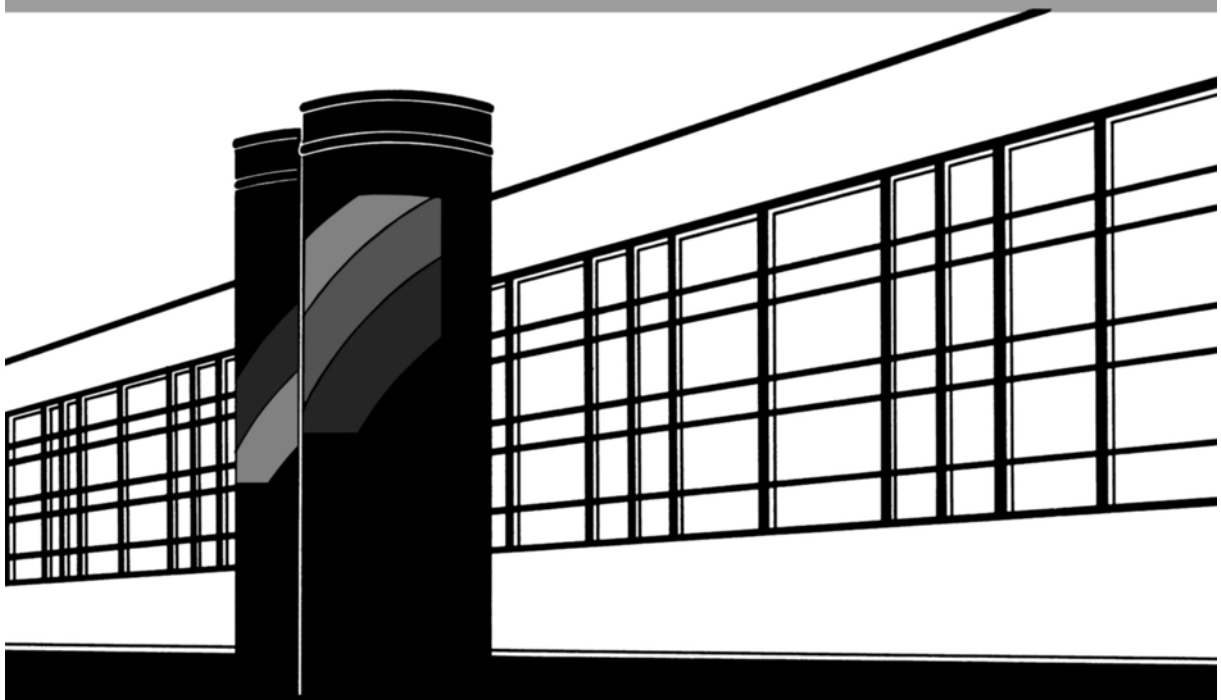


Institut für Wasserbau · Universität Stuttgart

# *Mitteilungen*



Heft 150

Hrsg.: J. Braun, H.-P. Koschitzky,  
M. Stuhmann

*VEGAS* – Statuskolloquium 2006  
28. September 2006

Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Braun, Jürgen; Koschitzky, Hans-Peter; Stuhmann, Matthias (Hrsg.):  
VEGAS-Statuskolloquium 2006, 28.September 2006  
von Jürgen Braun et al. (Hrsg.), Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart.  
Stuttgart: Inst. für Wasserbau, 2006

(Mitteilungen / Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart: H. 150)  
ISBN 3-933761-53-0

Gegen Vervielfältigung und Übersetzung bestehen keine Einwände, es wird lediglich um  
Quellenangabe gebeten.

Herausgegeben 2006 vom Eigenverlag des Instituts für Wasserbau  
Druck: Sprint Digital Druck, Stuttgart

## VORWORT

Im Rahmen des 11. VEGAS-Statuskolloquiums werden neueste Ergebnisse von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben der Fachöffentlichkeit vorgestellt und diskutiert. Die Veranstaltung richtet sich insbesondere an Wissenschaftler, Vertreter von Industriefirmen und Kommunen als Eigentümer von kontaminierten Flächen, Ingenieurbüros, Analytiklabors und Vertreter der Umweltverwaltung. Durch den breit gefächerten Teilnehmerkreis wird der Technologietransfer von der Hochschule in die Praxis weiter intensiviert. Aus den Diskussionen sollen auch der Bedarf und die Anforderungen der Sanierungspraxis für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsprojekte identifiziert werden.

Einen Schwerpunkt des diesjährigen VEGAS-Statuskolloquiums bilden - von der Entwicklung bis zur Praxisanwendung - innovative In-situ-Sanierungsverfahren für Grundwasserschäden bis hin zur Stimulierung natürlicher Schadstoffminderungsprozesse (ENA). Darüber hinaus werden neue Forschungsergebnisse und -projekte zu den Themen Sickerwasserprognose, Vor-Ort-Messtechnik und Brachflächenrevitalisierung vorgestellt.

Die Beiträge umfassen Grundlagenuntersuchungen zu den im Untergrund ablaufenden Prozessen der Schadstoffausbreitung und des Schadstoffverhaltens und Entwicklungen bei der numerische Modellierung dieser Prozesse. Forschungsergebnisse aus Labor- und Technikumsversuchen und Erfahrungen aus Pilotanwendungen im Feldmaßstab stehen im Fokus. Der Einsatz neuester Techniken und Verfahren bei Pilotanwendungen im Rahmen von Sanierungsprojekten zeigt die Möglichkeiten und Chancen neuer Techniken für die Ingenieurpraxis unter Berücksichtigung von Anwendungsmöglichkeiten und ökonomischen Aspekten. Ziel ist es hierbei auch, die Marktchancen innovativer Verfahren für die Altlastenssanierungspraxis zu verdeutlichen und einen Beitrag zu der derzeit in Deutschland geführten Diskussion der Frage Sanierung/ Teilsanierung von Schadensquellen (Schadensherden) in Richtung Anwendung von innovativen In-situ-Sanierungsverfahren zu leisten.

