschwindigkeit verwendet. Selbst dabei resultierten zu hohe Werte des Dispersionskoeffizienten. Die Ursache liegt in den anomalen Strömungsverhältnissen im Umfeld des Turbobrunnens mit seiner sehr engräumigen Strömungsumkehr und erheblichen Geschwindigkeitsdifferenzen. Zusätzlich werden die relativ langen Filterstrecken jeweils oben und unten von verschiedenen schnellen Stromfäden durchzogen, so daß sich bei der Probenahme dispersiv bedingt eine mittlere Konzentration des Tracers einstellt. Die errechneten Dispersionswerte sind für Vergleichszwecke in der Tabelle 9 (vgl. Abschn. 5.3.4.1) enthalten.

5.3.4.3 Der Auffüll- und Senktrichter

Die räumliche Analyse der Kombination von Auffüllkonus und Absenkungstrichter gestaltet sich schwierig wegen vieler unwägbarer Randbedingungen und gelingt nur in stark vereinfachender Weise. Bild 14 zeigt die Druckverteilung unter der Annahme einer rotationssymmetrischen Konfiguration mit den am 28.03.1994 gemessenen Wasserständen (vgl. Anlage 7).

Die log - Absenkungsgerade PÜT- RB 8- RB 7- RB 5 ist praktisch untadelig (vgl. Bild 14). Sie hat fast die gleiche Steigung wie PÜF- RB 5. Der Abstrom im Auffüllkonus von PÜF über RB 8A und RB 7A ist wahrscheinlich gestört wegen des quasi - kurzschlußbedingten Druckabfalls zwischen den nahe beieinander liegenden inneren Filterenden zwischen RB 8 und RB 8A bzw. zwischen RB 7 und RB 7A.

Auch in den 3,0 m langen Filtern von RB 5 und RB 6 wird der Anstrom mit dem Abstrom kurzgeschlossen. Es ist deshalb wahrscheinlich, daß der theoretische hydraulische Wirkungsradius bei etwa 10,0 m liegt. Da die Filter von PÜF und PÜT in der groben Filterkiesschüttung des Brunnens mit 1,0 m Durchmesser liegen, kann der Wasserstand wohl auch auf das Brunneninnere bezogen werden. Dann ergäben die gestrichelten log - Geraden mit den theoretischen α - Werten k_f - Werte von 2,6 bis $2,9 \cdot 10^{-4}$ m/s, während die anderen Steigungen k_f - Werte von 1,3 bis $1,5 \cdot 10^{-4}$ m/s ergeben. Wahrscheinlich sind im Grundwasserleiter selbst die Unterschiede größer.

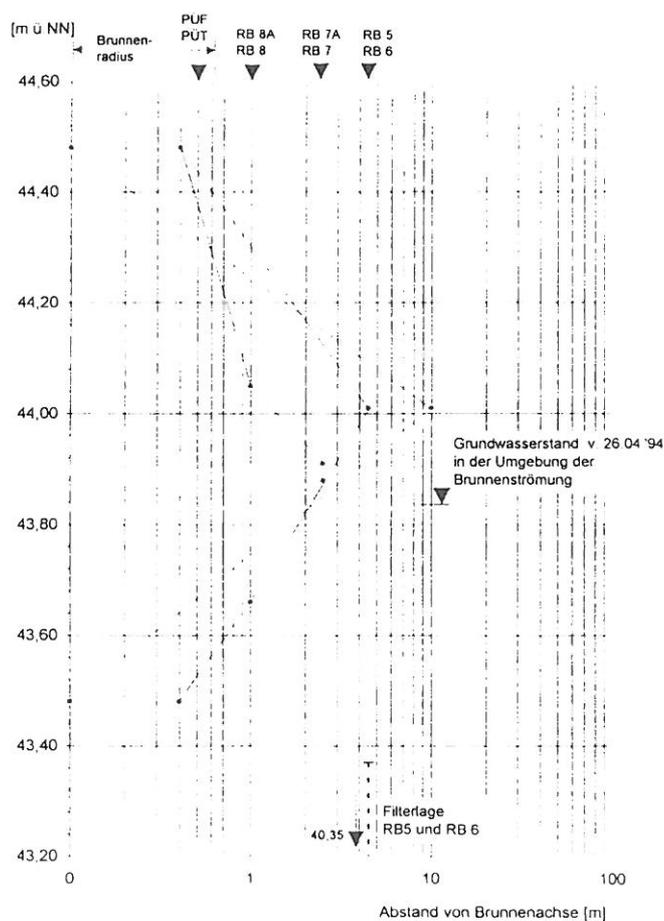


Bild 14: Druckverteilung unter rotationssymmetrischer Konfiguration anhand gemessener Wasserstände vom 28.03.1994

5.3.4.4 Die Analyse von Auslaufkurven

Die Tracerverdünnung vom Peakdurchgang bis zum Versuchsende läßt sich analog zu einer Trockenwetterauslauffunktion – beispielsweise einer Quelle – betrachten. Die Trockenwetterlinie wird dargestellt als Exponentialfunktion mit negativem Dekrement. Demzufolge können Halbwertszeiten erfaßt und Inhalte als Integral einfach berechnet werden, auch wenn sie aus mehreren überlagerten Funktionen zusammengesetzt sind.

Der Versuch ließ sich leicht von den wohlausgeformten Peaks ausgehend durchführen. Die Ergebnisse sind in Bild 15 dargestellt. Über der linear geteilten Zeitabszisse sind in log - Teilung die Farbstoffkonzentrationen aufgetragen. Ausgehend von den Konzentrationsmaxima lassen sich log - Geraden erkennen, die alle am Zeitpunkt von 45 Tagen abgeknickt sind, d. h. mindestens zwei Auslauf-funktionen überlagern sich in RB 5, RB 8, RB 8A und in PÜF.

Die log - Dekremente α_1 ergeben Halbwertszeiten für die Tracerverdünnung von 5 Tagen (RB 8A) bis 13 Tagen (RB 5) in der ersten Versuchshälfte (vgl. Tabelle 9); danach wird schlagartig etwa am 45. Tag ein sehr einheitlicher α_2 -Wert gebildet mit Halbwertszeiten von 100 Tagen in PÜF, RB 8, RB 8A und 111 Tagen in RB 5, auch für RB 7A läßt sich zum Versuchsende hin eine lange Halbwertszeit von 53 Tagen ermitteln. In der zweiten Hälfte des Versuches herrschen demnach völlig verschiedene Verdünnungsfunktionen. Es sieht aus, als wäre die innere Homogenisierung und Verdünnung im Zirkulationsbetrieb auf einem Stand von 110 $\mu\text{g/l}$ bis 130 $\mu\text{g/l}$ angelangt, abgelöst von einem stetigen Farbstoffaustrag aus dem inneren Versuchsfeld. In Wahrheit wirkt beides stets zusammen, nur daß die schnelle innere Umwälzung gegenüber dem stetigen Austrag zunächst dominiert. In der Horizontalen sind die Verdünnungskurven quer versetzt entsprechend ihrer verschiedenen Ansprechzeiten und Peakdurchgänge.

Es ist auch zu erkennen, daß das Integral der Lösungskonzentration vom Eingabetag 0 bis zum Peakdurchgang sehr klein ist im Vergleich zum Integral über der Restzeit. Die Inhaltssummen, das sind die noch auslauffähigen Tracermengen, unterscheiden sich für irgendwelche Stichtage nur wenig.

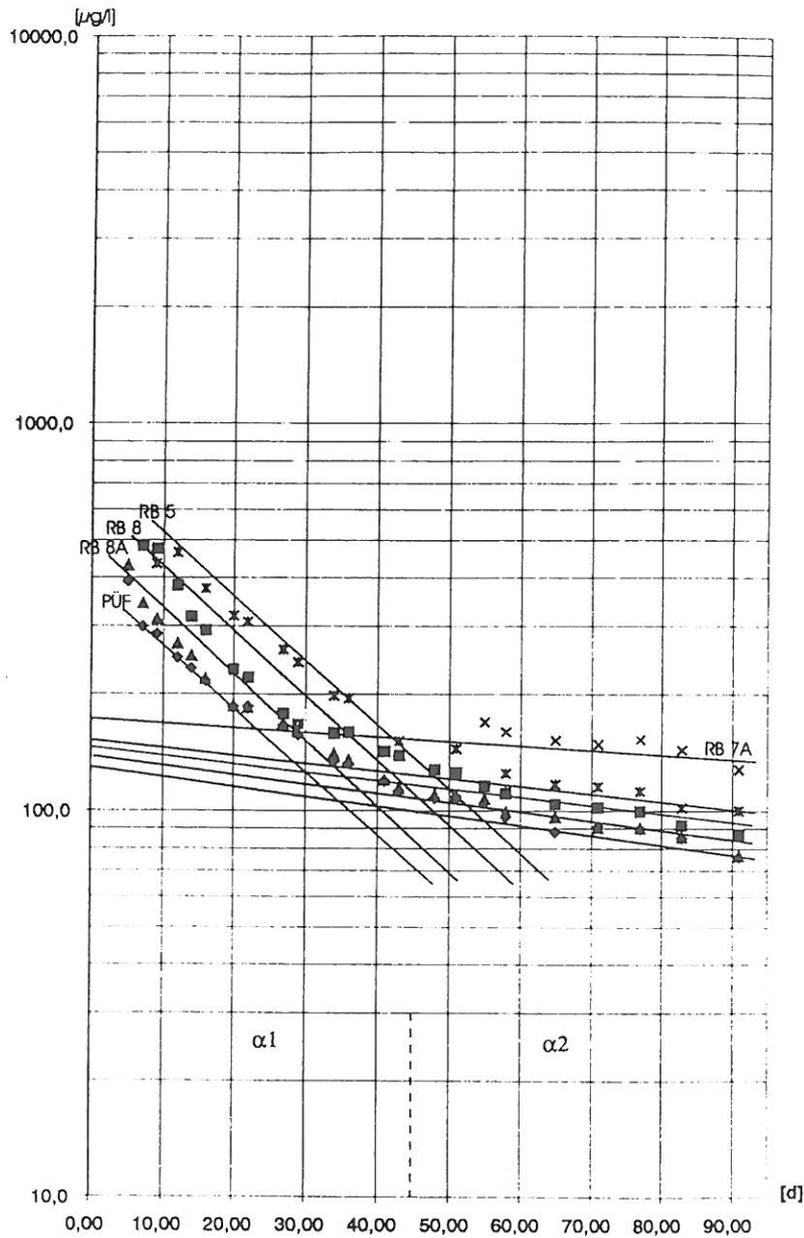


Bild 15: Auslaufkurven des Tracerfarbstoffes für die Meßstellen PUF, RB 5, -8, -8A

5.3.4.5 Ein An- und Abstrommodell

Legt man in der Grundstromrichtung einen Potentialschnitt durch den Brunnen, so erhält man für ein beliebiges Datum einen Einblick in die Druckverteilung im Wirkungsbereich des Turbobrunnens. Der Vertikalschnitt in Bild 16 soll einen schematischen Einblick in die hydraulischen Verhältnisse vermitteln, er gilt für die Wasserstände am 28.03.1994 und nutzt das entsprechende Isolinienbild (vgl. Anlage 7). In dem natürlichen Grundgefälle von 1,2 ‰ ist die Grundwasseroberfläche geneigt. Innerhalb des Einwirkungsbereiches vom Turbobrunnen wird das Grundwasser aufgehöhht und im Oberstrom angestaut. Im Anstrom ist der Auffüllkegel versteilt, der Senktrichter verflacht, im Abstrombereich ist es umgekehrt. Oberstromig bildet sich eine Depression in 9,0 m Abstand vom Brunnen mit $NN < +43,84$ m. Unterstromig besteht am Rande des Senktrichters eine Scheitelung im Abstand von 9,0 m nördlich der Brunnenachse. Dieser Scheitel wird vom abfließenden Wasser überströmt. Demzufolge kann ein Tracerpartikel, welches den Scheitel nach außen übertreten hat, nicht wieder zum Brunnen zurückströmen, obwohl die Potentialdifferenz zwischen Ab- und Rückstrom hier noch 2 cm beträgt. Andererseits kann die Tracerlösung aus dem Brunnen im Abstrom gegen die Grundströmung aus Süden die o. g. Depression nicht überschreiten, sondern wird dort im Brunnenabstand von 9 m wieder in den Senktrichter zurückgezogen. Daraus ist zu folgern, daß die Tracerkonzentration in der Zirkulationsströmung keine Stationarität erreichen kann, sondern stetig abnehmen muß. Damit werden die diesbezüglichen Beobachtungen in den obigen Abschnitten erklärt.

Der Grundvolumenstrom aufgrund des Gradienten von $1,2 \cdot 10^{-3}$ beträgt (für 20 m Breite, 3 m Höhe, $k_f = 2 \cdot 10^{-4}$ m/s) $1,2 \text{ m}^3/\text{d}$. Dazu erfolgt der Abstrom in der Scheitelzone mit einem Gradienten von etwa 1 ‰. Wenn hier nur 10 m Strombreite anzusetzen sind wegen der Gradientenverminderung quer zur Grundwasserstromrichtung, so fließen bei denselben Parametern wie oben theoretisch $5,2 \text{ m}^3/\text{d}$ aus dem Zirkulationssystem mit durchschnittlich $90 \text{ mg}/\text{m}^3$ Tracer heraus. Der Tracerverlust ist mit dem Grundstrom zusammen auf ca. $600 \text{ mg}/\text{d}$ anzusetzen. Im Zirkulationskörper sind 250 m^3 Tracerlösung mit durchschnittlich $90 \text{ mg}/\text{m}^3$ enthalten; das entspricht noch etwa 22 g. Somit fehlen in der Tracerbilanz nur 25 % des eingesetzten Farbstoffes, die wohl dadurch zu decken sind, daß die Tracerkonzentration in der Versuchszeit durchschnittlich höher war als im verwendeten Ansatz.

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u ANr.: 9314701A Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

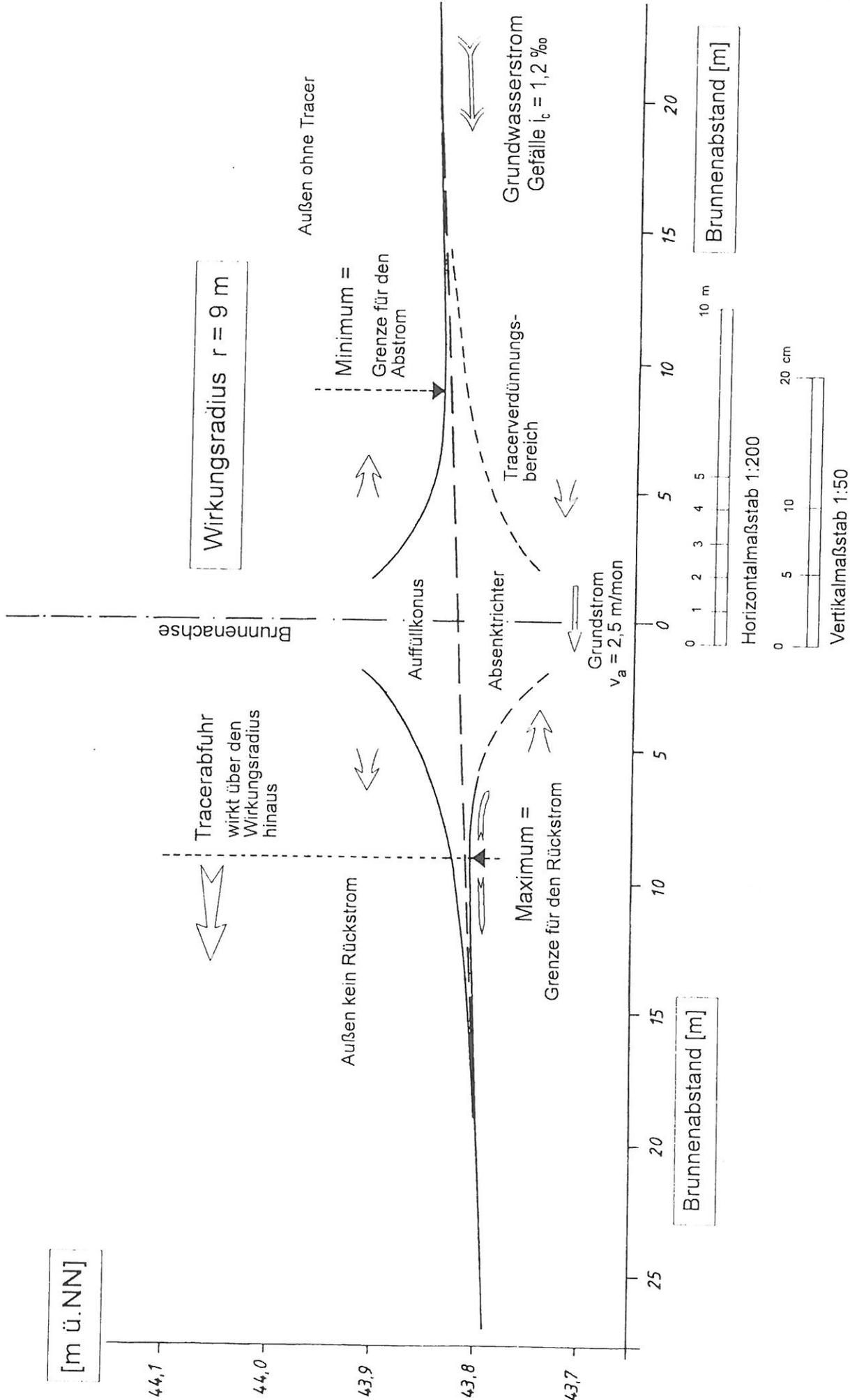


Bild 16: Vertikalschnitt hydraulische Verhältnisse entsprechend der GW-Höhensituation vom 28.03.1994

5.3.4.6 Die Potentialverteilung

Ergänzend zu den bisherigen Ausführungen soll in Bild 17b das Strömungsbild mit seinen Äquipotentiallinien im Vertikalschnitt gezeigt werden. Der Abstand der gestrichelten Äquipotentiallinien voneinander entspricht stets einer Druckdifferenz von $\Delta h = 0,05$ m. Dem steht ihr Abstand voneinander entgegen entsprechend der Fließlinie mit der Länge Δl . Damit liegt ein Gradientenplan vor im Maßstab 1:50 in Länge und Höhe. Eine Tabelle stellt die Beziehung her zwischen den Δl -Werten für $\Delta h = 0,05$ m und einem k_F -Wert von 10^{-4} m/s bei dem Porenanteil von 0,3 (eine Grafik zum Abgreifen ist beigelegt, vgl. Bild 17a). Wie zu erkennen ist, werden zwischen den beiden Brunnenfiltern in der Nähe des Brunnenrandes Abstandsgeschwindigkeiten von 8 m/d erreicht, während im Radialabstand von 4,0 m-6,0 m langsame Bewegungen von 0,5 m/d bis 0,6 m/d auftreten. Dieser Umstand trägt zu den hohen Dispersionslängen bei, die in Tab. 9 vermerkt sind.

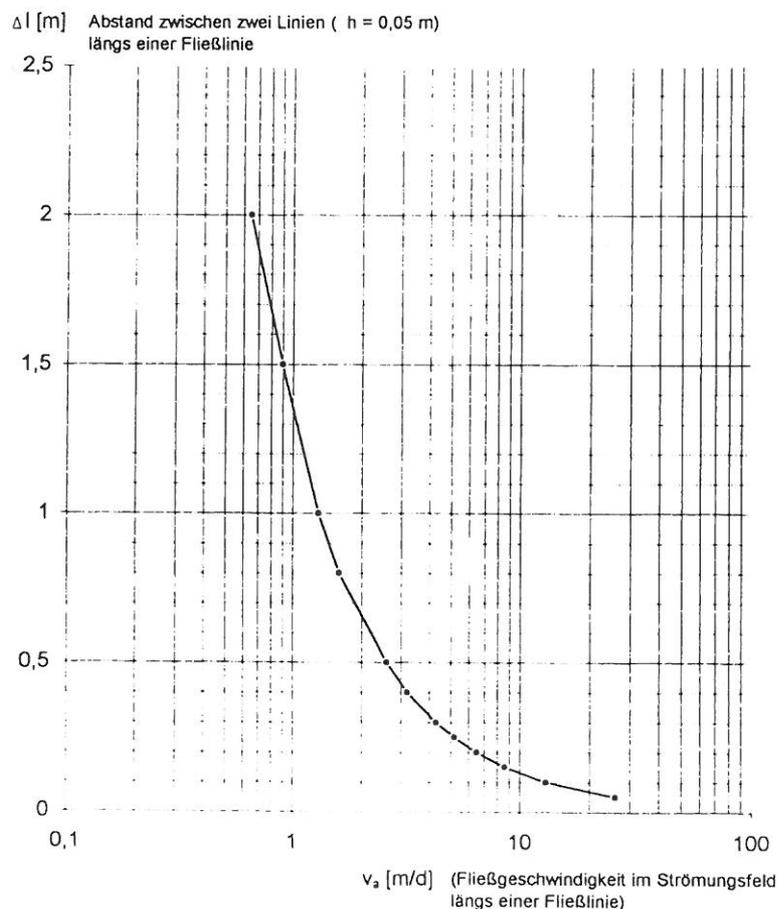


Bild 17a: Abgreifdiagramm zur Ermittlung der Abstandsgeschwindigkeit aus Bild 17b

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. ANr.: 9314701A Köster
 Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

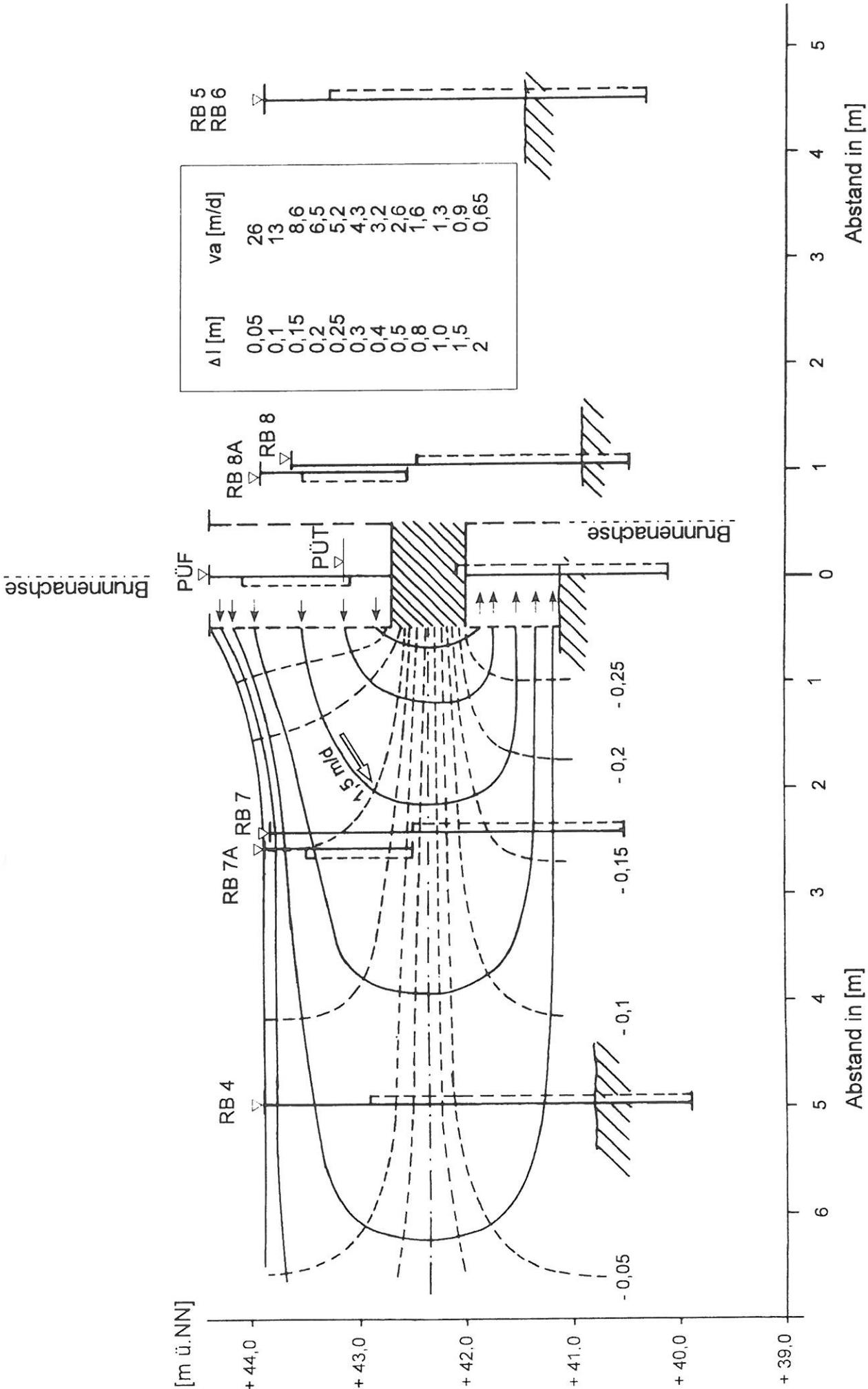


Bild 17b: Strömungsbild mit Äquipotentiallinien im Vertikalschnitt

5.3.5 Schlußfolgerung

Die wichtigsten vorgegebenen und ermittelten Kenngrößen sind in der Tabelle 9 zusammengefaßt. In einem sehr engen Raum rings um die Brunnenwandung erzeugt der Turbobrunnen mit einem Umlaufvolumen von nur maximal 240 m³ eine Verteilung von 100 g Markierungsfarbstoff, die örtlich wie zeitlich sehr unterschiedliche Konzentrationen zur Folge hat. Einige Unzulänglichkeiten, wie z. B. die Umlaufblockierung durch den Filter PÜT oder auch RB 4 sowie durch die sehr eng liegenden Filterenden in den Doppelfiltermeßstellen oder auch die 3,0 m langen Filter, die das Strömungsfeld örtlich durch hydraulische Kurzschlüsse stören, haben nicht vermocht, die Auswertung wesentlich zu behindern. Gute Meßwerte, saubere Probenahmen, zuverlässige Grundwasserstandsmessungen haben weitgehende Zusammenhänge und Eigenarten im hydraulischen System erkennen lassen:

- Der Grundwasserleiter hat einen nach verschiedenen Methoden ermittelten durchschnittlichen k_f - Wert von $2 \cdot 10^{-4}$ m/s.
- Die Reichweite der Brunnenwasserzirkulation liegt praktisch etwa bei 7,0 m, theoretisch max. ca. 10,0 m.
- Infolge der Überlagerung der Strömungsfelder des natürlichen Grundwasserstroms (i ca. 1,2 ‰) mit der Brunnenzirkulationsströmung ist der Grundwasserisohypsenplan deformiert.
- Infolgedessen sind der Auffüllkonus und der Senktrichter im Vertikalschnitt stark asymmetrisch.
- Diese Asymmetrie bewirkte einen Tracerverlust aus dem Konvektionsvolumen hinaus in den Grundwasserabstrom von etwa 600 mg/d (Stichtag 28.03.1994).

