



Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Projektträger
Forschungszentrum
Karlsruhe (PTKA)



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Durchströmte Reinigungswände: Ergebnisse des BMBF-Förderschwerpunktes RUBIN (2000 – 2012)

Dr. rer. nat. Volker Birke
Prof. Dipl.-Ing. Harald Burmeier

Ostfalia
Hochschule für angewandte
Wissenschaften



www.rubin-online.de

>>Anwendung von Reinigungswänden für die Sanierung von Altlasten <<

RUBIN - Reinigungswände und -barrieren im Netzwerkverbund
The German Permeable Reactive Barrier Network "RUBIN"

>> Aktuelles <<

1. "Fortsetzung RUBIN Phase 2, Koordination und Forschungsprojekt Universität Lüneburg, Prof. Burmeier"
2. "PAK-, HelmsPAK- und Open-SexPlex-Entscheidungen: Aktive-Reinigungswände, Leuphana Universität Lüneburg, Prof. Huck"
3. "Biologische Reinigungswand in Okerbach, HM GmbH, Dipl.-Ing. Wolgran"

Handbuch - Workshop
Dresden 03.07.2007
Downloads, Flyer,
Vorträge

>> RUBIN II wurde offiziell 2006 gestartet.
Klicken Sie dazu auf die rechte Seite. <<

>> RUBIN II has been launched in 2006.
Check out new projects by clicking on the right.<<

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Willkommen!
Welcome!

RUBIN I 2000-2008

Deutsch

English

Handbuch RUBIN I
"Durchströmte
Reinigungswände
Leitfaden zur Planung,
Errichtung, Bau und Betrieb"
"German Handbook
and Guidance on PRBs"
>>Download<<

RUBIN II 2006-2009

Deutsch

English

Prof. Dipl.-Ing. Harald Burmeier
Dr. rer. nat. Volker Birke
(Verwaltungsprofessur für Chemie)

Koordinierung RUBIN am Campus Suderburg
Vom 01.04.2000 bis 31.08.2012

Seit dem 01.09.2009:



<http://www.rubin-online.de>



Projektträger
Forschungszentrum
Karlsruhe (PTKA)



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung





Aufgaben von



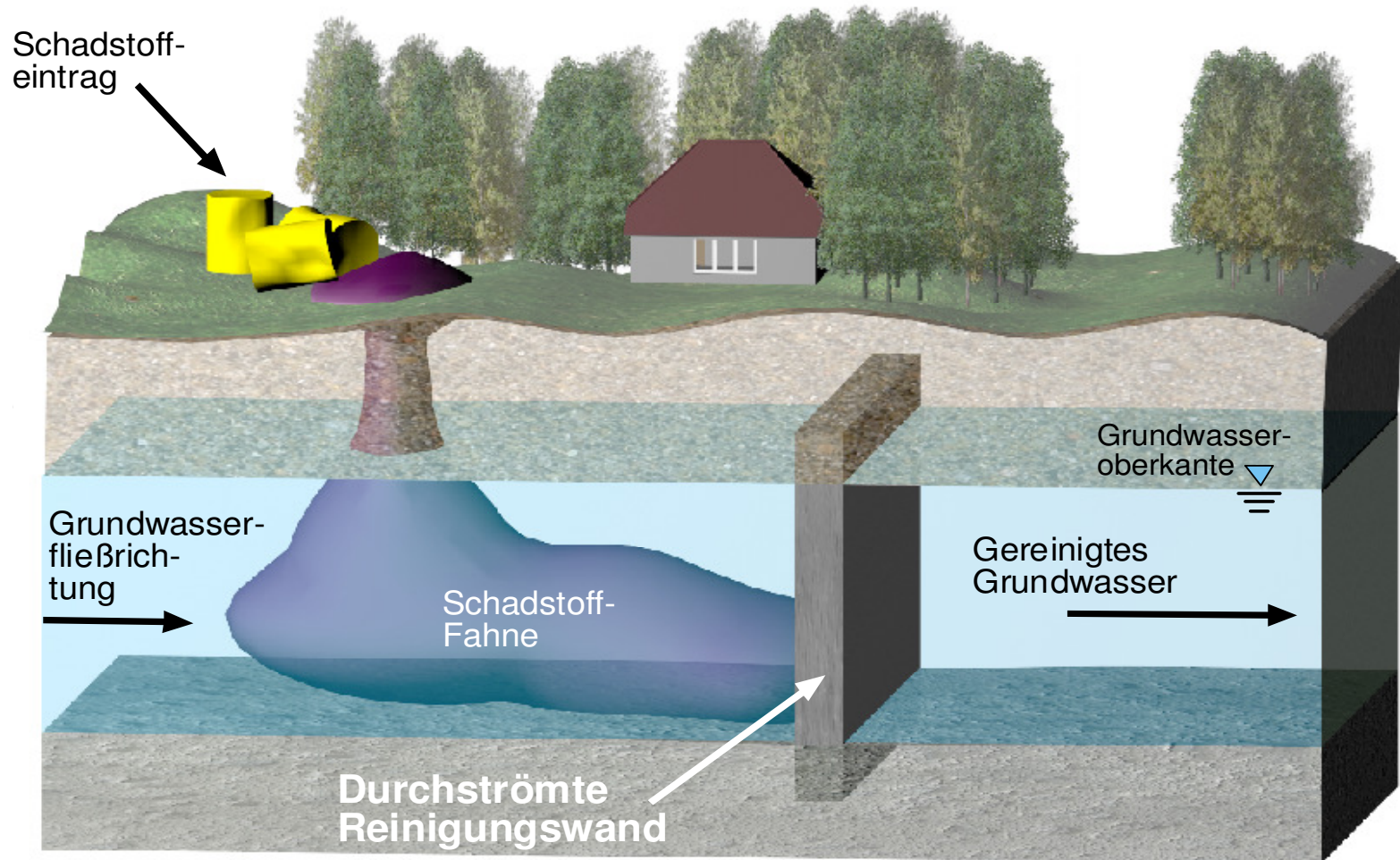
Grundsätzliche Fragestellungen

- Unter welchen Randbedingungen sind Reinigungswände (englisch „PRB“ = Permeable Reactive Barriers) für die Altlastensanierung geeignet?
- Wo liegen Verfahrensvorteile und -grenzen?

Schwerpunkte

- Gewinnung zuverlässiger Aussagen für Auslegung, Konstruktion, Bau, Betrieb und Effektivität
- Erprobung von technologischen Ansätzen zur Installation
- Detaillierte Analyse und Bilanzierung des Schadstoffabbaus
- Nachweis der Umweltverträglichkeit
- Wissenschaftlich begründete Ableitung von Qualitätskriterien
- Zusammenfassung der Ergebnisse in einem Handbuch

Funktionsprinzip





STANDORTE / PROJEKTE RUBIN Phase I



(2000 – 2006, ca. 4 Mio EURO)

Orange: Standortvorhaben

Grün: Übergreifende Projekte



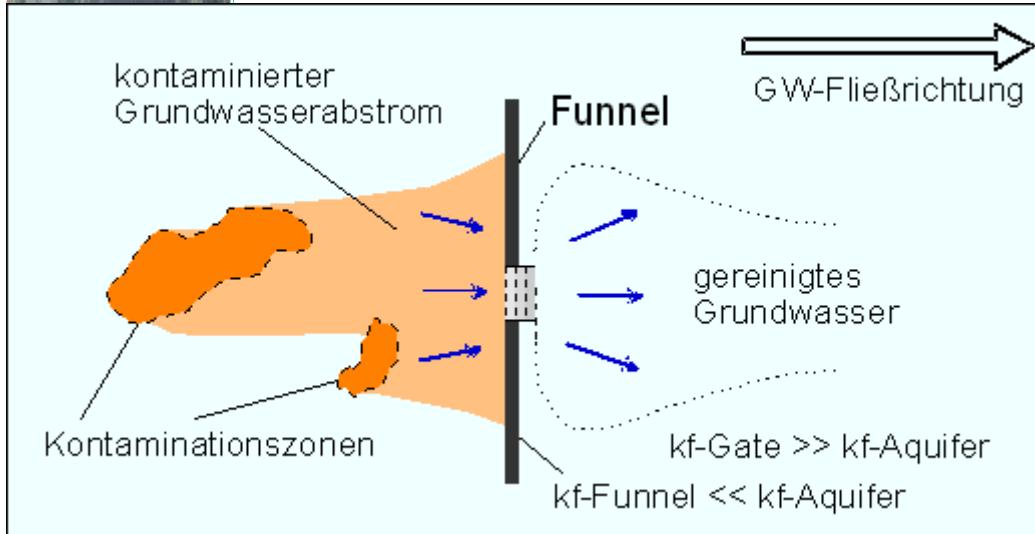
Andere Standorte

Nicht aufgeführt: Kraichgau, München, Lauchhammer, BIOX-Wand (Berlin)



www.rubin-online.de

Prinzip Reinigungswand

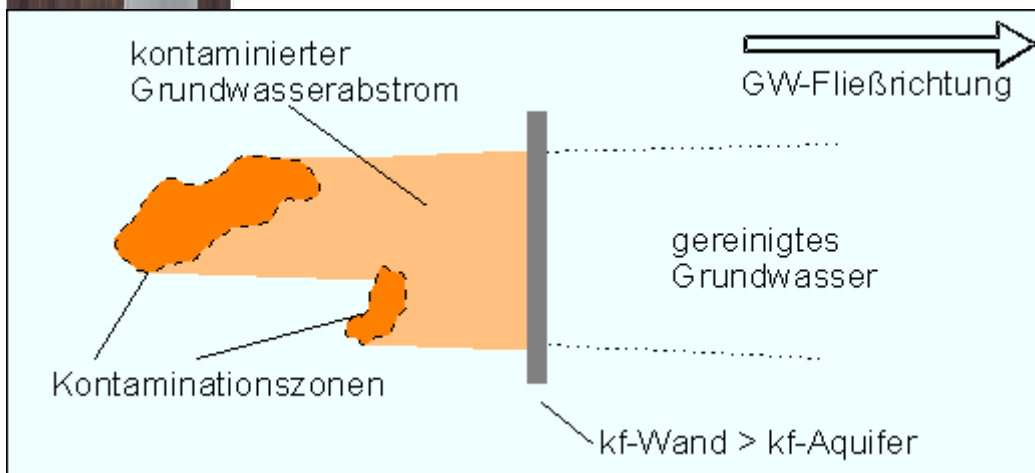


Funnel and Gate (F&G)

