

Innovative In-situ-Sanierungsverfahren - Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -

Hans-Peter Koschitzky

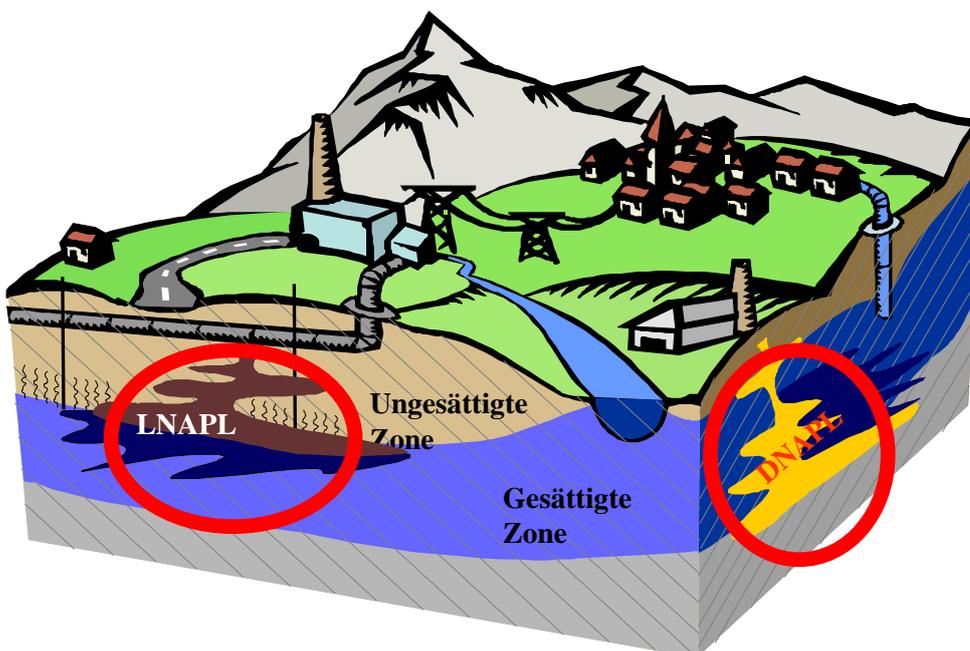
VEGAS, Versuchseinrichtung zur Grundwasser-
und Altlastensanierung, Universität Stuttgart
ITVA Fachausschuss H1: *Technologien und Verfahren*
Arbeitskreis *Innovative In-situ-Sanierungsverfahren*



Fachtagung: *Boden und Grundwasser*
24. Juni 2009, Hattingen



Anlass und Motivation



- In-situ-Sanierung
- Im Boden (ungesättigte Zone ZU)
- Organische Schadstoffe
- LNAPL und DNAPL
- Im Grundwasser (gesättigte Zone, GZ)
- Schadensherdsanierung
- Quellensanierung
- Fahnensanierung (Grundwasserabstrom)