Stuttgart, im September 2006

Jürgen Braun  
Hans-Peter Koschitzky  
Matthias Stuhmann



**VEGAS**  
**Statuskolloquium**  
**2006**

**28. September 2006**

**Ort:**

**Universität Stuttgart, Campus Stuttgart-Vaihingen**  
**Ingenieurwissenschaftliches Zentrum IWZ**  
**Pfaffenwaldring 7, Hörsaal V 7.02**

# VEGAS-Statuskolloquium 2006

**Donnerstag, 28. September,**

**Hörsaal 7.02, Pfaffenwaldring 7, Campus Stuttgart-Vaihingen**

**9:00 Eröffnung und Einführung**

*Jürgen Heidborn, Vorsitzender des VEGAS-Beirats  
(Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF)*

**Verhalten von Schadstoffen im Untergrund und  
Stimulierung des natürlichen Abbaus (ENA)**

Sitzungsleiter: Frank-Dieter Kopinke (UFZ Leipzig/Halle)

**9:10 Enhanced Natural Attenuation (ENA) zur biologischen In-Situ-Sanierung von  
NSO-Heterozyklen im Grundwasser: Verfahrensentwicklung im Technikums-  
Maßstab sowie Pilotanwendung an einem ehemaligen Gaswerksstandort**

*Matthias Piepenbrink (IAG, TU Darmstadt), Cecilia de Biase, Michael Dietze,  
Peter Grathwohl (ZAG, Universität Tübingen), Maria Herold, Thomas Ptak  
(GZG, Universität Göttingen), Oliver Trötschler, Thomas Haslwimmer, Hans-Peter  
Koschitzky (VEGAS, Universität Stuttgart)*

**9:35 Enhanced Natural Attenuation: Heterozyklische Kohlenwasserstoffe –  
Relevanz an Teeröl-kontaminierten Standorten und Stimulation des  
biologischen Abbaus (BMBF)**

*Anne Sagner, Claudia Zawadsky, Andreas Tiehm (TZW, Karlsruhe)*

**10:00 Ausgewählte Ergebnisse und Konsequenzen aus dem Teilprojekt des LUA  
NRW im BMBF-Verbundvorhaben "Sickerwasserprognose" für die  
Verwertung und Gefährdungsabschätzung**

*Bernd Susset, Wolfgang Leuchs (LUA, Nordrhein-Westfalen)*

**10:25 Einfluss von Heterogenitäten auf die Strömung in teilgesättigten porösen  
Medien - experimentelle Untersuchungen (DFG)**

*Insa Neuweiler, Milos Vasin (IWS, Universität Stuttgart), Rene Hassanein  
(Paul Scherrer Institut, Villigen), Anders Kästner, Peter Lehmann  
(Institut für Terrestrische Oekologie, Zürich)*

10:50 Kaffeepause

## **In-situ-Verfahren zur Sanierung von DNAPL-Schäden im Grundwasser**

Sitzungsleiter: Dieter Stupp (Dr. Stupp Consulting GmbH)

**11:10      Pilothafte Sanierung eines CKW Schadensherdes mittels Alkoholspülung in einem Großbehälter (BMBF)**

*Philipp Greiner, Jürgen Braun, Hans-Peter Koschitzky  
(VEGAS, Universität Stuttgart)*

**11:35      In-situ-Sanierung von Schadstoffherden im Grundwasser mit Festen Wärmequellen - Erweiterung der Einsatzbereiche des THERIS-Verfahrens (SERDP)**

*Uwe Hiester, Hans-Peter Koschitzky, Oliver Trötschler, (VEGAS, Universität Stuttgart), Arne Färber (IWS, Universität Stuttgart), Ralph Baker, Gorm Heron, John LaChance (TerraTherm, Inc., USA), Myron Kuhlman (MK Tech Solutions Inc., USA)*

**12:00      Dampf-Luft-Injektion in die gesättigte Zone: Pilotanwendung zur Sanierungsplanung an einem innerstädtischen Standort im Rheintal (Stadt Ka)**

*Oliver Trötschler, Hans-Peter Koschitzky (VEGAS, Universität Stuttgart), Steffen Ochs (IWS, Universität Stuttgart), Stephan Denzel (dplan GmbH, Karlsruhe), Kai Stöckl (Stadt Karlsruhe)*

**12:25      Fortschritte bei der Entwicklung eines prognosefähigen numerischen Modells zur Simulation der Dampfinjektion in die gesättigte Bodenzone (IWS)**

*Steffen Ochs, Holger Class, Rainer Helmig (IWS, Universität Stuttgart), Oliver Trötschler (VEGAS, Universität Stuttgart)*

12:50      Mittagspause mit Imbiss

## **In-situ-Sanierungsverfahren: aktuelle Entwicklungen**

Sitzungsleiter: Rolf Gerhardt (Deutsche Bahn AG)

**14:00      Entwicklung eines Immobilisierungsverfahrens für Schwermetalle unter Nutzung des geogenen Sulfatgehalts im Grundwasser (BWPLUS)**

*Norbert Klaas, Sylvia Mackenberg (VEGAS, Universität Stuttgart)*

**14:25      Grundlagenuntersuchungen zum hydraulischen Verhalten von Nano-Eisen im Aquifer (BWPLUS)**

*Cjestmir de Boer, Norbert Klaas, Jürgen Braun (VEGAS, Universität Stuttgart)*

**14:50**      **Machbarkeitsstudie zum Einsatz von chemischer Oxidation (ISCO) zur Sanierung von CKW-Kontaminationen - Ergebnisse aus Batch- und Säulenversuchen (BWPLUS)**

*Steffen Hetzer, Norbert Klaas, Oliver Trötschler (VEGAS, Universität Stuttgart)*

**15:15**      **SAFIRA II - Forschungsprogramm zur Revitalisierung von großflächig und komplex kontaminierten Standorten (Megasites) (BMBF)**

*Martin Bittens, Rainer Henzler, Hermann Rügner, Georg Teutsch (UFZ Umweltforschungszentrum Leipzig / Halle GmbH)*