Im Strömungsfeld um den Brunnen treten sehr verschiedene Abstandsgeschwindigkeiten zwischen 10,0 m und weniger als 0,5 m pro Tag auf.

- Die natürliche Grundströmung ist vornehmlich in nördliche und nordwestliche, z. T. auch westliche Richtung orientiert. Sie wird bis in einen Abstand von 20,0 m beeinflusst.
- Die Tracerverdünnung verlief mehrstufig: Ab Mitte der Versuchsdauer mit einer Halbwertszeit von 100 Tagen, vorher mit einer Halbwertszeit von 5 bis 13 Tagen, im Anfangsstadium in Brunnennähe noch schneller.
- Die Tracerbilanz ist nach den Berechnungen mit gemessenen und plausiblen errechneten Daten praktisch ausgeglichen.
- Die Tracerabgabe in das umliegende Grundwasserfeld beträgt zum Versuchsende mit einer Konzentration von nunmehr $< 90 \mu\text{g/l}$ Farbstoff und 5,0 m³/d weniger als 450 mg/d bei einer stetigen Konzentrationsabnahme von etwa 1,5 $\mu\text{g/l}$ und Tag
- Der Farbstoff ist im Grundwasser organoleptisch nicht wahrnehmbar.

6. Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Ziel des Pilotprojektes war die Erprobung des Turbobrunnens zur Sanierung eines Lockergesteins-aquifers, der durch leichtflüchtige Schadstoffe kontaminiert ist.

Der ausgewählte Standort Lübarser Str. 8-38 liegt im Stadtgebiet von Berlin am Rand der Barnim-hochfläche und ist hydrogeologisch gekennzeichnet durch:

- einen geringen Flurabstand der Grundwasseroberfläche (durchschnittl. ca. 3,0 m)
- einen geringmächtigen, ungespannten Grundwasserleiter (ca. 3,0 m bis 4,0 m wassererfüllte Mächtigkeit), der vorwiegend durch gut wasserleitende Mittel- und Feinsande aufgebaut ist und von nichtwasserleitendem Geschiebemergel unterlagert wird
- ein Grundwassergefälle von ca. $1,2 \cdot 10^{-3}$ und Abstandsgeschwindigkeiten des Grundwassers von etwa 2,5 m/mon
- eine Grundwasserhöhe, die in Abhängigkeit von der Jahreszeit, d.h. klimatologischen Faktoren, eine Variationsbreite von ca. 0,5 m (entsprechend ca. 15 % der durchschnittlichen wassererfüllten Mächtigkeit des Aquifers) zeigt
- eine anorganisch-chemische Beschaffenheit, die das Grundwasser als sauerstoffarmes Calcium-Sulfat-Hydrogencarbonat- Wasser ausweist

Hinsichtlich seiner Untergrundbelastung ist der Standort wie folgt zu kennzeichnen:

- Kontaminanten sind leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe, insbesondere Trichlorethen, 1,1,1-Trichlorethan, Tetrachlorethen und Dichlormethan. Sie liegen in Konzentrationen vor, die den Eingreifwert der Berliner Liste (Kat. III) teilweise um den Faktor 100 überschreiten
- Die Grundwasserbelastung betrifft nach derzeitigem Kenntnisstand im wesentlichen den oberflächennahen Grundwasserleiter. Die höchsten Schadstoffkonzentrationen wurden vor Beginn der Sanierungsmaßnahme in den Meßstellen B 3 (12.197 µg/l), B 4 (6.804 µg/l) und RB 4 (4.136 µg/l) angetroffen.

Die begleitenden Untersuchungen am Sanierungsbrunnen haben ergeben:

1. Während des achtmonatigen Betriebs sind dem Untergund 2,2 kg leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe entzogen worden.
2. Durch die Strippung im Brunnen ist im Mittel ein Reinigungsgrad von 92,1 % und am Ende des Pilotbetriebs von 96,5% erreicht worden. Dieser Reinigungsgrad ist bei einem Grundwasserzirkulationsbrunnen aufgrund einschlägiger Erfahrungen des Gutachters als gut zu bewerten. Die Konzentration des gestripten und in den Aquifer wiedereingeleiteten Wassers betrug im Mittel 54 µg/l (zum Vergleich: der Eingreifwert zur Sanierung der Berliner Liste Kat. III beträgt 80,0 µg/l). Am Ende des Pilotbetriebes lag die CKW-Konzentration des wiedereingeleiteten Wassers mit 20,2 µg/l sogar unterhalb des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung. Die Angaben zum Reinigungsgrad gelten für eine Wasserdurchsatzleistung von etwa 1,0 m³/h und einen Gesamt-CKW-Gehalt des anströmenden Grundwassers zwischen 500 µg/l und 1.000 µg/l.
3. Bei der Strippung im Brunnen wird das praktisch sauerstofffreie Grundwasser nahezu sauerstoffgesättigt. Infolgedessen kommt es zu einer Ausfällung von Eisen im Brunnen. Die Eisenkonzentrationen im Grundwasser betragen einige Milligramm pro Liter. Im Betriebszeitraum haben Verockerungsprozesse jedoch nicht zu einer Abnahme der Wasserdurchsatzleistung geführt.
4. Neben CKW-Konzentration und Sauerstoffgehalt werden bei der Strippung auch die Grundwasserkennwerte pH, Leitfähigkeit, Säure- und Basekapazität geringfügig verändert. Ursache hierfür ist eine Verschiebung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes infolge von CO₂-Austreibung durch den Sauerstoffeintrag.

Für die Beurteilung der Effizienz des Turbobrunnens ist neben der Reinigungsleistung des Systems seine geohydraulische Reichweite von ausschlaggebender Bedeutung. Kernstück für die Untersuchung des hydraulischen Wirkungsbereichs bildete der Grundwassermarkierungsversuch mit dem Fluoreszenzfarbstoff Sulforhodamin B. Er ergab, daß eine Zirkulationsströmung tatsächlich zustande kommt, deren Reichweite praktisch 7,0 m, theoretisch etwa 10,0 m beträgt.

u. Anr.: 9301704A, SenStadtUm Berlin, u. ANr.: 9314701A Köster
Abschlußbericht Pilotprojekt Turbobrunnen, Lübarser Straße

Eine Reichweite von 7,0 m entspricht etwa dem 2-fachen der mittleren wassererfüllten Aquifermächtigkeit bzw. dem 7-fachen der Distanz Oberkante Brunneneintrittsfilter - Unterkante Brunnenaustrittsfilter. Wegen der Grundströmung des Grundwassers von 2,5 m/mon, die von der Zirkulationsströmung des Brunnens überlagert wird, sind Senk- und Auffüllkonus nicht rotationssymmetrisch. Folge davon ist, daß etwa 5 % des dem Brunnen zufließenden Grundwassers nach einmaliger Brunnenpassage in den Abstrom abgegeben werden, während etwa 95 % mehrfach an der Zirkulation teilnehmen. Die lediglich einmalige Behandlung eines nur kleinen Teils des Grundwassers ist hier insofern als unproblematisch zu bewerten, als das im Brunnen wiedereingeleitete Wasser nur noch vergleichsweise geringe Schadstoffkonzentrationen besitzt (im Mittel 54 µg/l CKW).

Der hydraulische Einflußbereich, der Bereich also, in dem die Potentialhöhe des Grundwassers durch den Brunnen beeinflusst wird, liegt bei etwa 20,0 m.

Die Schadstoffbelastungen der in einem Umkreis von ca. 5,0 m zum Sanierungsbrunnen liegenden Grundwassermeßstellen sind im Verlauf der Sanierungsmaßnahme deutlich zurückgegangen. Die Abnahme der CKW-Konzentrationen liegt zwischen 70 und 80 %, teilweise beträgt sie auch mehr als 90 % (RB 7A u. RB 8A)

Analog zur Abnahme der Schadstoffgehalte läßt sich eine Sauerstoffanreicherung im ursprünglich sauerstoffarmen Grundwasser bis in eine Entfernung von ca. 10,0 m vom Sanierungsbrunnen beobachten, die auf den Eintrag von gestriptom, sauerstoffreichem Grundwasser zurückzuführen ist

Der Bereich des CKW-Rückgangs im Grundwasser und die Zunahme des Sauerstoffgehaltes stimmt gut mit der Reichweite der Zirkulationsströmung, wie sie anhand des Grundwassermarkierungsversuchs ermittelt wurde, überein.

Das Pilotprojekt hat gezeigt, daß der Turbobrunnen grundsätzlich zur Sanierung von Grundwasserleitern, die mit leichtflüchtigen Schadstoffen belastet sind, geeignet ist.

Die Untersuchungen in der Umgebung des Brunnens haben klar belegt, daß infolge des Betriebs des Turbobrunnens in seinem Grundwasserumfeld eine deutliche Schadstoffreduzierung eingetreten ist.

Der Wirkungsradius eines Grundwasserzirkulationsbrunnens hängt im wesentlichen von der Mächtigkeit des erfaßten Grundwasserleiters und seiner Durchlässigkeit bzw. Durchlässigkeitsanisotropie (Verhältnis zwischen vertikalem und horizontalem k_f -Wert) ab. Angesichts der geringen Mächtigkeit des oberen Grundwasserleiters am Versuchsstandort ist auch die Reichweite der Zirkulationsströmung zwischen etwa 7,0 m und 10,0 m als durchaus zufriedenstellend zu bezeichnen. Die begrenzte Reichweite ist eine Eigenschaft jedes Grundwasserzirkulationsbrunnens. Vorteile gegenüber einer einfachen Grundwasserentnahme ist die erzwungene vertikale Durchspülung und somit intensive Reinigung der Sedimente, da bei einer rein horizontalen Brunnenanströmung in der Hauptsache die gröberen und besser durchlässigen Sedimentschichten gereinigt werden, während sich die Schadstoffe bevorzugt in den feineren Partien befinden.

In Anbetracht der hohen Eisengehalte des Grundwassers und seiner starken Belüftung bei der Stripung war eine Abnahme der Wasserdurchsatzleistung durch Verockerung der Brunnenfilter zu befürchten. Offenbar aufgrund der im Verhältnis zur Durchsatzleistung großen Filterflächen hat eine Brunnenverockerung, für die es Hinweise gibt, im Versuchszeitraum nicht zu einer Reduzierung der Wasserdurchsatzrate geführt.

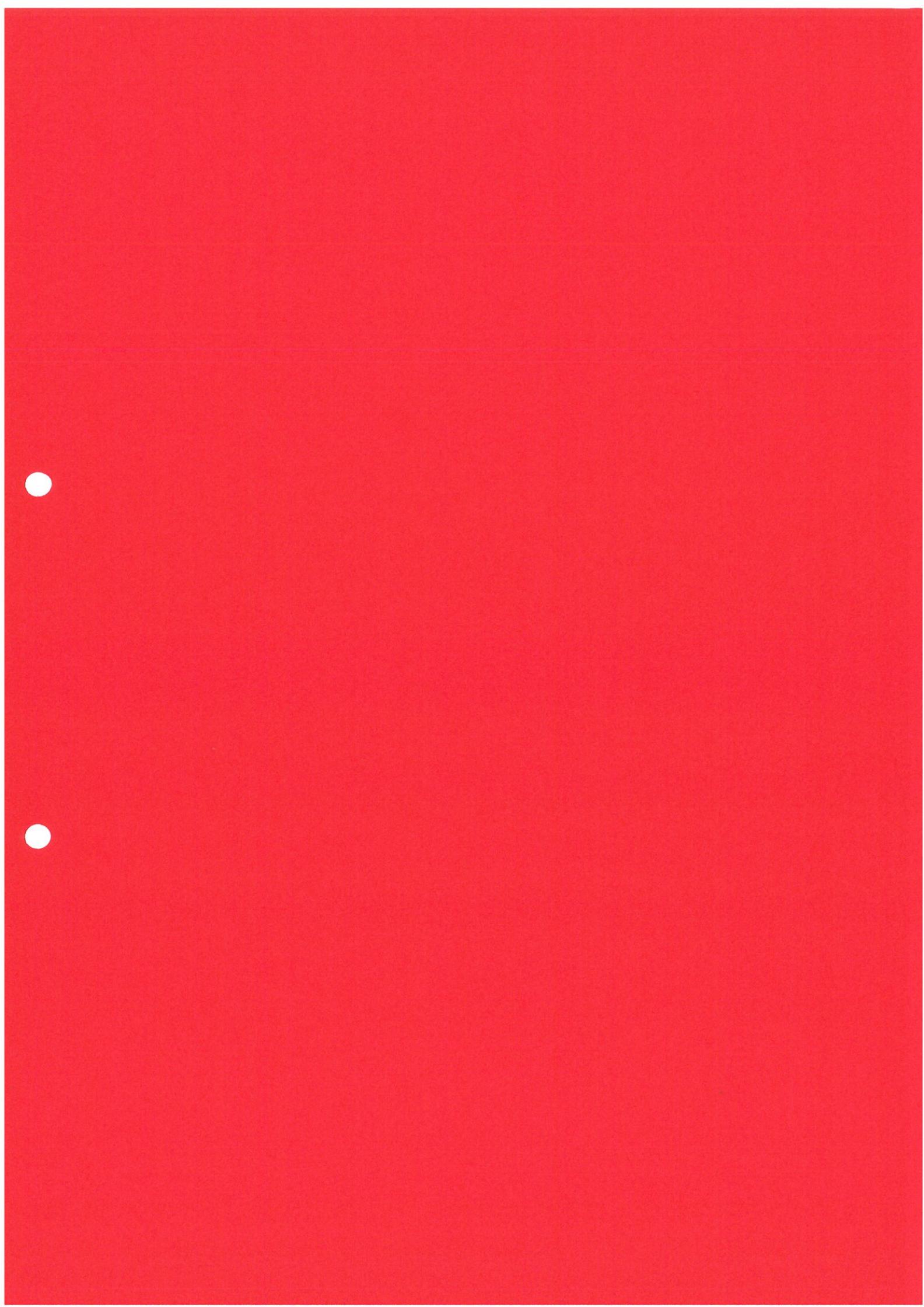
Nach den Erfahrungen an der Lübarser Straße ist es zur Beurteilung einer Sanierungsmaßnahme notwendig, Reinigungsgrad und Schadstoffaustrag zur Kontrolle auf verschiedene Weise zu bestimmen (über Konzentrationen in Wasser, Abluft und Aktivkohle). Zum Problem der Meßstelle PÜT muß jedoch gesagt werden, daß dies nicht typisch ist und vermutlich damit zusammenhängt, daß der Turbobrunnen in einen bereits vorhandenen alten Brunnen mit partiell verockertem Eintrittsfilter eingebaut wurde.

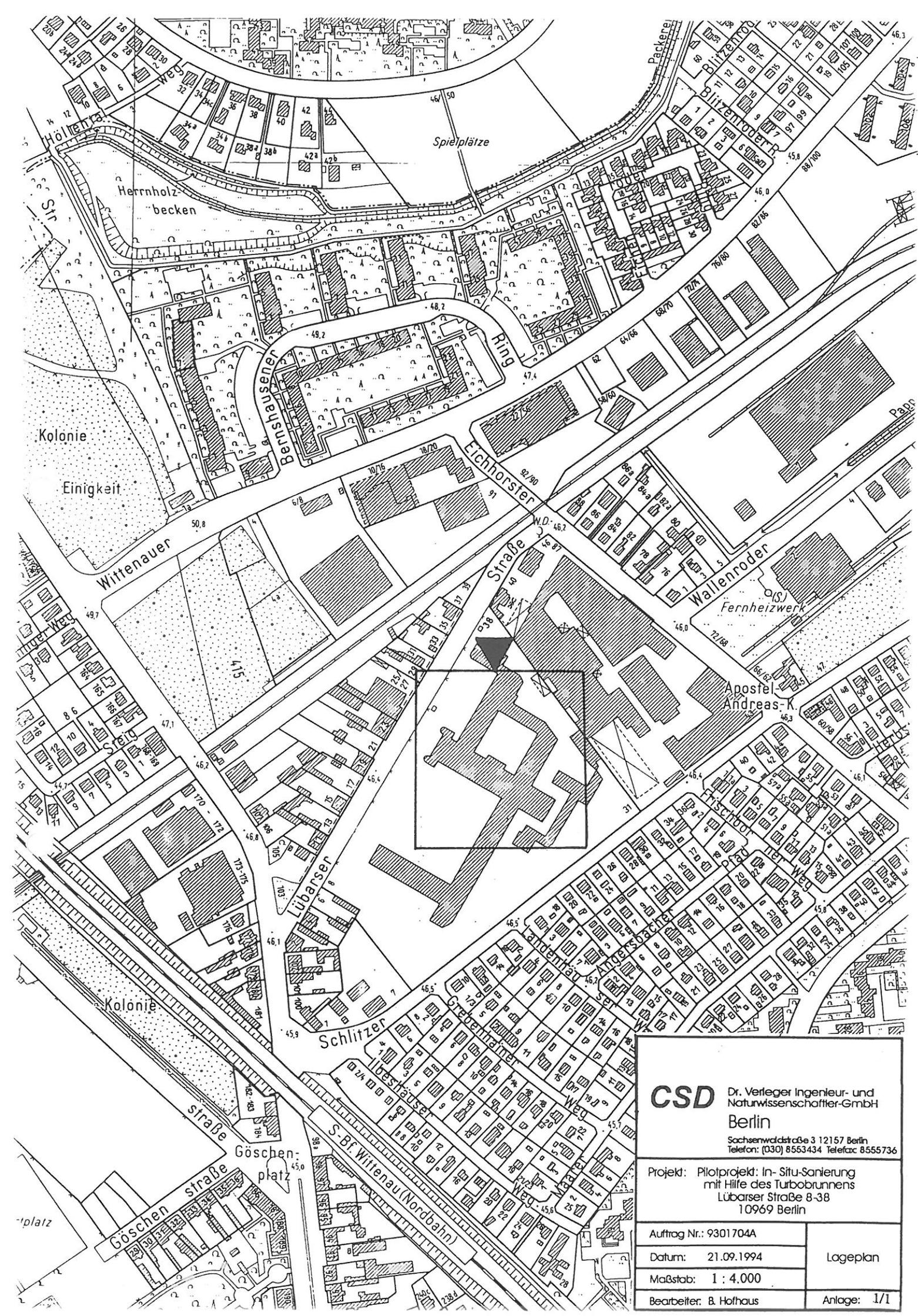
Der Turbobrunnen hat als Versuchsbrunnen dazu beigetragen, den Schaden an der Lübarser Straße zu sanieren. Eine vollständige Sanierung mit dieser Technik dürfte im Prinzip machbar sein, würde jedoch wegen der relativ großen Ausbreitung des Schadens die Installation weiterer Brunnen erfordern.


Dr. Hartmut Verleger
CSD Dr. Verleger Ingenieur- und
Naturwissenschaftler GmbH Berlin


Birgit Holhaus
Diplomgeologin

ANLAGEN





CSD Dr. Verleger Ingenieur- und
Naturwissenschaftler-GmbH
Berlin

Sachsenwaldstraße 3 12157 Berlin
Telefon: (030) 8553434 Telefax: 8555736

Projekt: Pilotprojekt: In-Situ-Sanierung
mit Hilfe des Turbobrunns
Lübarser Straße 8-38
10969 Berlin