„Dichtwand-Durchlasskammer“,

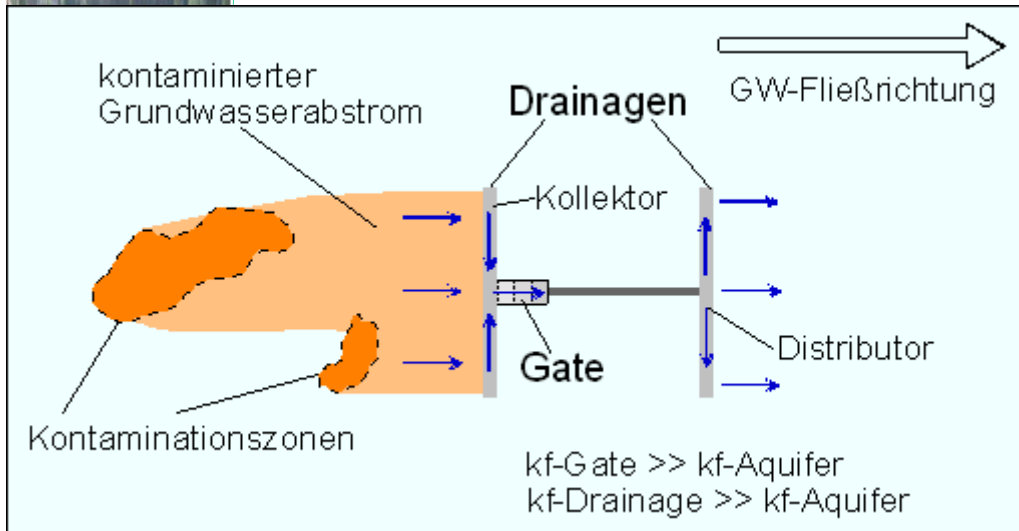
klassisch:

ohne irgendwelche
Eingriffsmöglichkeiten

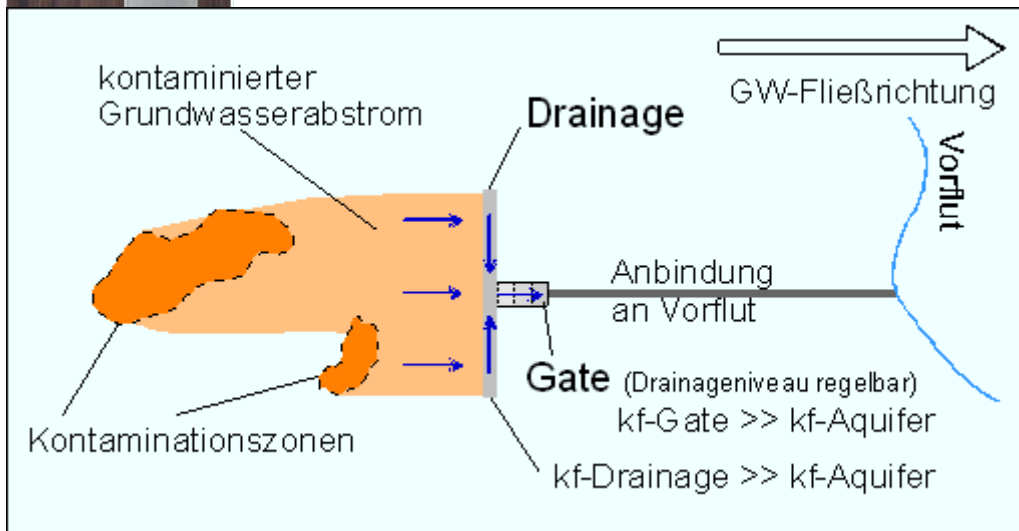


**Vollflächig
durchströmte Wand
(CRB)**

Prinzip Reinigungswand



**Drain and Gate
(D&G)**



**EFFICIENTLY
CONTROLLABLE
PRB
(EC-PRB)**

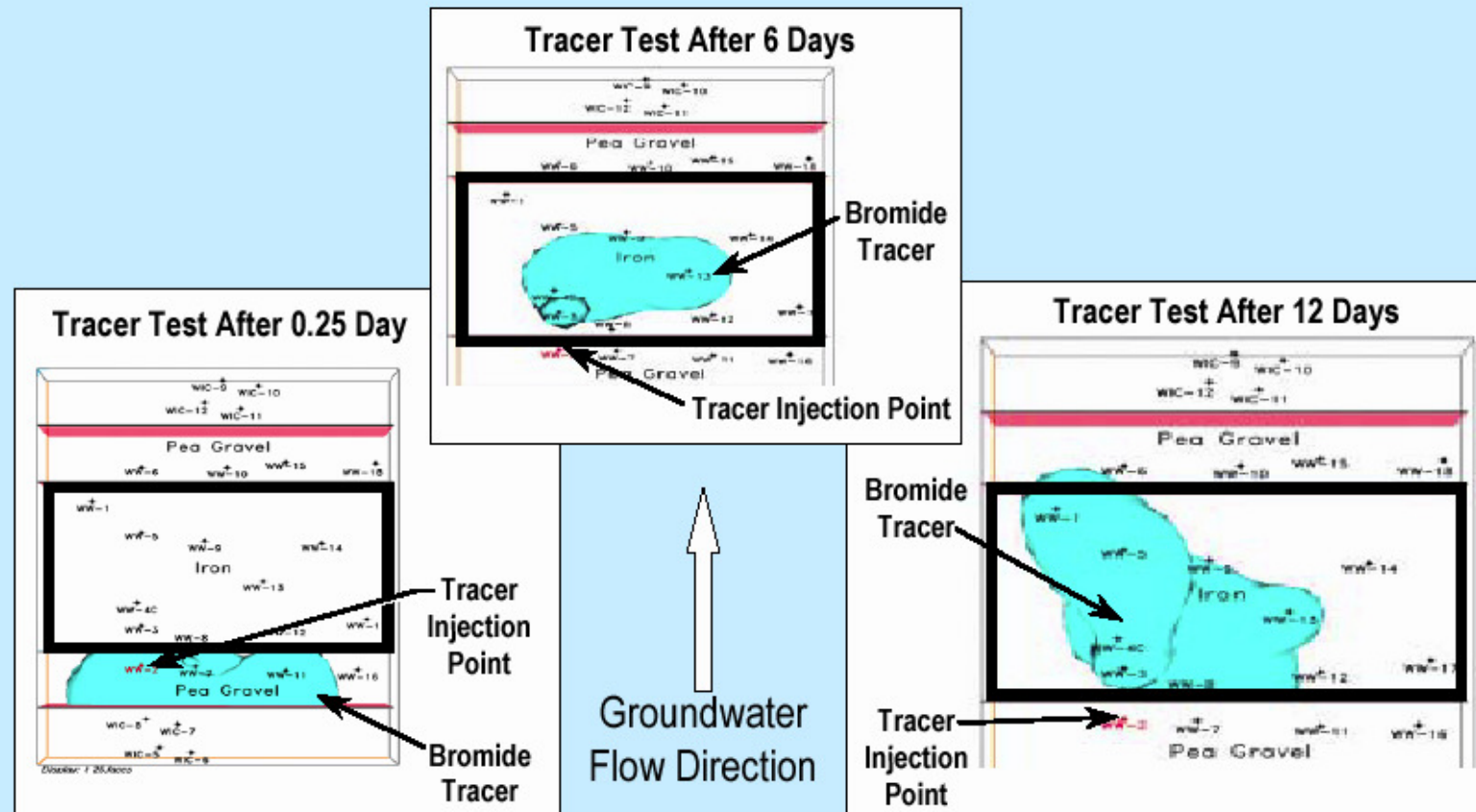
Heterogener GW-Fluss und seine Folgen bei PRB (insbesondere F&G) – Beweise



Hydraulic Performance

Former NAS Moffett Field Tracer Test

Residence time distribution and preferential pathways in the PRB medium



STANDORTE

- 2014: Deutschland, Österreich, Schweiz – ca. 15 PRBs; Offenbach = RUBIN I (Labor, Pilot-Versuch), und RUBIN II (Pilotreaktor)
- Übriges Europa: ca. 20 bis 30 PRBs (Holland?)
- PRBs mit „gelenktem GW-Fluss“ dominierend: 12 insges., 4 F&G, 6 EC-PRB („Drain-and-Gate“, In-situ-Reaktoren, Dichtwand-Heber(DHR)-Reaktor, aktives Pumpen: Bernau), „nur“ 3 CRB
- Reaktoren oft nahe der Oberfläche installiert / zugänglich – Kontrolle wird bevorzugt!
- Elementares Eisen und Aktivkohle bevorzugte Materialien, Biologie „im Kommen“ (Offenbach)!



Arbeitsstand/Erfahrungen

Deutschland:

Bislang wenig full-scale-Anwendungen, aber in Europa (noch mit) an der Spitze liegend, insbesondere internationale / europäische Anerkennung durch RUBIN!

- Tübingen, Edenkoben, Oberursel, Karlsruhe: F&G, *teilw. Probleme (ungelöst-gelöst) oder keine Infos!*
- Denkendorf, Bernau, Bitterfeld, Kraichgau, München, Offenbach: stark gelenkte Systeme
- Reichenbach, Rheine: CRB
- PRB hierzulande praktisch etabliert als Sanierungstechnik, einige offene Fragen (... daher RUBIN II !!)

U.S.A.:

- Ca. 150 – 200 Standorte, CRB bevorzugtes Design, F&G ebenfalls teilweise kritisch
- PRB ebenfalls etablierte Sanierungstechnik!

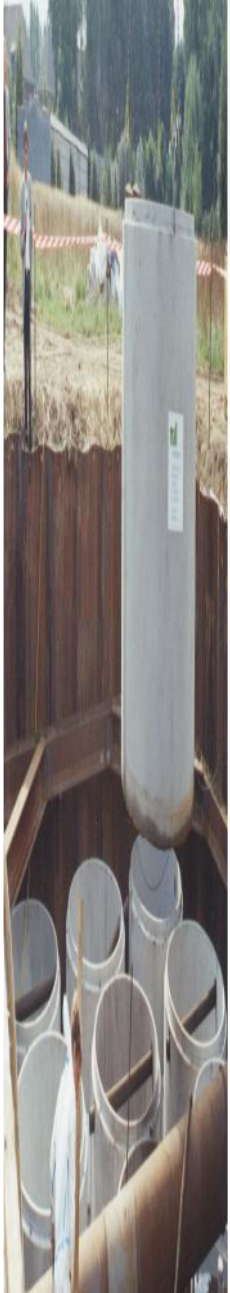


Wesentliche generelle Erkenntnis hinsichtlich der ggw. Zukunftsfähigkeit verschiedener PRB-Konstruktionsformen/Materialien:

1. **EC-PRBs** = „Efficiently Controllable PRBs“,
In-situ-Reaktoren plus Drainage
(= *sehr hohe* GW-Kontrolle, z. B. Brunn) =
befüllt mit **Aktivkohle** und / oder **Eisen**
und / oder mit **Mikrobiologie**
dürfte die Zukunft gehören!

2. **CRBs** (= *keine* GW-Kontrolle, z. B. Rheine)

Klassisches F&G-System: *Begrenzte Anwendungen*



CRBs, Voraussetzungen:

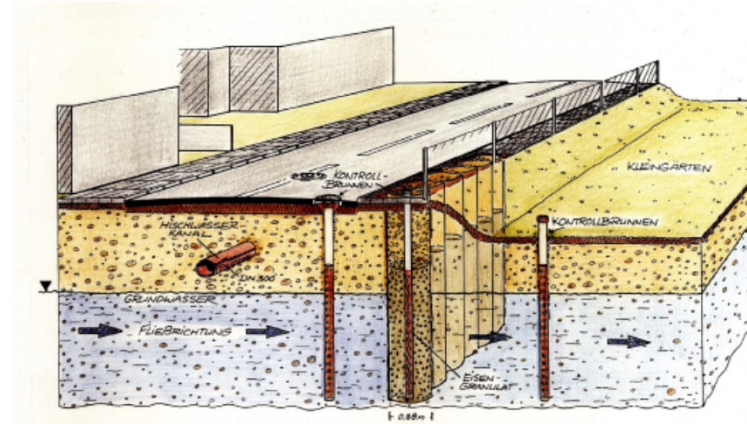
- Möglichst einfache, recht „gutartige“ Untergrundverhältnisse und GW-Chemie
- Nicht zu lang (zu tief) = ansonsten evtl. hohe Materialmengen = relativ hoher Anfangsinvest für das reaktive Material, exakte Dimensionierung wichtig!

EC-PRBs, Drain & Gate, Voraussetzungen

(wann z. B. günstiger als P&T?)

- Hohe Volumenströme, z. B. $> 20 \text{ m}^3$ pro Stunde (= langfristig relativ hohe Energiekosten bei P&T, entfallen bei PRB)
- *Gleichzeitig* hohe Wiedereinleitkosten bei P&T (entfallen bei PRB)

Anwendung von durchströmten Reinigungswänden zur Sanierung von Altlasten



TEIL I

EINFÜHRUNG

LEITFADEN, HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN:
PLANUNG, ERRICHTUNG, BETRIEB, NACHSORGE

TEIL II

ENTWICKLUNGS- UND ERFAHRUNGSSTAND
WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE GRUNDLAGEN
AUSBLICK
LITERATUR, PATENTE, VERZEICHNISSE, ANHÄNGE

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

BETREUT DURCH



Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Projekträger
Forschungszentrum
Karlsruhe (PTKA)



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



LEITFADEN: 2 Bände = 1 Buch!