15:40      Kaffeepause

## **Flächenmanagement und Messtechnik**

Sitzungsleiter: Harald Burmeier (Universität Lüneburg)

**16:00**      **BMBF – US EPA-Projekt: START-UP-Pläne zur Stimulierung des nachhaltigen Flächenrecyclings: die Implementierung**

*Volker Schrenk, Jantje Samtleben, Jürgen Braun (VEGAS, Universität Stuttgart), Michael Hanke (Immobilien Consulting M. Hanke, Droßdorf), Uwe Ferber (Projektgruppe Stadt und Entwicklung, Leipzig)*

**16:25**      **VEGAS-Aktivitäten im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunktes REFINA**

*Volker Schrenk (reconsite), Jürgen Braun, Jantje Samtleben (VEGAS, Universität Stuttgart)*

**16:50**      **PROMOTE - Unterstützung innovativer Boden- und Grundwasser-überwachungs- und In-Situ-Sanierungstechnologien durch ein europäisches Technologie-Verifizierungssystem (EU FP6)**

*Thomas Track (DECHEMA Frankfurt)*

**17:15**      **Perspektiven der Messtechnik und Vor-Ort-Analytik**

*Norbert Klaas, Katrin Batereau, Jürgen Braun (VEGAS, Universität Stuttgart)*

**17:40**      **Schlusswort**

*Stefan Gloger (Umweltministerium Baden-Württemberg)*

# **1 Enhanced Natural Attenuation (ENA) zur In-situ-Sanierung von NSO-Heterozyklen im Grundwasser: Verfahrensentwicklung im Technikums-Maßstab sowie Pilotanwendung an einem ehemaligen Gaswerksstandort**

Matthias Piepenbrink, IAG, TU Darmstadt,

Cecilia de Biase, Michael Dietze, Peter Grathwohl, ZAG, Universität Tübingen,

Maria Herold, Thomas Ptak, GZG, Universität Göttingen,

Oliver Trötschler, Thomas Haslwimmer, Hans-Peter Koschitzky, VEGAS, Universität Stuttgart

## **1.1 Einleitung**

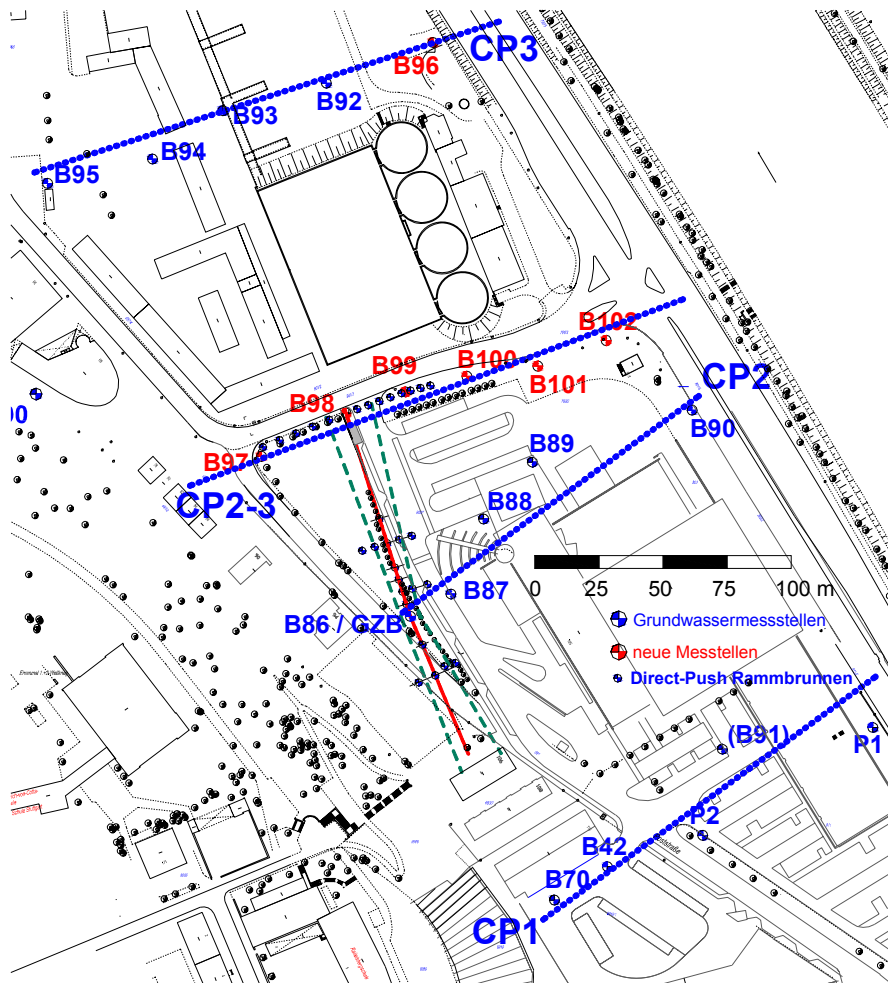
Heterozyklische Kohlenwasserstoffe (NSO-HET) sind toxische und zum Teil kanzerogene Verbindungen, die bei Teerkontaminationen des Untergrundes im Grundwasser auftreten (z.B. Zamfirescu & Grathwohl, 2001, M. Piepenbrink et al. 2005), aber noch nicht routinemäßig untersucht werden. Die bisherigen Feldbeobachtungen deuten auf eine relative Persistenz bei gleichzeitig hoher Mobilität hin, so dass lange Schadstoff-fahnen im Grundwasser entstehen. Da die natürlichen Abbau- und Rückhalteprozesse für eine Elimination oftmals nicht ausreichen, wurde ein effektives Verfahren zur Stimulation des aeroben mikrobiellen In-situ-Abbaus im Labor und Technikum entwickelt (Trötschler et. al., 2005).