Auftrag Nr.: 9301704A

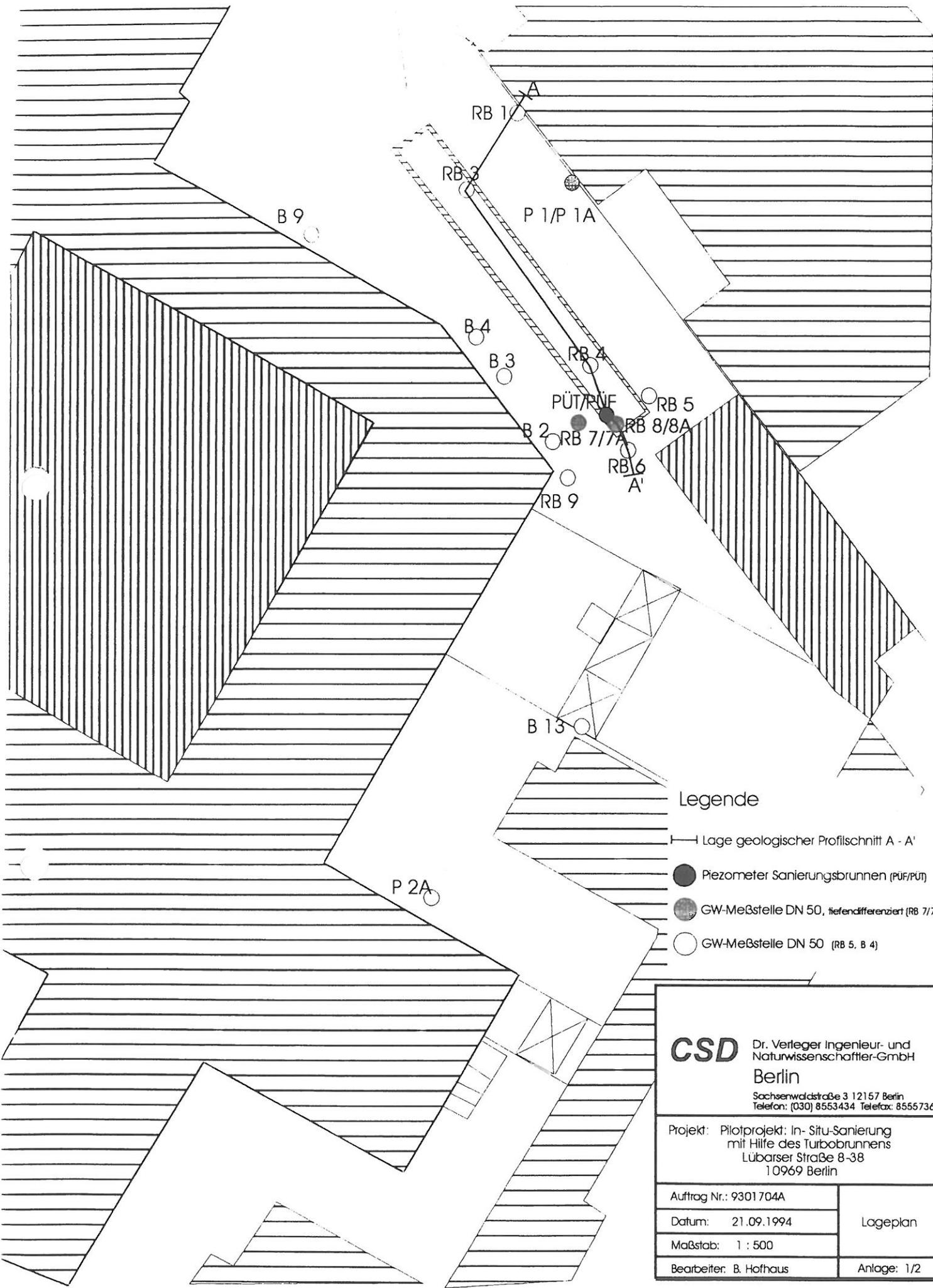
Datum: 21.09.1994

Maßstab: 1 : 4.000

Bearbeiter: B. Hofhaus

Lageplan

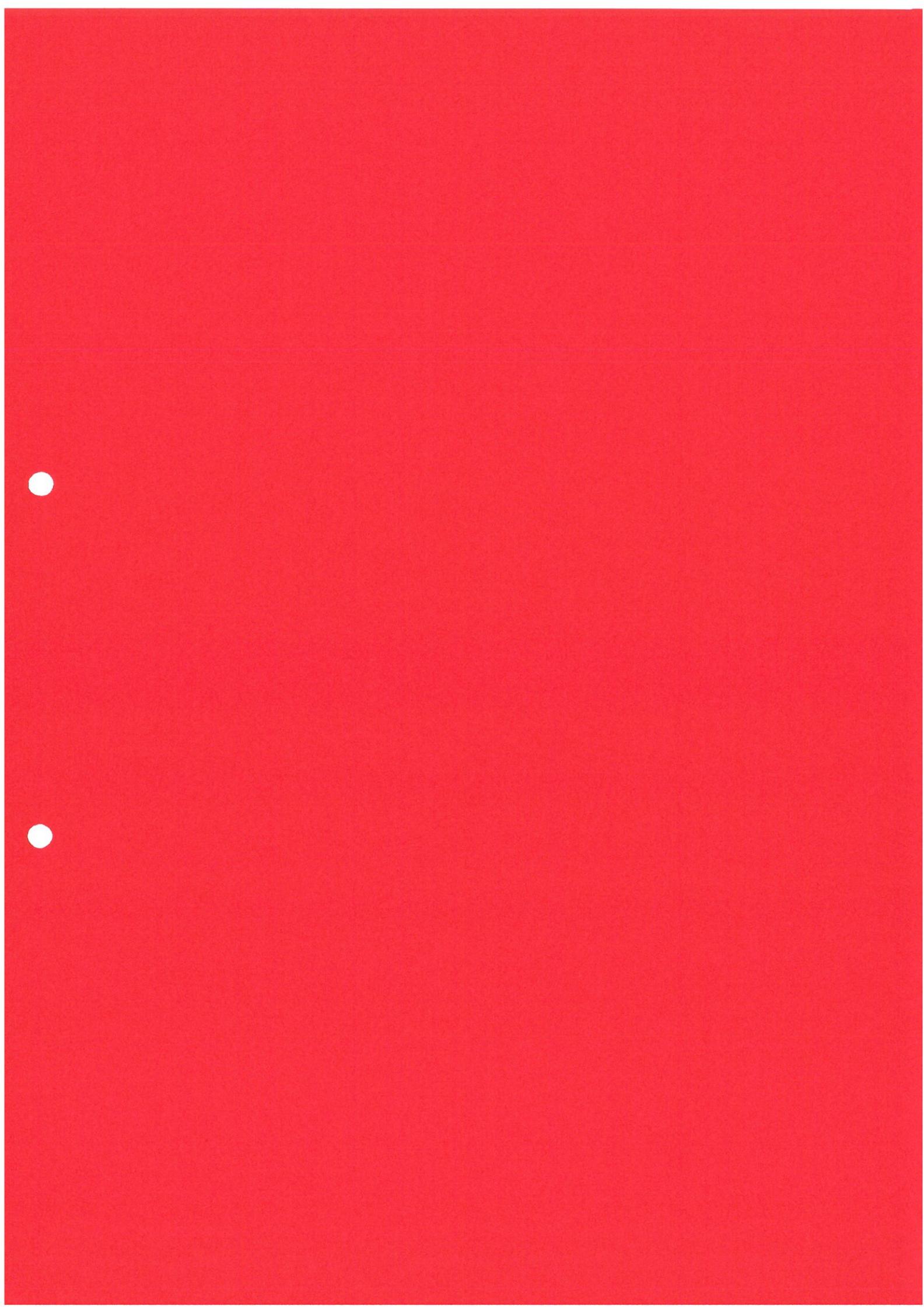
Anlage: 1/1



Legende

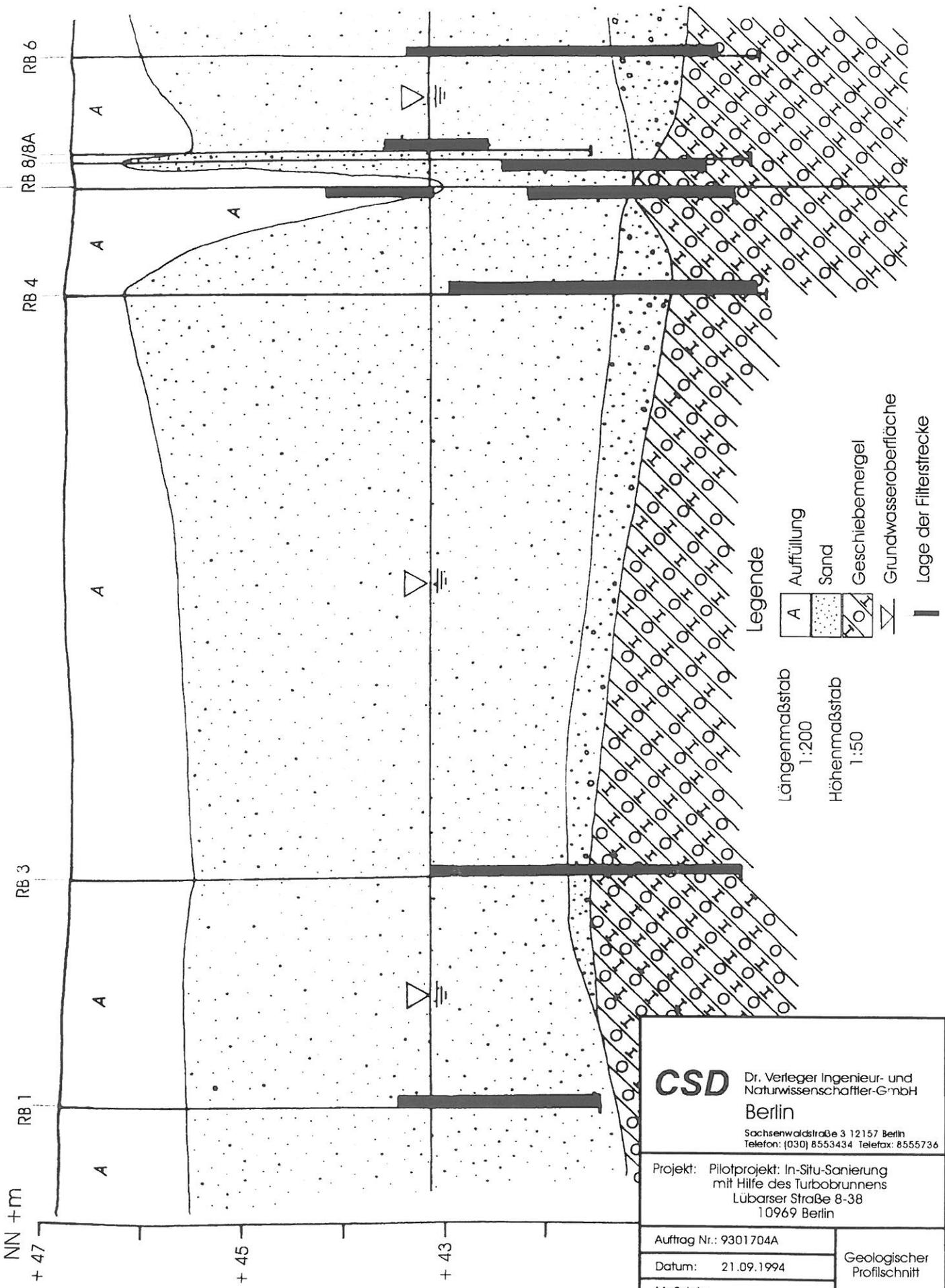
- |— Lage geologischer Profilschnitt A - A'
- Piezometer Sanierungsbrunnen (PÜF/PÜT)
- GW-Meßstelle DN 50, tiefendifferenziert (RB 7/7A)
- GW-Meßstelle DN 50 (RB 5, B 4)

<p>CSD Dr. Verteger Ingenieur- und Naturwissenschaftler-GmbH Berlin Sachsenwaldstraße 3 12157 Berlin Telefon: (030) 8553434 Telefax: 8555736</p>	
<p>Projekt: Pilotprojekt: In-Situ-Sanierung mit Hilfe des Turbobrunnens Lübarser Straße 8-38 10969 Berlin</p>	
Auftrag Nr.: 9301704A	Lageplan
Datum: 21.09.1994	
Maßstab: 1 : 500	Anlage: 1/2
Bearbeiter: B. Hofhaus	



Geologischer Profilschnitt A - A'

UDB
Turbobrunnen



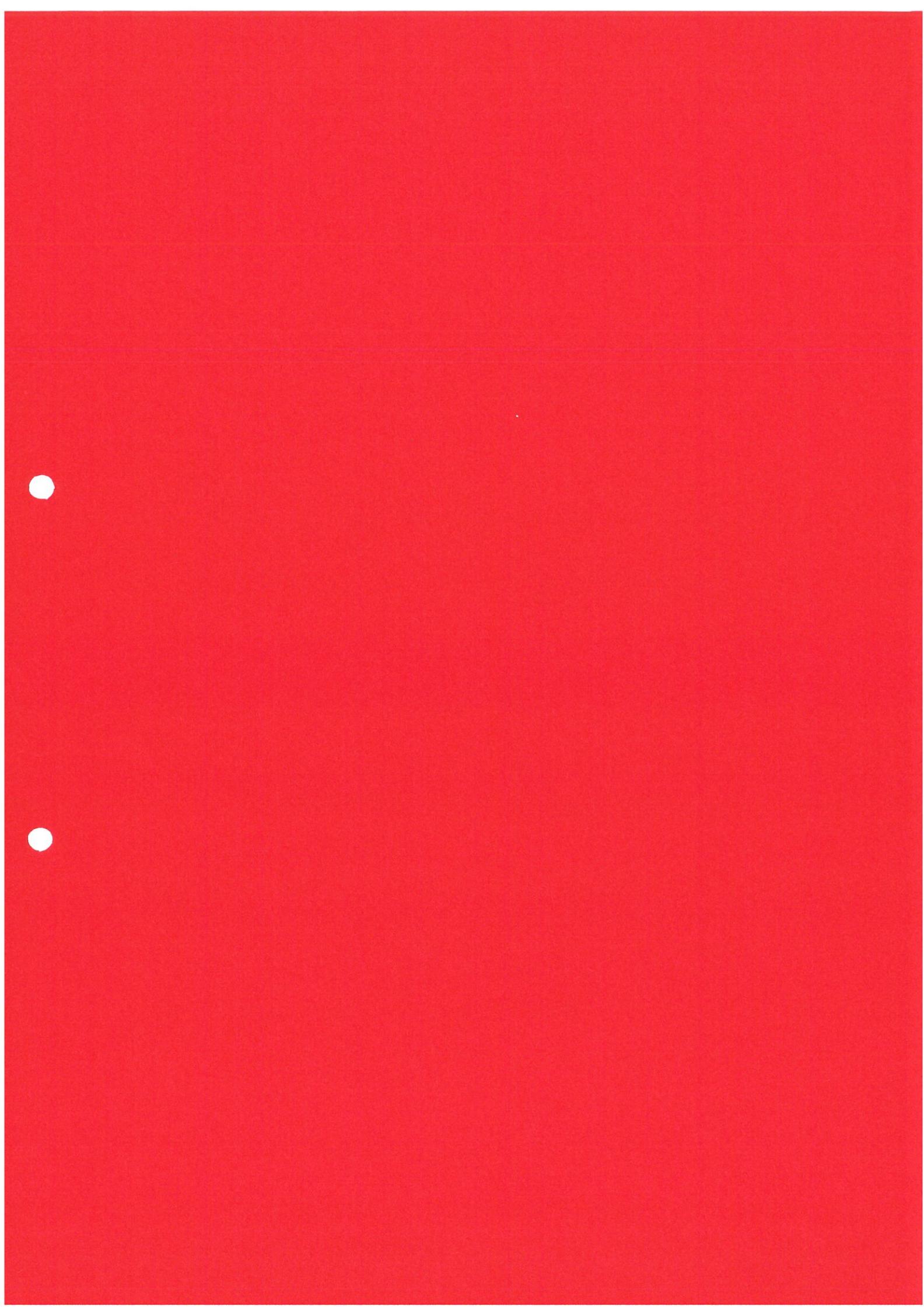
Legende

- Auffüllung
- Sand
- Geschiebemergel
- Grundwasseroberfläche
- Lage der Filterstrecke

Längenmaßstab
1:200

Höhenmaßstab
1:50

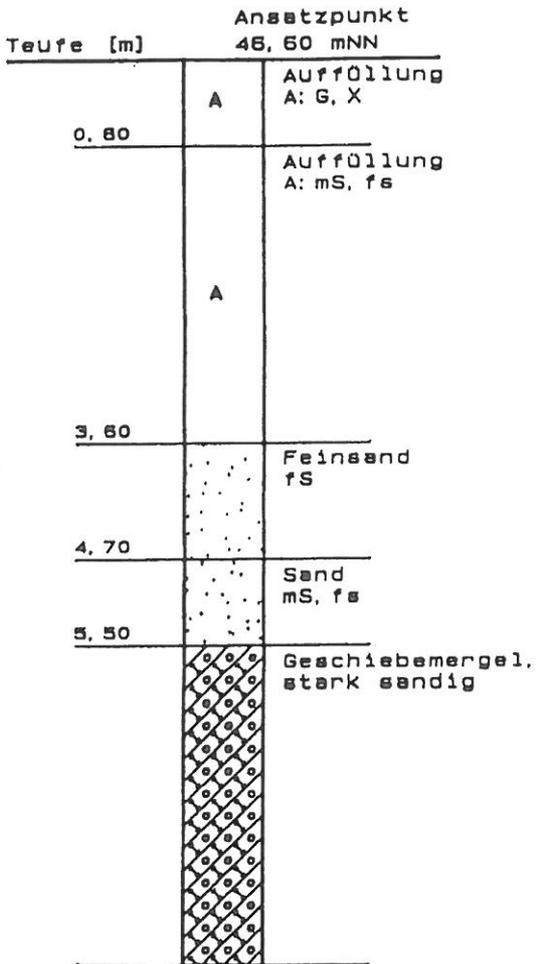
<p>CSD Dr. Verleger Ingenieur- und Naturwissenschaftler-GmbH Berlin Sachsenwaldstraße 3 12157 Berlin Telefon: (030) 8553434 Telefax: 8555736</p>	
Auftrag Nr.: 9301704A	Geologischer Profilschnitt
Datum: 21.09.1994	
Maßstab:	
Bearbeiter: B. Hofhaus	Anlage: 2



Bohrprofil und Brunnenausbauplan

Projekt: Lübarser Str. 8-38

Bohrprofil (Sanierungsbrunnen)
M. d. H. = 1 : 50



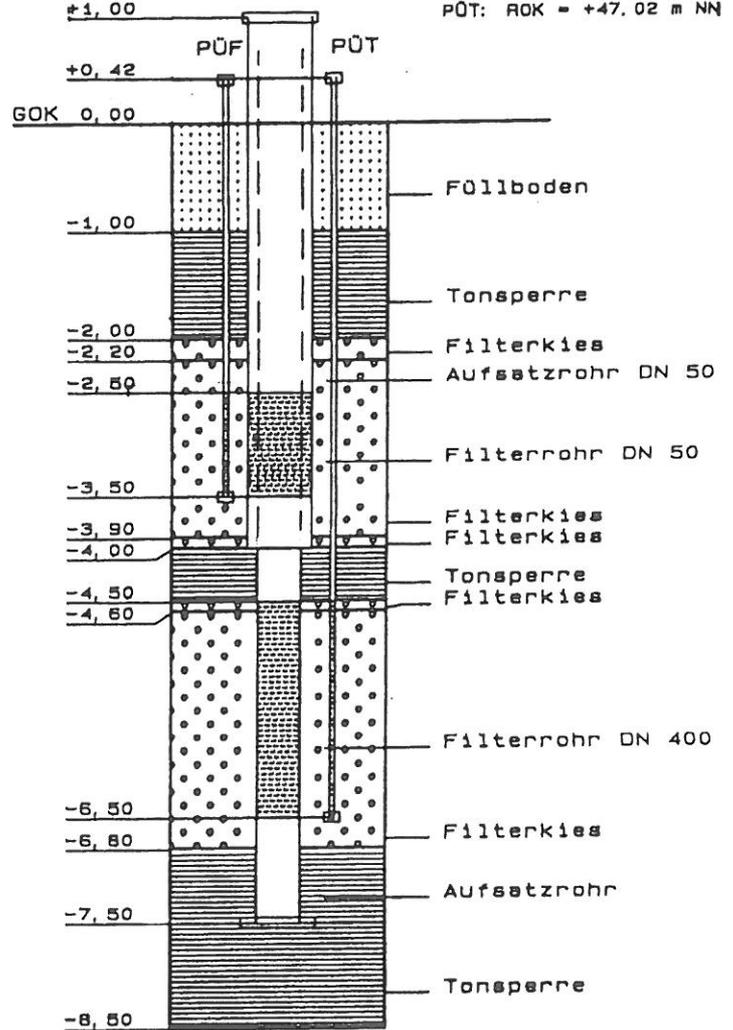
▽
3,84
(1.7.91)

ÜDB 1

Ausbauplan ÜDB

PÖF: ROK = +47,01 m NN

PÖT: ROK = +47,02 m NN



CSD Dr. Verleger Ingenieur- und
Naturwissenschaftler-GmbH
Berlin

Sachsenwaldstraße 3 12157 Berlin
Telefon: (030) 8553434 Telefax: 8555738

Projekt: Pilotprojekt: In-Situ-Sanierung
mit Hilfe des Turbobrunnens
Lübarser Straße 8-38
10969 Berlin

Auftrag Nr.: 9301704A	Bohrprofil u. Brunnenausbauplan ÜDB (bebohrt 1991)
Datum: 26.09.1994	
Maßstab:	
Bearbeiter: B. Hofhaus	Anlage: 3

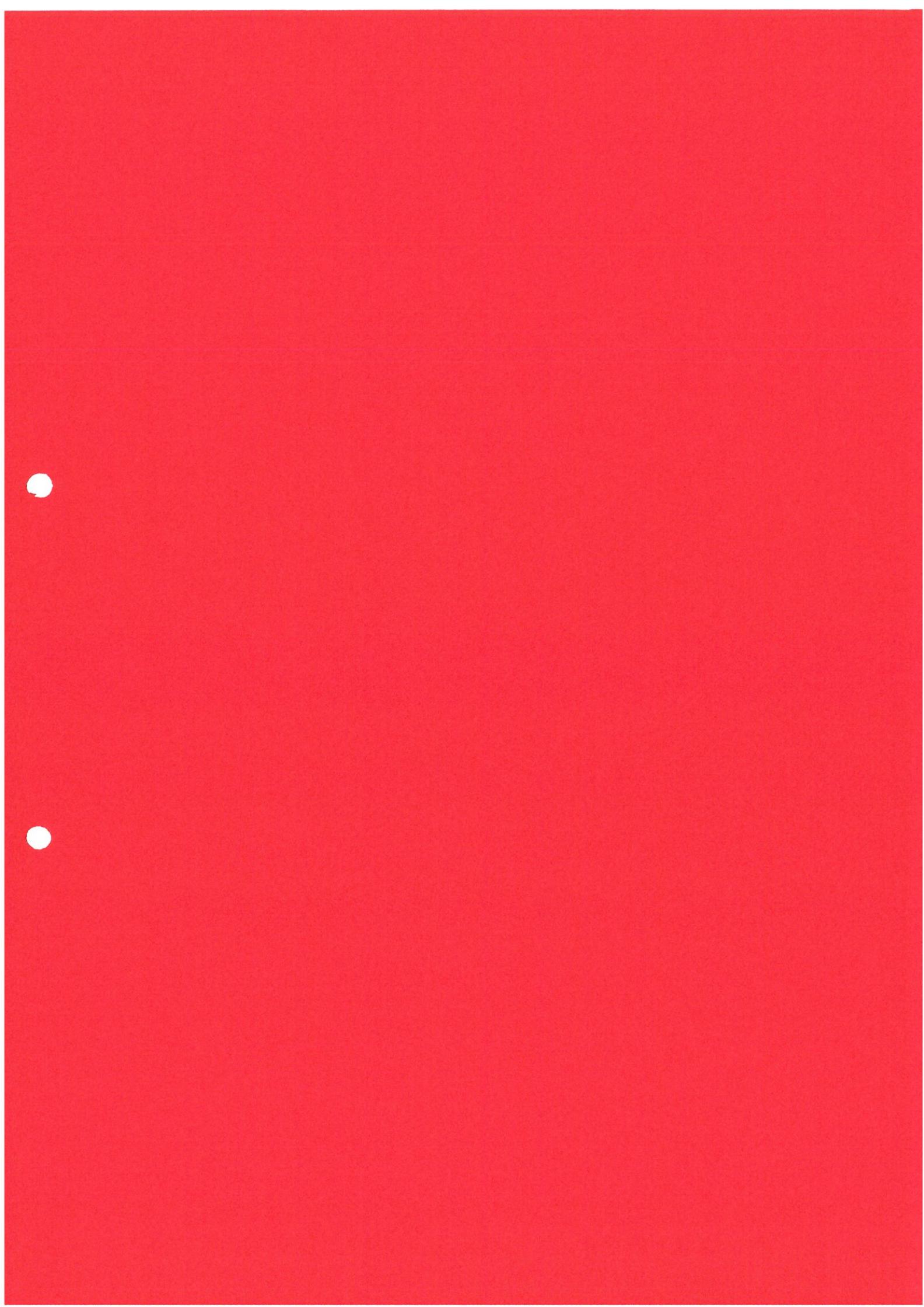


Tabelle der vor Ort gemessenen Grundwasserkenwerte, GW-Meßstellen PÜF und PÜT

Datum	PÜF Leitfähigkeit [µS/cm]	PÜF Temperatur [°C]	PÜF pH-Wert	PÜF O2 [mg/l]	PÜF O2 %	PÜF Redox [mV]	PÜT Leitfähigkeit [µS/cm]	PÜT Temperatur [°C]	PÜT pH-Wert	PÜT O2 [mg/l]	PÜT O2 %	PÜT Redox [mV]
28.10.1993	758	15,4	6,86	<0,1	0	237	754	15,6	7,10	<0,1	0	127
19.10.1993	644	15,4	6,64	0,5	5	326	805	15,3	7,04	<0,1	0	111
25.11.1993	715	14,8	7,52	5,9	56		697	15,1	7,19	0,2	2	
18.11.1993	711	14,2	7,19	6,5	60		776	14,9	7,19	0,2	2	
10.11.1993	738	15,4	7,32	7,7	76		699	15,5	7,15	0,2	2	244
03.11.1993	748	15,0	7,24	<0,1	0	270	716	15,2	7,12	<0,1	0	233
28.12.1993	663	15,0	7,52	6,6			708	14,8	7,47	0,2		
23.12.1993	673	16,3	7,04	6,8	71		628	16,0	7,14	0,2	2	
15.12.1993	691	16,1	7,28	7,0	70		628	16,1	7,17	0,3	3	
08.12.1993	702	16,4	7,27	6,9	70		734	15,9	7,16	0,3	3	
01.12.1993	711	14,9	7,32	6,2	58		740	14,7	7,21	0,3	2	
26.01.1994	630	14,5	7,83	7,2			736	14,6	7,45	0,2		
20.01.1994	670	14,2	7,44	7,0	70		739	14,9	7,27	9,0	87	
13.01.1994	641	15,0	7,18	7,2	68		645	15,4	7,15	0,1	1	
06.01.1994	650	15,6	7,24	6,0	58		705	15,8	7,25	0,2	2	
25.02.1994	613	14,2	7,73	7,4	70		748	14,0	7,44	0,1	1	
15.02.1994	617	13,3	7,22	6,6	63		669	13,7	7,22	0,2	1	
09.02.1994	619	14,5	7,41	6,8	65		728	14,5	7,35	0,1	1	
04.02.1994	622	14,4	7,65	6,9	68		744	14,4	7,43	<0,1	0	
16.03.1994	622	14,0	7,83	7,1	68		901	13,9	7,30	0,1	1	
11.03.1994	617	14,3	7,53	7,0	68		847	14,3	7,18	0,1	1	
02.03.1994	616	14,3	7,71	6,5	62		797	14,1	7,44	0,1	1	
24.03.1994	620	14,1	7,30	7,2	70		812	14,0	7,36	0,1	1	
31.03.1994	625	14,5	7,16	7,0	69		760	14,1	7,38	0,1	1	
07.04.1994	625	14,3	7,35	8,0	80		721	14,0	7,35	0,1	1	
20.04.1994	626	14,3	7,39	6,4	63		695	13,8	7,32	0,1	1	

Tabelle der vor Ort gemessenen Grundwasserkennwerte

Datum	RB 1 Leitfähigkeit [µS/cm]	RB 1 Temperatur [°C]	RB 1 pH-Wert	RB 1 O2 mg/l [mg/l]	RB 1 O2 % %
07.09.1993	787	17,7	6,34	1,5	15
19.10.1993	744	17,7	6,43	<0,1	0
22.11.1993	744	15,8	6,34	2,1	21
20.12.1993	744	15,5	6,33	2,3	23
02.02.1994	834	14,3	6,28	2,9	29
14.03.1994	921	13,4	6,47	2,4	23
24.05.1994	947	14,9	6,42	2,1	

Datum	RB 3 Leitfähigkeit [µS/cm]	RB 3 Temperatur [°C]	RB 3 pH-Wert	RB 3 O2 [mg/l]	RB 3 O2 %
27.09.1993	1590	15,7	6,39	<0,1	0
19.10.1993	1459	15,5	6,38	<0,1	0
22.11.1993	1183	14,0	6,60	0,1	1
20.12.1993	1659	13,2	6,54	1,6	16
02.02.1994	1537	12,2	6,79	0,4	4
14.03.1994	1324	10,7	6,83	0,4	4

Datum	RB 4 Leitfähigkeit [µS/cm]	RB 4 Temperatur [°C]	RB 4 pH-Wert	RB 4 O2 mg/l [mg/l]	RB 4 O2 % %
07.09.1993	952	16,3	6,83	<0,1	0
21.10.1993	1509	15,5	6,50	<0,1	0
22.11.1993	1857	14,2	6,60	<0,1	0
20.12.1993	981	15,7	6,93	0,2	2
03.02.1994	695	12,6	7,21	<0,1	0
16.03.1994	664	12,2	6,96	<0,1	0
13.04.1994	646	11,7	6,85	0,1	1
25.05.1994	635	13,4	6,76	<0,1	0