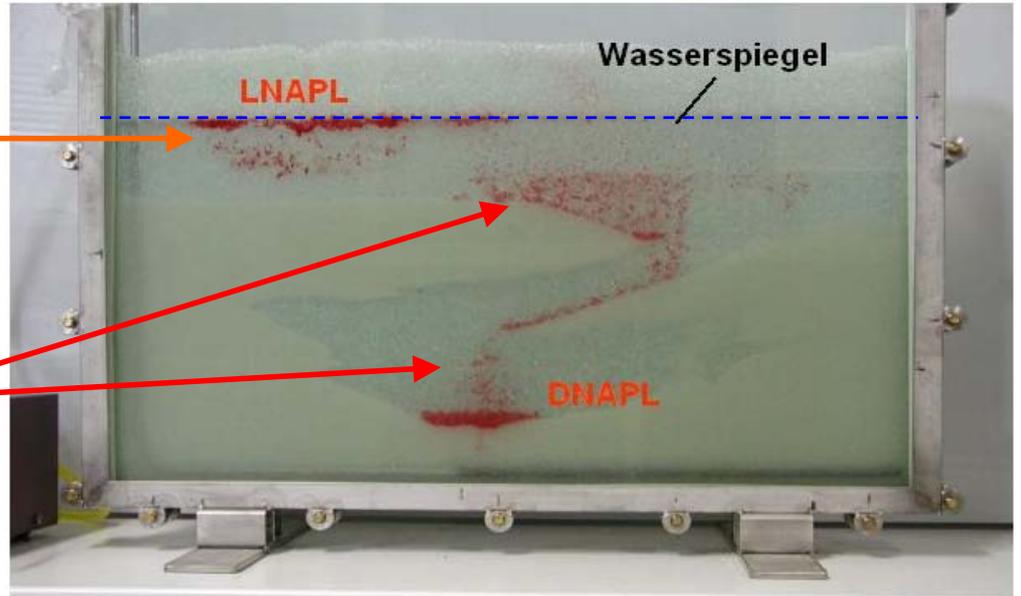
© VEGAS

LNAPL – DNAPL Sanierungsproblem

Beispiel: Schadstoffvorkommen im Untergrund

LNAPL
leichter als Wasser

DNAPL
schwerer als Wasser



NAPL = Non aqueous phase liquid (nicht mischbar mit Wasser)

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

3

In-situ-Sanierungsverfahren

 Versuchsrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung	Quelle		Fahne
	Thermisch unterstützt	Physikalisch / chemische Verfahren „Flushing Technologien“	
Ungesättigte Bodenzone	Dampf-Luft Injektion (TUBA)		
	Feste Wärmequellen (THERIS)		
gesättigte Zone (Grundwasser)	Dampf-Luft Injektion	Alkohol-Flooding	„Dichtwand-Heber-Reaktor“ (DHR)
		Mikroemulsion- Spülung	Enhanced Natural Attenuation (ENA)
	Feste Wärmequellen	Tensid-Spülung	
		ISCO / NanoFe <i>(in der Entwicklung)</i>	NanoFe <i>(in der Entwicklung)</i>

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

4

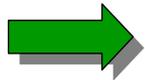
Wozu eine ITVA Arbeitshilfe zu In-situ-Sanierungsverfahren?

- Identifikation Erfolg versprechender und bereits erfolgreich angewandter innovativer In-situ-Sanierungsverfahren
 - Analyse und Bewertung ihrer Einsatzmöglichkeiten
 - Darstellung in Form von systematischen Datenblättern
 - Verfahren mit mindestens einer dokumentierten Pilotanwendung
- Arbeitshilfe = unabhängige und wertfreie Darstellung der Verfahren
 - Anwendung und Akzeptanz der Verfahren verbessern
 - Auswahl eines geeigneten In-situ-Sanierungsverfahrens erleichtern

Zielgruppe: Fachleute und Sachverständige aus dem Umweltbereich, Behördenvertreter sowie Sanierungspflichtige

Antwort auf Frage:

„Was können innovative Sanierungsverfahren leisten?“



Beitrag zur Lösung von Altlastenprobleme

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

5

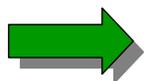
Was ist innovativ ?

Ein **innovatives Sanierungsverfahren** ist ein Verfahren, das einen Entwicklungsstand erreicht hat, der seine **praktische Eignung** im Sinne einer **umweltverträglichen, effizienten Anwendung** gesichert erscheinen lässt, aber das **noch nicht** dem Stand der Technik und/oder den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht

- **Innovativ kann auch eine Kombination mehrerer Verfahren sein**
- **Innovative Verfahren sollten zum Stand der Technik bzw. zu allgemein anerkannten Regeln geführt werden**

Sanierungsverfahren die

Schadstoffe biologisch, chemisch oder physikalisch aus dem Boden oder Grundwasser entfernen, in unschädliche Stoffe umwandeln oder ggf. deren Ausbreitung langfristig verhindern



Objektive „Bekanntmachung“ der Verfahren

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

6

Arbeitshilfe: Innovativen In-situ-Sanierungsverfahren

1. Veranlassung und Zielsetzung
2. Einleitung bzw. *Entwicklung der Verfahren*
3. Begriffe und Definitionen
4. Rechtliche Rahmenbedingungen
5. Anwendungsvoraussetzungen
6. **Verfahrensbeschreibungen**
 - 6.1 **Physikalische Verfahren**
(für die ungesättigte Bodenzone und die gesättigte Bodenzone)
 - 6.2 **Biologische Verfahren**
 - 6.3 **Chemische Verfahren**
 - 6.4 **Durchströmte Reinigungswände**
7. **Fazit und Ausblick (Empfehlungen)**
8. Literatur
9. **Glosar**
Anhang: Rechtliche Rahmenbedingungen und erforderliche Genehmigungen,
Zusammenfassung der Verfahrensbewertungen, Adresslisten