Im Vorfeld dieses Projekts wurden von Sagner et al. (z.B. Sagner & Tiehm 2004, Sagner et al. 2005) zahlreiche Batch- und Säulenversuche zur Bioabbaubarkeit von NSO-HET durchgeführt. Anschließend konnte im feldnahen Langzeitversuch in der „Großen Rinne“ von VEGAS der Nachweis für die erfolgreiche biologische, aerobe In-situ-Behandlung (ENA) von heterozyklischen Kohlenwasserstoffen durch die Zugabe von Wasserstoffperoxid, bzw. deren teilweiser Abbau durch Luft(sauerstoff) über einen Grundwasserzirkulationsbrunnen (GZB) erbracht werden.

In den laufenden Arbeiten erfolgt die konsequente Umsetzung dieser Methode im Rahmen eines Pilotversuchs an einem ehemaligen Gaswerksstandort. Zur Quantifizierung des Abbaus sollen neben der integralen IPV-Methodik auch kleinräumige Messungen (im Verbund mit Tracerversuchen) an hochauflösenden Kontrollebenen vorgenommen werden, welche mittels 'direct-push' Techniken in den Aquifer eingebracht wurden.



## 1.2 Vorbereitende Arbeiten



**Abb. 1.1: Lageplan Testfeld Süd mit Kontrollebenen CP1, CP2, CP2-3 und CP3**

Zu Beginn der Felduntersuchungen in der zweiten Projektphase wurden folgende neue Messstellen benötigt:

- (a) Eine zwischen Kontrollebene CP2 (Messstellen B86, B87, B88, B90) und CP3 (Messstellen B95, B94, B93, B92 und B96) gelegene neue Kontrollebene CP2-3, welche mit 6“ Grundwassermessstellen ausgebaut wurde (Messstellen B97, B98, B99, B100, B101 und B102), da die alte Kontrollebene CP3 sich bereits zu weit im Abstrom zum Schadensherd in der Schadstofffahne befindet und dort außer den persistenten NSO-HET keine weiteren Schadstoffe (BTEX, PAK) mehr nachweisbar waren (siehe Abb. 1.1). Beim Einsatz der ENA-Maßnahme sollte jedoch deren Wirksamkeit für alle gaswerkstypischen organischen Kontaminanten also für BTEX, PAK und NSO-HET gezeigt werden.
- (b) Eine über „direct push“ installierte center-line der Schadstofffahne und räumlich engstehende Kontrollebenen zur Überwachung der Wirksamkeit des GZB. Die mittels Geoprobe®-Technik installierten Rammpegel dienen zum einen bei Traversversuchen zur Bestimmung des Einzugsbereichs des GZB und zum Nachweis

dessen effektiver Durchmischung. Zum anderen dienen sie zur Überwachung der Sauerstoffausbreitung im Rahmen der Zugabe von Luftsauerstoff / Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) und dem Nachweis des aeroben biologischen Abbaus der persistenten NSO-HET, sowie der Beschreibung des allgemeinen Reaktionsraums.

### 1.3 Immissionspumpversuche

Vor dem Start der eigentlichen ENA-Maßnahme wurden im Frühjahr 2006 mit Immissionspumpversuchen (IPVs) die Schadstofffrachten, sowie die aktuelle Schadstoffverteilung in der relevanten, d.h. vom späteren GZB beeinflussten „Stromröhre (B86-B98)“, s. Abb. 1.1 bestimmt. Wie in den bereits im Jahr 2004 durchgeführten IPVs sind an der Grundwassermessstelle B86 noch PAK die dominierenden Kontaminanten. Jedoch ist auch deren Spektrum im Vergleich zur proximalen Schadstofffahne stark ausgedünnt, d.h. es tritt bereits hier fast nur noch deren persistentester Vertreter, das Acenaphthen (ACE) mit Konzentrationen zwischen 120-160  $\mu\text{g/l}$  auf. An zweiter Stelle stehen die NSO-HET insbesondere mit den Stoffen Dimethylbenzofuran (DMBF) und Methylbenzofuran (MBF), deren Summenkonzentration zwischen 80 und 110  $\mu\text{g/l}$  schwankt. Die Schadstoffgruppe der BTEX spielt in diesem Bereich der Schadstofffahne bereits nur noch eine untergeordnete Rolle - allein ihr persistentester Vertreter das Benzol ist noch mit Konzentrationen um 1  $\mu\text{g/l}$  vertreten (siehe Abb. 1.2).

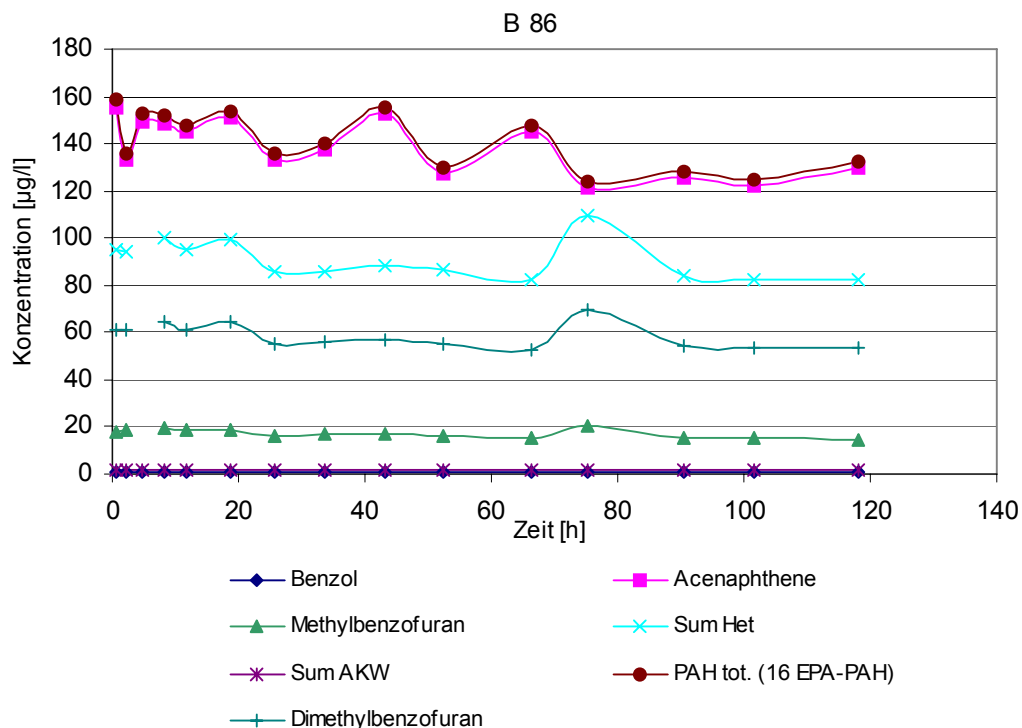


Abb. 1.2: Während des IPV an B 86 gemessene Konzentrationsganglinien.