BAND I:

- Teil I und II: Einführung, Kurzausschnitt
- Teil III: Planung, Leitfaden, rechtliche Einordnung

BAND II:

- Teil IV: „Lessons Learned“
- Teil V: Weiterführende Grundlagen
- Teil VI: Ausblick
- Teil VII: Literatur, Patente
- Anhang: intern. Standorte, *RUBIN I-Projektberichte*



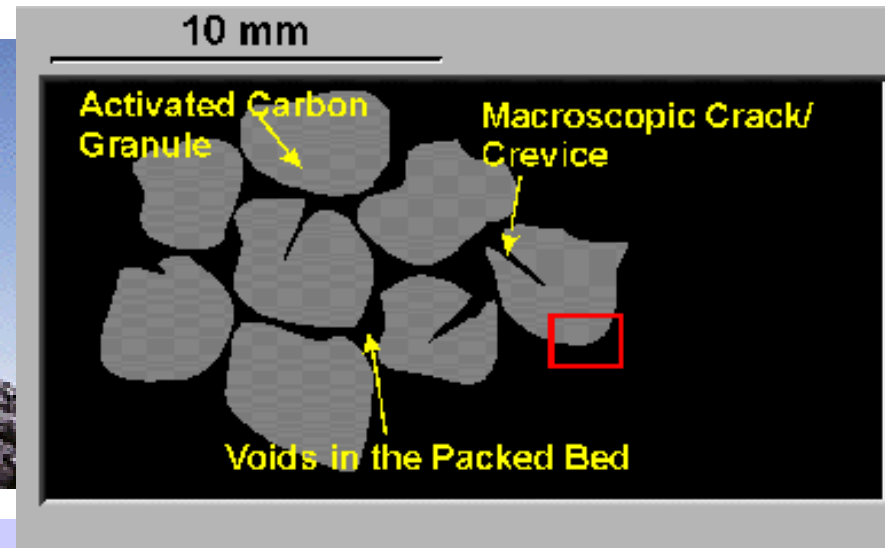


RUBIN II (2006-2012), ca. 4.5 Mio. €

Ziele:

- Klärung offener übergreifender Fragen (Gasbildung in Eisenwänden, Reaktivität technischer Eisensorten, **Langzeitwirksamkeit von Aktivkohlewänden, NSO-PAK-Adsorption**) zur Schaffung einer hohen Planungs- und Anwendungs-sicherheit für die Praxis
- Schaffung von Grundlagen zur endgültigen Praxisreifmachung / Überführung der Technologie „Durchströmte Reinigungswände“ in den Stand der Technik
- Überprüfung internationaler Entwicklungen / Trends
- **Handbuch-Ergänzungsband**

Ideales reaktives (sorptives) Material für Kokerei-, Gaswerksstandorte etc.: Aktivkohle



Activated carbon:

- **Adsorption** of organic contaminants
- Specific **surface**: approx. 1000 m²/g
- **Granular**

Reaction kinetics: Diffusion controlled

⇒ Critical parameter: contact time!

Activated Carbon

Maximum barrier life-time estimation:

$$t_S = \frac{d}{v_a} \cdot R$$

d = reactive wall thickness

v_a = groundwater flow velocity

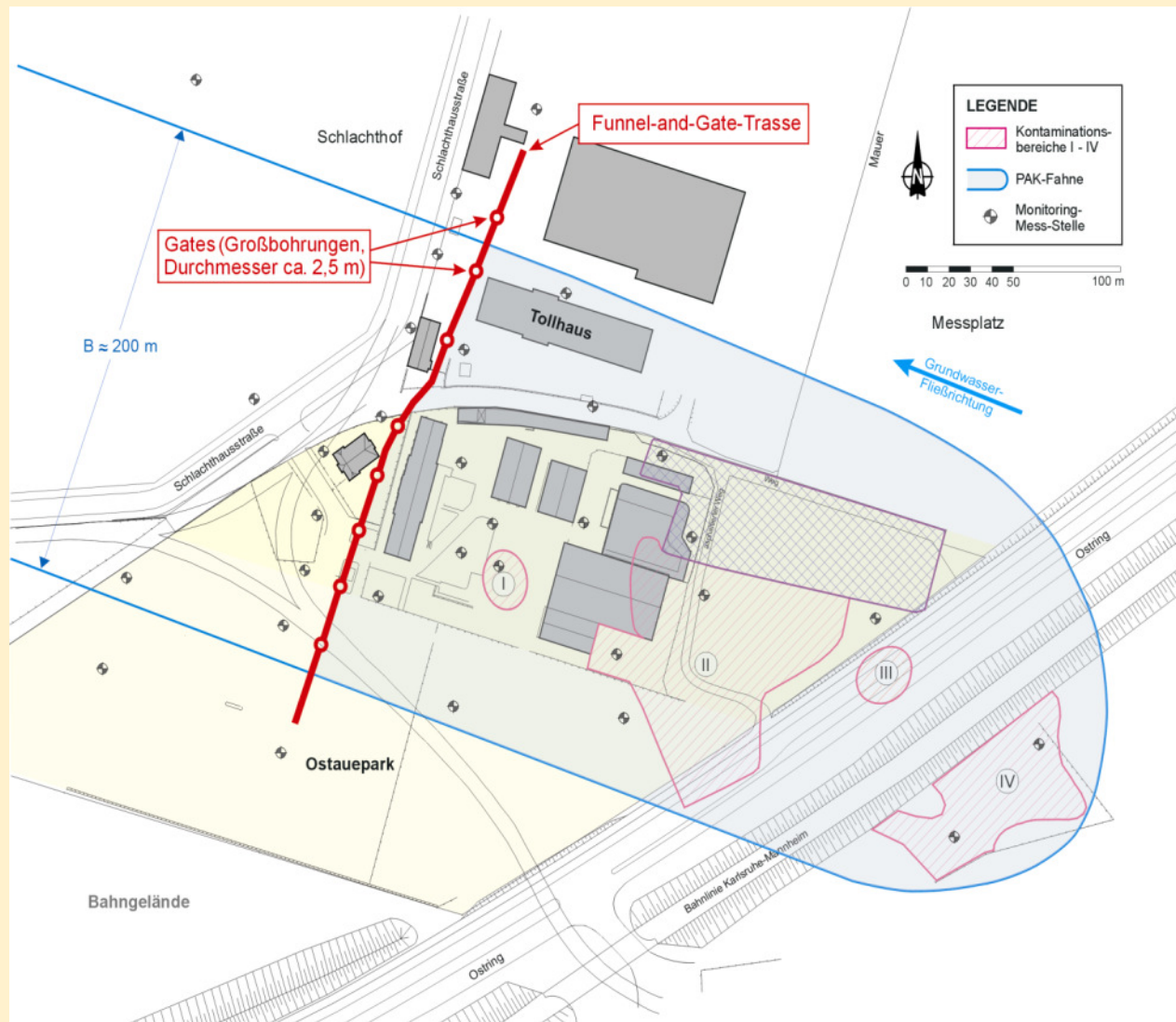
R = retardation factor

Horizontal flow through an activated carbon reactor of 1,8 m diameter with a flow velocity of 0,5 m/d and a retardation factor of $R = 3000$: maximum life-time = 30 years

PRB in Österreich und Deutschland an ehem. Linoleumproduktionsstätte, Gaswerken, Teerölimprägnierungsstätten o.ä.

- Brunn am Gebirge (AR&B, Aktivkohle)
- Karlsruhe (modifiziertes F&G mit bedingten Kontroll- / Eingriffsmöglichkeiten, Aktivkohle)
- Offenbach (Bio-EC-PRB)
- München-Moosach (modifiziertes F&G / D&G / EC-PRB, Aktivkohle)
- Lauchhammer (F&G, Aktivkohle)





Karlsruhe: (former MGP)

Plume contamination:

PAH (10 - 600 µg/l)

- Acenaphthene (95%)
- Fluorene (4,5%)
- Phenanthrene (0,5%)

Benzene (< 50 µg/l)

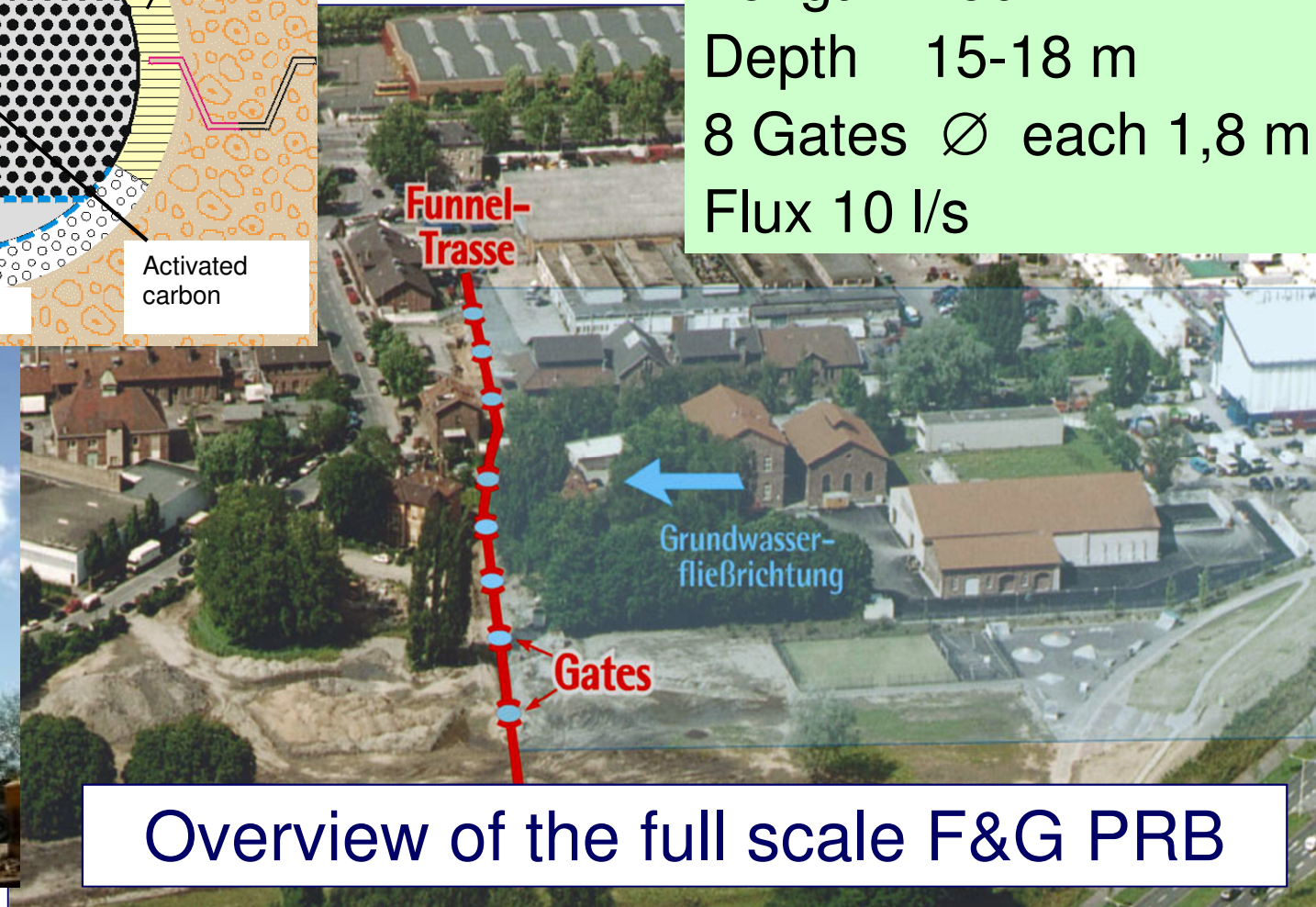
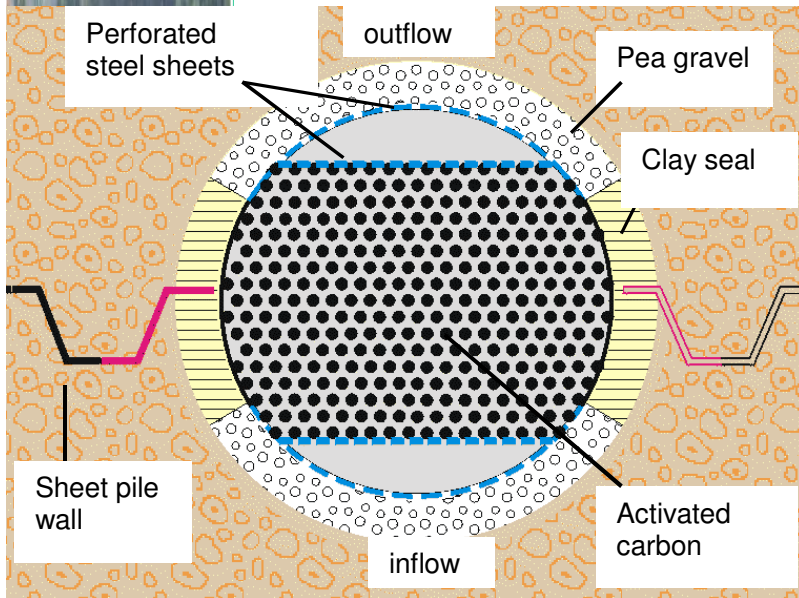
Vinylchloride (< 100 µg/l)