Datum	RB 5 Leitfähigkeit [µS/cm]	RB 5 Temperatur [°C]	RB 5 pH-Wert	RB 5 O2 mg/l [mg/l]	RB 5 O2 % %
07.09.1993	673	16,4	6,66	0,8	8
21.10.1993	842	15,3	6,60	<0,1	0
23.11.1993	723	13,8	7,24	5,7	55
22.12.1993	675	14,8	7,38	7,0	69
03.02.1994	622	13,2	7,77	6,2	58
16.03.1994	616	12,9	8,16	6,4	61
13.04.1994	622	13,0	7,82	5,5	54
25.05.1994	633	14,8	7,80	4,6	4,6

Datum	RB 6 Leitfähigkeit [µS/cm]	RB 6 Temperatur [°C]	RB 6 pH-Wert	RB 6 O2 mg/l [mg/l]	RB 6 O2 % %
07.09.1993	571	16,3	7,07	<0,1	0
21.10.1993	509	15,5	6,76	<0,1	0
23.11.1993	787	14,0	7,02	1,4	13
21.12.1993	677	14,0	7,07	2,7	27
03.02.1994	640	12,6	7,22	3,3	32
16.03.1994	607	12,5	7,15	4,5	42
13.04.1994	624	12,3	7,27	4,5	43

Tabelle der vor Ort gemessenen Grundwasserkennwerte

Datum	RB 7A Leitfähigkeit [µS/cm]	RB 7A Temperatur [°C]	RB 7A pH-Wert	RB 7A O2 mg/l [mg/l]	RB 7A O2 % %
27.09.1993	1167	16,5	6,74	<0,1	0
21.10.1993	1175	16,6	6,87	<0,1	0
25.11.1993	734	13,7	7,10	4,9	46
22.12.1993	691	13,8	7,05	6,5	64
04.02.1994	617	12,3	7,05	6,3	61
16.03.1994	612	13,0	7,51	7,3	71
13.04.1994	621	13,4	7,52	6,9	67

Datum	RB 7 Leitfähigkeit [µS/cm]	RB 7 Temperatur [°C]	RB 7 pH-Wert	RB 7 O2 mg/l [mg/l]	RB 7 O2 % %
27.09.1993	626	15,7	6,46	<0,1	0
21.10.1993	621	15,8	6,69	<0,1	0
25.11.1993	726	14,4	6,93	0,8	8
22.12.1993	659	14,0	6,87	1,3	13
04.02.1994	633	12,9	6,89	3,0	28
16.03.1994	602	13,1	7,00	4,9	46
13.04.1994	610	12,9	7,06	5,2	50

Datum	RB 8A Leitfähigkeit [µS/cm]	RB 8A Temperatur [°C]	RB 8A pH-Wert	RB 8A O2 mg/l [mg/l]	RB 8A O2 % %
27.09.1993	1343	15,8	6,75	<0,1	0
21.10.1993	733	16,0	6,77	<0,1	0
25.11.1993	715	15,4	7,93	5,3	53
22.12.1993	675	16,7	7,98	6,6	66
04.02.1994	620	14,5	7,80	6,5	64
17.03.1994	619	14,3	7,80	6,6	63
13.04.1994	622	15,1	7,96	5,5	57

Datum	RB 8 Leitfähigkeit [µS/cm]	RB 8 Temperatur [°C]	RB 8 pH-Wert	RB 8 O2 mg/l [mg/l]	RB 8 O2 % %
27.09.1993	646	15,2	6,57	<0,1	0
21.10.1993	941	15,5	6,53	<0,1	0
25.11.1993	704	15,0	7,28	5,4	51
22.12.1993	672	16,0	7,50	6,2	65
04.02.1994	622	14,3	7,65	6,4	62
17.03.1994	620	14,0	7,59	6,2	62
13.04.1994	628	14,0	7,72	6,0	59

Datum	RB 9 Leitfähigkeit [µS/cm]	RB 9 Temperatur [°C]	RB 9 pH-Wert	RB 9 O2 mg/l [mg/l]	RB 9 O2 % %
27.09.1993	531	16,4	6,69	<0,1	0
20.10.1993	487	16,7	7,08	<0,1	0
23.11.1993	487	14,7	6,98	0,5	5
21.12.1993	479	14,3	7,10	1,0	10
03.02.1994	384	12,8	6,99	1,5	14
15.03.1994	400	12,3	7,17	1,9	18
11.04.1994	376	12,0	7,15	1,9	18

Tabelle der vor Ort gemessenen Grundwasserkennwerte

Datum	B2 Leitfähigkeit [µS/cm]	B2 Temperatur [°C]	B2 pH-Wert	B2 O2 mg/l [mg/l]	B2 O2 % %
10.09.1993	543	18,3	6,65	<0,1	0
20.10.1993	539	17,2	6,45	<0,1	0
24.11.1993	604	14,5	6,44	0,1	1
21.12.1993	585	14,0	6,47	0,2	0,2
03.02.1994	477	13,1	6,56	0,1	1
15.03.1994	560	13,0	6,43	0,2	2
11.04.1994	542	12,7	6,44	0,2	2

Datum	B 3 Leitfähigkeit [µS/cm]	B 3 Temperatur [°C]	B 3 pH-Wert	B 3 O2 mg/l [mg/l]	B 3 O2 % %
10.09.1993	1184	18,9	6,67	<0,1	0
20.10.1993	1229	17,8	6,53	<0,1	0
24.11.1993	1179	14,6	6,63	0,2	2
21.12.1993	981	15,5	6,69	<0,1	0
03.02.1994	782	13,8	6,87	0,1	1
15.03.1994	689	13,5	6,99	0,4	4
11.04.1994	704	13,1	6,92	0,1	1

Datum	B 4 Leitfähigkeit [µS/cm]	B 4 Temperatur [°C]	B 4 pH-Wert	B 4 O2 mg/l [mg/l]	B 4 O2 % %
10.09.1993	1097	21,5	6,87	<0,1	0
20.10.1993	1205	18,7	6,73	<0,1	0
24.11.1993	1277	14,2	6,79	0,6	0,6
20.12.1993	981	15,7	6,93	0,2	2
03.02.1994	878	15,4	6,85	1,2	11
15.03.1994	995	12,7	7,02	0,4	4
11.04.1994	1159	14,1	6,86	0,5	5

Datum	B 9 Leitfähigkeit [µS/cm]	B 9 Temperatur [°C]	B 9 pH-Wert	B 9 O2 mg/l [mg/l]	B 9 O2 % %
10.09.1993	748	17,2	6,45	<0,1	0
19.10.1993	775	16,2	6,03	<0,1	0
24.11.1993	797	14,4	6,38	1,4	13
20.12.1993	785	14,3	6,50	0,5	5
02.02.1994	979	13,9	6,51	0,2	2
14.03.1994	1098	12,2	6,52	0,3	3

Datum	B 13 Leitfähigkeit [µS/cm]	B 13 Temperatur [°C]	B 13 pH-Wert	B 13 O2 mg/l [mg/l]	B 13 O2 % %
27.09.1993	390	16,4	5,94	0,6	6
10.09.1993	389	17,3	6,02	2,0	21
20.10.1993	383	16,4	5,46	<0,1	0
23.11.1993	380	14,2	6,09	5,0	47
21.12.1993	394	14,3	6,05	4,2	41
03.02.1994	395	13,6	6,17	2,7	28
17.03.1994	370	12,3	6,24	2,9	28

Tabelle der vor Ort gemessenen Grundwasserkennwerte

Datum	P 1 Leitfähigkeit [µS/cm]	P 1 Temperatur [°C]	P 1 pH-Wert	P 1 O2 mg/l [mg/l]	P 1 O2 % %
07.09.1993	815	16,8	5,90	<0,1	0
19.10.1993	809	16,4	5,71	<0,1	0
22.11.1993	798	15,7	5,85	0,1	1
20.12.1993	813	15,5	6,05	0,1	1
02.02.1994	802	14,6	6,02	<0,1	0
14.03.1994	803	13,5	6,04	<0,1	0
24.05.1994	822	14,3	6,08	0,1	1

Datum	P 1A Leitfähigkeit [µS/cm]	P 1A Temperatur [°C]	P 1A pH-Wert	P 1A O2 mg/l [mg/l]	P 1A O2 % %
07.09.1993	1087	17,2	5,74	<0,1	0
19.10.1993	921	16,5	5,70	<0,1	0
22.11.1993	721	15,5	5,93	<0,1	0
20.12.1993	890	14,9	6,04	<0,1	0
02.02.1994	1133	13,7	6,48	<0,1	0
14.03.1994	1074	12,5	6,58	<0,1	0
24.05.1994	1258	14,4	6,57	<0,1	0

Datum	P 2A Leitfähigkeit [µS/cm]	P 2A Temperatur [°C]	P 2A pH-Wert	P 2A O2 mg/l [mg/l]	P 2A O2 % %
07.09.1993	575	17,4	7,15	<0,1	0
20.10.1993	557	16,8	6,94	<0,1	0
23.11.1993	592	15,4	7,17	1,2	12
21.12.1993	591	16,0	6,84	1,0	10
03.02.1994	477	14,8	7,12	2,9	29
14.03.1994	491	13,7	7,32	2,1	20
27.05.1994	485	14,9	7,08	3,1	30

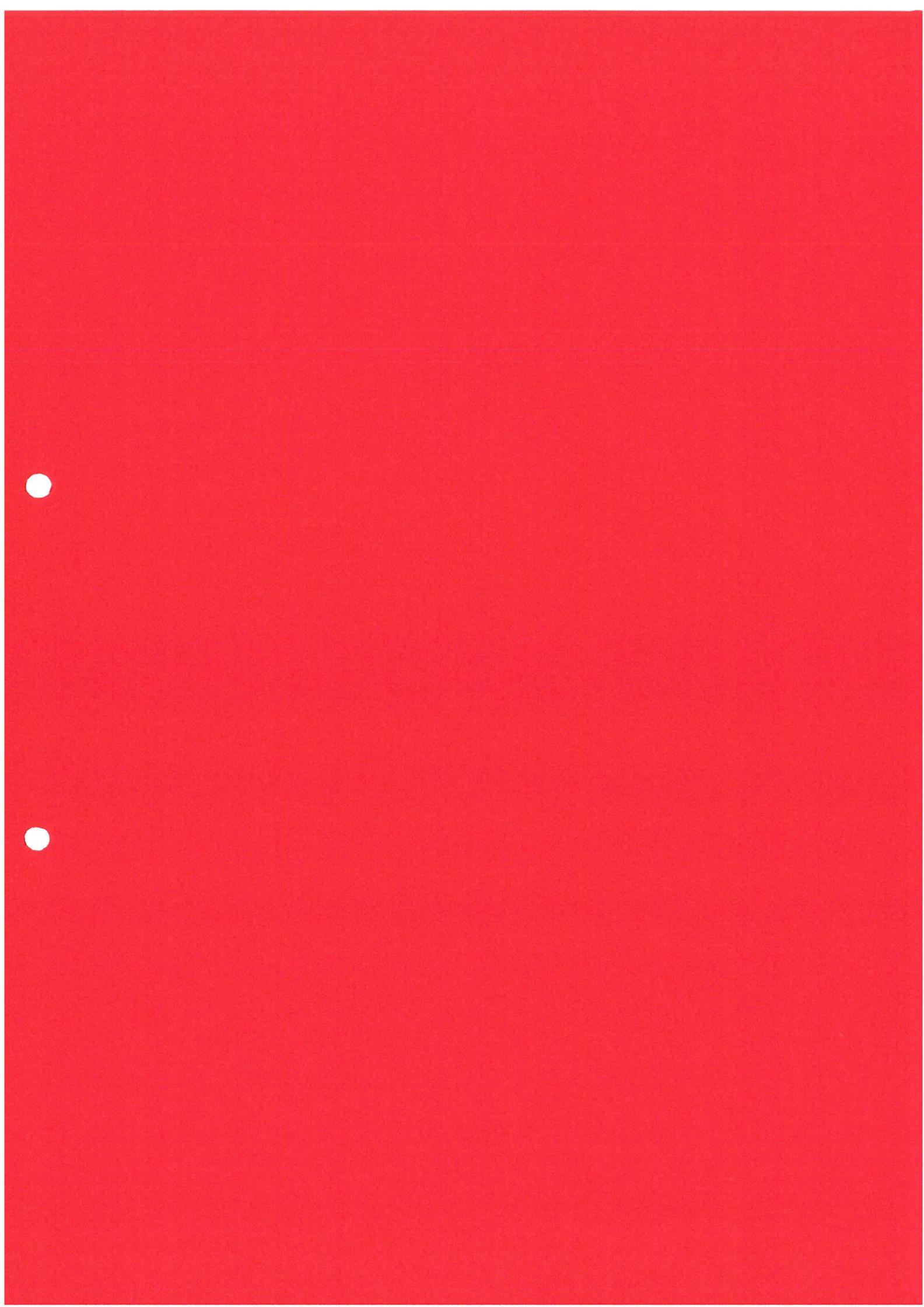


Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	PÜF Dichlormethan [µg/l]	PÜF cis-1,2-DCE [µg/l]	PÜF Trichlormethan [µg/l]	PÜF 1,2-Dichlorethan [µg/l]	PÜF 1,1,1-Trichlorethan [µg/l]	PÜF Trichlorethen [µg/l]	PÜF Tetrachlorethen [µg/l]	PÜF Summe CKW [µg/l]
13.09.1993					18,50	217,00	21,50	386,00
29.09.1993	121	8,19	0,20	n.n.	1,73	5,76	0,23	7,72
22.10.1993	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,80	32,20	1,10	44,90
01.11.1993	4,47	3,60	0,75	n.n.	15,10	19,40	1,64	56,10
08.11.1993	13,5	6,34	0,14	n.n.	28,20	49,90	1,40	103,00
11.11.1993	20,7	3,08	0,11	n.n.	6,00	21,80	0,84	40,00
18.11.1993	11,2	n.n.	n.n.	n.n.	6,67	19,40	1,02	35,40
24.11.1993	9,29	n.n.	n.n.	n.n.	10,70	33,00	1,19	71,60
06.12.1993	23,3	3,44	n.n.	n.n.	14,40	46,80	1,35	66,60
09.12.1993	4,04	n.n.	n.n.	n.n.	21,90	37,20	0,79	84,20
15.12.1993	17,4	6,94	n.n.	n.n.	25,40	30,90	1,47	90,30
22.12.1993	27,7	4,87	n.n.	n.n.	22,80	23,20	1,11	95,00
28.12.1993	42,6	5,26	n.n.	n.n.	45,10	17,00	1,48	76,70
10.01.1994	13,1	n.n.	n.n.	n.n.	26,70	19,80	1,08	56,20
13.01.1994	8,64	n.n.	n.n.	n.n.	7,80	10,00	1,02	24,48
20.01.1994	5,66	n.n.	n.n.	n.n.	15,10	35,40	0,84	64,10
27.01.1994	12,8	n.n.	n.n.	n.n.	8,51	13,29	0,55	32,20
07.02.1994	9,88	n.n.	n.n.	n.n.	10,50	16,90	0,63	42,90
10.02.1994	14,9	n.n.	n.n.	n.n.	15,30	15,60	1,57	44,90
18.02.1994	12,4	n.n.	n.n.	n.n.	7,49	8,84	0,26	16,60
28.02.1994	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	9,01	8,53	1,05	29,20
02.03.1994	10,4	n.n.	n.n.	n.n.	8,87	40,70	1,24	62,20
11.03.1994	11,4	n.n.	n.n.	n.n.	7,82	11,60	1,08	24,25
17.03.1994	4,76	n.n.	n.n.	n.n.	11,10	15,30	1,51	42,90
25.03.1994	8,52	6,46	n.n.	n.n.	13,30	18,20	1,34	41,90
05.04.1994	9,06	n.n.	n.n.	n.n.	10,70	31,20	1,03	70,50
07.04.1994					3,35	13,60	0,91	64,70
12.04.1994	6,87	20,70	n.n.	n.n.	4,96	11,40	0,30	20,20
21.04.1994	3,3	43,50	n.n.	n.n.				
17.05.1994	3,57	n.n.	n.n.	n.n.				
30.05.1994								

Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	PÜT Dichlormethan [µg/l]	PÜT cis-1,2-DCE [µg/l]	PÜT Trichlormethan [µg/l]	PÜT 1,2-Dichlorethan [µg/l]	PÜT 1,1,1-Trichlorethan [µg/l]	PÜT Trichlorethen [µg/l]	PÜT Tetrachlorethen [µg/l]	PÜT Summe CKW [µg/l]
13.09.1993								
29.09.1993								
22.10.1993	223	8,57	0,09	n.n.	19,6	238	35,5	525
01.11.1993	285	12,2	0,209	n.n.	73,2	128	9,03	508
08.11.1993	254	18,1	5,05	n.n.	34,9	280	7,96	600
11.11.1993	622	19,2	0,392	n.n.	673	535	11,3	1851
18.11.1993	631	36,8	0,342	n.n.	501	457	16,1	1642
24.11.1993	804	7,78	0,224	n.n.	581	1078	17,2	2488
06.12.1993	598	n.n.	n.n.	n.n.	1130	1032	12,2	2772
09.12.1993	823	19,5	1,09	n.n.	1177	1284	13,9	3318
15.12.1993	807	23,4	0,193	n.n.	888	809	20,9	2548
22.12.1993	1128	122	0,505	n.n.	1650	1510	16,4	4427
28.12.1993	989	199	0,496	n.n.	1273	1018	16,6	3496
10.01.1994	1236	365	0,612	n.n.	1255	1465	10,3	4332
13.01.1994	1003	258	0,397	n.n.	1386	955	9,9	3612
20.01.1994	876	327	n.n.	n.n.	1560	894	8,52	3666
27.01.1994	1176	352	n.n.	n.n.	1733	1474	16	4751
07.02.1994	912	79,7	3,95	n.n.	2053	1490	11,4	4550
10.02.1994	1015	79,7	3,95	n.n.	2955	1740	12,1	5806
18.02.1994	1670	350	0,102	n.n.	2390	2193	14,7	6818
28.02.1994	1090	305	n.n.	n.n.	2106	1187	8,72	4697
02.03.1994	1164	359	n.n.	n.n.	1060	657	8,02	3248
11.03.1994	1217	322	0,261	n.n.	1548	1247	36,6	4371
17.03.1994	1014	227	0,929	n.n.	1780	1290	13,7	4326
25.03.1994	1097	261	n.n.	n.n.	2358	1392	2,83	5111
05.04.1994	1212	244	0,452	n.n.	2714	1790	12,5	5973
07.04.1994	1079	231	0,378	n.n.	2713	1853	11,6	5888
12.04.1994								
21.04.1994	922	198	0,657	n.n.	1816	1794	1,25	4732
17.05.1994	794	176	n.n.	n.n.	1635	1971	1	4577
30.05.1994	1023	149	n.n.	n.n.	1236	1831	11,5	4253

Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	RB 1 Dichlormethan [µg/l]	RB 1 cis-1,2-DCE [µg/l]	RB 1 Trichlormethan [µg/l]	RB 1 1,2-Dichllorethan [µg/l]	RB 1 1,1,1-Trichllorethan [µg/l]	RB 1 Trichlourethen [µg/l]	RB 1 Tetrachlourethen [µg/l]	RB 1 Summe CKW [µg/l]
13.09.1993	11,9	4,40	0,326	n.n.	3,81	31	5,52	57,8
29.09.1993								
22.10.1993	10,5	5,6	0,27	n.n.	3,77	20,1	6,5	46,7
01.11.1993								
08.11.1993								
11.11.1993								
18.11.1993	9,91	6,31	0,281	n.n.	9,08	28,3	8,78	62,7
24.11.1993								
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993	19,9	6,21	0,441	n.n.	7,62	36,1	12,8	83,1
22.12.1993								
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994								
27.01.1994	8,73	n.n.	0,95	n.n.	10,8	20,7	7,23	48,4
07.02.1994								
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994								
11.03.1994								
17.03.1994	8,75	10,2	0,246	n.n.	5,52	20,9	5,94	51,6
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994								
12.04.1994								
21.04.1994								
17.05.1994	4,98	n.n.	0,075	n.n.	5,07	28	8,72	46,8
30.05.1994								

Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	RB 3 Dichlormethan [µg/l]	RB 3 cis-1,2-DCE [µg/l]	RB 3 Trichlormethan [µg/l]	RB 3 1,2-Dichlorethan [µg/l]	RB 3 1,1,1-Trichlorethan [µg/l]	RB 3 Trichlorethen [µg/l]	RB 3 Tetrachlorethen [µg/l]	RB 3 Summe CKW [µg/l]
13.09.1993								
29.09.1993	n.n.	n.n.	0,424	n.n.	4,23	19,4	1,71	25,8
22.10.1993	133	22,8	0,23	n.n.	5,99	33	1,95	197
01.11.1993								
08.11.1993								
11.11.1993								
18.11.1993								
24.11.1993	24,9	19,9	0,42	n.n.	28,3	39	3,06	116
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993								
22.12.1993	42,1	n.n.	0,344	n.n.	40,4	65,9	4,94	154
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994								
27.01.1994								
07.02.1994	25,2	5,15	0,215	n.n.	26,00	32,00	3,69	92,3
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994								
11.03.1994								
17.03.1994	17,2	n.n.	n.n.	n.n.	4,67	82,1	8,49	112
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994								
12.04.1994								
21.04.1994								
17.05.1994								
30.05.1994	20,4	n.n.	0,28	n.n.	5,07	28	8,72	46,8

Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	RB 4 Dichlormethan [µg/l]	RB 4 cis-1,2-DCE [µg/l]	RB 4 Trichlormethan [µg/l]	RB 4 1,2-Dichlorethan [µg/l]	RB 4 1,1,1-Trichlorethan [µg/l]	RB 4 Trichlorethen [µg/l]	RB 4 Tetrachlorethen [µg/l]	RB 4 Summe CKW [µg/l]
13.09.1993	294	137	1,36	n.n.	686	2880	41,3	4136
29.09.1993								
22.10.1993	279	162	1,3	n.n.	1006	3410	30	4888
01.11.1993								
08.11.1993								
11.11.1993								
18.11.1993	443	483	15,3	n.n.	1898	11876	78,4	14794
24.11.1993								
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993	281	487	20,9	n.n.	3266	19440	28,2	25520
22.12.1993								
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994	268	545	3,71	n.n.	2200	15863	71,4	18951
27.01.1994								
07.02.1994								
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994								
11.03.1994	290	396	4,69	n.n.	6421	13300	115	20527
17.03.1994								
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994	309	471	6,02	n.n.	6040	10540	116	17482
12.04.1994								
21.04.1994								
17.05.1994	271	82	0,28	n.n.	5163	21663	245	27424
30.05.1994								

Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	RB 5 Dichlormethan [µg/l]	RB 5 cis-1,2-DCE [µg/l]	RB 5 Trichlormethan [µg/l]	RB 5 1,2-Dichlorethan [µg/l]	RB 5 1,1,1-Trichlorethan [µg/l]	RB 5 Trichlorethen [µg/l]	RB 5 Tetrachlorethen [µg/l]	RB 5 Summe CKW [µg/l]
13.09.1993	126	n.n.	0,112	n.n.	269	189	67,4	737
29.09.1993								
22.10.1993	92,4	n.n.	0,0805	n.n.	218	201	58,3	570
01.11.1993								
08.11.1993								
11.11.1993								
18.11.1993	34,4	n.n.	0,162	n.n.	52,8	120	2,06	209
24.11.1993								
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993								
22.12.1993	13,6	n.n.	n.n.	n.n.	32,3	72,4	0,653	119
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994								
27.01.1994	35,2	n.n.	0,092	n.n.	30,1	96,9	1,27	164
07.02.1994								
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994								
11.03.1994	13,9	n.n.	n.n.	n.n.	14,9	93,1	5,83	128
17.03.1994								
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994	4,28	n.n.	n.n.	n.n.	17,4	123	6,48	151
12.04.1994								
21.04.1994								
17.05.1994	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	7,82	239	0,488	247
30.05.1994								

Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	RB 6 Dichlormethan [µg/l]	RB 6 cis-1,2-DCE [µg/l]	RB 6 Trichlormethan [µg/l]	RB 6 1,2-Dichlorethen [µg/l]	RB 6 1,1,1-Trichlorethen [µg/l]	RB 6 Trichlorethen [µg/l]	RB 6 Tetrachlorethen [µg/l]	RB 6 Summe C:KW [µg/l]
13.09.1993	36,8	n.n.	n.n.	n.n.	64,7	89,1	73	354
29.09.1993								
22.10.1993	33,1	n.n.	0,0888	n.n.	36,4	64,9	56,4	191
01.11.1993								
08.11.1993								
11.11.1993								
18.11.1993	101	8,9	0,353	n.n.	174	330	44	658
24.11.1993								
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993	72,7	24,5	n.n.	n.n.	74,6	214	12,5	398
22.12.1993								
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994								
27.01.1994	27,3	n.n.	n.n.	n.n.	38,7	87,2	12,4	166
07.02.1994								
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994								
11.03.1994	3,51	n.n.	n.n.	n.n.	23,9	50,5	8,83	86,7
17.03.1994								
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994								
12.04.1994	9,87	n.n.	n.n.	n.n.	14,9	68,3	3,34	96,4
21.04.1994								
17.05.1994								
30.05.1994	11,5	n.n.	n.n.	n.n.	17,2	106	2,88	138

Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	RB 7 Dichlormethan [µg/l]	RB 7 cis-1,2-DCE [µg/l]	RB 7 Trichlormethan [µg/l]	RB 7 1,2-Dichlorethan [µg/l]	RB 7 1,1,1-Trichlorethan [µg/l]	RB 7 Trichlorethen [µg/l]	RB 7 Tetrachlorethen [µg/l]	RB 7 Summe CKW [µg/l]
13.09.1993								
29.09.1993	9,45	28,5	0,13	n.n.	76,4	62,9	38,9	216
22.10.1993	104	n.n.	1,05	n.n.	86,9	81,6	50,8	324
01.11.1993								
08.11.1993								
11.11.1993								
18.11.1993	60,2	n.n.	n.n.	n.n.	75	161	18,4	315
24.11.1993								
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993								
22.12.1993	27,6	n.n.	n.n.	n.n.	79,2	117	31,4	255
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994								
27.01.1994								
07.02.1994	24,8	3,36	0,079	n.n.	80,3	97,4	27	233
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994								
11.03.1994								
17.03.1994	20,7	n.n.	n.n.	n.n.	29,5	50,6	7,92	109
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994								
12.04.1994	13,4	n.n.	n.n.	n.n.	21,1	69,7	3,44	108
21.04.1994								
17.05.1994								
30.05.1994	8,28	n.n.	n.n.	n.n.	25,2	85,1	0,725	119

Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	RB 7A Dichlormethan [µg/l]	RB 7A cis-1,2-DCE [µg/l]	RB 7A Trichlormethan [µg/l]	RB 7A 1,2-Dichlorethan [µg/l]	RB 7A 1,1,1-Trichlorethan [µg/l]	RB 7A Trichlorethen [µg/l]	RB 7A Tetrachlorethen [µg/l]	RB 7A Summe CKW [µg/l]
13.09.1993								
29.09.1993	109	23,6	0,567	n.n.	733	1095	54,3	2015
22.10.1993	329	15,5	0,467	n.n.	421	753	42,3	1561
01.11.1993								
08.11.1993								
11.11.1993								
18.11.1993	80,2	n.n.	0,0954	n.n.	82,8	261	6,21	430
24.11.1993								
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993								
22.12.1993	48,6	n.n.	n.n.	n.n.	118	147	2,72	316
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994								
27.01.1994								
07.02.1994	34	3,78	n.n.	n.n.	106	193	13,5	350
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994								
11.03.1994								
17.03.1994	11,5	n.n.	n.n.	n.n.	9,47	22,9	5,67	49,5
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994								
12.04.1994	10,9	n.n.	n.n.	n.n.	13	27,4	1,19	52,5
21.04.1994								
17.05.1994								
30.05.1994	2,89	n.n.	n.n.	n.n.	5,62	30,8	0,362	39,7

Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	RB 8 Dichlormethan [µg/l]	RB 8 cis-1,2-DCE [µg/l]	RB 8 Trichlormethan [µg/l]	RB 8 1,2-Dichllorethan [µg/l]	RB 8 1,1,1-Trichlourethan [µg/l]	RB 8 Trichlorethen [µg/l]	RB 8 Tetrachlorethen [µg/l]	RB 8 Summe CKW [µg/l]
13.09.1993								
29.09.1993	20,3	45,1	0,0458	n.n.	109	70	33,9	278
22.10.1993	170	9,89	0,227	n.n.	151	221	26,3	578
01.11.1993								
08.11.1993								
11.11.1993								
18.11.1993	25,3	n.n.	n.n.	n.n.	15,4	41,6	11,9	94,3
24.11.1993								
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993								
22.12.1993	41,8	9,37	0,0376	n.n.	39	65,4	5,21	161
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994								
27.01.1994								
07.02.1994	33,5	n.n.	n.n.	n.n.	19,7	38	14,8	106
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994								
11.03.1994								
17.03.1994	31,4	n.n.	n.n.	n.n.	25,1	39,6	5,81	102
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994								
12.04.1994	30,2	n.n.	n.n.	n.n.	24,9	55,5	1,04	112
21.04.1994								
17.05.1994								
30.05.1994	15,9	n.n.	n.n.	n.n.	13,2	62,4	0,55	92,1

Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	RB 8A Dichlormethan [µg/l]	RB 8A cis-1,2-DCE [µg/l]	RB 8A Trichlormethan [µg/l]	RB 8A 1,2-Dichlorethan [µg/l]	RB 8A 1,1,1-Trichlorethan [µg/l]	RB 8A Trichlorethen [µg/l]	RB 8A Tetrachlorethen [µg/l]	RB 8A Summe CKW [µg/l]
13.09.1993								
29.09.1993	93,2	35,7	0,298	n.n.	480	435	37,5	1082
22.10.1993	137	3,2	0,137	n.n.	99,6	155	27,3	422
01.11.1993								
08.11.1993								
11.11.1993								
18.11.1993	7,74	n.n.	n.n.	n.n.	7,5	31,5	1,05	47,8
24.11.1993								
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993								
22.12.1993	25,5	n.n.	n.n.	n.n.	20,4	38,6	0,892	85,4
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994								
27.01.1994	15,4	n.n.	n.n.	n.n.	16,4	38,2	1,06	71,1
07.02.1994								
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994								
11.03.1994	12,7	n.n.	n.n.	n.n.	13,2	29,7	10,4	66
17.03.1994								
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994								
12.04.1994	11,8	n.n.	n.n.	n.n.	12,2	22,2	1,04	47,2
21.04.1994								
17.05.1994								
30.05.1994	7,17	n.n.	n.n.	n.n.	4,09	45,9	0,325	57,5

Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Anlage 5/12

Meßstelle	RB 9 Dichlormethan [µg/l]	RB 9 cis-1,2-DCE [µg/l]	RB 9 Trichlormethan [µg/l]	RB 9 1,2-Dichlorethan [µg/l]	RB 9 1,1,1-Trichlorethan [µg/l]	RB 9 Trichlorethen [µg/l]	RB 9 Tetrachlorethen [µg/l]	RB 9 Summe CKW [µg/l]
13.09.1993								
29.09.1993	12,6	n.n.	0,101	n.n.	60,1	121	15,3	209
22.10.1993	47,7	n.n.	0,141	n.n.	42,9	118	9,47	218
01.11.1993								
08.11.1993								
11.11.1993								
18.11.1993	62,7	n.n.	0,446	n.n.	60	197	12,4	333
24.11.1993								
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993	115	n.n.	0,242	n.n.	91,2	234	14,1	456
22.12.1993								
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994								
27.01.1994	29,5	n.n.	0,0533	n.n.	56,1	157	8,67	251
07.02.1994								
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994								
11.03.1994	11,6	n.n.	0,173	n.n.	79,1	103	18,5	212
17.03.1994								
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994	66	n.n.	0,144	n.n.	114	212	10	402
12.04.1994								
21.04.1994								
17.05.1994								
30.05.1994	42,6	n.n.	0,169	n.n.	101	259	11,5	414

Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	B 2 Dichlormethan [µg/l]	B 2 cis-1,2-DCE [µg/l]	B 2 Trichlormethan [µg/l]	B 2 1,2-Dichlorethan [µg/l]	B 2 1,1,1-Trichlorethan [µg/l]	B 2 Trichlorethen [µg/l]	B 2 Tetrachlorethen [µg/l]	B 2 Summe CKW [µg/l]
13.09.1993	192	n.n.	0,236	127	109	221	61	794
29.09.1993	130	n.n.	0,175	n.n.	144	129	49,9	453
01.11.1993								
08.11.1993								
11.11.1993								
18.11.1993	79,1	n.n.	0,24	n.n.	125	171	41	416
24.11.1993								
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993								
22.12.1993	189	n.n.	0,112	n.n.	218	288	34,4	730
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994								
27.01.1994	70,1	n.n.	0,305	n.n.	132	120	38,4	361
07.02.1994								
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994								
11.03.1994	150	n.n.	0,593	n.n.	365	448	26,8	990
17.03.1994								
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994	121	11,2	0,362	n.n.	592	857	10,8	1592
12.04.1994								
21.04.1994								
17.05.1994	9,84	23,5	n.n.	n.n.	35,1	62,5	5,55	136
30.05.1994								

Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	B 3 Dichlormethan [µg/l]	B 3 cis-1,2-DCE [µg/l]	B 3 Trichlormethan [µg/l]	B 3 1,2-Dichlorethan [µg/l]	B 3 1,1,1-Trichlorethan [µg/l]	B 3 Trichlorethen [µg/l]	B 3 Tetrachlorethen [µg/l]	B 3 Summe CKW [µg/l]
13.09.1993	703	232	3,7	17,6	1392	9711	39,7	12197
29.09.1993								
22.10.1993	359	145	2,7	n.n.	1230	4280	23,1	6040
01.11.1993								
08.11.1993								
11.11.1993								
18.11.1993								
24.11.1993	225	84,3	1,58	n.n.	619	3330	18,7	4279
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993								
22.12.1993	385	105	0,913	n.n.	1039	2090	34,2	3654
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994	239	15,7	0,63	n.n.	418	1389	48,3	2111
27.01.1994								
07.02.1994								
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994								
11.03.1994	155	13,1	0,293	n.n.	548	845	56,4	1618
17.03.1994								
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994	226	17,4	0,836	n.n.	813	1112	53,7	2223
12.04.1994								
21.04.1994								
17.05.1994	272	31,9	1,11	n.n.	1090	2650	43,3	4088
30.05.1994								

Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	B 4 Dichlormethan [µg/l]	B 4 cis-1,2-DCE [µg/l]	B 4 Trichlormethan [µg/l]	B 4 1,2-Dichlorethan [µg/l]	B 4 1,1,1-Trichlorethan [µg/l]	B 4 Trichlorethen [µg/l]	B 4 Tetrachlorethen [µg/l]	B 4 Summe CKW [µg/l]
13.09.1993	253	55,6	0,685	81,6	377	6031	26,5	6804
29.09.1993								
22.10.1993	198	107	1,16	n.n.	443	4320	16,8	5086
01.11.1993								
08.11.1993								
11.11.1993								
18.11.1993	241	107	1,14	n.n.	425	6924	16,6	7715
24.11.1993								
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993	245	70	2,06	n.n.	812	6045	13,2	7187
22.12.1993								
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994								
27.01.1994	255	80,6	2,65	n.n.	598	5081	8,58	6026
07.02.1994								
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994	380	209	4,53	n.n.	437	9188	32,7	10251
11.03.1994								
17.03.1994								
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994	766	305	6,23	n.n.	4120	11150	38,9	16386
12.04.1994								
21.04.1994								
17.05.1994								
30.05.1994	534	135	3,23	n.n.	2877	11021	48,2	14618

Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	B 9 Dichlormethan [µg/l]	B 9 cis-1,2-DCE [µg/l]	B 9 Trichlormethan [µg/l]	B 9 1,2-Dichlorethan [µg/l]	B 9 1,1,1-Trichlorethan [µg/l]	B 9 Trichlorethen [µg/l]	B 9 Tetrachlorethen [µg/l]	B 9 Summe CKW [µg/l]
13.09.1993	7,7	n.n.	n.n.	10	1,57	18,2	n.n.	211
29.09.1993	n.n.	n.n.	0,05	n.n.	2,98	9,42	1,03	13,5
22.10.1993	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	8,4	45,7	0,775	66,5
01.11.1993	11,6	n.n.	n.n.	n.n.	11,5	29,4	0,716	50,3
08.11.1993	8,71	n.n.	n.n.	n.n.	18,1	20,5	1,52	48,6
11.11.1993	8,35	n.n.	0,165	n.n.	8,94	8,82	0,624	31,5
18.11.1993	6,56	n.n.	0,19	n.n.	5,12	27,2	0,988	40,1
24.11.1993								
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993								
22.12.1993								
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994								
27.01.1994								
07.02.1994								
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994								
11.03.1994								
17.03.1994								
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994								
12.04.1994								
21.04.1994								
17.05.1994								
30.05.1994								

Tabelle Analysenergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	B 13 Dichlormethan [µg/l]	B 13 cis-1,2-DCE [µg/l]	B 13 Trichlormethan [µg/l]	B 13 1,2-Dichllorethan [µg/l]	B 13 1,1,1-Trichllorethan [µg/l]	B 13 Trichlourethen [µg/l]	B 13 Tetrachlourethen [µg/l]	B 13 Summe CKW [µg/l]
13.09.1993	127/5,12	19,2/n.n.	0,294/0,116	20,1/n.n.	89,2/2,35	733/59,9	6,42/0,671	1007/152
29.09.1993	n.n.	n.n.	0,853	n.n.	1,89	3,65	1,49	7,88
22.10.1993	n.n.	n.n.	0,0756	n.n.	1,35	2,66	0,737	4,82
01.11.1993								
08.11.1993								
11.11.1993								
18.11.1993	4,96	n.n.	0,185	n.n.	3,76	48,5	0,993	58,4
24.11.1993								
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993								
22.12.1993	n.n.	n.n.	0,109	n.n.	2,66	14,5	1,05	18,3
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994								
27.01.1994	4,68	n.n.	n.n.	n.n.	2,23	35,8	0,92	43,6
07.02.1994								
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994								
11.03.1994	n.n.	n.n.	0,127	n.n.	3,5	20,9	1,18	25,7
17.03.1994								
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994								
12.04.1994								
21.04.1994								
17.05.1994	n.n.	n.n.	0,075	n.n.	0,488	5,65	0,216	6,43
30.05.1994								

Tabelle Analysenergebnisse Wasserproben:

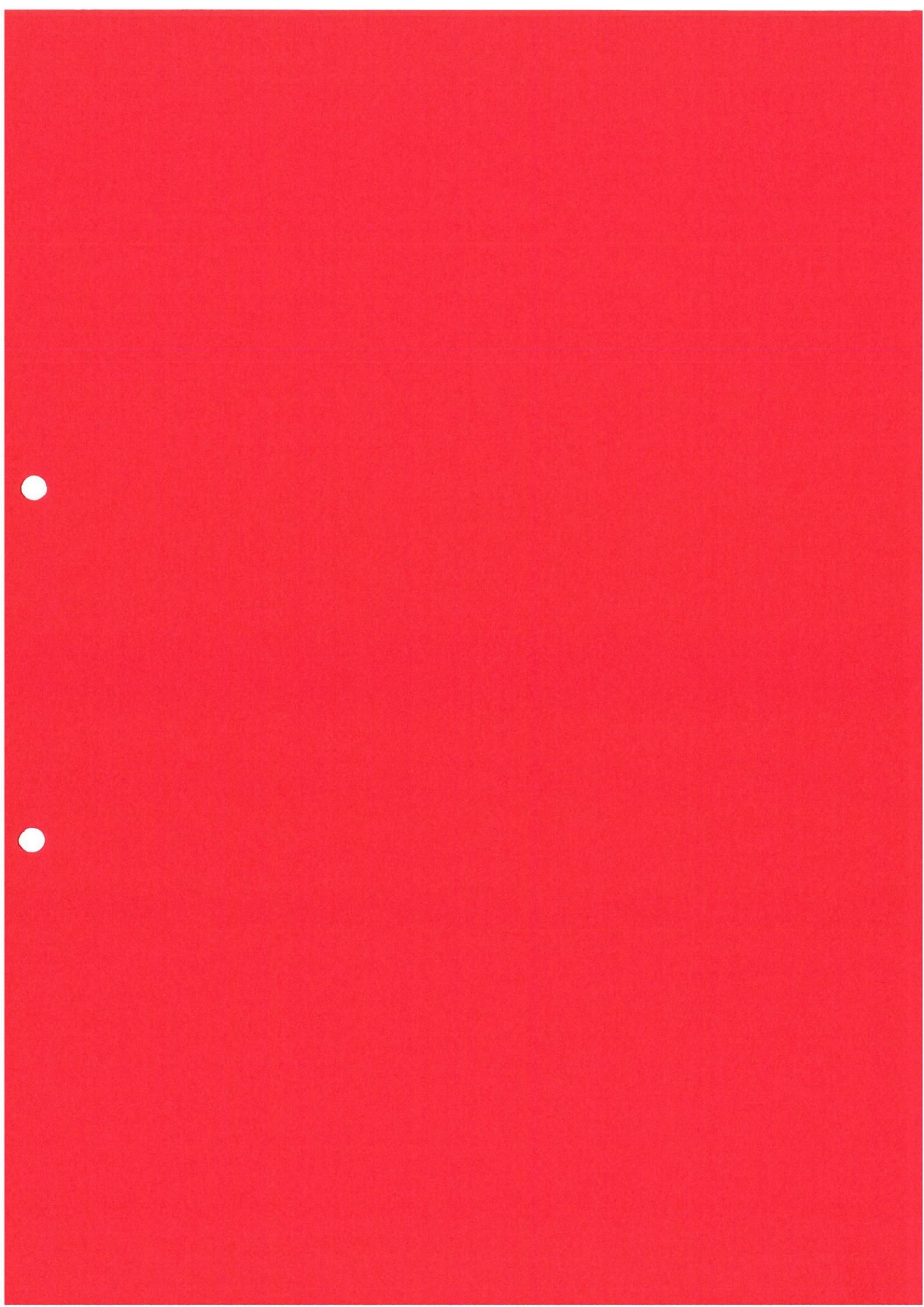
Meßstelle	P 1 Dichlormethan [µg/l]	P 1 cis-1,2-DCE [µg/l]	P 1 Trichlormethan [µg/l]	P 1 1,2-Dichlorethan [µg/l]	P 1 1,1,1-Trichlorethan [µg/l]	P 1 Trichlorethen [µg/l]	P 1 Tetrachlorethen [µg/l]	P 1 Summe CKW [µg/l]
13.09.1993	66	16,1	0,356	n.n.	1,71	278	106	468
29.09.1993								
22.10.1993	42	9	0,43	n.n.	1,8	293	96,5	442
01.11.1993								
08.11.1993								
11.11.1993								
18.11.1993	81	25,7	0,503	n.n.	1,65	328	115	552
24.11.1993								
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993								
22.12.1993	142	8,25	0,541	n.n.	2,81	440	68,6	662
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994								
27.01.1994	42,8	3,32	0,216	n.n.	5,15	270	62,4	384
07.02.1994								
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994								
11.03.1994	58,2	32,5	0,367	n.n.	0,663	109	626	827
17.03.1994								
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994								
12.04.1994								
21.04.1994								
17.05.1994	33,9	n.n.	0,355	n.n.	2,51	139	82,4	258
30.05.1994								

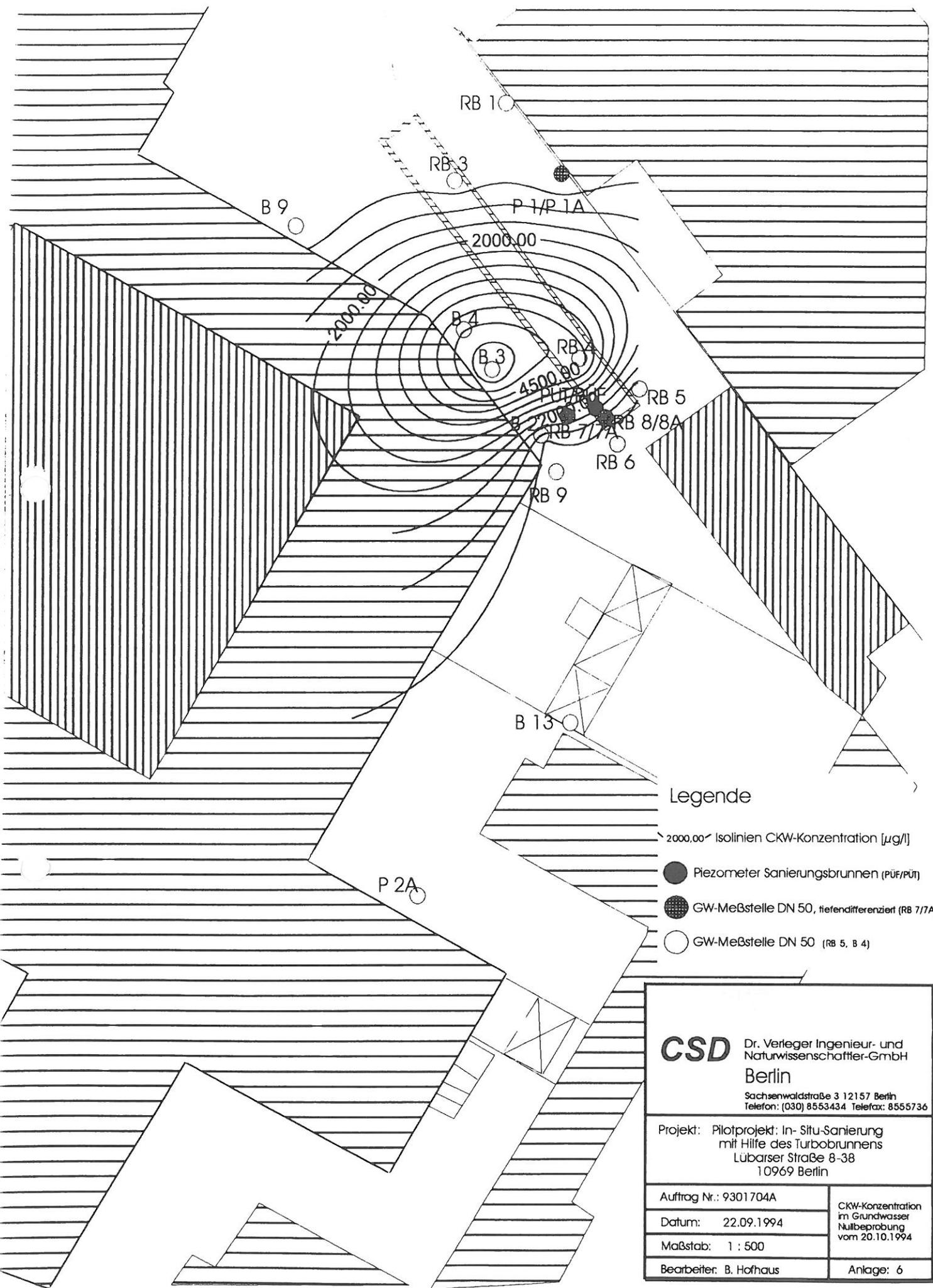
Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	P 1 A Dichlormethan [µg/l]	P 1 A cis-1,2-DCE [µg/l]	P 1 A Trichlormethan [µg/l]	P 1 A 1,2-Dichllorethan [µg/l]	P 1 A 1,1,1-Trichlourethan [µg/l]	P 1 A Trichlourethan [µg/l]	P 1 A Tetrachlourethan [µg/l]	P 1 A Summe CKW [µg/l]
13.09.1993	n.n.	n.n.	0,143	n.n.	1,11	23,4	19,7	44,4
29.09.1993								
22.10.1993	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,68	16,1	9,89	26,7
01.11.1993								
08.11.1993								
11.11.1993								
18.11.1993	n.n.	3,45	0,116	n.n.	0,467	33,5	14,6	52,1
24.11.1993								
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993	4,48	9,44	0,256	n.n.	1,4	32,4	15,6	63,6
22.12.1993								
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994								
27.01.1994	5,18	n.n.	0,395	n.n.	3,96	34,4	19,3	63,2
07.02.1994								
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994								
11.03.1994	n.n.	26,8	0,173	n.n.	1,81	24,7	11,3	64,9
17.03.1994								
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994								
12.04.1994								
21.04.1994								
17.05.1994								
30.05.1994	5,44	n.n.	0,19	n.n.	2,27	34,2	13,7	55,8

Tabelle Analyseergebnisse Wasserproben:

Meßstelle	P 2A Dichlormethan [µg/l]	P 2A cis-1,2-DCE [µg/l]	P 2A Trichlormethan [µg/l]	P 2A 1,2-Dichllorethan [µg/l]	P 2A 1,1,1-Trichlorethan [µg/l]	P 2A Trichlorethen [µg/l]	P 2A Tetrachlorethen [µg/l]	P 2A Summe CKW [µg/l]
13.09.1993	17,8	n.n.	0,339	n.n.	4,5	19,8	1,18	43,6
29.09.1993								
22.10.1993	11,8	n.n.	0,589	n.n.	7,03	5,58	1,11	25,9
01.11.1993								
08.11.1993								
11.11.1993								
18.11.1993	7,77	n.n.	0,309	n.n.	9,13	238	0,551	256
24.11.1993								
06.12.1993								
09.12.1993								
15.12.1993								
22.12.1993	34,5	n.n.	n.n.	n.n.	23,8	101	1,03	160
28.12.1993								
10.01.1994								
13.01.1994								
20.01.1994								
27.01.1994								
07.02.1994	6,55	n.n.	0,106	n.n.	10,4	13,8	1,17	32
10.02.1994								
18.02.1994								
28.02.1994								
02.03.1994								
11.03.1994								
17.03.1994	9,75	n.n.	0,219	n.n.	6,83	5,58	1,42	23,8
25.03.1994								
05.04.1994								
07.04.1994								
12.04.1994								
21.04.1994								
17.05.1994								
30.05.1994	5,26	n.n.	0,352	n.n.	8,91	7,59	0,835	22,9