In der neu eingerichteten Messstelle B98 (im weiteren Abstrom von B86 gelegen) sind die PAK weiterhin die dominierenden Kontaminanten, die Konzentration von ACE sank während des IPV jedoch kontinuierlich von 110 auf 80 µg/l ab. An zweiter Stelle folgen auch hier die NSO-HET mit DMBF und MBF, deren Summenkonzentration um einen Mittelwert von 63,3 µg/l annähernd konstant blieb und die sich in der Rangfolge damit deutlich dem ACE angenähert haben. Die Schadstoffgruppe der BTEX ist nur noch in Konzentrationen nahe der Nachweisgrenze vertreten.

Die Frachten an den Messstellen B86 und B98 wurden analytisch, unter Berücksichtigung der Grundströmung, mit dem Programm C-STREAM (Bayer-Reich et al., 2003) wie folgt bestimmt (alle Angaben in g/d):

<b>GWM</b>	<b>ACE</b>	<b>PAK</b>	<b>MBF</b>	<b>DMBF</b>	<b>Benzol</b>	<b>BTEX</b>
B86	8.999	9.182	1.092	3.820	0.066	0.086
B98	6.875	7.036	1.116	3.946	n.d.	n.d.

Die im östlichen, lateralen Fahnenrand (B99, B100) durchgeführten IPVs zeigen folgende Ergebnisse:

- (a) in Messstelle B99 dominiert während des ganzen Versuchs die NSO-HET Summenkonzentration (40-50 µg/l) und auch das DMBF als Einzelstoff (30-40 µg/l) wird nur kurzfristig (zu Versuchmitte) von ACE (20-40 µg/l) in der Rolle des höchstkonzentrierten Kontaminanten abgelöst,
- (b) in Messstelle B100 wird die Dominanz der NSO-HET sowohl als Summe (2-6 µg/l) und auch deren Einzelstoffe MBF (0,4-1µg/l) und insbesondere DMBF (2-5 µg/l) zu keinem Zeitpunkt durch einen PAK-Kontaminaten übertroffen. Acenaphthen ist unter diesen Bedingungen offenbar nicht mehr persistent und liegt nur noch in Konzentrationen von 0,5 µg/L vor (s. Abb. 1.3).

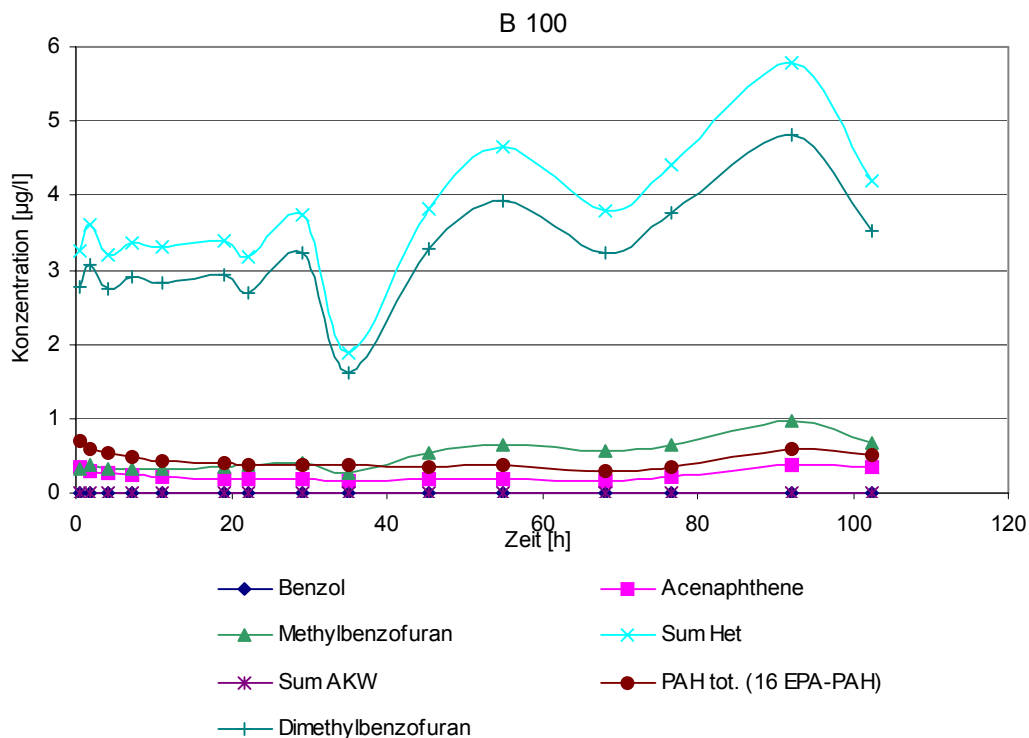


Abb. 1.3: Während des IPV an B 100 gemessene Konzentrationsganglinien.

Es kann somit festgestellt werden, dass beide Beobachtungen des lateralen Fahnenrands in ihren Abbauverhalten grundsätzlich mit der distalen Fahnen Spitze übereinstimmen, wo die NSO-HET nach einer gewissen Transportdistanz ebenfalls die Rolle der dominierenden und damit relevanten Kontaminanten einnehmen.