I.M.E.S. GmbH

Karlsruhe (Stadtwerke Karlsruhe)

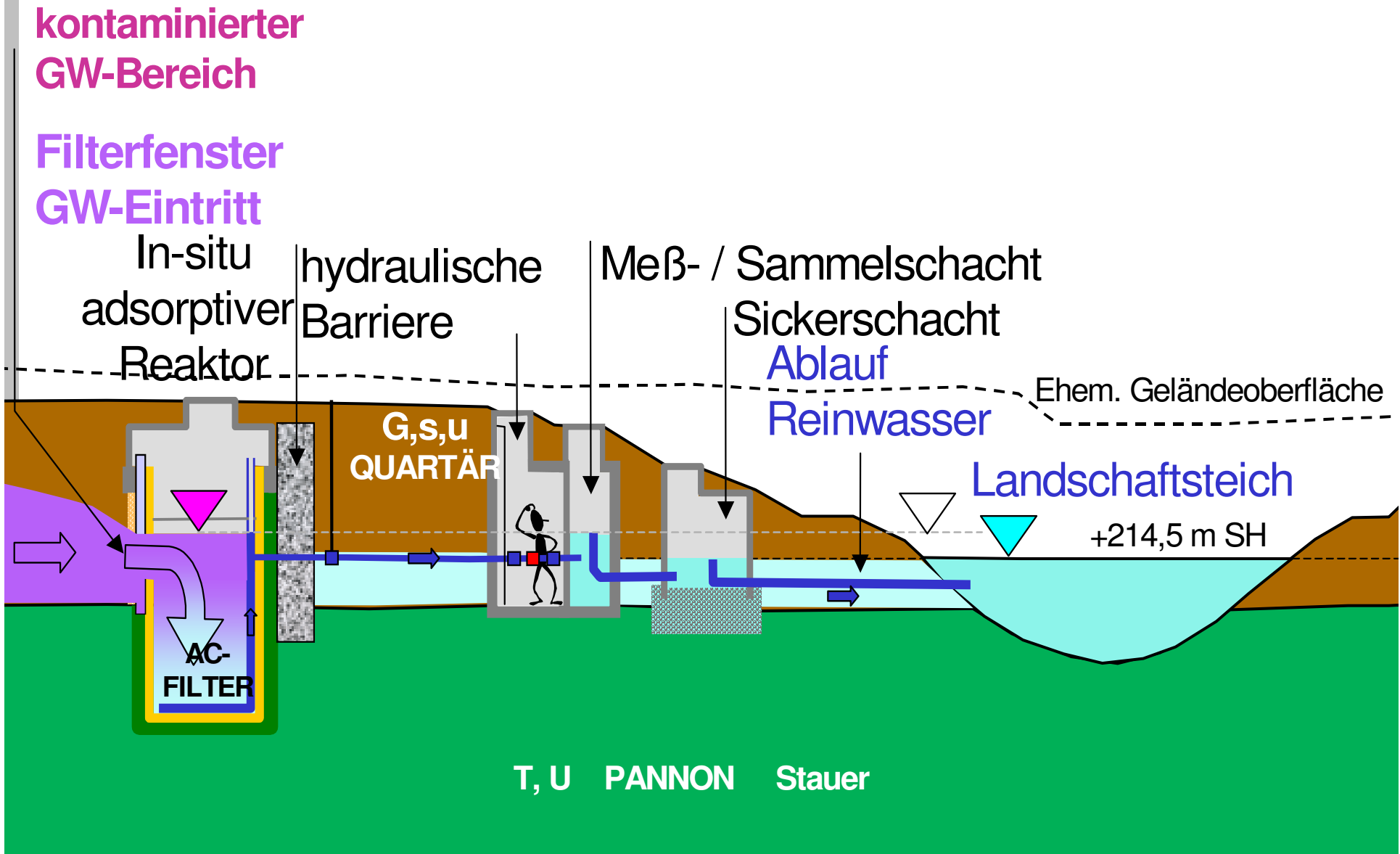
Former gas works plant

Length 250 m
Depth 15-18 m
8 Gates \varnothing each 1,8 m
Flux 10 l/s



Overview of the full scale F&G PRB

Brunn am Gebirge (Wien), Österreich (Dr. Peter Niederbacher, Klosterneuburg)









Untersuchte Standorte im Rahmen des Projektes:

Lünen – ehemaliges Kokereigelände

Bau einer reaktiven Wand verschoben
Grundwasser in Säulenversuchen verwendet



Karlsruhe – ehemaliges Gaswerk (Funnel&Gate seit 2001)

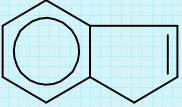
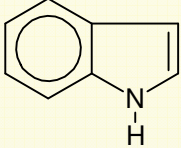
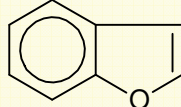
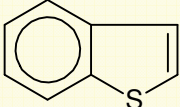
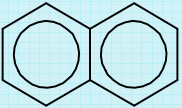
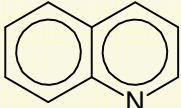
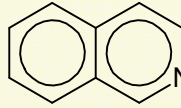
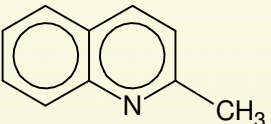
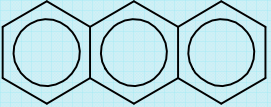
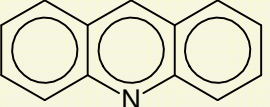
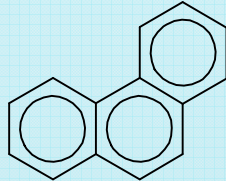
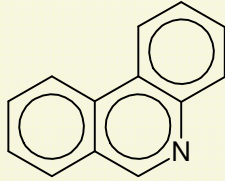
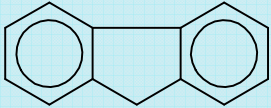
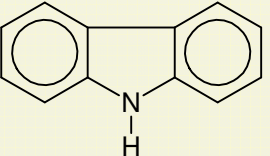
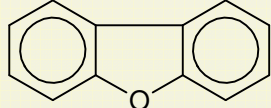
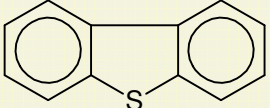
Messkampagne 1: Juli 2007
Messkampagne 2: Sept. 2009



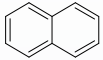
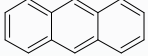
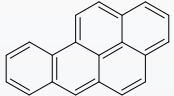

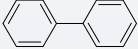
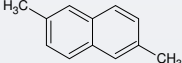
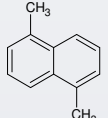
Brunn am Gebirge – Teerfabrik, später Linoleumfabrik (Funnel&Gate seit 1999)


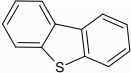
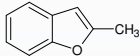
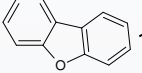

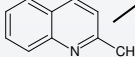
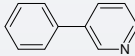
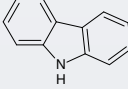
Messkampagne 1: Nov. 2007
Messkampagne 2: Juli 2008


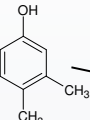
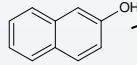


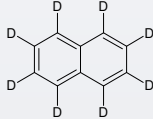
 indene	 indole	 benzofuran	 benzothiophene
 naphthalene	 quinoline	 iso-quinoline	 2-methylquinoline
 anthracene	 acridine	 phenanthrene	 phenanthridine
 fluorene	 carbazole	 dibenzofuran	 dibenzothiophene

Substanzspektrum:

	Naphthalene	EPA-PAH
	Acenaphthylene	
	Acenaphthene	
	Fluorene	
	Phenanthrene	
	Anthracene	
	Fluoranthene	
	Pyrene	
	Benzo[a]anthracene	
	Chrysene	
	Benzo(b)fluoranthene	
	Benzo(k)fluoranthene	
	Benzo(a)pyrene	
	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	
	Dibenzo(a,h)anthracene	
	Benzo(g,h,i)perylene	Methyl-PAH & PAC
	Indane	
	Indene	
	2-Methylindene	
	2-Methylnaphthalene	
	1-Methylnaphthalene	
	Biphenyl	
	2-Ethyl-naphthalene	
	1-Ethyl-naphthalene	
	2,7-Dimethylnaphthalene	
	2,6-Dimethylnaphthalene	
	1,3-Dimethylnaphthalene	
	1,6-Dimethylnaphthalene	
	1,4-Dimethylnaphthalene	
	2,3-Dimethylnaphthalene	
	1,5-Dimethylnaphthalene	
	1,2-Dimethylnaphthalene	
	1,8-Dimethylnaphthalene	

	1-Benzothiophene	S-HET
	2-Methylbenzothiophene	
	3-Methylbenzothiophene	
	Dibenzothiophene	
	4,6-Dimethyl-dibenzothiophene	
	Benzo(b)furan	O-HET
	2-Methylbenzofuran	
	2,3-Dimethylbenzofuran	
	Dibenzofuran	
	Xanthene	
	Xanthone	
	2-Hydroxydibenzofuran	N-HET
	Quinoline	
	Isoquinoline	
	Indole	
	2-Methylquinoline	
	8-Methylquinoline	
	3-Methylisoquinoline	
	1-Methylisoquinoline	
	6-Methylquinoline	
	7-Methylquinoline	
	3-Methylquinoline	
	4-Methylquinoline	
	2,6-Dimethylquinoline	
	2-Phenylpyridine	
	3-Phenylpyridine	
	4-Phenylpyridine	
	Acridine	
	9-Methylcarbazole	
	Phenanthridine	
	Carbazole	
	9-Methylacridine	
	2-Hydroxycarbazole	
	6(5H)-Phenanthridinone	