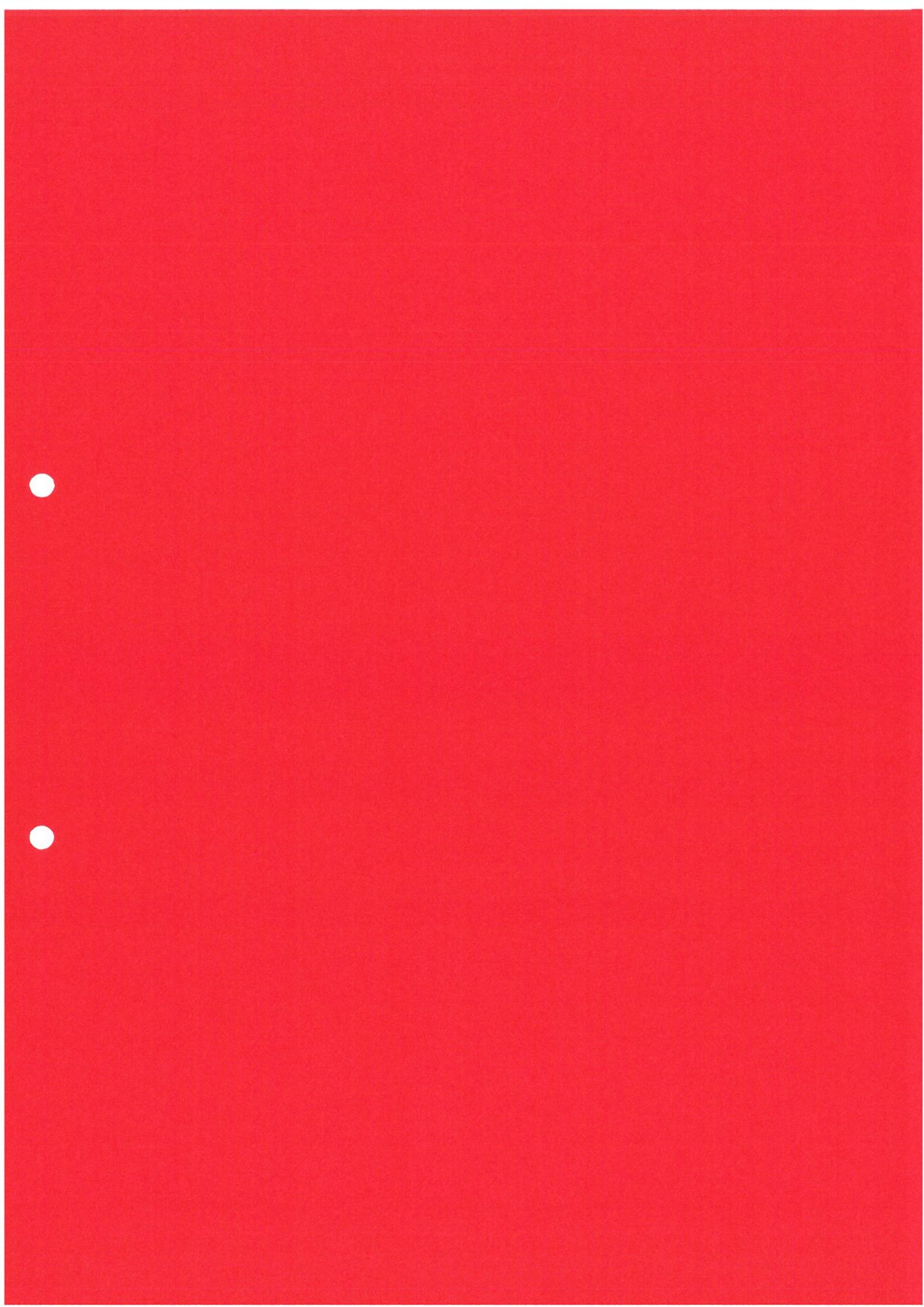


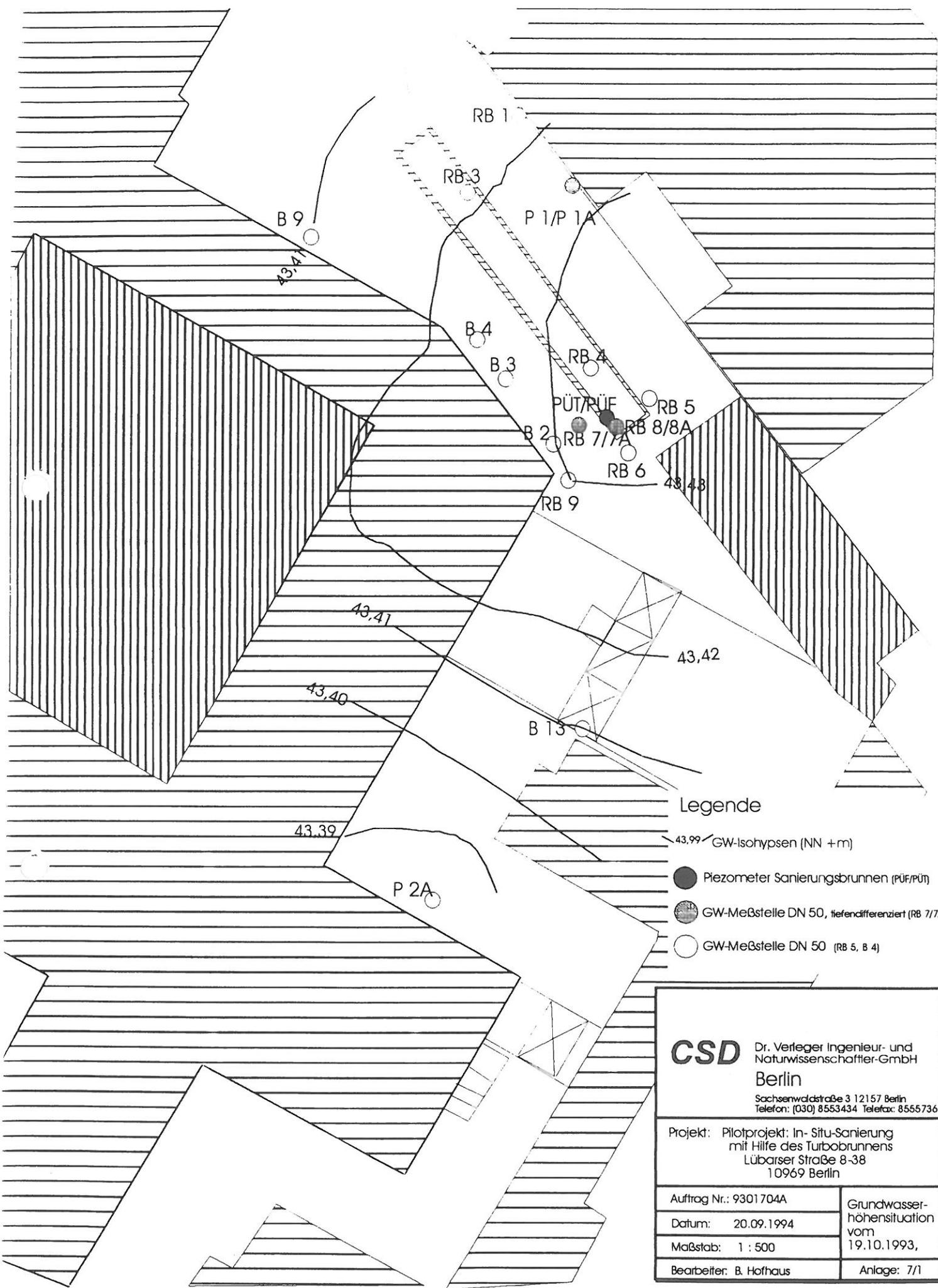


Legende

- ~ 2000.00 Isolinien CKW-Konzentration [$\mu\text{g/l}$]
- Piezometer Sanierungsbrunnen (PÜF/PÜT)
- GW-Meßstelle DN 50, tiefendifferenziert (RB 7/7A)
- GW-Meßstelle DN 50 (RB 5, B 4)

<p>CSD Dr. Verleger Ingenieur- und Naturwissenschaftler-GmbH Berlin Sachsenwaldstraße 3 12157 Berlin Telefon: (030) 8553434 Telefax: 8555736</p>	
<p>Projekt: Pilotprojekt: In- Situ-Sanierung mit Hilfe des Turbobrunnens Lübarser Straße 8-38 10969 Berlin</p>	
Auftrag Nr.: 9301704A	CKW-Konzentration im Grundwasser Nullbepröbung vom 20.10.1994
Datum: 22.09.1994	
Maßstab: 1 : 500	
Bearbeiter: B. Hofhaus	Anlage: 6

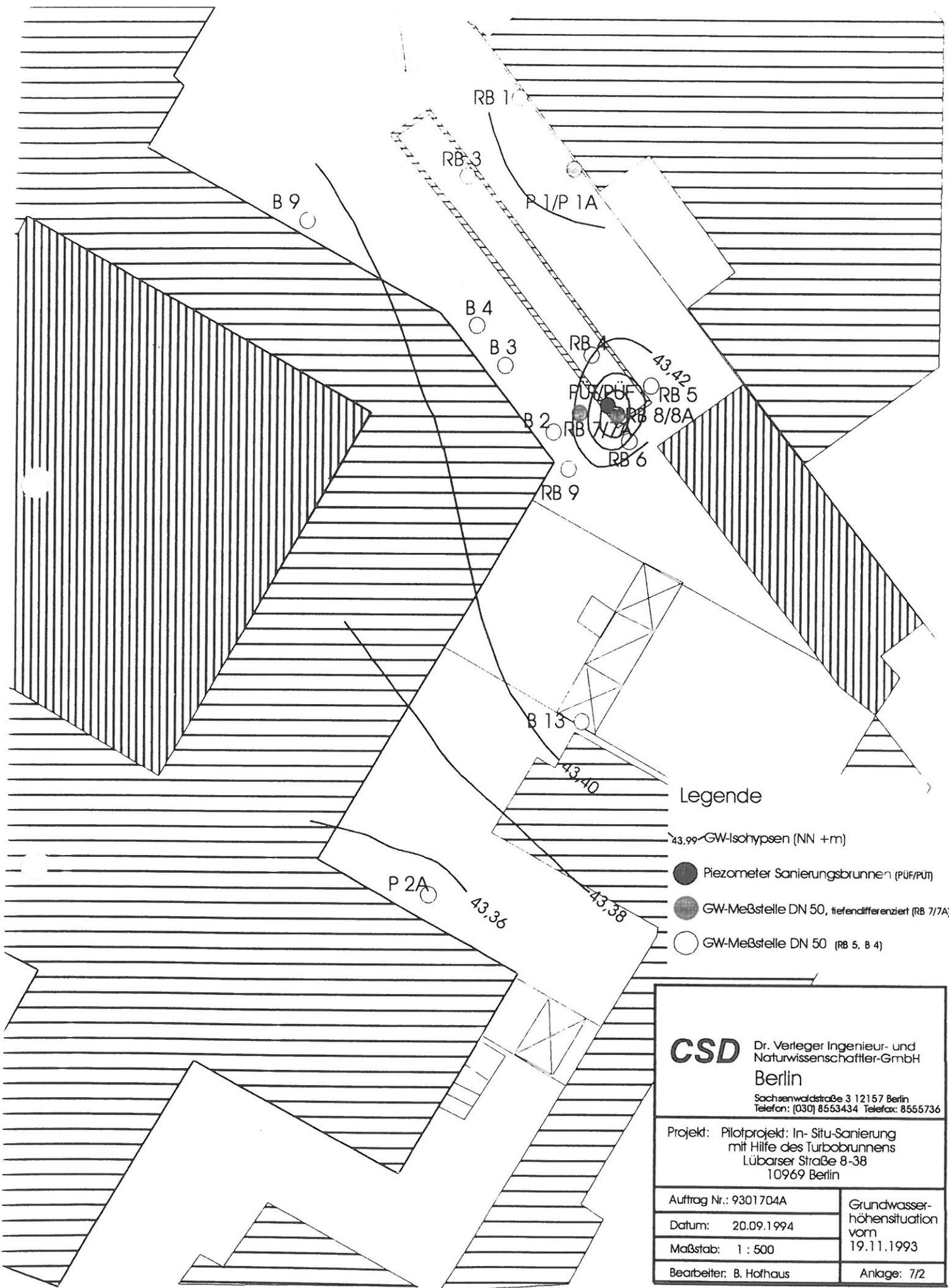




Legende

- 43,99 / GW-Isohypsen (NN +m)
- Piezometer Sanierungsbrunnen (PÜF/PÜT)
- ⊙ GW-Meßstelle DN 50, tiefendifferenziert (RB 7/7A)
- GW-Meßstelle DN 50 (RB 5, B 4)

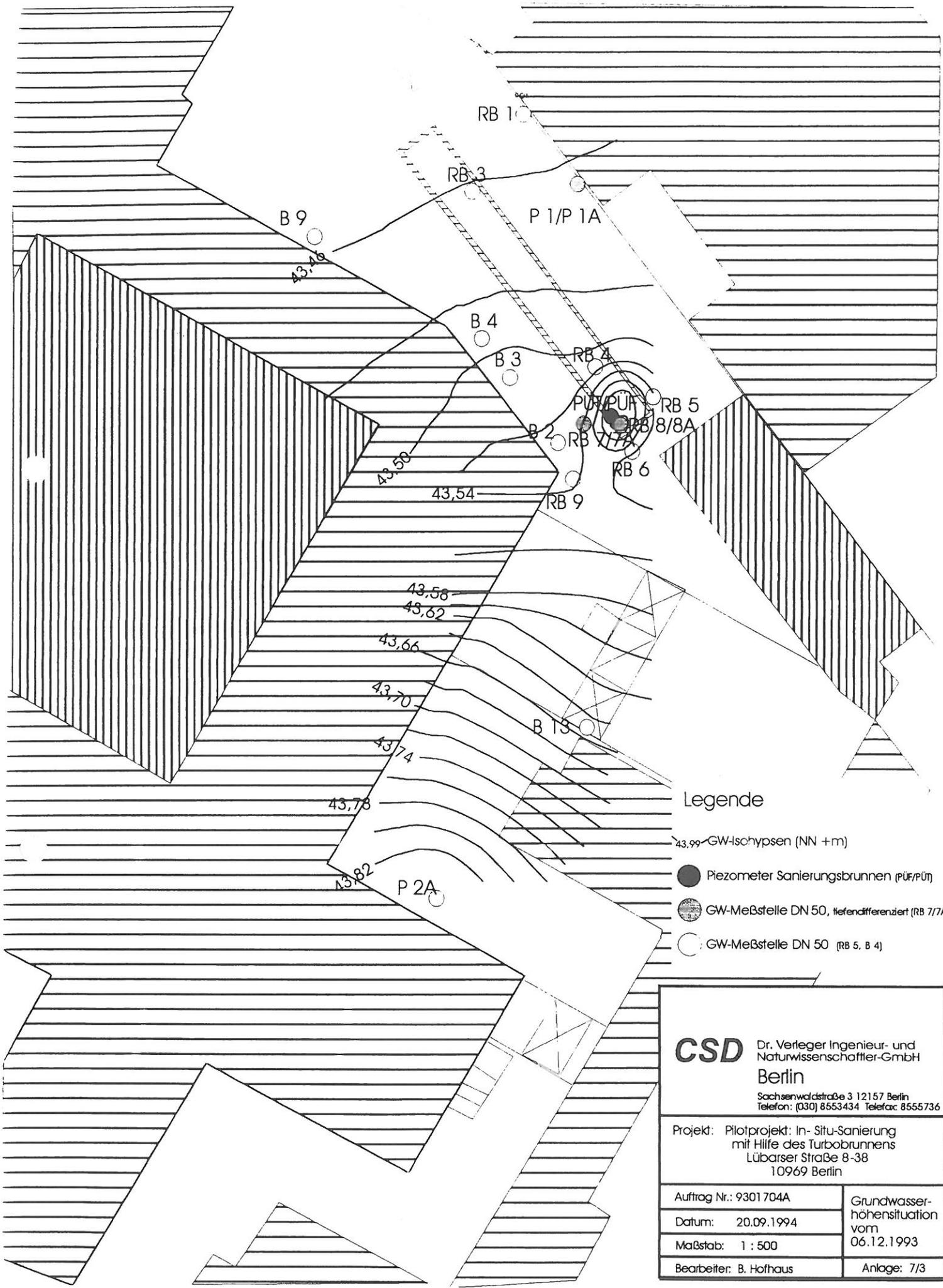
<p>CSD Dr. Verleger Ingenieur- und Naturwissenschaftler-GmbH Berlin Sachsenwaldstraße 3 12157 Berlin Telefon: (030) 8553434 Telefax: 8555736</p>	
<p>Projekt: Pilotprojekt: In-Situ-Sanierung mit Hilfe des Turbobrunnens Lübarser Straße 8-38 10969 Berlin</p>	
Auftrag Nr.: 9301704A	Grundwasserhöhen-situation vom 19.10.1993,
Datum: 20.09.1994	
Maßstab: 1 : 500	Anlage: 7/1
Bearbeiter: B. Hofhaus	



Legende

- 43.99 GW-Isokypsen (NN +m)
- Piezometer Sanierungsbrunnen (PÜF/PÜN)
- GW-Meßstelle DN 50, tiefendifferenziert (RB 7/7A)
- GW-Meßstelle DN 50 (RB 5, B 4)

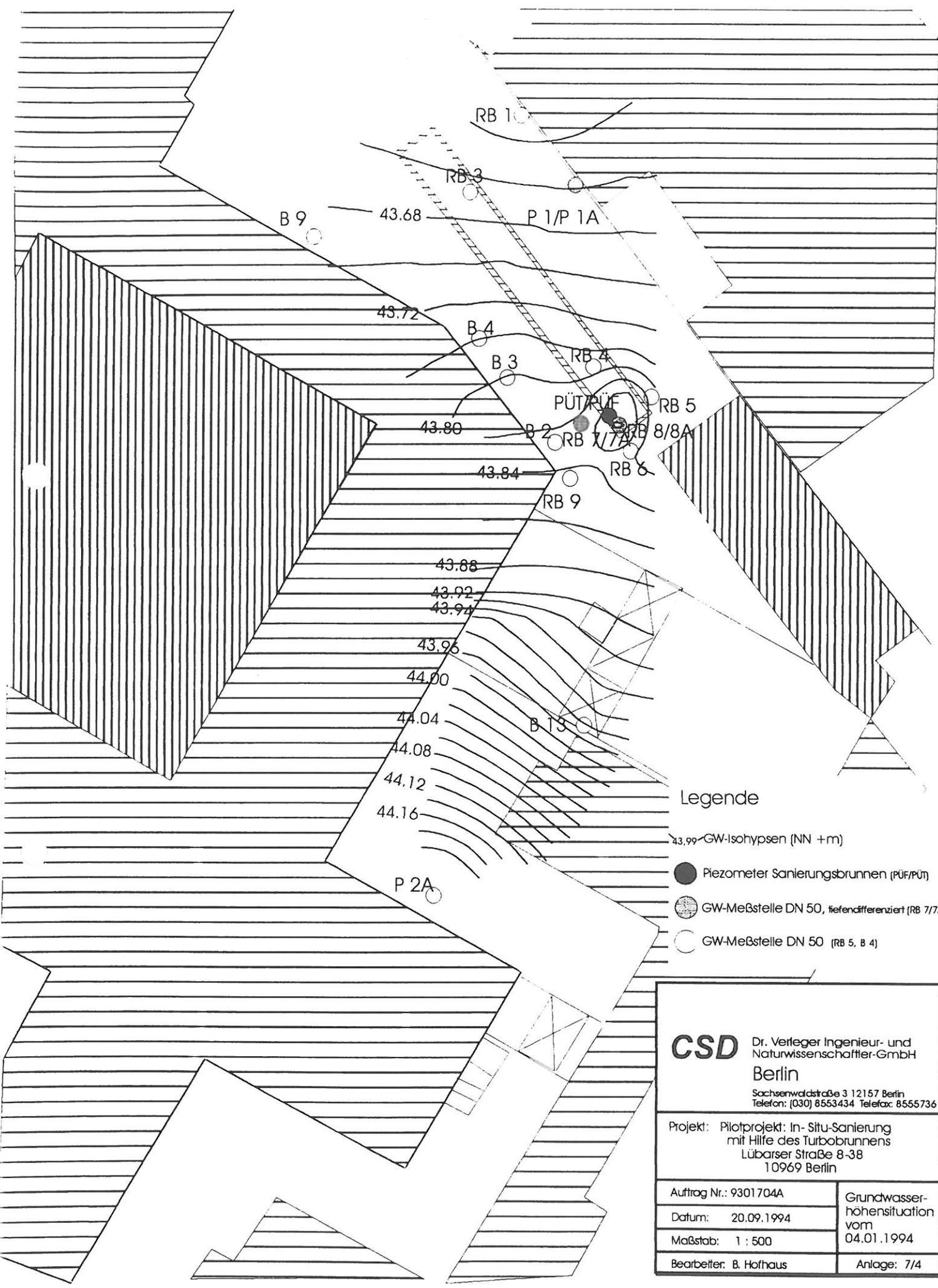
<p>CSD Dr. Verleger Ingenieur- und Naturwissenschaftler-GmbH Berlin Sachsenwaldstraße 3 12157 Berlin Telefon: (030) 8553434 Telefax: 8555736</p>	
<p>Projekt: Pilotprojekt: In-Situ-Sanierung mit Hilfe des Turbobrunnens Lübarser Straße 8-38 10969 Berlin</p>	
Auftrag Nr.: 9301704A	Grundwasser- höhen-situation vom 19.11.1993
Datum: 20.09.1994	
Maßstab: 1 : 500	
Bearbeiter: B. Hofhaus	Anlage: 7/2



Legende

- 43,99 - GW-Ischypsen (NN +m)
- Piezometer Sanierungsbrunnen (PÜF/PÜF)
- ⊙ GW-Meßstelle DN 50, tiefendifferenziert (RB 7/7A)
- GW-Meßstelle DN 50 (RB 5, B 4)

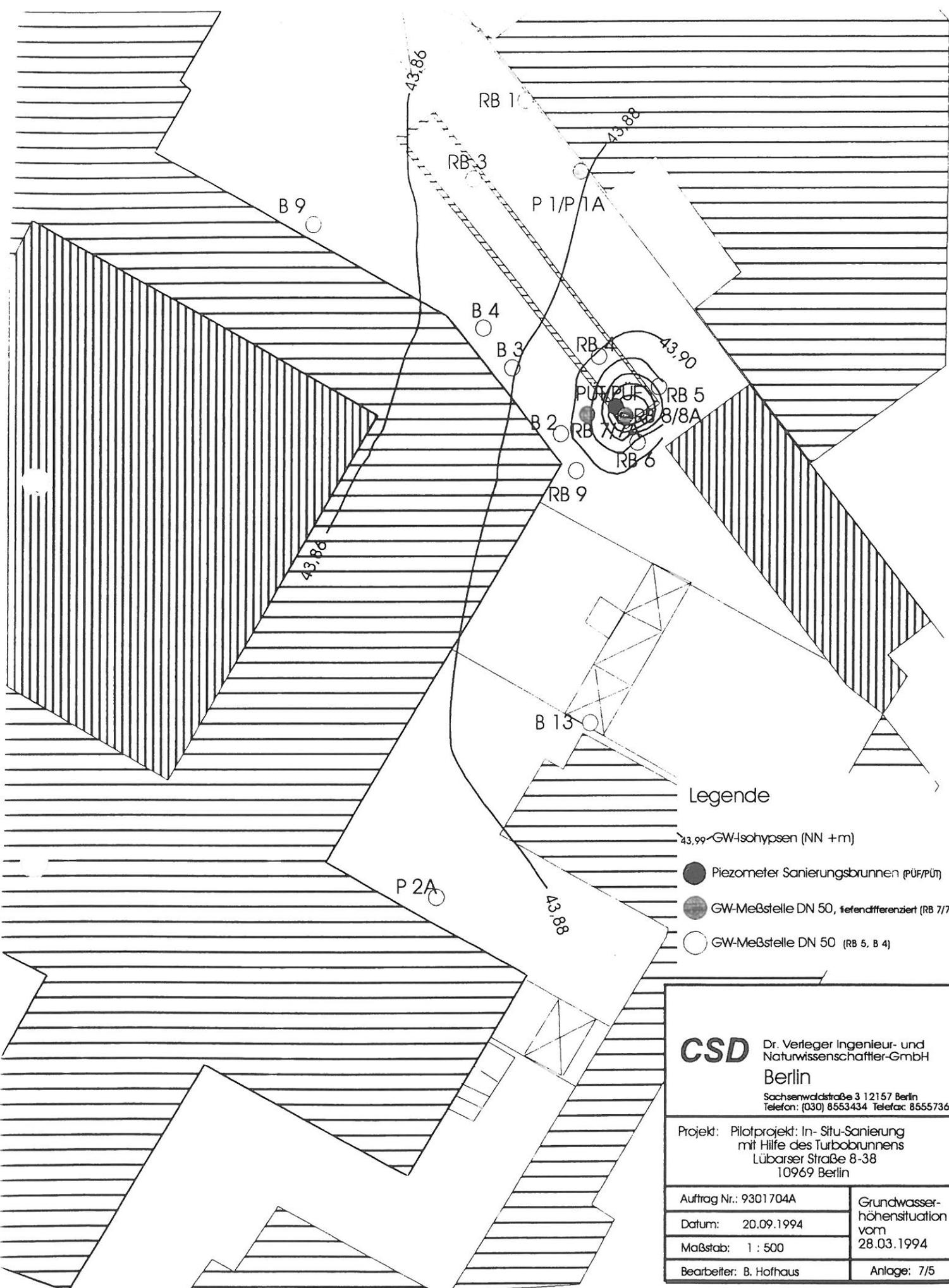
<p>CSD Dr. Verleger Ingenieur- und Naturwissenschaftler-GmbH Berlin Sachsenwaldstraße 3 12157 Berlin Telefon: (030) 8553434 Telefax: 8555736</p>	
<p>Projekt: Pilotprojekt: In-Situ-Sanierung mit Hilfe des Turbobrunnens Lübarser Straße 8-38 10969 Berlin</p>	
Auftrag Nr.: 9301704A	Grundwasserhöhen-situation vom
Datum: 20.09.1994	06.12.1993
Maßstab: 1 : 500	
Bearbeiter: B. Hofhaus	Anlage: 7/3



Legende

- 43.99 - GW-Isophypsen (NN +m)
- Piezometer Sanierungsbrunnen (PÜF/PÜ)
- ⊗ GW-Meßstelle DN 50, tiefendifferenziert (RB 7/7A)
- GW-Meßstelle DN 50 (RB 5, B 4)