Die nach Auswertung der IPV's mittels Direct-push-Technik installierten Rammpegel der engräumigen Kontrollebenen und der Fahnenachse (plume-centerline) wurden in einer Stichtagsmessung beprobt. Die dabei erhobenen Konzentrationswerte bestätigen grundsätzlich die Werte der IPV's. Anhand von einzelnen Messstellen-Ausreißern zeigte sich jedoch deutlich die Problematik von idealisierten 'plume-centerlines' bei vorhandener Heterogenität des Aquifers. Inwieweit die „Messstellen-Ausreißer“ auf eine ungenügende Anbindung der Rammpegel oder lokale Heterogenitäten im Untergrund zurückzuführen sind bleibt noch zu klären.

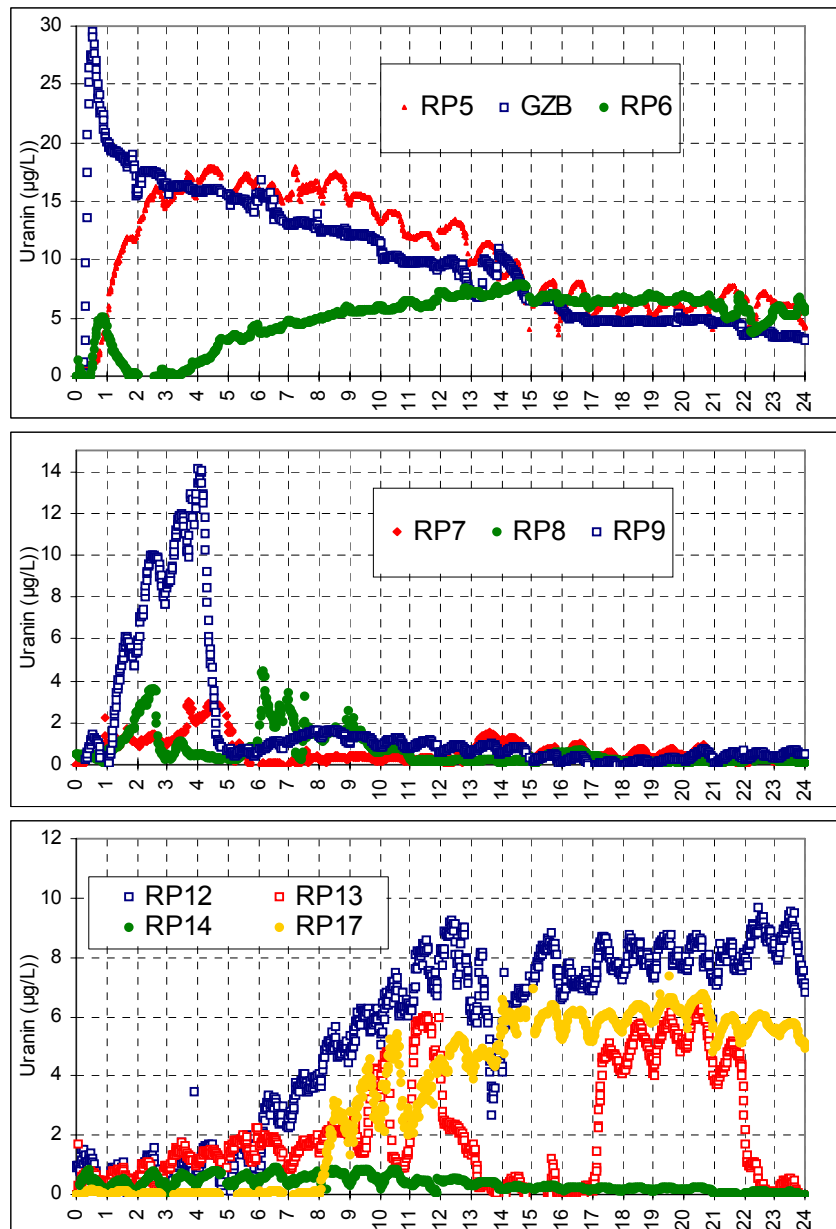
## 1.4 Tracerversuche und Betrieb des Grundwasserzirkulationsbrunnens

Nach der Installation des GZB in B86 erfolgte dessen hydraulischer Probetrieb mit Überprüfung des über numerische Simulation bestimmten Einzugsbereichs und der Durchmischungseffektivität mittels Tracerversuchen.

Der GZB wird mit einer Förderrate von ca. 10 m<sup>3</sup>/h betrieben. Das Grundwasser wird im unteren Filterbereich des Brunnens entnommen (7,5 – 6,2 m u. GOK), die Zugabe des im späteren Verlauf der ENA-Maßnahme mit Luft(sauerstoff), bzw. Wasserstoffperoxid versetzten Grundwassers erfolgt in einer Teufe zwischen 5,0 – 3,4 m u. GOK. Im Aquifer wird infolge des abgepackten Bereichs zwischen Zugabe- und Entnahmefilter eine Strömungswalze erzeugt.

Nach einem einwöchigen Testbetrieb des GZB erfolgte die Zugabe eines konservativen fluoreszierenden Tracers (Uranin: 30 mg/L, 1 m<sup>3</sup>, 2 Stunden Zugabe) an dem ca. 25 m oberstromig des GZB gelegenen Rammpegel RP2. Gleichzeitig wurde im GZB mit Zugabe von Luftsauerstoff und eines zweiten Tracers, Natriumbromid (ca. 100 mg/L, ein Tag Dosierdauer) begonnen. Der Uranin-Tracertest dient der Bestimmung des Erfassungsbereichs des GZB, der Bromid-Tracertest dient dem Nachweis der homogenen Einmischung von Tracer / Elektronenakzeptoren (Sauerstoff / Wasserstoffperoxid) in die Grundwasserströmung durch den GZB und der Bestimmung des Retentionsfaktors zwischen Sauerstoff und dem konservativem Tracer. Die Tracerversuche sind noch nicht vollständig abgeschlossen und mussten unter hydraulisch schwierigen Bedingungen – starke, lang anhaltende Niederschläge im August dieses Jahres nach annähernd zweimonatiger Trockenheit – durchgeführt werden. Bedingt durch die geologische Struktur ist dabei auch mit Hangwasserzutritt in das Neckartal zu rechnen.