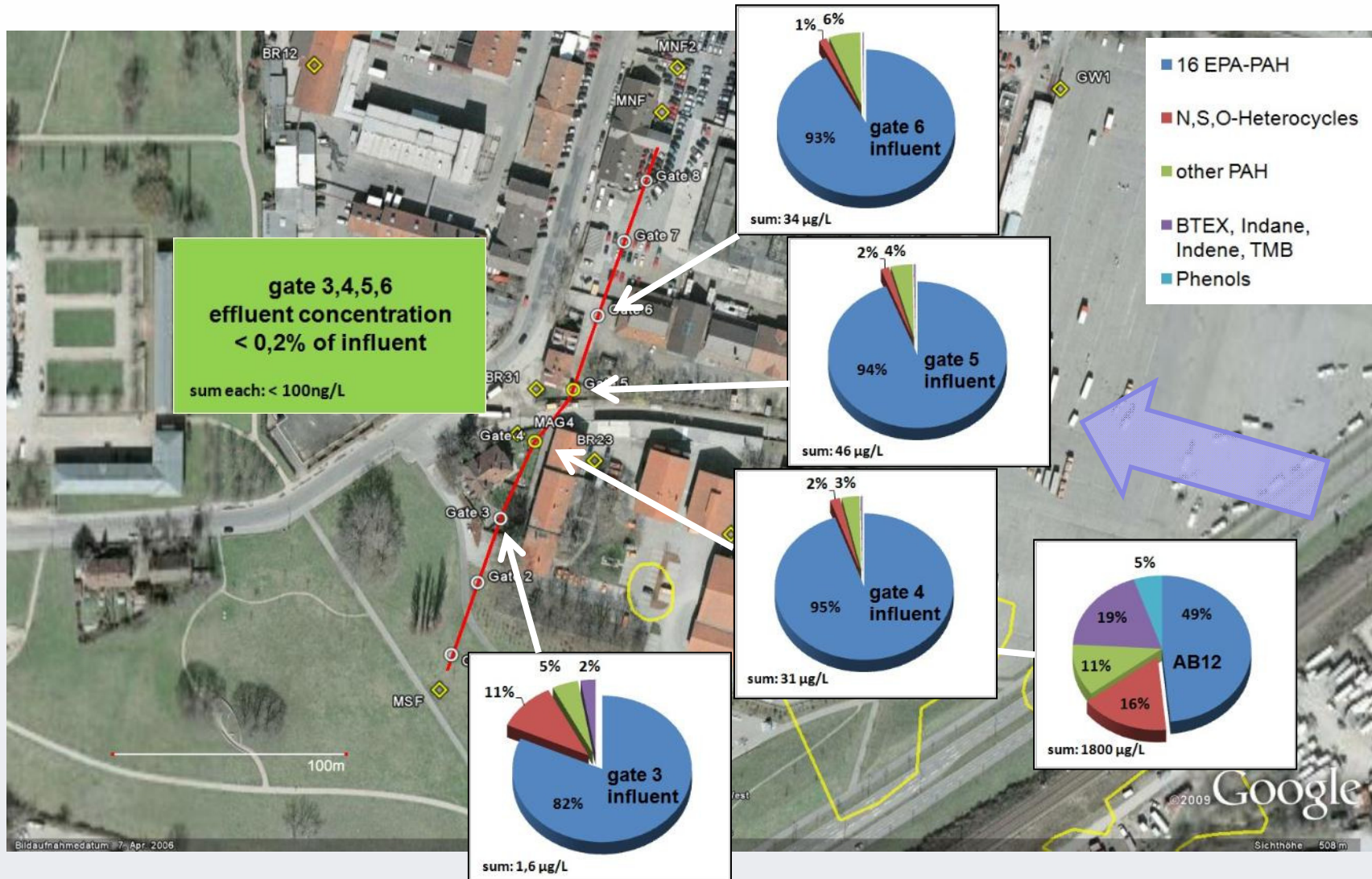
	Phenol	Phenols
	2-Methylphenol	
	3-Methylphenol	
	4-Methylphenol	
	2,6-Dimethylphenol	
	2,4-Dimethylphenol	
	2,5-Dimethylphenol	
	3,5-Dimethylphenol	
	2,3-Dimethylphenol	
	3,4-Dimethylphenol	
	2,4,6-Trimethylphenol	
	2,3,6-Trimethylphenol	
	2,3,5-Trimethylphenol	
	3,4,5-Trimethylphenol	
	1-Indanone	others
	1-Cyanonaphthalene	
	1-Naphthol	
	2-Naphthol	
	1-Aminonaphthalene	

	internal standards:
	Naphthalene D8
	Anthracene D10
	Dibenzo(a,h)anthracene D14

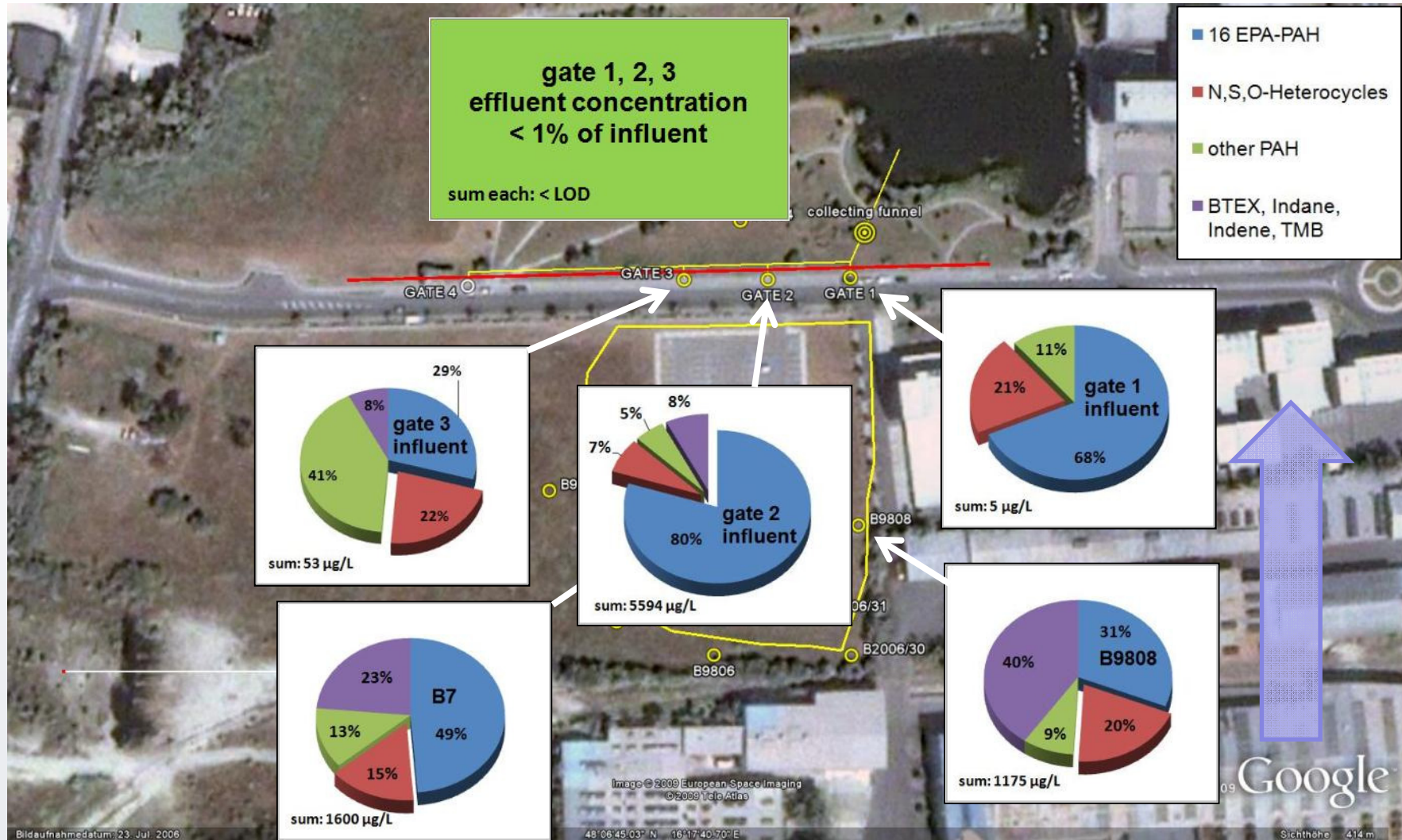
86 aromatic compounds
+ 3 internal standards

+ 13 additional volatile aromatic compounds (by headspace GC-FID):

→ BTEX, trimethyl-benzenes, thiophene, 2-methylthiophene, 3-methylthiophene, tetrahydrothiophene