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



AAU Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

7

Physikalische Verfahren

- **Physikalische Vorgänge führen zu einer Änderung der Lage und der äußeren Form eines Stoffes**
- **Änderung des Aggregatzustandes (flüssig – gasförmig)**
- **Mobilisierung oder die Solubilisierung (in Lösung gehen von Stoffen)**
- **Physikalische Verfahren für die ungesättigte Bodenzone**
Thermisch unterstützten Boden-Luft-Absaugung TUBA (Dampf-Luft-Injektion), Feste Wärmequellen (THERIS), Multi-Phase- & Dual Phase Extraction und Elektrokinetik
- **Physikalische Verfahren für die gesättigte Bodenzone**
Airsparging, Dampf-Luft-Injektion (DLI) insbesondere zur Sanierung von CKW-Schadstoffquellen, Alkoholspülung (Alkohol-cocktail), Tensidspülung, Huminstoffe als Bio-Sorptionssperre und das Geoschock- und Hydroschock-Verfahren

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



AAU Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

8

Biologische Verfahren

- **Schadstoffe werden durch die Mikroorganismen im Grundwasser direkt abgebaut**
- **Keine Extraktion (Förderung) von Schadstoffen mit anschließender On-site-Reinigung (Wasseraufbereitung etc.)**
- **Zugabe (Injektion) von Nährstoffe oder speziellen Mikroorganismen**
- **Aerobe und anaerobe Verfahren**
- **Stimulierung des Abbaus von KW durch Zugabe von Elektronenakzeptoren: Biosparging, Wasserstoffperoxid (H₂O₂)-Zugabe, ORC®, iSOC™, Oxytec, Oxywall (aerober Abbau), Nitratzugabe zum anaeroben Abbau**
- **Stimulierung des Abbaus von CKW durch Zugabe von Elektronendonatoren: Zugabe von Melasse, organischen Säuren, Alkohole und HRC® für den anaerober LCKW-Abbau (reduktive Dechlorierung)**

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



 Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

9

Chemische Verfahren

- **Schadstoffe werden durch Zugabe eines chemischen Oxidationsmittels durch „kalten Verbrennung“ abiotisch zerstört**
- **Ziel ist die vollständige Umsetzung zu umweltneutralen Stoffen**
- **Oxidations-Reaktion erfolgt im Grundwasserleiter sehr schnell, sobald/sofern wirksamer Kontakt Oxidationsmittel und organischer Schadstoff hergestellt**
- **In-situ-chemische-Oxidation – ISCO**
technische Machbarkeit und Realisierbarkeit unterscheidet sich je nach Oxidationsmittel: Kalium-/Natriumpermanganat, Fentons Reagenz, Persulfat und Ozon
- **In-situ-chemische-Reduktion**
Metallisches Eisen als wirksames Reduktionsmittel, In-situ-Einsatz über Nano- und Mikroisen-Injektion

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



 Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

10

Durchströmte Reinigungswände

- Schaffung definierter reaktiver Zonen (Reaktor) im Untergrund zur In-situ-Dekontamination des durchströmenden Grundwassers
- Passives Verfahren, natürlicher „Grundwasserfluss“ durchströmt Reaktor
- Alternative zu aktiven hydraulischen Sicherungsmaßnahmen (Pump&Treat)
- Langzeitsicherung bei Schadstoffquellen, bei denen Dekontamination innerhalb eines überschaubaren Zeitrahmens nicht möglich ist
- Prinzipiell auch zur Sanierung von „abgerissenen“ Fahnen oder als Vorsorge-Maßnahme zum Schutz von sensiblen Grundwassernutzungen