Bereits nach einem Tag wurde die Erstankunft des Uranins am GZB detektiert und somit die hydraulische Wirksamkeit des Zirkulationssystems nachgewiesen (Abb. 1.4 oben). Die Bestimmung der Uraninkonzentrationen erfolgt über Mehrkanal-Lichtleiterfluorometer mittels Durchflussmesszellen mit kontinuierlicher Beprobung der Rammpegel. Unter Annahme einer „natürlichen“ Abstandsgeschwindigkeit von 2 - 3 m/d ist dieses rasche Durchbruchverhalten am GZB entweder auf ausgeprägte hydraulische Kurzschlüsse im Aquifer oder auf die weitreichende Strömungswalze des GZB mit 20 – 30 m Durchmesser zurückzuführen. Annähernd gleichzeitig mit dem Tracerdurchbruch am GZB wurde RP6, ca. 5 m unterstromig des GZB gelegen, erreicht. Dies untermauert die Annahme einer weitreichenden Strömungswalze des GZB. Der Tracerdurchbruch an dem 12 m oberstromig des GZB gelegenen Rammpegels RP5 erfolgte zeitlich leicht verzögert zum GZB, bzw. RP6, was auf die unterliegende Grundströmung zurückgeführt werden kann. Im weiteren Abstrom des GZB konnte der Tracerdurchbruch an drei Rammpegeln RP7 – RP9 im Abstand von ca. 10 m unterstromig des GZB detektiert werden (Abb. 1.4, Mitte).



**Abb. 1.4: Tracerdurchbruchkurven an den Rammpegeln und am GZB.**

Diese Rammpegel sind als Querriegel zur Grundströmung ausgebaut (s. Abb. 1.5). RP7 liegt in Grundwasserströmungsrichtung (NNW) unterstromig des GZB, RP8 ca. 4 m nach Osten versetzt und RP9 um 10 m aus der GW-Strömungsrichtung versetzt. Entsprechend den Durchbruchverhalten kann eine Einmischung des Tracers in die GW-Strömung mit einer Breite von mindestens 20 m angenommen werden.

An den weiteren, im direkten Abstrom des GZB gelegenen Rammpegeln RP10 und RP11 konnte kein Uranin detektiert werden. Die hydraulische Anbindung dieser Rammpegel ist somit fraglich. An den Pegeln RP12 – 14, die als weiterer Querriegel im Abstand von ca. 30 m unterstromig des GZB installiert sind, konnte lediglich an den beiden westlich der „Grundwasserströmungsröhre“ gelegenen RP12 und RP13 (s. Abb. 1.5) eindeutig Uranin detektiert werden. Da jedoch auch im weiteren direkten Abstrom

des GZB an RP17 (Abstand zum GZB: 40 m) eindeutig Uranin detektiert wurde, ist die hydraulische Anbindung auch an den Pegeln RP14 –15 fraglich. Die mittlere Abstandsgeschwindigkeit oberstromig des GZB kann auf ca. 3 m/d abgeschätzt werden. Ein zweiter Tracerversuch mit oberstromiger Zugabe von Uranin in RP3 (s. Abb. 1.5) soll in den nächsten Wochen durchgeführt werden.

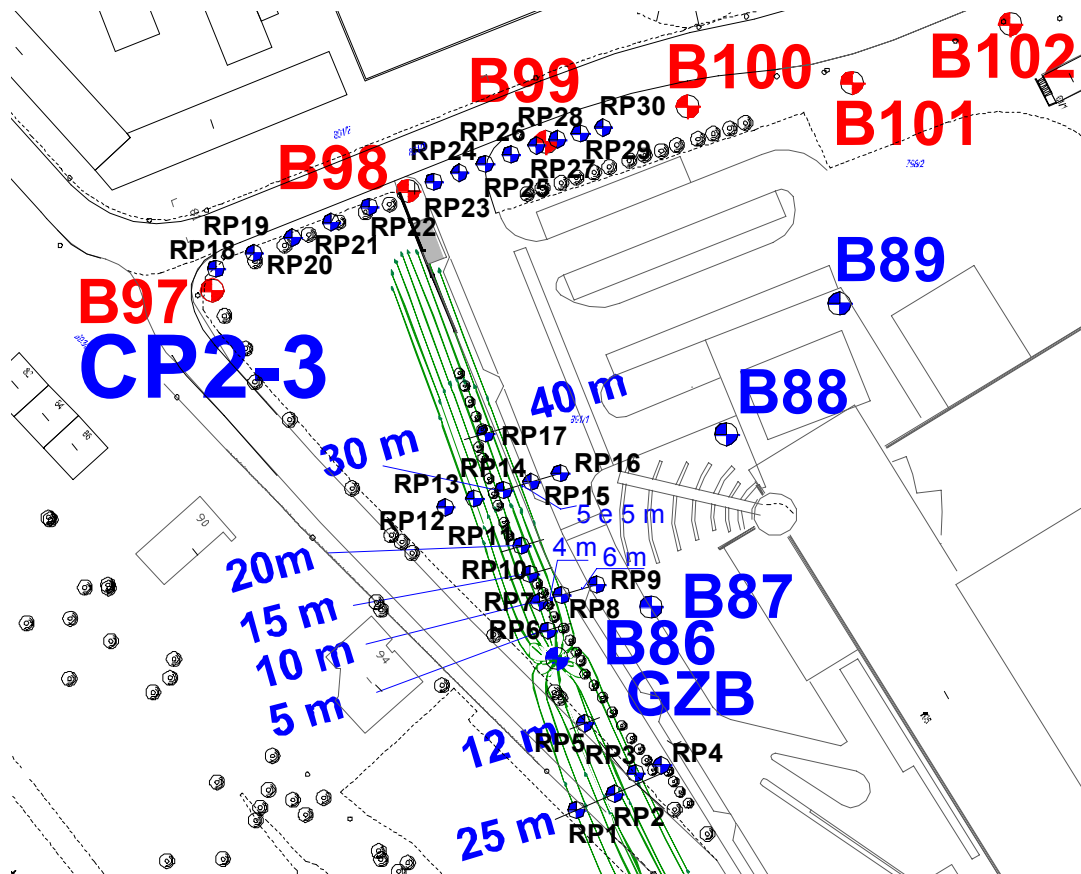


Abb. 1.5: Lage Rammpegel und Strömungsbahnen numerische Simulation.