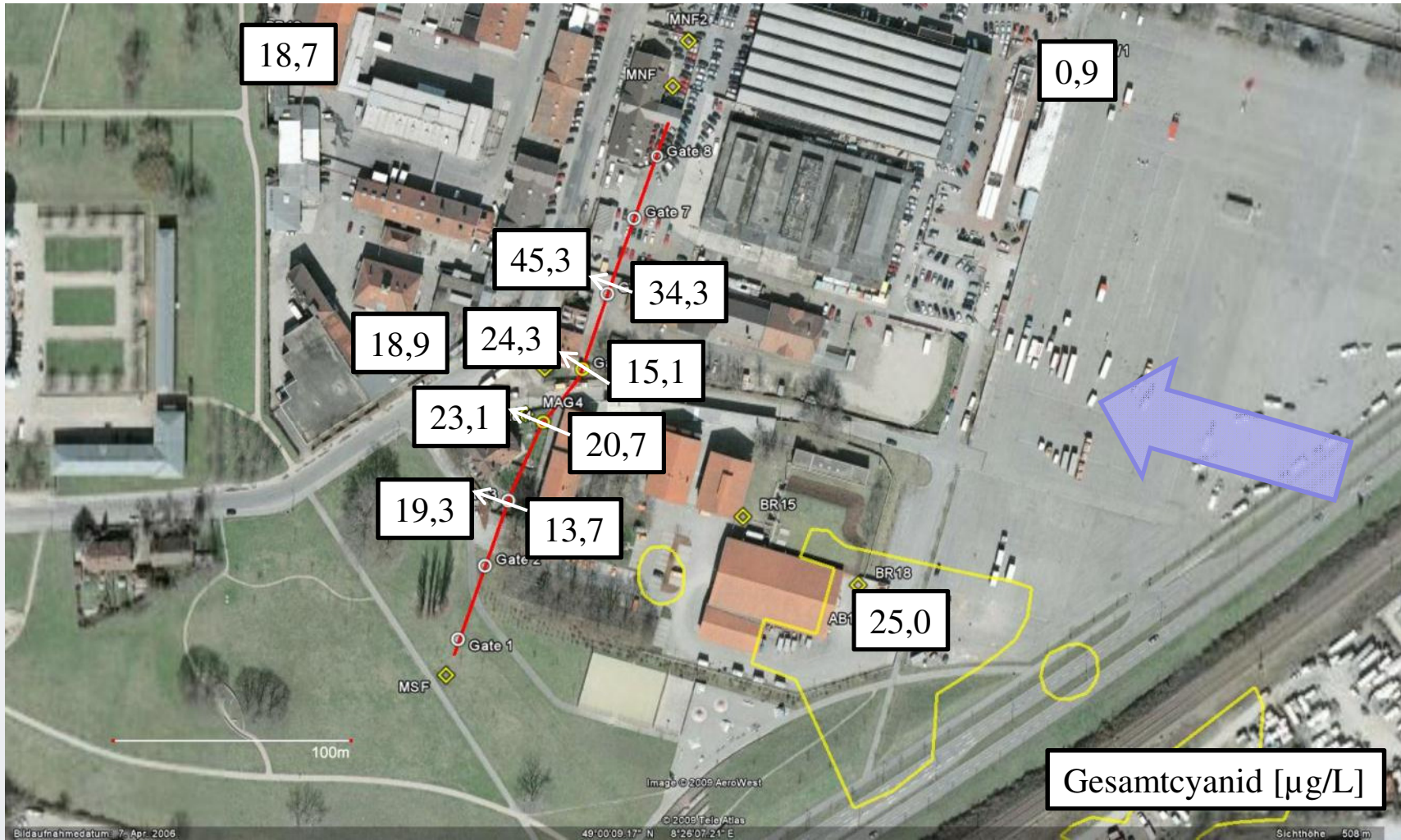


Messkampagne 2 - September 2009

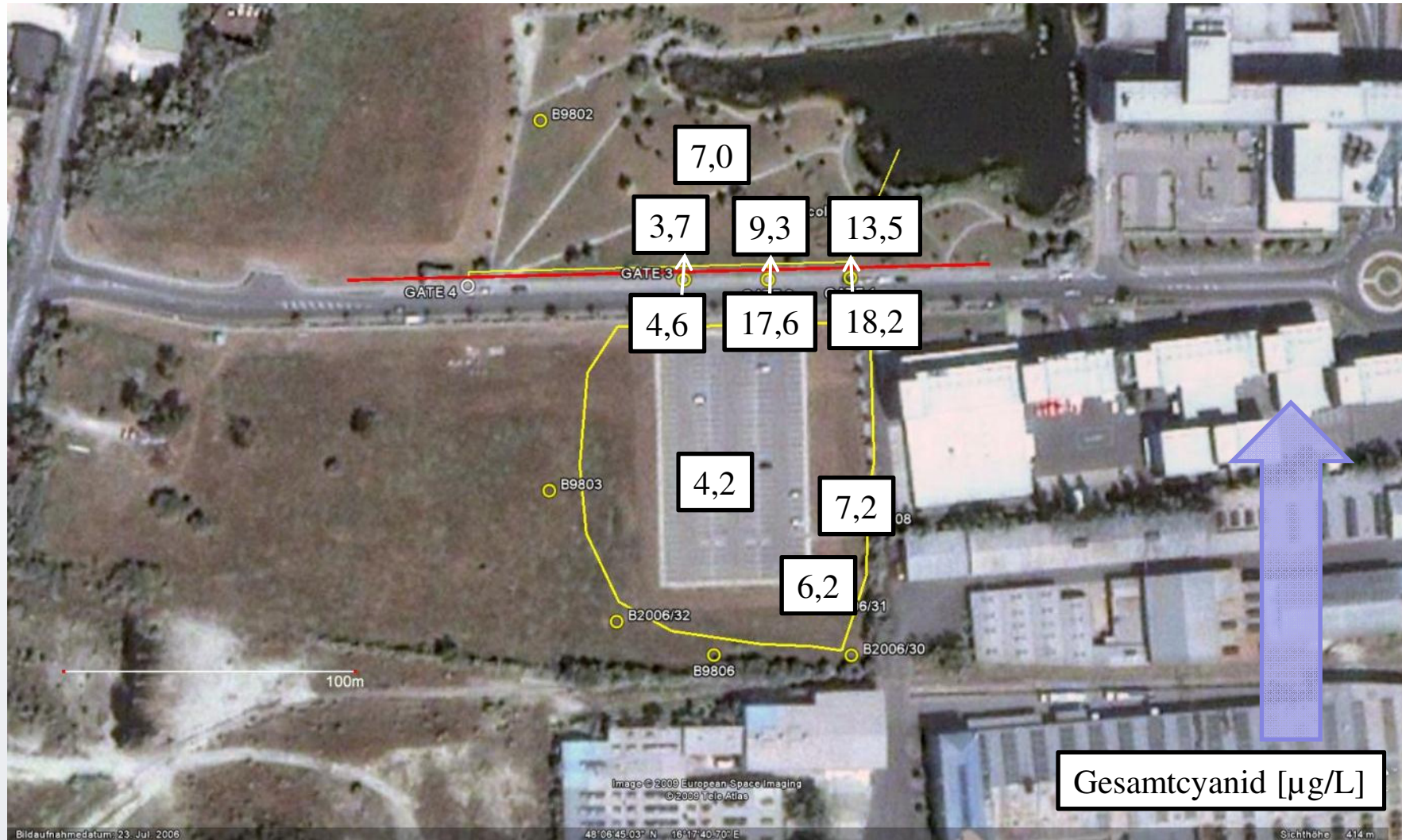


Feldmessungen

Messkampagne 2 - Juli 2008



Messkampagne 2 - September 2009



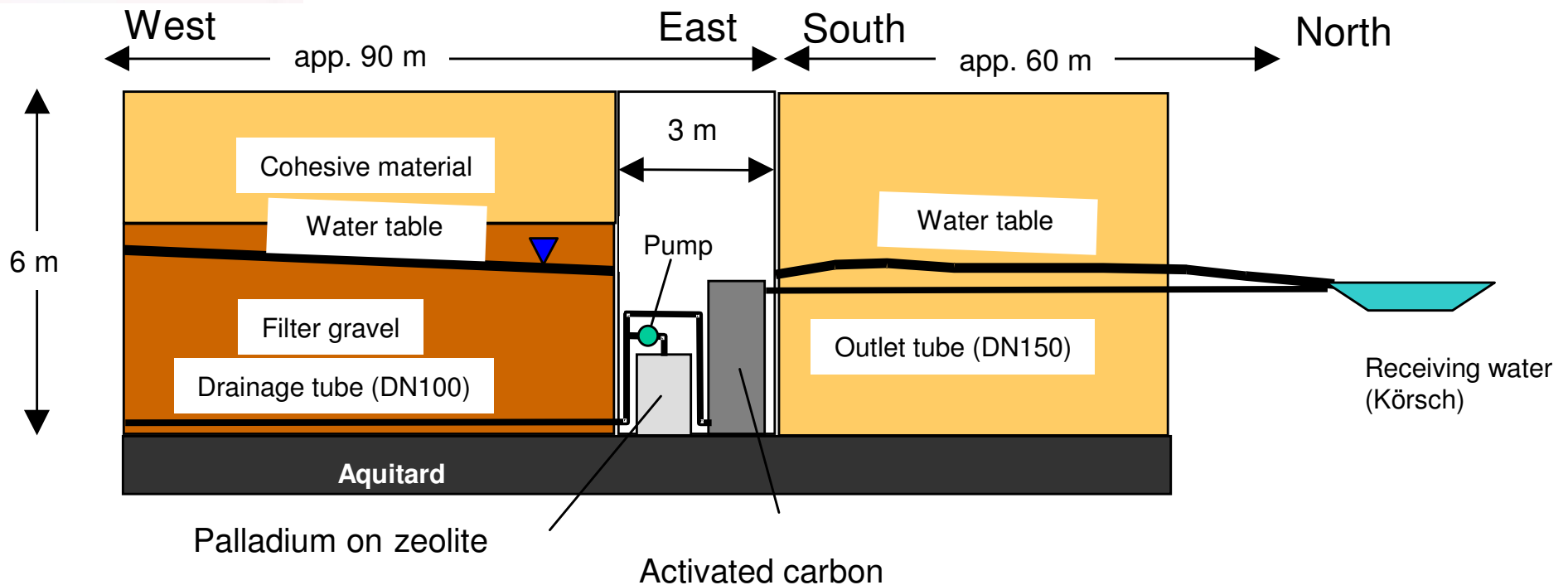
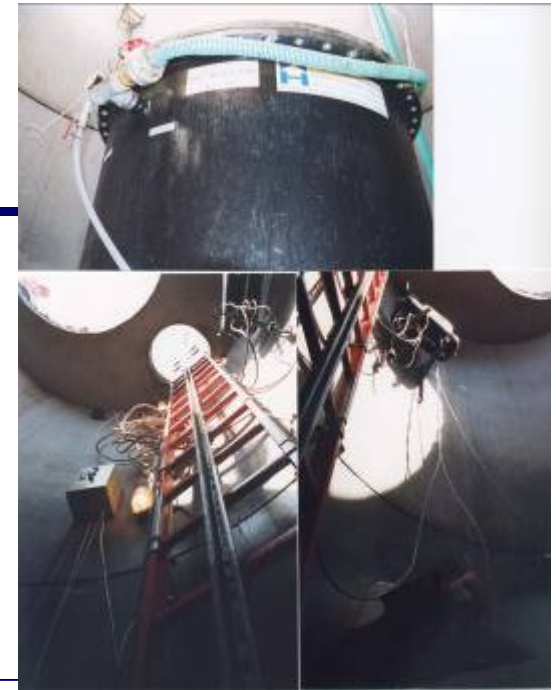
Messkampagne 2 - Juli 2008

- Heterocyclen werden in Realproben in Konzentrationen im Bereich $\mu\text{g/L}$ - mg/L gefunden
- Adsorption der Heterocyclen entsprechend ihren physikalischen Eigenschaften
- Reinigungsleistung der Aktivkohlewände in Karlsruhe und Wien $> 99\%$
- Biologischer Abbau in Säulenexperimenten mit Realwasser
- Durchbruchzeiten bzw. Standzeiten sind auch für sehr komplexe Mischungen abschätzbar.
- Ranking der einzelnen Verbindungen bezüglich des Durchbruchs in Säulenexperimenten bisher nur eingeschränkt möglich