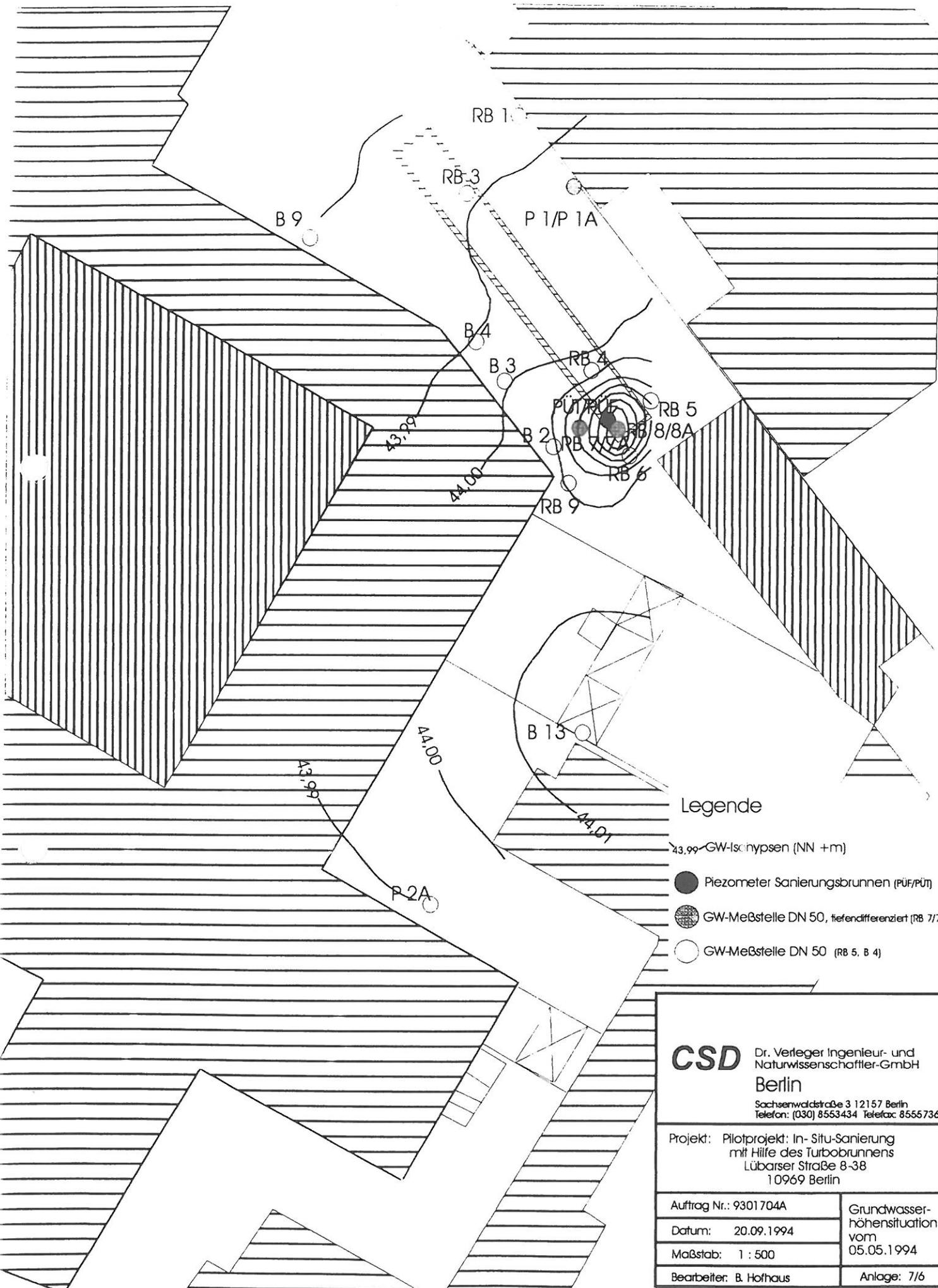
<p>CSD Dr. Verleger Ingenieur- und Naturwissenschaftler-GmbH Berlin Sachsenwaldstraße 3 12157 Berlin Telefon: (030) 8553434 Telefax: 8555736</p>	
<p>Projekt: Pilotprojekt: In-Situ-Sanierung mit Hilfe des Turbobrunnens Lübarser Straße 8-38 10969 Berlin</p>	
Auftrag Nr.: 9301704A	Grundwasserhöhen-situation vom 04.01.1994
Datum: 20.09.1994	
Maßstab: 1 : 500	
Bearbeiter: B. Hofhaus	Anlage: 7/4



Legende

- 43.99 - GW-Isophypsen (NN +m)
- Piezometer Sanierungsbrunnen (PÜF/PÜN)
- GW-Meßstelle DN 50, tiefendifferenziert (RB 7/7A)
- GW-Meßstelle DN 50 (RB 5, B 4)

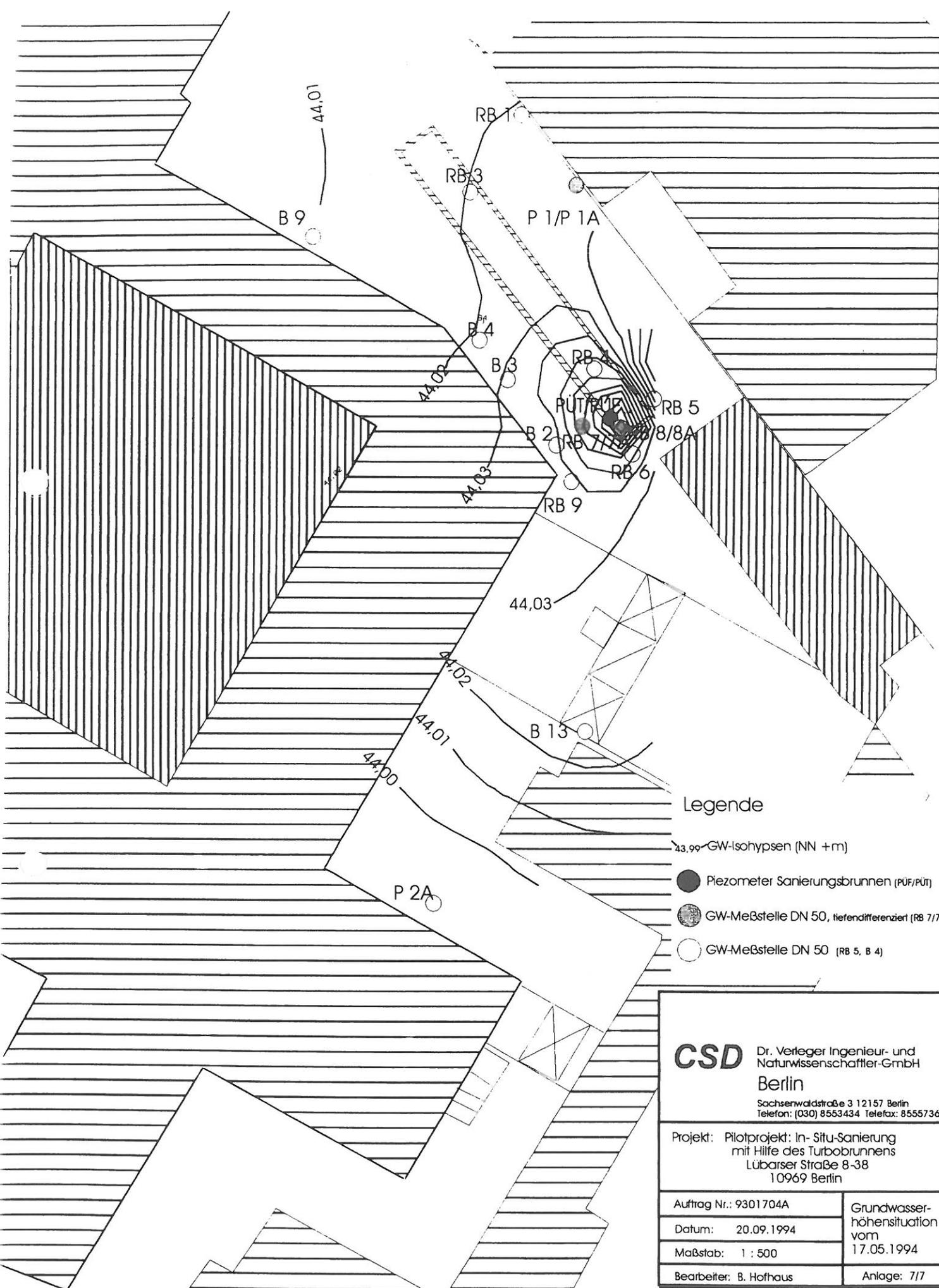
<p>CSD Dr. Verleger Ingenieur- und Naturwissenschaftler-GmbH Berlin Sachsenwaldstraße 3 12157 Berlin Telefon: (030) 8553434 Telefax: 8555736</p>	
<p>Projekt: Pilotprojekt: In-Situ-Sanierung mit Hilfe des Turbobrunnens Lübarser Straße 8-38 10969 Berlin</p>	
<p>Auftrag Nr.: 9301704A</p>	<p>Grundwasser- höhen-situation vom 28.03.1994</p>
<p>Datum: 20.09.1994</p>	
<p>Maßstab: 1 : 500</p>	
<p>Bearbeiter: B. Hofhaus</p>	<p>Anlage: 7/5</p>



Legende

- 43.99 GW-Ischympsen (NN +m)
- Piezometer Sanierungsbrunnen (PÜ/PÜ)
- ⊗ GW-Meßstelle DN 50, tiefendifferenziert (RB 7/7A)
- GW-Meßstelle DN 50 (RB 5, B 4)

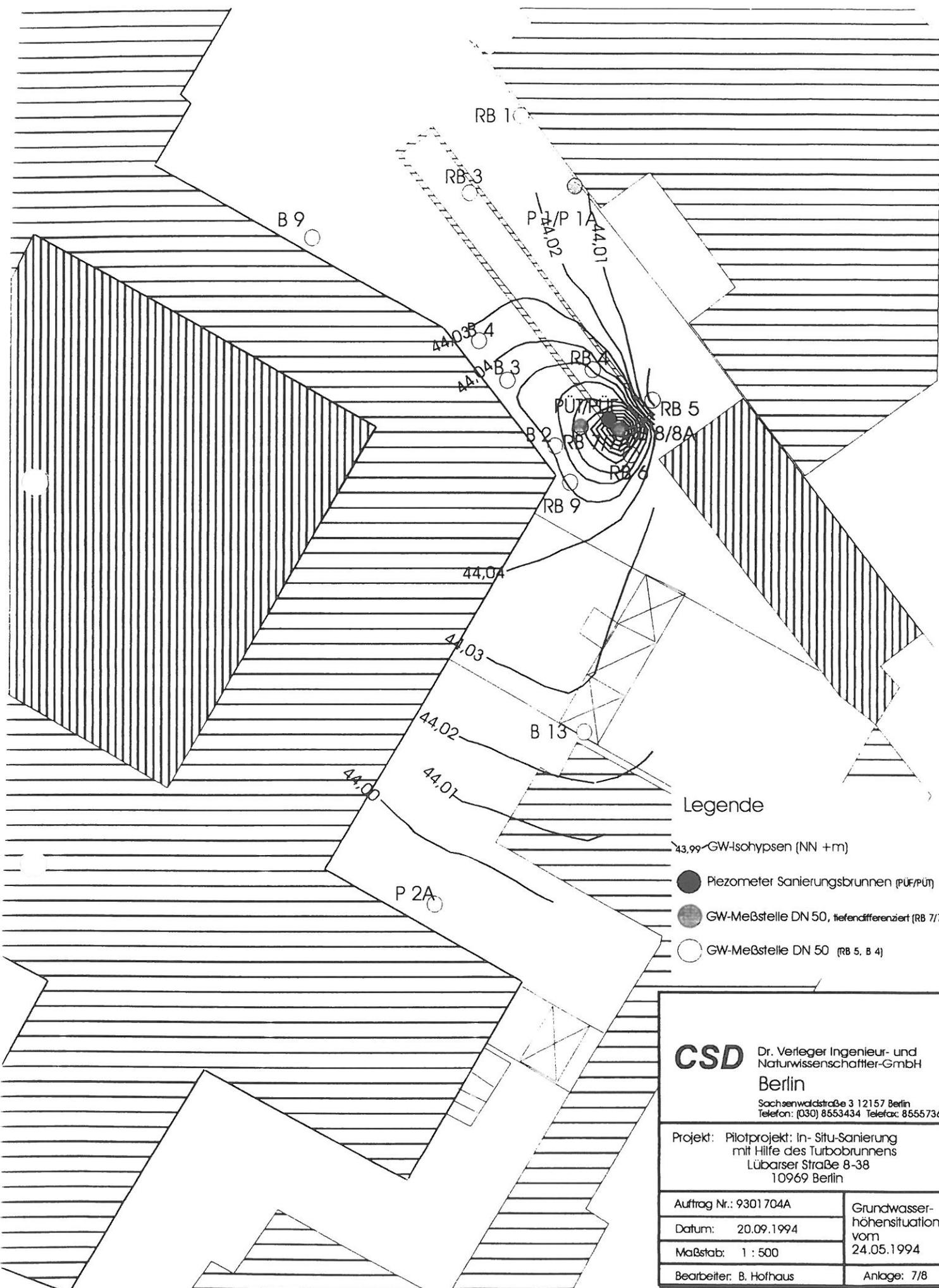
<p>CSD Dr. Verleger Ingenieur- und Naturwissenschaftler-GmbH Berlin Sachsenwaldstraße 3 12157 Berlin Telefon: (030) 8553434 Telefax: 8555736</p>	
<p>Projekt: Pilotprojekt: In-Situ-Sanierung mit Hilfe des Turbobrunnens Lübarser Straße 8-38 10969 Berlin</p>	
Auftrag Nr.: 9301704A	Grundwasser- höhen-situation vom 05.05.1994
Datum: 20.09.1994	
Maßstab: 1 : 500	Anlage: 7/6
Bearbeiter: B. Hofhaus	



Legende

- 43,90-GW-Isophypsen (NN +m)
- Piezometer Sanierungsbrunnen (PÜT/PÜT)
- ⊗ GW-Meßstelle DN 50, tiefendifferenziert (RB 7/7A)
- GW-Meßstelle DN 50 (RB 5, B 4)

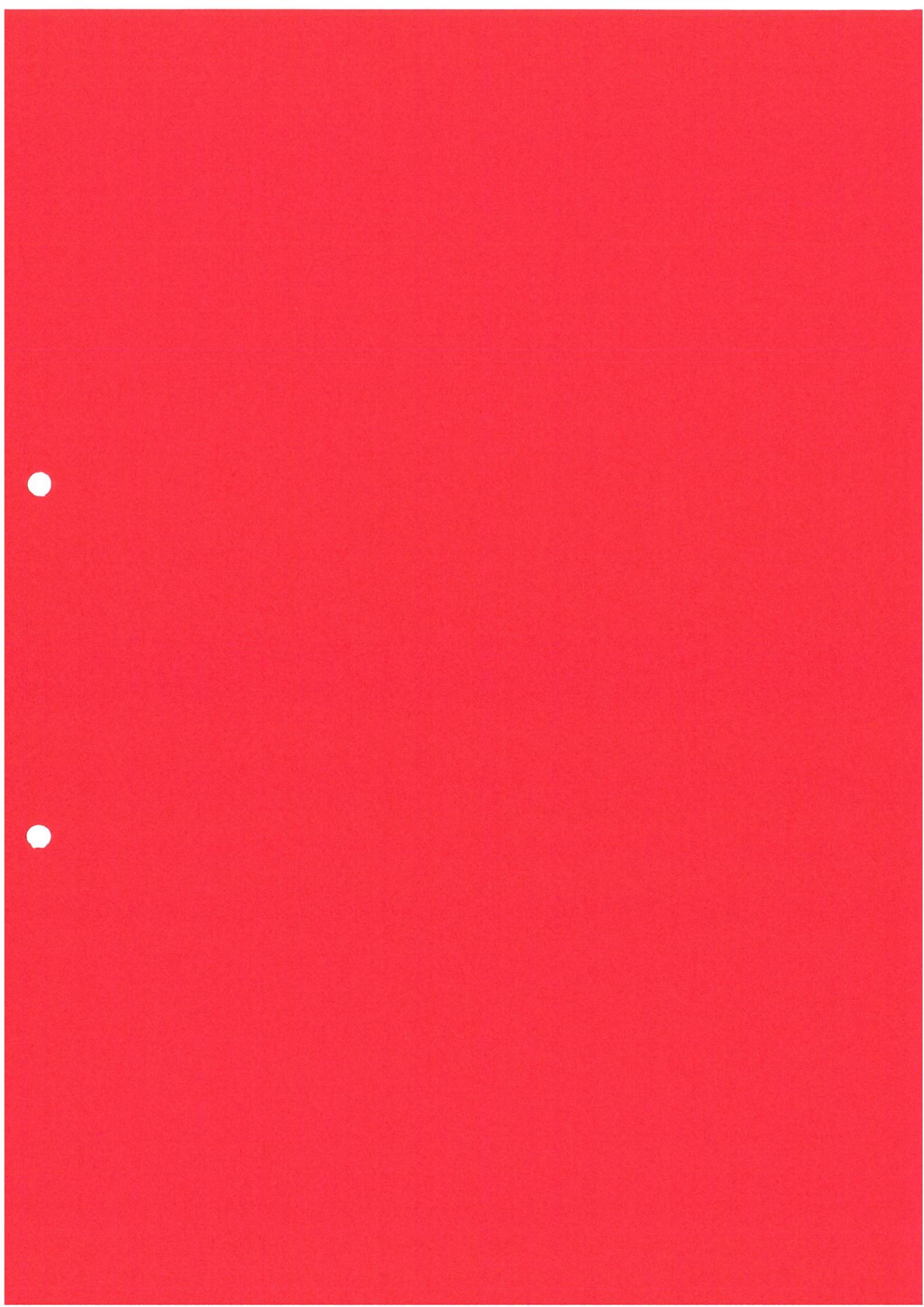
<p>CSD Dr. Verleger Ingenieur- und Naturwissenschaftler-GmbH Berlin Sachsenwaldstraße 3 12157 Berlin Telefon: (030) 8553434 Telefax: 8555736</p>	
<p>Projekt: Pilotprojekt: In-Situ-Sanierung mit Hilfe des Turbobrunnens Lübarser Straße 8-38 10969 Berlin</p>	
Auftrag Nr.: 9301704A	Grundwasserhöhen-situation vom
Datum: 20.09.1994	17.05.1994
Maßstab: 1 : 500	
Bearbeiter: B. Hofhaus	Anlage: 7/7



Legende

- 43,99-GW-Ischypsen (NN +m)
- Piezometer Sanierungsbrunnen (PÜ7/P7A)
- GW-Meßstelle DN 50, tiefendifferenziert (RB 7/7A)
- GW-Meßstelle DN 50 (RB 5, B 4)

<p>CSD Dr. Verleger Ingenieur- und Naturwissenschaftler-GmbH Berlin Sachsenwaldstraße 3 12157 Berlin Telefon: (030) 8553434 Telefax: 8555736</p>	
<p>Projekt: Pilotprojekt: In- Situ-Sanierung mit Hilfe des Turbobrunnens Lübarser Straße 8-38 10969 Berlin</p>	
Auftrag Nr.: 9301704A	Grundwasserhöhen-situation vom
Datum: 20.09.1994	24.05.1994
Maßstab: 1 : 500	
Bearbeiter: B. Hofhaus	Anlage: 7/8



Tracerversuch mit Sulforhodamin B
(alle Meßwerte mit Autozero Originalwasser) (also Nettowerte)
Zugabe der Tracersubstanz : 16.02.94 um 11 Uhr
Tracerversuch:

PUF Datum	Uhrzeit	Stunden	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	11,00	0,00	0,00	0,0	1	0,0
16.02.1994	15,00	4,00	0,17	783,7	40	3655,2
17.02.1994	13,04	26,07	1,09	184,6	40	861,0
18.02.1994	11,44	48,74	2,03	129,2	40	602,6
21.02.1994	13,56	122,94	5,12	167,8	20	391,3
23.02.1994	15,42	172,70	7,20	128,1	20	298,7
25.02.1994	14,28	219,47	9,14	122,7	20	286,1
28.02.1994	12,06	289,01	12,04	106,5	20	248,4
02.03.1994	11,16	336,27	14,01	199,9	10	233,1
04.03.1994	11,49	384,81	16,03	185,8	10	216,6
08.03.1994	11,35	480,58	20,02	159,3	10	185,7
10.03.1994	11,23	528,38	22,02	159,2	10	185,6
15.03.1994	11,05	648,01	27,00	285,0	5	166,2
17.03.1994	11,00	696,00	29,00	269,6	5	157,2
22.03.1994	11,37	816,61	34,03	230,5	5	134,4
24.03.1994	13,00		36	227,6	5	132,7
29.03.1994	13,27		41	256,0	4	119,4
31.03.1994	12,09		43	292,6	4	112,8
05.04.1994	13,09		48	279,8	4	107,8
08.04.1994			51	245,8	4	108,7
12.04.1994	14,05		55	236,8	4	104,8
15.04.1994	12,40		58	218,0	4	96,4
22.04.1994	13,43		65	199,3	4	88,2
28.04.1994	13,53		71	824,1	1	91,1
04.05.1994	14,04		77	814,3	1	90,1
10.05.1994	14,16		83	769,0	1	85,1
18.05.1994	15,57		91	746,9	1	76,0

PUT Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0
16.02.1994	0,2	0,0	1,052	0,0
17.02.1994	1	0,0	1,052	0,0
18.02.1994	2	0,0	1,052	0,0
21.02.1994	5	0,0	1,052	0,0
23.02.1994	7	2,1	1,052	0,3
25.02.1994	9	2,1	1,052	0,3
28.02.1994	12	3,1	1,052	0,4
02.03.1994	14	3,3	1,000	0,4
04.03.1994	16	8,4	1,000	1,0
08.03.1994	20	12,9	1,000	1,5
10.03.1994	22	10,7	1,000	1,2
11.03.1994	23	12,0	1,000	1,4
15.03.1994	27	19,5	1,000	2,3
17.03.1994	29	13,4	1,000	1,6
22.03.1994	34	34,0	1,000	4,0
24.03.1994	36	18,8	1,000	2,2
29.03.1994	41	25,2	1,000	2,9
31.03.1994	43	17,8	1,000	1,7
05.04.1994	48	28,1	1,000	2,7
08.04.1994	51	17,4	1,000	1,9
12.04.1994	55	26,3	1,000	2,9
15.04.1994	58	19,2	1,000	2,1
22.04.1994	65	16,7	1,000	1,8
28.04.1994	71	25,0	1,000	2,8
04.05.1994	77	27,9	1,000	3,1
10.05.1994	83	15,4	1,000	1,7
18.05.1994	91	22,10	1,000	2,2

Anregungswellenlänge: 553 nm
Emissionswellenlänge: 583 nm

HA Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0
04.03.1994	16	178,6	10	208,2
08.03.1994	20	162,5	10	189,5
10.03.1994	22	156,7	10	182,7
15.03.1994	27	273,8	5	159,6
17.03.1994	29	258,1	5	150,5
22.03.1994	34	234,7	5	136,8
24.03.1994	36	226,3	5	131,9

RB 1 Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0
19.05.1994	92	0,0	1,000	0,0

RB 3 Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0
23.02.1994	7	0,0	1,000	0,0
19.05.1994	92	0,0	1,000	0,0

RB 4 Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0
18.02.1994	2	0,0	1,052	0,0
21.02.1994	5	0,0	1,052	0,0
23.02.1994	7	9,6	1,052	1,2
25.02.1994	9	11,0	1,052	1,3
28.02.1994	12	12,3	1,052	1,5
04.03.1994	16	16,4	1,000	1,9
08.03.1994	20	17,9	1,000	2,1
15.03.1994	27	19,1	1,000	2,2
24.03.1994	36	18,0	1,000	2,1
31.03.1994	43	26,7	1,000	2,6
08.04.1994	51	33,2	1,000	3,7
15.04.1994	58	22,3	1,000	2,5
18.04.1994	61	23,9	1,000	2,6
22.04.1994	65	24,1	1,000	2,7
28.04.1994	71	24,9	1,000	2,8
04.05.1994	77	28,5	1,000	3,2
10.05.1994	83	26,6	1,000	2,9
18.05.1994	91	24,2	1,000	2,5

RB 6 Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0
18.02.1994	2	0,0	1,052	0,0
21.02.1994	5	0,0	1,052	0,0
23.02.1994	7	0,0	1,052	0,0
25.02.1994	9	0,0	1,052	0,0
28.02.1994	12	0,0	1,052	0,0
04.03.1994	16	0,0	1,000	0,0
08.03.1994	20	0,0	1,000	0,0
15.03.1994	27	0,0	1,000	0,0
24.03.1994	36	0,0	1,000	0,0
31.03.1994	43	0,0	1,000	0,0
08.04.1994	51	388,3	1,000	42,9
15.04.1994	58	550,3	1,000	60,9
18.04.1994	61	614,2	1,000	67,9
22.04.1994	65	808,0	1,000	89,4
28.04.1994	71	848,3	1,000	93,8
04.05.1994	77	880,3	1,000	97,4
10.05.1994	83	853,9	1,000	94,4
18.05.1994	91	912,9	1,000	92,9