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



FAV Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

11

Verfahrensblatt der Arbeitshilfe

Verfahrensname
Prinzip (ggf. Bild, Skizze o.ä.) <i>Beschreibung der wirksamen Prozesse</i>
Aufbau und Beschreibung <ul style="list-style-type: none">- <i>Verbale technische Beschreibung des Verfahrens und</i>- <i>ggf. Verfahrensschema mit vollständiger Quellenangabe</i>- <i>Verfahrenskomponenten, besondere Verfahrenscharakteristik</i>- <i>Begleitende, erforderliche Komponenten wie Grundwassersicherung, BLA, etc.</i>
Verfahrensspezifischen Planungsgrundlagen <i>Untersuchungsergebnisse (z.B. Erkundung, Voruntersuchungen), die über die im Kap. 5 genannten (OU, DU, etc.) zwingend erforderlich sind</i>

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



FAV Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

12

Verfahrensblatt der Arbeitshilfe

Anwendungsbereich

- *Quelle oder Fahne*
- *Bodenzone (ungesättigte Bodenzone, GW-Schwankungsbereich, gesättigte Bodenzone)*
- *Geologie und Hydrogeologie des Standortes*
- *Geochemische und hydrochemische Standortbedingungen*
- *Art und Umfang der Kontamination - Schadstoffe (gut, bedingt, ungeeignet)*
- *Art des Aquifers Poren-GWL, Kluftaquifer*
- ...

Anwendungsgrenzen

Grenzen mit Bezug auf den Anwendungsbereich, Einschränkungen des Anwendungsbereichs z.B. Leichtphasen, Schwerphasen, Einzelsubstanzen aus Stoffgruppe des Anwendungsbereichs, Kf-Werte, Grundwasserchemismus, Schluffschichten, starke Inhomogenitäten, etc.

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



AAU Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

13

Verfahrensblatt der Arbeitshilfe

Besonderheiten, Hinweise, Risiken

- *Unkontrollierte Schadstoffmobilisierung*
- *Explosionsfähige Gemische*
- *Methabolitenbildung*
- *Besonderer Arbeitsschutz*
- *etc.*

Entwicklungsstand

- *Pilotphase, Entwicklungsphase*
- *Stand der Technik etc. in Deutschland / Europa (?) / USA (??)*

Rechtliche Hinweise

Besonderheiten die über Kap. 4 hinaus gehen

Hinweis: Die Genehmigungsvoraussetzungen und die Art der erforderlichen Genehmigungen sind im Einzelfall mit den zuständigen Behörden abzustimmen.

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



AAU Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

14

Verfahrensblatt der Arbeitshilfe

Referenzprojekte / zuständige Behörde

- Konkrete Referenzbeispiele
- ggf. Kontaktpersonen (Sanierungspflichtiger oder zuständige Behörde)

Ausgewählte Literatur

- bis max. 5 aktuelle Stellen der letzten 3 Jahre
- konkrete, vollständige Literaturzitate, nicht nur Hinweis auf Internet
- Literaturverzeichnis am Ende der Arbeitshilfe
- keine Firmenwerbung

Bewertung durch den Arbeitskreis

Aspekte u.a. Wirtschaftlichkeit, Genehmigungsfähigkeit, Sanierungsdauer, Risiken, Entwicklungsstand