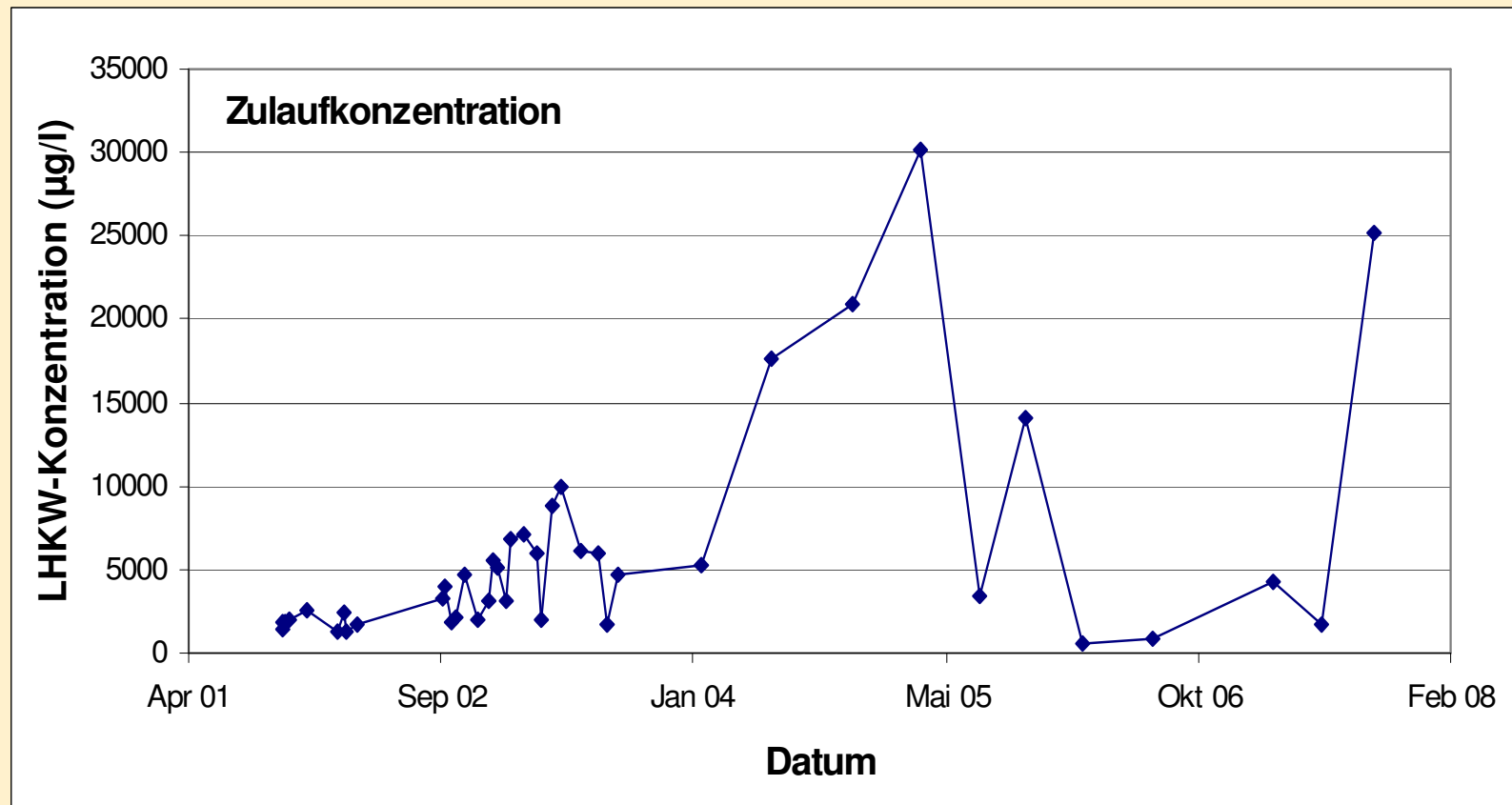
Denkendorf

In-situ-Reaktoren mit Drainage/Aktivkohle für LCKW

✓ Leistung gut



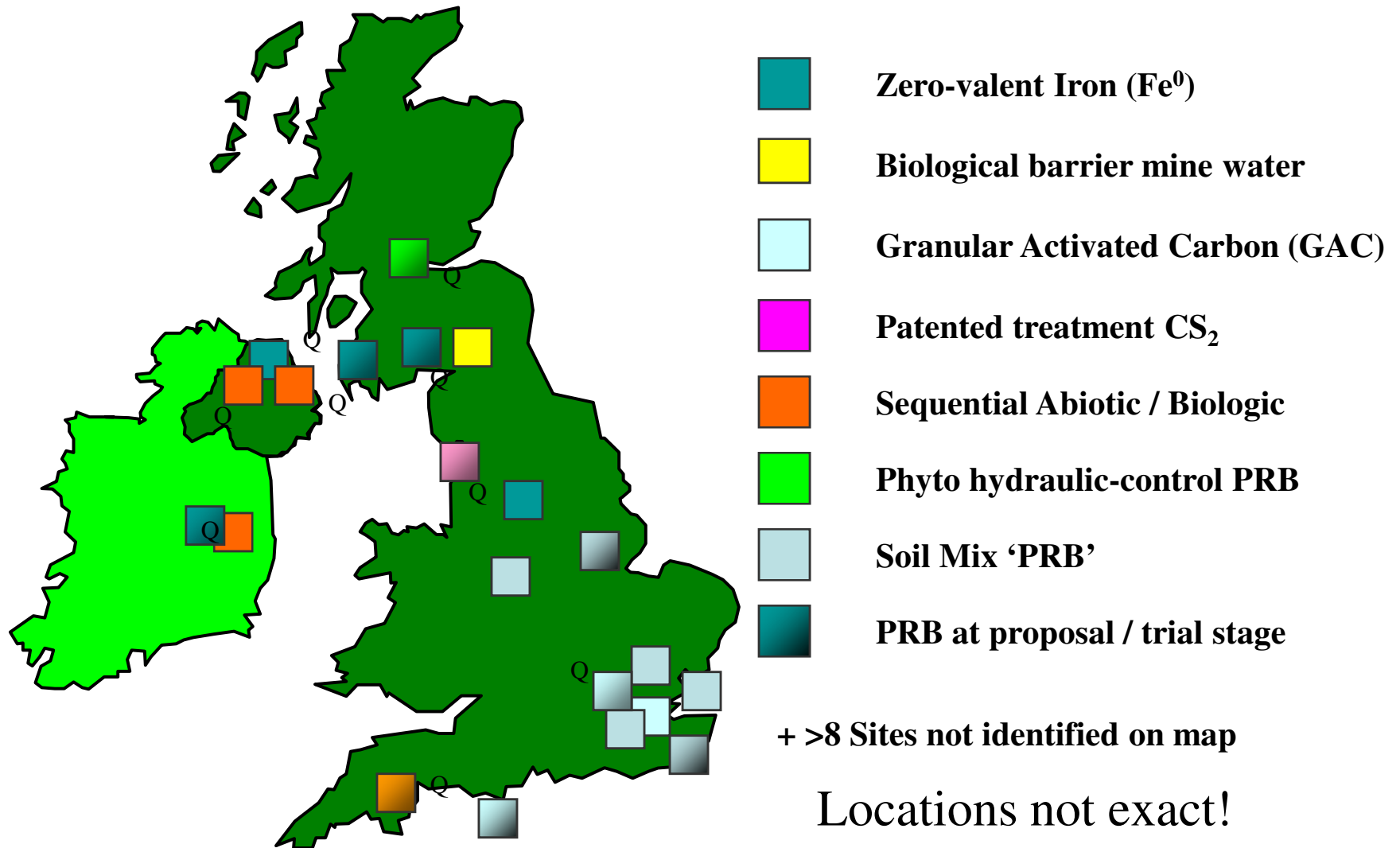
Ergebnisse des Betriebs (2)



Fazit des bisherigen Betriebes (ca. 7 Jahre)

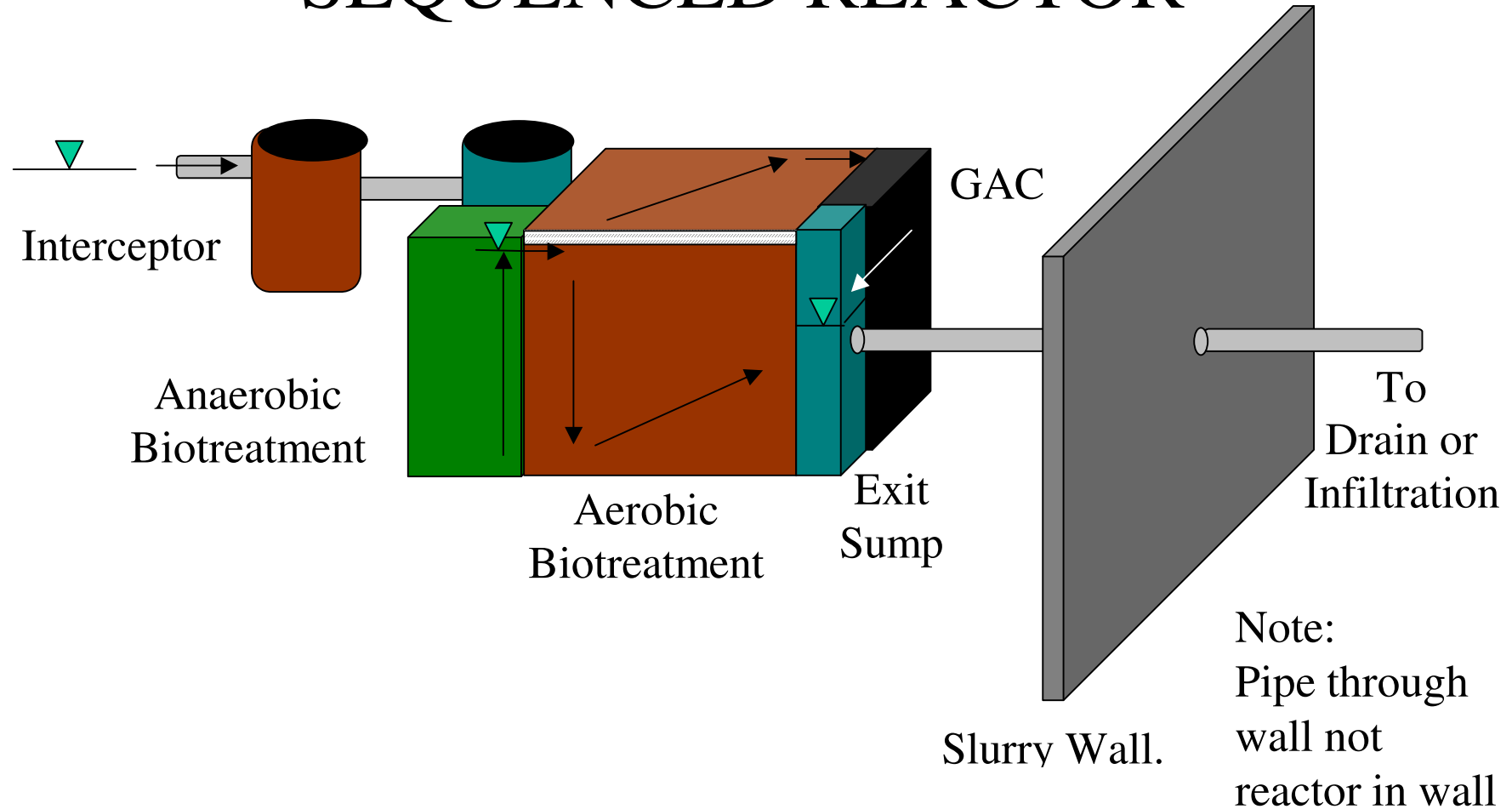
- hydraulische Funktion der Drainage bisher einwandfrei
- Pumpbetrieb zur Ableitung des Wassers erfordert einen höheren Betriebsaufwand als vorgesehen, stellt bezüglich der Gesamtfunktion aber keinen Nachteil dar
- regelmäßiges Rückspülen des Kiesfilters und der A-Kohlen notwendig (zur Minimierung des Druckverlustes und zur Vermeidung von Kanalbildung in der A-Kohle)
- Aktivkohlesorption ist ein robustes Verfahren zur Abreinigung des GW
- 2. Aktivkohlewechsel Dez. 2007 nach +/- permanentem Durchbruch des 1. Filters und wiederholtem Durchbruch des 2. Filters sowie erhöhtem Aufwand zur Minimierung des Druckverlustes
- Beladung der Aktivkohle ca. 3 bis 4 Gew.-%

UK appr. 7 PRBs + 12 Soil Mix installed
appr. 10 in Feasibility stages



Prof. Stephen Jefferis, Surrey, Prof. Bob Kalin, Belfast

PORTADOWN ANAEROBIC/AEROBIC SEQUENCED REACTOR



1 hectare old gas works site
gas works contamination





SEREBAR BBSRC LINK PROJECT

In-Situ
Bioremediation of
Cyanide, PAH's
and Heterocyclic
Compounds using
Engineered
SEquenced
REactive BARrier
(*SEREBAR*)
Techniques