RB 5 Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l	µg	mg
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0	0,0	0,0
18.02.1994	2	0,0	1,052	0,0	0,0	0,0
21.02.1994	5	0,0	1,052	0,0	0,0	0,0
23.02.1994	7	191,9	10	223,8	22375,5	22,4
25.02.1994	9	372,3	10	434,1	43410,2	65,8
28.02.1994	12	397,7	10	463,7	46371,8	112,2
04.03.1994	16	321,2	10	374,5	37451,9	149,6
08.03.1994	20	273,3	10	318,7	31866,8	181,5
10.03.1994	22	263,7	10	307,5	30747,4	212,2
15.03.1994	27	223,3	10	260,4	26036,8	238,3
17.03.1994	29	207,6	10	242,1	24206,2	262,5
22.03.1994	34	170,1	10	198,3	19833,7	282,3
24.03.1994	36	167,2	10	195,0	19495,5	301,8
31.03.1994	43	392,5	4	151,3	15127,0	316,9
08.04.1994	51	326,2	4	144,3	14431,1	331,4
15.04.1994	58	282,0	4	124,8	12475,7	343,8
22.04.1994	65	1059,0	1	117,1	11712,5	355,5
28.04.1994	71	1044,0	1	115,5	11546,6	367,1
04.05.1994	77	1016,0	1	112,4	11237,0	378,3
10.05.1994	83	920,0	1	101,8	10175,2	388,5
18.05.1994	91	985,2	1	100,2	10024,4	398,5

RB 7A Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0
18.02.1994	2	0,0	1,052	0,0
21.02.1994	5	0,0	0,313	0,0
23.02.1994	7	0,0	1,052	0,0
25.02.1994	9	0,0	1,052	0,0
28.02.1994	12	0,0	1,052	0,0
02.03.1994	14	0,0	1,000	0,0
04.03.1994	16	0,0	1,000	0,0
08.03.1994	20	0,0	1,000	0,0
10.03.1994	22	0,0	1,000	0,0
15.03.1994	27	0,0	1,000	0,0
17.03.1994	29	87,7	1,000	10,2
22.03.1994	34	371,3	1,000	43,3
24.03.1994	36	522,4	1,000	60,9
29.03.1994	41	766,8	1,000	89,4
31.03.1994	43	265,8	4	102,4
05.04.1994	48	352,9	4	136,0
08.04.1994	51	342,2	4	151,4
12.04.1994	55	382,9	4	169,4
15.04.1994	58	361,6	4	160,0
22.04.1994	65	344,6	4	152,5
28.04.1994	71	335,3	4	148,3
04.05.1994	77	346,5	4	153,3
10.05.1994	83	324,9	4	143,7
18.05.1994	91	314,8	4	128,1

RB 7 Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0
18.02.1994	2	0,0	1,052	0,0
21.02.1994	5	0,0	1,052	0,0
23.02.1994	7	0,0	1,052	0,0
25.02.1994	9	0,0	1,052	0,0
28.02.1994	12	0,0	1,052	0,0
02.03.1994	14	0,0	1,000	0,0
04.03.1994	16	0,0	1,000	0,0
08.03.1994	20	0,0	1,000	0,0
10.03.1994	22	0,0	1,000	0,0
15.03.1994	27	0,0	1,000	0,0
17.03.1994	29	0,0	1,000	0,0
22.03.1994	34	0,0	1,000	0,0
24.03.1994	36	0,0	1,000	0,0
29.03.1994	41	0,0	1,000	0,0
31.03.1994	43	23,7	1,000	2,3
05.04.1994	48	83,6	1,000	8,1
08.04.1994	51	184,9	1,000	20,4
12.04.1994	55	288,4	1,000	31,9
15.04.1994	58	338,2	1,000	37,4
22.04.1994	65	429,1	1,000	47,5
28.04.1994	71	478,3	1,000	52,9
04.05.1994	77	491,5	1,000	54,4
10.05.1994	83	470,2	1,000	52,0
18.05.1994	91	571,6	1,000	58,2

RB 8A Datum	Uhrzeit	Stunden	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	11,00	0,00	0,00	0,0	1	0,0
16.02.1994	14,41	3,68	0,15	29,0	20	67,6
17.02.1994	12,32	25,53	1,06	729,7	20	1701,7
18.02.1994	11,18	48,30	2,01	352,3	20	821,6
21.02.1994	13,39	122,65	5,11	184,2	20	429,6
23.02.1994	13,40	170,67	7,11	294,0	10	342,8
25.02.1994	12,22	217,37	9,06	267,8	10	312,3
28.02.1994	11,38	288,63	12,03	230,6	10	268,9
02.03.1994	11,08	336,13	14,01	214,7	10	250,3
04.03.1994	14,23	387,38	16,14	188,0	10	219,2
08.03.1994	12,03	481,01	20,04	159,3	10	185,8
10.03.1994	11,55	528,91	22,04	157,8	10	184,0
15.03.1994	11,32	648,53	27,02	287,0	5	167,3
17.03.1994	11,31	696,52	29,02	274,6	5	160,1
22.03.1994	12,43	817,72	34,07	240,7	5	140,3
24.03.1994	15,00		36	231,6	5	135,0
29.03.1994	13,52		41	257,5	4	120,1
31.03.1994	11,33		43	296,0	4	114,1
05.04.1994	11,08		48	284,2	4	109,5
08.04.1994	13,11		51	246,5	4	109,1
12.04.1994	13,57		55	242,7	4	107,4
15.04.1994	12,35		58	224,0	4	99,1
22.04.1994	13,28		65	868,3	1	96,0
28.04.1994	13,39		71	817,0	1	90,4
04.05.1994	13,50		77	814,8	1	90,1
10.05.1994	13,57		83	771,1	1	85,3
18.05.1994	15,35		91	751,3	1	76,4

RB 8 Datum	Uhrzeit	Stunden	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	11,00	0,00	0,00	0,0	1,000	0,0
16.02.1994	14,20	3,33	0,14	0,0	1,052	0,0
17.02.1994	12,18	25,30	1,05	0,0	1,052	0,0
18.02.1994	11,05	48,08	2,00	276,5	2	64,5
21.02.1994	13,25	122,42	5,10	304,6	20	710,3
23.02.1994	13,28	170,47	7,10	413,7	10	482,4
25.02.1994	12,08	217,13	9,05	407,1	10	474,7
28.02.1994	11,58	288,96	12,04	327,4	10	381,7
02.03.1994	10,56	335,93	14,00	271,8	10	316,9
04.03.1994	14,41	387,68	16,15	250,7	10	292,3
08.03.1994	12,23	481,38	20,06	198,6	10	231,6
10.03.1994	11,44	528,73	22,03	189,1	10	220,5
15.03.1994	11,51		27	305,3	5	178,0
17.03.1994	11,46		29	287,5	5	167,6
22.03.1994	13,04		34	272,2	5	158,7
24.03.1994	15,20		36	273,3	5	159,3
29.03.1994	14,13		41	304,4	4	142,0
31.03.1994	11,20		43	361,1	4	139,2
05.04.1994	12,44		48	331,0	4	127,6
08.04.1994	12,59		51	283,8	4	125,6
12.04.1994	13,44		55	261,3	4	115,6
15.04.1994	12,44		58	250,4	4	110,8
22.04.1994	13,15		65	941,8	1	104,2
28.04.1994	13,27		71	924,5	1	102,2
04.05.1994	13,37		77	901,8	1	99,7
10.05.1994	13,40		83	830,1	1	91,8
18.05.1994	15,22		91	850,0	1	86,5

B 2 Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0
21.02.1994	5	0,0	1,052	0,0
23.02.1994	7	0,0	1,052	0,0
25.02.1994	9	0,0	1,052	0,0
04.03.1994	16	0,0	1,000	0,0
10.03.1994	22	0,0	1,000	0,0
24.03.1994	36	0,0	1,000	0,0
08.04.1994	51	38,0	1,000	4,2
15.04.1994	58	7,2	1,000	0,8
18.04.1994	61	3,9	1,000	0,4
22.04.1994	65	3,3	1,000	0,4
28.04.1994	71	0,0	1,000	0,0
04.05.1994	77	0,0	1,000	0,0
10.05.1994	83	3,3	1,000	0,4
18.05.1994	91	0,0	1,000	0,0

RB 9 Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0
23.02.1994	7	0,0	1,000	0,0
25.02.1994	9	0,0	1,000	0,0
04.03.1994	16	0,0	1,000	0,0
10.03.1994	22	0,0	1,000	0,0
24.03.1994	36	0,0	1,000	0,0
08.04.1994	51	0,0	1,000	0,0
15.04.1994	58	0,0	1,000	0,0
18.04.1994	61	0,0	1,000	0,0
22.04.1994	65	0,0	1,000	0,0
28.04.1994	71	0,0	1,000	0,0
04.05.1994	77	0,0	1,000	0,0
10.05.1994	83	0,0	1,000	0,0
18.05.1994	91	0,0	1,000	0,0

B 3 Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0
21.02.1994	5	0,0	1,052	0,0
23.02.1994	7	0,0	1,000	0,0
25.02.1994	9	0,0	1,000	0,0
04.03.1994	16	0,0	1,000	0,0
10.03.1994	22	0,0	1,000	0,0
24.03.1994	36	0,0	1,000	0,0
08.04.1994	51	0,0	1,000	0,0
15.04.1994	58	0,0	1,000	0,0
22.04.1994	65	0,0	1,000	0,0
28.04.1994	71	0,0	1,000	0,0
04.05.1994	77	0,0	1,000	0,0
10.05.1994	83	0,0	1,000	0,0
18.05.1994	91	0,0	1,000	0,0

B 4 Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0
25.02.1994	9	2,1	1,000	0,2
19.05.1994	92	0,0	1,000	0,0

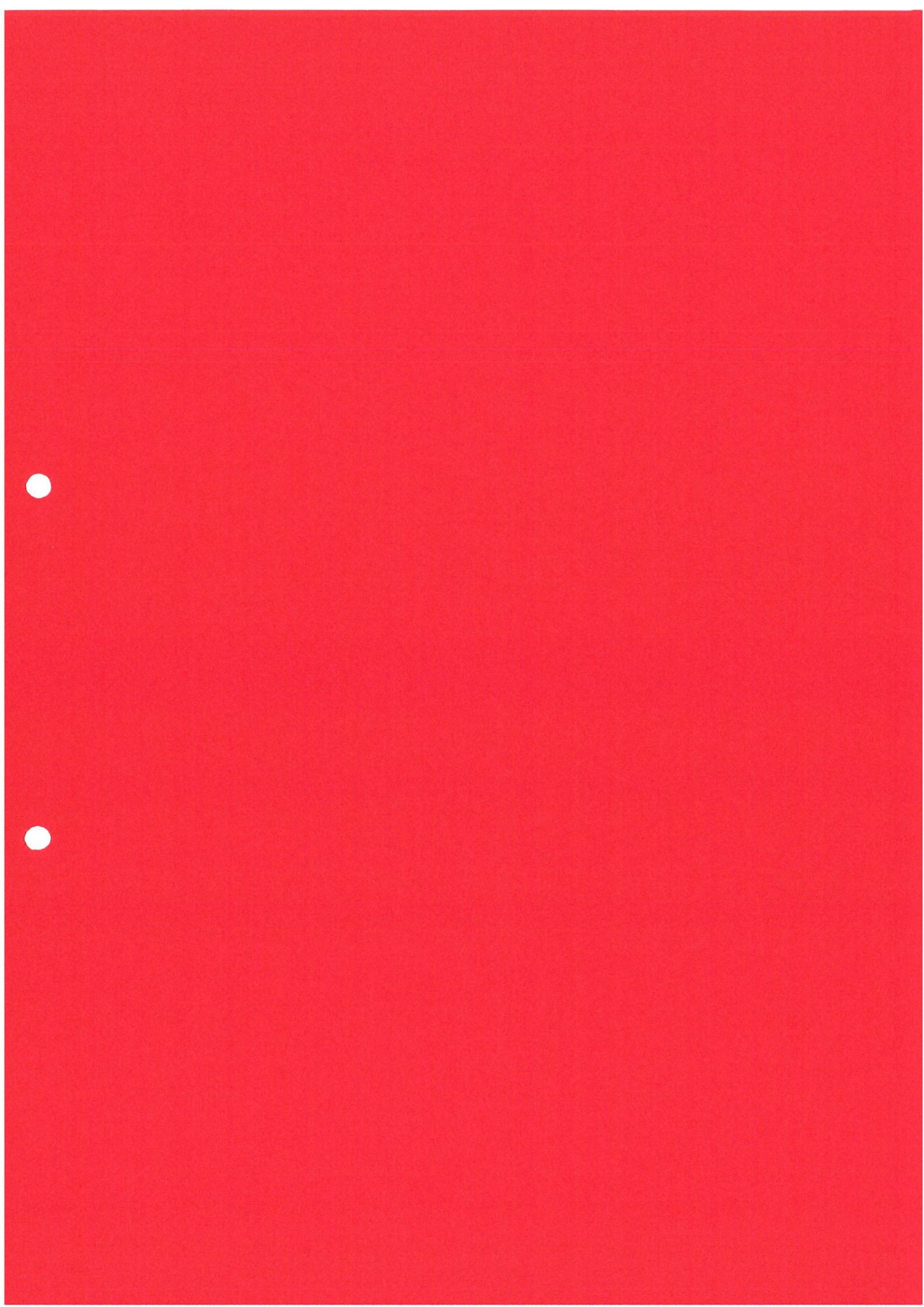
B 9 Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0
21.02.1994	5	0,0	1,052	0,0
19.05.1994	92	0,0	1,000	0,0

B 13 Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0
19.05.1994	92	0,0	1,000	0,0

P 1 Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0
19.05.1994	92	0,0	1,000	0,0

P 1A Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0
19.05.1994	92	0,0	1,000	0,0

P 2A Datum	Tage	Lum	VF	S.Rhod.B µg/l
16.02.1994	0	0,0	1,000	0,0
19.05.1994	92	0,0	1,000	0,0



Analyseergebnisse Prozeßluft

Datum	Luft [m ³ /h]	CKW [mg/m ³]	CKW [g/h]	CKW-Austrag [g]	Summe [g]
19.10.1993	52	245,0	12,75		
20.10.1993	61	175,0	10,68	256,20	256,20
21.10.1993	46	140,0	6,44	154,56	410,76
28.10.1993	42	56,0	2,35	395,14	805,90
29.10.1993	41	11,4	0,47	11,22	817,12
04.11.1993	35	11,4	0,40	57,46	874,58
11.11.1993	42	7,2	0,30	50,80	925,38
18.11.1993	42	7,2	0,30	50,80	976,18
19.11.1993	49	7,3	0,36	8,58	984,76
25.11.1993	59	7,3	0,43	62,02	1046,78
26.11.1993	59	6,7	0,40	9,49	1056,27
30.11.1993	59	6,7	0,40	37,95	1094,22
02.12.1993	60	6,7	0,40	19,30	1113,52
09.12.1993	73	6,7	0,49	82,17	1195,69
16.12.1993	68	0,9	0,06	9,80	1205,49
23.12.1993	72	0,9	0,06	10,38	1215,87
28.12.1993	75	0,9	0,06	7,72	1223,59
04.01.1994	78	0,9	0,07	11,24	1234,83
12.01.1994	72	2,5	0,18	34,15	1268,98
20.01.1994	69	2,5	0,17	32,72	1301,70
26.01.1994	70	2,5	0,17	24,90	1326,60
17.02.1994	75	2,5	0,19	97,81	1424,41
24.02.1994	74	2,5	0,18	30,71	1455,12
03.03.1994	72	2,5	0,18	29,88	1485,00
10.03.1994	75	2,5	0,19	31,12	1516,12
17.03.1994	90	0,5	0,05	7,64	1523,76
28.03.1994	84	0,5	0,04	11,20	1534,96
08.04.1994	80	0,5	0,04	10,67	1545,63
19.04.1994	80	0,5	0,04	10,67	1556,30
26.04.1994	79	0,5	0,04	6,70	1563,00
05.05.1994	58	0,4	0,02	4,51	1567,51
17.05.1994	58	0,4	0,02	6,01	1573,52
24.05.1994	53	0,8	0,04	6,77	1580,29

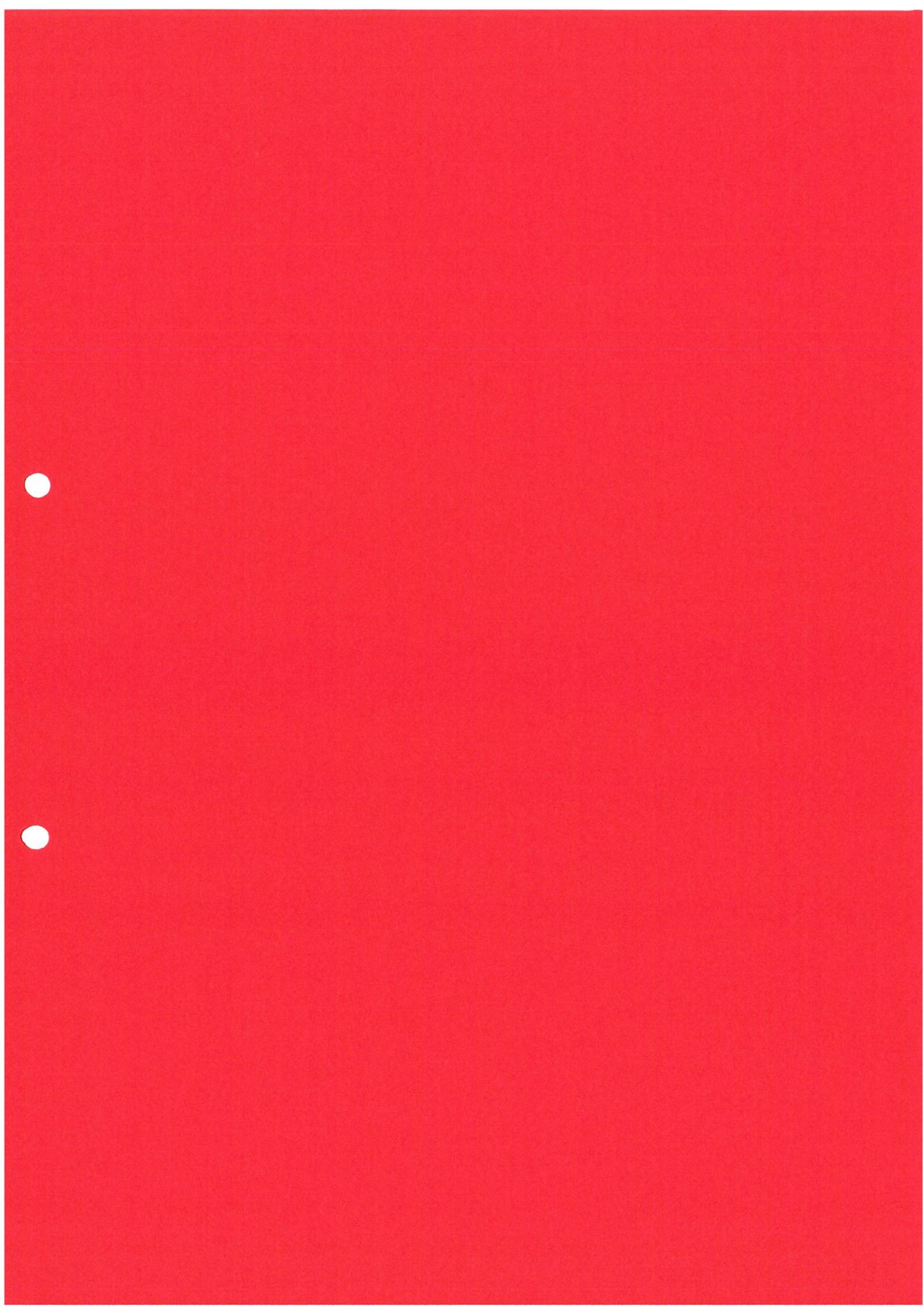


Tabelle Grundwasserstandsmessungen:

GWMS	GW-Stand [mNN] 19.10.93	GW-Stand [mNN] 19.10.93	GW-Stand [mNN] 20.10.93	GW-Stand [mNN] 21.10.93	GW-Stand [mNN] 28.10.93	GW-Stand [mNN] 10.11.93	GW-Stand [mNN] 18.11.93	GW-Stand [mNN] 24.11.93	GW-Stand [mNN] 06.12.93	GW-Stand [mNN] 08.12.93	GW-Stand [mNN] 14.12.93	GW-Stand [mNN] 23.12.93	GW-Stand [mNN] 04.01.94	GW-Stand [mNN] 12.01.94
P 1	43,43	43,43	43,43	43,43	43,43	43,43	43,40	43,41	43,46	43,47	43,50	43,56	43,65	43,70
P 1a	43,43	43,43	43,43	43,43	43,43	43,43	43,40	43,41	43,46	43,47	43,50	43,56	43,65	43,70
P 2a	43,38	43,38	43,38	43,39	43,37	43,35	43,33	43,59	43,65	43,90	43,99	44,09	44,24	44,00
RB 1	43,41	43,41	43,41	43,43	43,42	43,42	43,39	43,40	43,44	43,46	43,48	43,53	43,62	43,67
RB 3	43,42	43,42	43,42	43,43	43,43	43,42	43,39	43,41	43,46	43,47	43,50	43,56	43,66	43,71
RB 4	43,43	43,42	43,44	43,43	43,43	43,42	43,39	43,42	43,50	43,52	43,57	43,62	43,74	43,78
RB 5	43,44	43,42	43,45	43,43	43,44	43,42	43,35	43,43	43,52	43,53	43,58	43,65	43,75	43,79
RB 6	43,43	43,41	43,43	43,42	43,42	43,41	43,36	43,42	43,52	43,52	43,59	43,65	43,76	43,79
RB 7	43,43	43,40	43,43	43,42	43,42	43,41	43,39	43,43	43,51	43,54	43,59	43,68	43,75	43,79
RB 7a	43,43	43,42	43,45	43,44	43,43	43,42	43,39	43,43	43,53	43,55	43,61	43,68	43,78	43,81
RB 8	43,44	43,35	43,39	43,41	43,39	43,37	43,41	43,34	43,39	43,40	43,43	43,46	43,62	43,63
RB 8a	43,44	43,46	43,53	43,52	43,52	43,52	43,42	43,65	43,67	43,72	43,79	43,83	43,86	43,90
RB 9	43,43	43,42	43,43	43,43	43,42	43,41	43,38	43,42	43,53	43,55	43,61	43,69	43,80	43,82
B 2	43,43	43,42	43,43	43,43	43,42	43,41	43,38	43,43	43,53	43,55	43,60	43,68	43,78	43,81
B 3	43,43	43,43	43,43	43,43	43,42	43,41	43,38	43,41	43,51	43,53	43,58	43,65	43,76	43,79
B 4	43,42	43,42	43,42	43,42	43,41	43,40	43,38	43,41	43,49	43,52	43,55	43,62	43,73	43,77
B 9	43,41	43,41	43,41	43,41	43,40	43,40	43,37	43,39	43,45	43,48	43,51	43,58	43,68	43,72
B 13	43,41	43,41	43,41	43,43	43,41	43,41	43,38	43,38	43,63	43,63	43,73	43,82	43,91	43,90
PÜT	43,43	43,16	43,20	43,20	43,23	43,19	43,40	42,90	42,99	42,96	43,00	43,06	43,60	43,26
PÜF	43,43	43,62	43,73	43,69	43,70	43,72	43,44	44,03	44,13	44,27	44,26	44,22	44,25	44,26

GWMS	GW-Stand [mNN]												
P 1	20.01.94	21.01.94	28.01.94	08.02.94	03.03.94	17.03.94	28.03.94	26.04.94	05.05.94	17.05.94	24.05.94		
P 1a	43,71	43,71	43,73	43,79	43,83	43,85	43,88	43,98	44,00	44,03			
P 2a	43,71	43,71	43,73	43,79	43,83	43,85	43,88	43,97	43,99	44,03			
RB 1	43,85	43,85	43,83	43,86	43,82	43,83	43,87	43,97	43,99	43,99	43,99	43,99	43,99
RB 3	43,69	43,70	43,70	43,78	43,81	43,84	43,87	43,96	43,98	44,02			
RB 4	43,72	43,72	43,73	43,79	43,82	43,84	43,87	43,97	43,99	44,02			
RB 5	43,75	43,77	43,78	43,83	43,86	43,86	43,90	44,00	44,00	44,05	44,05	44,05	44,05
RB 6	43,77	43,79	43,79	43,85	43,87	43,86	43,91	44,01	44,02	43,96	43,97	43,97	43,97
RB 7	43,76	43,78	43,79	43,84	43,84	43,85	43,90	44,00	44,01	44,05	44,05	44,05	44,05
RB 7a	43,76	43,78	43,79	43,83	43,85	43,83	43,88	43,99	44,00	44,04	44,04	44,04	44,04
RB 8	43,78	43,79	43,81	43,85	43,87	43,87	43,91	44,02	44,03	44,07	44,07	44,07	44,07
RB 8a	43,60	43,63	43,60	43,68	43,66	43,60	43,67	43,84	43,84	43,91	43,91	43,91	43,92
RB 9	43,87	43,92	43,91	43,96	43,95	43,95	44,05	44,11	44,11	44,16	44,16	44,16	44,16
B 2	43,78	43,78	43,79	43,84	43,84	43,86	43,89	43,99	44,01	44,04	44,04	44,04	44,05
B 3	43,77	43,78	43,79	43,84	43,85	43,85	43,90	43,99	44,01	44,04	44,04	44,04	44,05
B 4	43,76	43,77	43,77	43,83	43,83	43,85	43,88	43,99	44,00	44,03	44,03	44,03	44,05
B 9	43,75	43,75	43,75	43,81	43,82	43,84	43,87	43,97	43,99	44,02	44,02	44,02	44,03
B 13	43,72	43,72	43,73	43,79	43,81	43,83	43,85	43,96	43,98	44,01	44,01	44,01	44,02
PÜT	43,83	43,83	43,83	43,86	43,84	43,86	43,90	44,00	44,02	44,03	44,03	44,03	44,03
PÜF	43,20	43,21	43,21	43,24	43,21	43,21	43,23	43,47	43,33	43,57	43,57	43,57	43,39
	44,16	44,23	44,23	44,41	44,38	44,47	44,54	44,48	44,37	44,57	44,57	44,57	44,33