Beispiel Verfahrensblatt Entwurf

ITVA	Entwurf Arbeitshilfe Innovative In-situ-Sanierungsverfahren	ITVA
<p>Grundwassersanierung mit Dampf-Luft-Injektion (DLI)</p> <p>Prinzip Durch die Injektion eines Dampf-Luft-Gemisches in die gesättigte Bodenzone erwärmt der injizierte Dampf durch die Abgabe seiner Verdampfungsenthalpie den zu sanierenden Bereich. Im Idealfall breitet sich die Dampf-Luftfront radialsymmetrisch um die Injektionsstelle aus. Die mit dem Dampf injizierte Luft wirkt als inertes Trägergas und trägt die Kontaminanten, ähnlich dem Air-Sparging, jedoch mit erheblich größerer Belastung, gasförmig in Richtung der ungesättigten Zone aus dem Grundwasserkörper (Aquifer) aus. Die gasförmige Entfernung der Schadstoffe erfolgt über eine Bodenluftabsaugung, die Teil des Verfahrens ist, aus der ungesättigten Bodenzone.</p> <p>Aufbau und Beschreibung Bei der Injektion des Dampf-Luft-Gemisches beeinflusst die Durchlässigkeit der injizierten Dampfphase und der hydraulischen Durchlässigkeit des Grundwassers das Ausmaß mit Radien zwischen 1 – 5 m um die Injektionsstelle aus. In Bereichen mit geringer Durchlässigkeit werden die flüssigen, leicht- bis mittelflüchtigen organischen Schadstoffe in die Gasphase überführt. Die injizierte Luft strömt als inertes Trägergas von der Injektionsbohrung zum Dampf, nimmt dabei die gasförmigen Schadstoffe auf und transportiert sie nach oben in die ungesättigte Bodenzone. Eine gleichzeitig betriebene Bodenluftabsaugung saugt die Schadstoffe aus dem Gasraum aus der ungesättigten Zone ab, die Bodenluft wird in konventioneller Weise gereinigt (z.B. Luftaktivkohle, katalytische Verbrennung) gereinigt. Der Betrieb erfolgt unter Aufsicht der zuständigen Behörden. Die Entnahme der verdichteten Schadstoffe und schließt vor dem weiteren Verfrachten.</p> <p>Anlagenbeschreibung Zur Erzeugung des Dampf-Luft-Gemisches sind ein Kompressor zur Erzeugung und Injektion des Dampf-Luft-Gemisches, ein Kondensatabscheider, ein Verdichter sowie die Abluftreinigung (A-Kohle, TN, KalkOx). Die Bereitstellung des erforderlichen Kühlwassers erfolgt über hydraulische Sicherung als Grundwasserentfernung. Das Grundwasser sollte mittels Wasserreaktion abgeleitet werden. Eine entsprechende Wasserzuberbeitung wird zur Behandlung des anfallenden Kondensats aus der heißen Bodenluft eingesetzt. Dem Kondensatabscheider sollte eine Trennung der wässrigen und i.d.R. nicht anfallenden organischen Flüssigkeiten nachgeschaltet sein. Die getrennte organische, bzw. wässrige Phase ist gesondert zu behandeln und zu entsorgen. Der Betrieb einer Flammabschaltung ist i.d.R. nicht erforderlich.</p> <p>Verfahrenstechnische Planungsgrundlagen Informationen zur Infrastruktur am Standort (Wasser-, Strom-, Gas-, Abwasseranschluss), Informationen zur Gründung von Gebäuden, Leitungen und Kanäle im Untergrund und zu temperatur-empfindlichen Bauteilen. Informationen zur vertikalen Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit im Aquifer zur Reichweitenabschätzung (Pumpversuche, Flowlog-Messungen).</p> <p>Anwendungsbereich • Schadstoffquellen in der gesättigten Bodenzone • Lockergesteine (Feinsand bis Schluff) mit hydr. Durchlässigkeit k_v 5×10^{-4} bis 1×10^{-3} m/s • Hydraulisch schlecht durchlässige Schichten, wie z.B. Schluff- oder Tonsschichten bis zu mehreren dm Mächtigkeit, können thermisch mittels konduktiver Aufheizung saniert werden • organische Schadstoffe LNAPL und DNAPL • Sanierung unter Gebäuden bei Erhalt der Gebäudenutzung während der Sanierung</p>	<p>Grundwassersanierung mit Dampf-Luft-Injektion (DLI)</p> <p>Anwendungsgrenzen • Unter dem Ansatz einer anisotropen Schichtung und Durchlässigkeiten im Bereich zwischen $k_v = 0,5 - 5 \times 10^{-4}$ m/s kann nach derzeitigen Stand des Wissens von einer „thermischen Reichweite“ von 3 – 6 m Radius bei einer Injektionsrate von 150 kg/h Siedtdampf (1 m Filterstrecke) ausgegangen werden. Pilotanwendungen (Industriepark Zettl (2007), Karlsruhe Durlach, 2005) die numerisch begleitet wurden, untermauern diesen Ansatz. • Bei Vorliegen einer BTEX-Kontamination sollte die Injektion zusätzlich in die ungesättigte Zone und insbesondere in den Grundwasserrechenbereich erfolgen. • Leicht- und mittelflüchtige organische Kontaminanten (Siedetemperaturen bis 180 °C) in der ungesättigten Zone.