Queen's University
Belfast



PRB Implementation



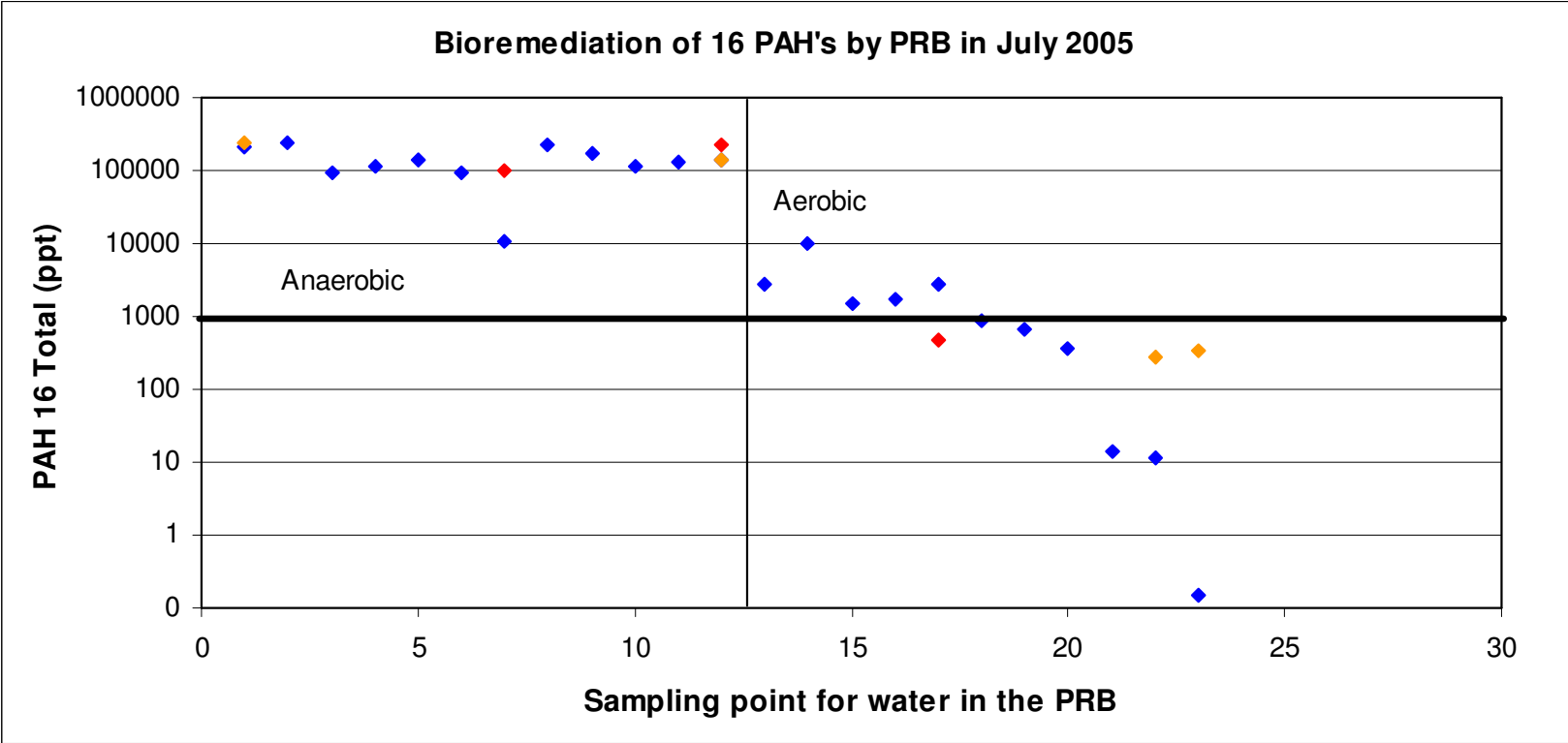
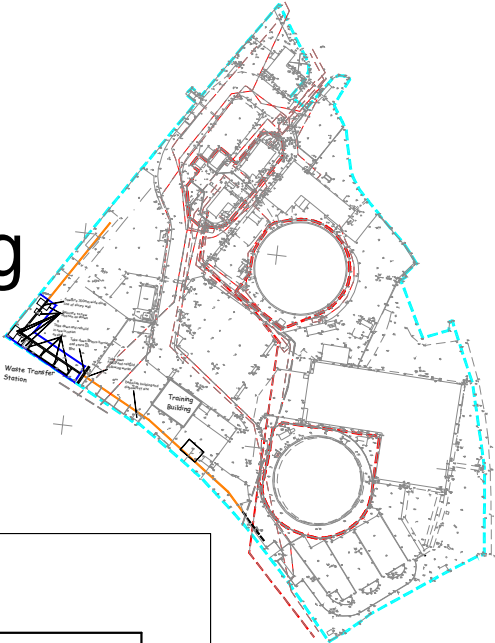
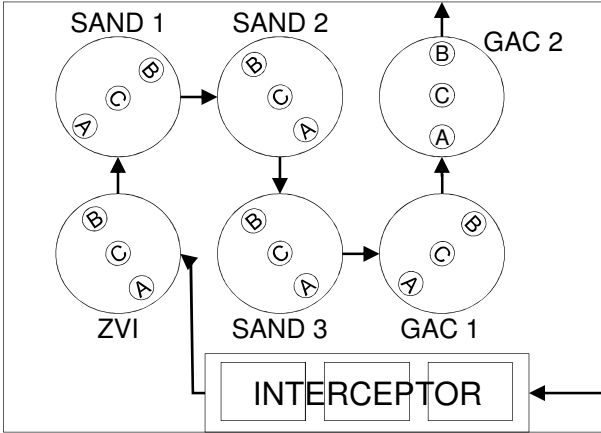
Filling
reactors

PRB Implementation

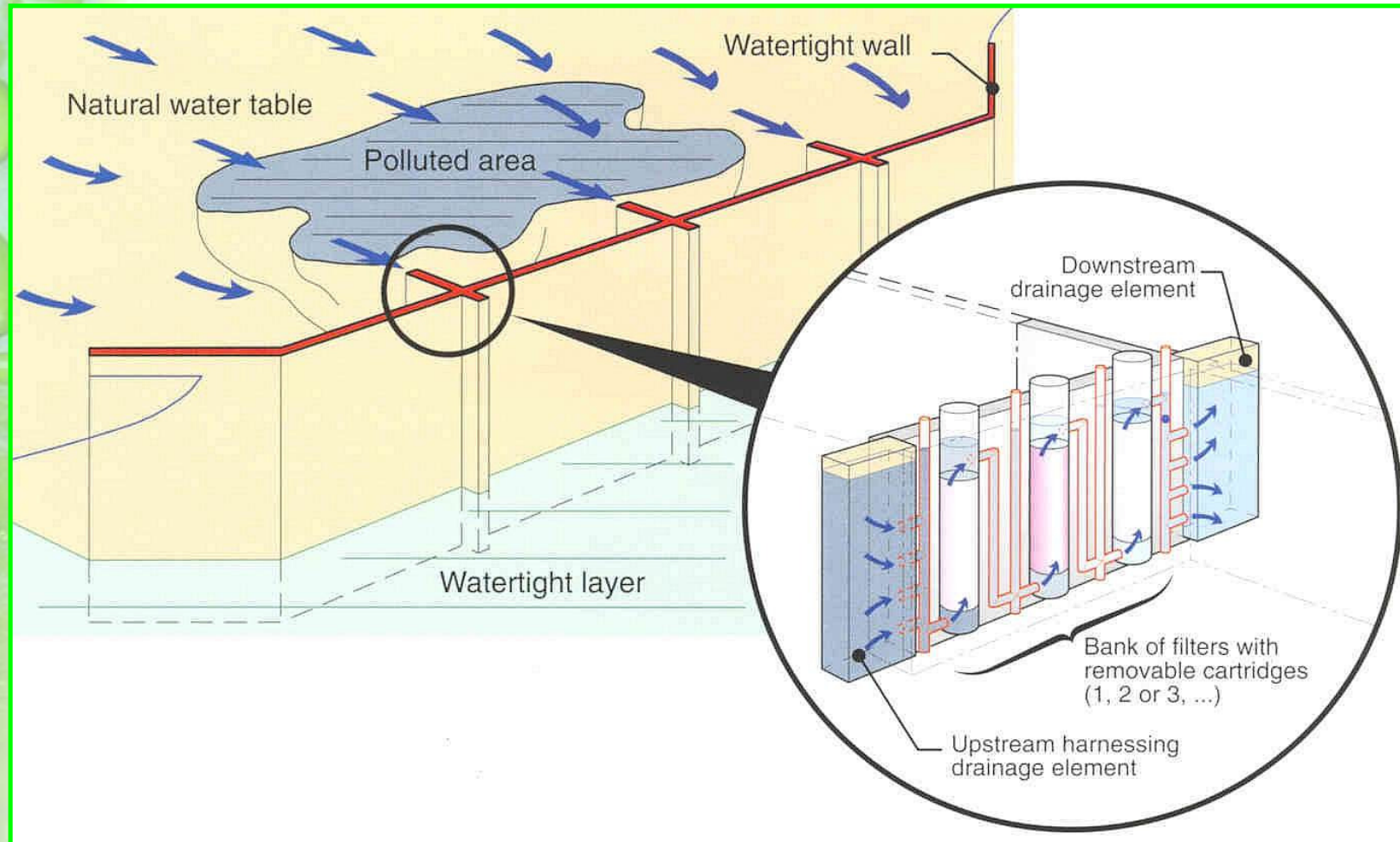


Completed
Reactor

Compliance Monitoring



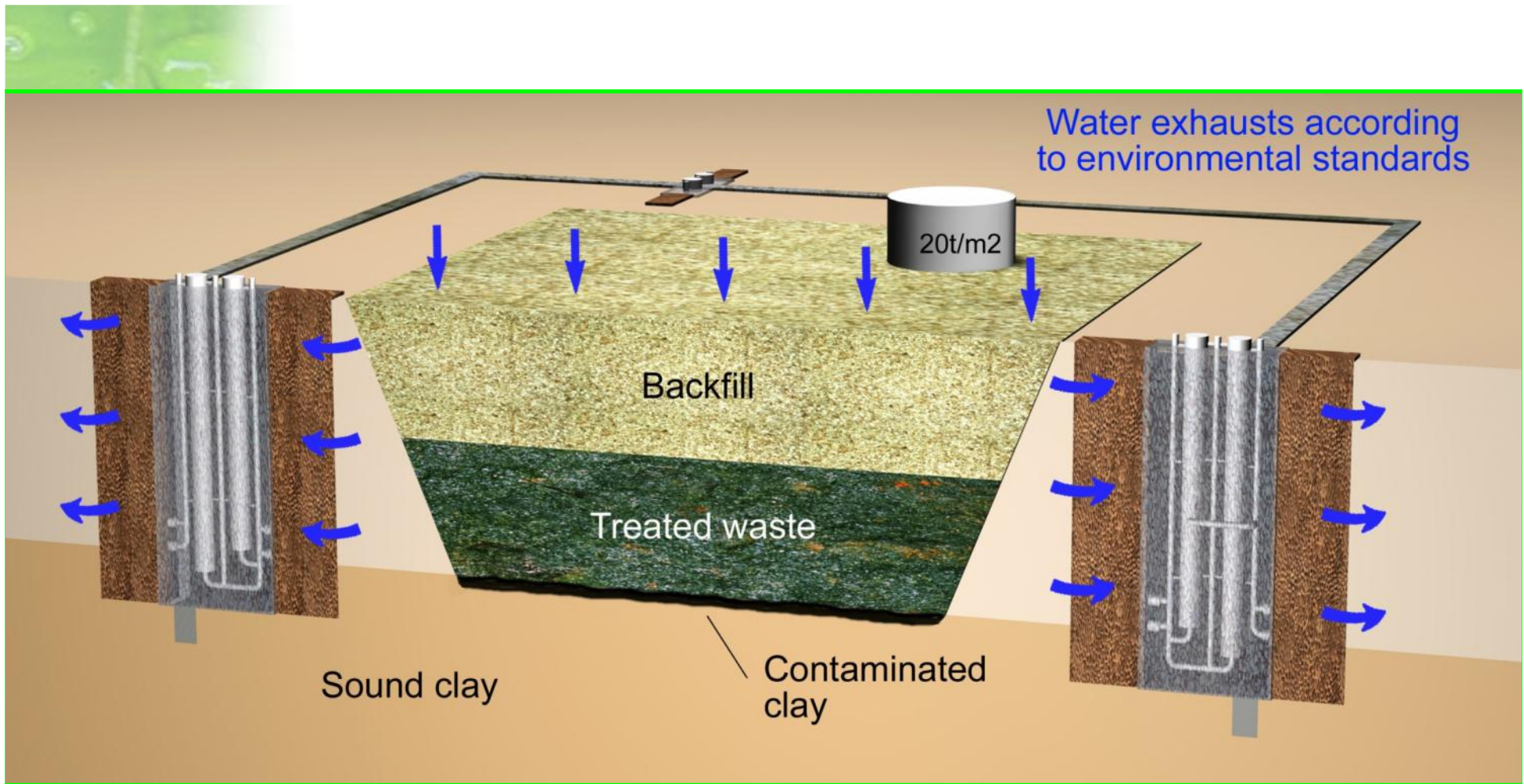
SCHEMATIC PRINCIPLE OF AN ACTIVE BARRIER WITH FILTERING GATES



Easy installation and maintenance of filtering gates
thanks to panel-drain® process

BREST: Gate installation





BREST LAGOON : example of original conception combining in-situ stabilisation and a PRB.



Danksagung:

- **Dr. Peter Niederbacher, Klosterneuburg**
- **Prof. Stephen Jefferis, Prof. Bob Kalin, UK**
- **Solenvironment, Frankreich**
- **Allen Kolleginnen und Kollegen aus allen RUBIN-Projekten, insbesondere:**
 - **Prof. Dr. W. Ruck, Dr. W.-U. Palm, Dr. S. Mänz, Leuphana Universität Lüneburg**
 - **Dipl.-Ing. C. Weingran, HIM GmbH**
 - **Dipl.-Ing. R. Feig, CDM AG**
 - **Dr. H. Schad, I.M.E.S. GmbH**



Vielen
Dank für
Ihr
Interesse!

Fragen?