Zeitgleich mit dem Uranin-Tracerversuch wurde mit der Zugabe von Luftsauerstoff in die Strömungswalze des GZB begonnen. Hierbei konnten Sauerstoffgehalte zwischen 4 – 6 mg/L im Nahbereich der Strömungswalze erzielt werden. Im weiteren Bereich der Strömungswalze (RP6) konnten keine erhöhten Sauerstoffgehalte (< 1 mg/L) bestimmt werden. Ursache hierfür ist höchstwahrscheinlich der chemische Verbrauch von Sauerstoff zur Oxidation von reduziertem Eisen im Aquifer/Grundwasser. Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen wurden aktuell relativ hohe Eisengehalte zwischen 8 – 10 mg/L angetroffen. Über Grundwasserbeprobungen im Mai, bzw. Juli 2006 konnte das Vorliegen einer NA-typischen, eisenreduzierenden Redox-Zone im Bereich von CP2 und CP2-3 festgestellt werden, wobei an CP1 eine überwiegend sulfatreduzierende Zone vorliegt und dort nur sehr geringe Eisenkonzentrationen (um 1 mg/L) bestimmt wurden.

Bereits nach ca. 2 Tagen der Luftsauerstoffzugabe konnte die Bildung von Eisen(III)-verbindungen (Oxide, Hydroxide) in der Zirkulationsströmung des GZB festgestellt wer-

den, das ausgefällte Eisen wurde über die anlageninternen Sandfilter abgefiltert. Mit zunehmender Betriebsdauer stieg der Wasserstand im Zugabebereich des GZB dennoch kontinuierlich an, weshalb die Förderrate des GZB sukzessive erniedrigt wurde (ca. 2 m<sup>3</sup>/h). Nach 15 Tagen Luftsauerstoffzugabe wurde diese gestoppt, um über die Zirkulation des anströmenden, durch den GZB erfassten anaeroben Grundwassers die Verockerungen (Fe(III)) rückzulösen. Diese Maßnahme führte zu einer leichten Verbesserung der hydraulischen Verhältnisse. Anhand der Grundwasserstände in einem Überwachungspegel „RP-GZB“, (1,5 m von B86 (GZB) entfernt) und dem Rammpegel RP6 (5 m von B86 entfernt) konnte unter Variation der GZB-Förderrate festgestellt werden, dass der Nahbereich des GZB zugabeseitig verockert ist, wohingegen entnahmeseitig keine Verockerungen vorliegen und weiterhin die direkte hydraulische Anbindung von RP6 gegeben ist. Über eine Säurespülung konnte ein Großteil der Verockerungen, primär Eisen(III)-verbindungen gelöst und entfernt werden. Derzeit wird der GZB mit einer Förderrate von 4 m<sup>3</sup>/h betrieben. Der Grundwasserstand an RP-GZB liegt nun ca. 30 cm höher als derjenige an RP6, vor der Säurespülung waren es jedoch noch ca. 100 cm.

Eine zusätzlich zu errichtende Wasseraufbereitungsanlage soll im weiteren Projektlauf die Zugabe von Wasserstoffperoxid zur Aerobisierung des Grundwassers ermöglichen.

## 1.5 Danksagung

Dieses Verbundprojekt wird im Rahmen des Förderschwerpunktes ‚KORA‘ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert, Förderkennzeichen: 02WN0361, 02WN0363.

## 1.6 Literatur

- Bayer-Raich, M., Jarsjö, J., Holder, T., Ptak, T., 2003. Numerical estimations of contaminant mass flow based on concentration measurements in pumping wells. Model-Care 2002: A Few Steps Closer to Reality, IAHS Publication, vol. 277. IAHS Press, Wallingford, Oxfordshire, UK, pp. 10–16.
- M. Piepenbrink, M. Krüger, T. Ptak, P. Grathwohl (2005): Natural attenuation of N-S-O heteroaromatic compounds in groundwater: chemical analyses, reactive transport experiments and field studies. in: Groundwater Quality 2004: Bringing Groundwater Quality Research to the Watershed Scale, IAHS Publication 297, 338-345, ISBN 1-901502-18-X.
- Sagner A. & Tiehm A. (2004): Mikrobieller Abbau von Heterozyklischen Kohlenwasserstoffen: Einfluss der Redoxbedingungen. In: Barczewski, B. et al. (Hrsg), VEGAS-



- Statuskolloquium 2004. Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, Heft 131: 18 – 27
- Sagner A., Tiehm A., Trötschler O., Haselwimmer T., Koschitzky H.-P. (2005): Enhanced Natural Attenuation zum In-situ-Abbau von heterozyklischen Kohlenwasserstoffen. In: Braun, J. et al. (Hrsg), VEGAS-Statuskolloquium 2005. Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, Heft 145: 131 –140
- Trötschler O., Haslwimmer T., Sagner A., Tiehm A., Koschitzky H.-P. (2005): ENA of heterocyclic hydrocarbons by adding hydrogen peroxide in groundwater circulation wells – a field-based study on a large physical model scale. In: Uhlmann O., Annokkée G., Arendt F. (Hrsg.) Proceedings (CD) of the 9th international FZK/TNO conference on soil-water systems, Bordeaux, 3-7 Oct. 2005: 1452-1461
- Zamfirescu, D., Grathwohl, P. (2001): Occurrence and attenuation of specific organic compounds in the groundwater plume at a former gasworks site. - Journal of Contaminant Hydrology 53 (3-4), 407-427.