</p> <p>Besonderheiten, Hinweise, Risiken • keine Flussmobilisierung von Schadstoffen (DNAPL und LNAPL) • Kontrolle der Sanierung über Temperaturmessungen im Sanierungsfeld online. Aktive Steuerung der Sanierung und Nachweis der Dampfbreitung und des Sanierungserfolgs. • Anlagenbau entsprechend Chemiestandards zum kontinuierlichen Betrieb. Möglich, z.B. reduzierte Pumpen mit Bestimmung der maßgeblichen Stoffströme, Temperaturen. • Pilotanwendung zur Reichweitenbestimmung wird empfohlen. • geringe Sanierungszeiten bei vollständiger Reinigung der über die gesamte Tiefe der ungesättigten Zone entsprechenden Schadstoffe hinaus erwärmten Bereiche. • Da sich der Dampf in der gesättigten Zone durch Auftrieb nicht nur horizontal im Aquifer, sondern auch vertikal nach oben ausbreitet, kann das Verfahren zur Sanierung der gesättigten und ungesättigten Zone eingesetzt werden. • Liegen Zwischenstauer, z.B. Schluff- oder Tonlagen, so kann es zu einer Dampfablenkung unterhalb der hydraulischen schlecht durchlässigen Bereiche („Leakage“/„Bypass“) unterhalb der ungesättigten Boden über flächenhafte Kondensation auf das Grundwasser kommen. Die Schadstoffe verdampfen und gelangen gasförmig in die darüber liegende ungesättigte Zone, die durch die Bodenluftabsaugung erfasst werden. Etwas kondensierte Schadstoffe können durch die „nachrückende“ Wärme wieder verdampfen. • Durch Kombination mit dem THERMOTHERM Verfahren (elektrischen Heizelementen, Betriebstemperatur 300 – 500 °C) kann die Sanierung gezielt geringtiefende Schichten größerer Mächtigkeit in der ungesättigten Zone durch Erreichung auf die eutectische Temperatur aufgehellt, die Schadstoffe verdampfen und die hydraulische Schicht thermisch saniert.</p> <p>Entwicklungsstand Mehrere Pilotanwendungen in Deutschland vorhanden.</p> <p>Rechtliche Hinweise Wasserrechtliche Erlaubnis, Umweltschadensrechtliche Anzeige, Einhaltung Betriebssicherheitsverordnung (Dampf- und Druckgeräten, Arbeitsschutz).</p> <p>Referenzprojekte • Pilotanwendung eines Grundwassers in Albstadt mittels Dampf-Luft-Injektion (September 2003 – Februar 2004), Auftraggeber: Mettler-Toledo, Landratsamt Zollern-Alb (Lutz – Ochs), Stadt Karlsruhe Umweltamt. • Thermische In-situ-Plattierung ehemaliges Hydrierwerk Zettl (Testfeld II) (Mai 2007 – Dezember 2007), Landratsamt Burgenlandkreis.</p> <p>Literatur • Koschitzky, H.-P., Ochs, S.O., Denzel, S. und K. Stöckl (2006): Dampf-Luft-Injektion in der ungesättigten Zone. Pilotanwendung zur Sanierungsplanung an einem innerstädtischen Standort. Sanierungsplanung, VEGAS-Statistikolloquium 2006, Editor: Braun, J., Koschitzky, H.-P. & M. Stuhmann. Eigenverlag, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, 9/2006, Nr. 150, S. 60-79 - ISBN: 9-93761-53-0 • Koschitzky, H.-P., Trotschler, O., Limburg, B., Hirsch, M., Weiß, H. (2007): Pilotanwendung DLI Zettl. Erste Ergebnisse der thermischen Sanierung des Kernbereichs eines Benzolchadens mittels Dampf-Luft-Injektion. Tagungsband, VEGAS-Kolloquium 2007, Editor: Braun, J., Koschitzky, H.-P. & M. Stuhmann. Eigenverlag, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, 9/2007 - Nr. 165, S. 62 - ISBN: 9-93761-69-7</p> <p>Bewertung durch den Arbeitskreis Das Verfahren kann unter entsprechenden Bedingungen als zuverlässiges, gut kontrollierbares, schnelles und kostengünstiges Verfahren eingesetzt werden. Der Sanierungsverlauf kann online durch eine Temperaturmessung verfolgt und überwacht werden. Zur zuverlässigen Dimensionierung</p>	<p>ITVA</p>



Beispiel Verfahrensblatt Entwurf

Prinzip:
Bei niedrig chlorierten Kohlenwasserstoffen (DCE, VC, cometabolisch auch TCE) ist vor allem ein Abbau im aeroben Milieu von Bedeutung (oxidative Dechlorierung). Je niedriger der Chlorgehalt der Verbindung ist, desto schneller läuft der aerobe Abbau. Der Abbau ist auf direktem Wege mit Sauerstoff möglich, wobei der Schadstoff aus Elektronenakzeptor fungiert. Elektronen an den Sauerstoff abgibt und den Bakterien als Energiequelle dient. Erfolgt der Abbau indirekt und cometabolisch, ist neben Sauerstoff ein Cosubstrat erforderlich, z. B. Methan. Beim Methan-Biostimulationsverfahren werden die methylophilen Mikroorganismen durch Einbringen von Methan in den Grundwasserleiter im aeroben Milieu versorgt.

Aufbau und Beschreibung:
Das Methan-Biostimulationsverfahren zielt darauf ab, methanotrophe Mikroorganismen (MO) zu vermehren. Dazu ist es erforderlich, die Mikroorganismen im gesamten Sanierungsverlauf mit Methan zu versorgen. Die methanotrophen Mikroorganismen produzieren zur Verwertung des Methans das Enzym Methanmonooxygenase (MMO), das als eine Nebenaktivität die Oxidation von LCKW katalysiert.
Beim Methan-Biostimulationsverfahren wird ein methanhaltiges Luftgemisch in die gesättigte Bodenzone unterhalb der Kontamination eingeblasen. Damit handelt es sich um eine Kombination aus In-situ-Strippen und biologischem In-situ-Verfahren. Die Methan-Konzentration in der Bodenluft beträgt 0,5 – 2,2 %, um die untere Explosionsgrenze von Methan zu unterschreiten. Durch das Einblasen des Methan-Luft-Gemisches setzt ein Strippeffekt ein. Zusätzlich kann es zur Schadstoffmobilisierung kommen. Daher sind eine Sicherung des Abstroms und eine Bodenluftabsaugung erforderlich.

Erforderliche Planungsgrundlagen:

- Abgrenzung der Schadstofffahne
- Kenntnis des Schadstoffabbaus
- Kenntnis der Hydrochemie, insbesondere Sauerstoff, DOC, Redoxspannung, Kohlendioxid
- Untersuchung auf methanotrophe Mikroorganismen im Grundwasser
- Kenntnis der Verteilung der CKW-Abbauprodukte

Anwendungsbereich:

- Anwendung im Grundwasser im Abstrom einer Schadstoffquelle (Schadstofffahne) oder im unmittelbaren Umgebungsbereich der Schadstoffquelle, unterstützend auch zu Quellensanierung
- Voraussetzung ist die gleichmäßige Verteilung von Sauerstoff und Methan im Untergrund. Daher ist eine Anwendung nur bei homogenen und durchlässigen Porengrundwasserleitern Erfolg versprechend
- Geeignet nur für niedrig chlorierte LCKW

Anwendungsgrenzen:

- Wenig durchlässige Grundwasserleiter
- Klüftgrundwasserleiter
- Schadstoffphasen (müssen durch physikalische Verfahren entfernt werden)
- Hoher chlorierte LCKW

Besonderheiten, Hinweise, Risiken:
Aufgrund von Strippeffekten ist eine zusätzliche Bodenluftabsaugung in der ungesättigten Zone erforderlich. Zudem besteht bei Anwendung des Verfahrens das Risiko der Mobilisierung von Schadstoffen. Daher ist eine Sicherung des Abstroms erforderlich.

Entwicklungsstand:
Das Verfahren wurde in den USA entwickelt und dort bereits mehrfach eingesetzt. In Deutschland wurde das Methan-Biostimulationsverfahren in wenigen Fällen eingesetzt. Es handelt sich um zwei Fälle in Nordrhein-Westfalen und eine Anwendung in Berlin.

Rechtliche Hinweise:
Genehmigung nach Wasserrecht
Hinweis: Die Genehmigungsvoraussetzungen und die Art der erforderlichen Genehmigungen sind im Einzelfall mit der zuständigen Behörde abzustimmen.

Referenzprojekte / zuständige Behörde:
Beispiel:
- Ehem. Textilbetrieb in Mönchengladbach (Untere Bodenschutzbehörde der Stadt Mönchengladbach)
- Altstandort im Kreis Lippe (Untere Bodenschutzbehörde des Kreises Lippe)

Ausgewählte Literatur:
ZITZWITZ, M., GERHARDT, M. (2006). Das Methan-Biostimulationsverfahren. In: TerraTech 10/2006.
HAZEN, T. C., FLIERMANN, C. B. (1994). Bioremediation of contaminated groundwater. US Pat. No. 5,384,048.

Bewertung durch den Arbeitskreis:
Mit diesem Verfahren liegen bisher in Deutschland erst in wenigen Fällen Erfahrungen vor. Das Verfahren kann eine Alternative zu Pump-and-treat-Verfahren in der Fahne darstellen, jedoch muss bei vorhandener Schadstoffquelle aufgrund der Schadstoffnachlieferung auch bei Anwendung dieses In-situ-Verfahrens von langen Laufzeiten ausgegangen werden. Daher ist eine Quellensanierung mit geeigneten Verfahren grundsätzlich zu empfehlen. Wichtig ist eine genaue Kenntnis der Schadstoffsituation und der Hydrochemie als Entscheidungs- und Planungsgrundlage. Die Wirksamkeit des Verfahrens ist nur bei niedrig chlorierten Kohlenwasserstoffen gegeben. Hoch chlorierte Kohlenwasserstoffe sind nicht aerob abbaubar. Durch das Einblasen des Methan-Luft-Gemisches setzt ein Strippeffekt ein, der das Schadstoffe mobilisiert und über das Grundwasser oder in die Bodenluft transportiert werden können. Daher sind eine Sicherung des Abstroms und eine Bodenluftabsaugung erforderlich. Dadurch steigt der Aufwand des Verfahrens. Um die Wirksamkeit der biologischen Verfahrenskomponente überhaupt abschätzen zu können, ist der Anteil des Strippeffektes zu quantifizieren.

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



AAU Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

17

Anhang: Erforderliche Genehmigungen

Entwurf Arbeitshilfe
Innovative In-situ-Sanierungsverfahren

ITVA

Verfahren	Wasserrecht			Abfallrecht			Baurecht			Immissions-schutzrecht			sonstige		
	Ja	Nein	u.U.	Ja	Nein	u.U.	Ja	Nein	u.U.	Ja	Nein	u.U.	Ja	Nein	u.U.
Physikalische Verfahren															
Physikalische Verfahren für die ungesättigte Bodenzone															
o TUBA Thermisch unterstützte Bodenluftabsaugung			X		X			X			X				X
o THERIS Thermische In-Situ-Sanierung mit festen Wärmequellen			X		X			X			X				X
o Multi-Phase-Extraction / Dual Phase Extraction	X				X			X			X				X
Physikalische Verfahren für die gesättigte Bodenzone															
o Airsparging	X				X			X			X				X
o Dampf-Luft-Injektion in die gesättigte Bodenzone	X				X			X			X	X ¹⁾			
o Tensidspülung	X				X			X			X				X
o Alkoholspülung															
o Huminstoffzone															
o Geo- und Hydroschock-Verfahren	X				X			X			X				X
o Elektrokinetik					X			X			X				X
Biologische Verfahren															
Stimulierung des Abbaus nicht chlorierter Kohlenwasserstoffe durch Zugabe von Elektronenakzeptoren															
o Stimulierung des aeroben Abbaus von Kohlenwasserstoffen durch Zugabe von Sauerstoff und Nährstoffen (Bio-sparging)	X				X			X			X				X
o Wasserstoffperoxid (H ₂ O ₂), Calciumperoxid (CaO ₂)	X				X										X
o Nitrat	X				X			X			X				X
o ORC [®]	X				X			X			X				
o iSOC [®] , Oxytec	X				X			X			X				
o Oxywall	X				X			X			X				X

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



AAU Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

18

Anhang: Erforderliche Genehmigungen

ITVA

Entwurf Arbeitshilfe
Innovative In-situ-Sanierungsverfahren

Verfahren	Wasserrecht			Abfallrecht			Baurecht			Immissions- schutzrecht			sonstige		
	Ja	Nein	u.U.	Ja	Nein	u.U.	Ja	Nein	u.U.	Ja	Nein	u.U.	Ja	Nein	u.U.
Stimulierung des Abbaus chlorierter Kohlenwasserstoffe durch Zugabe von Elektronendonatoren (Reduktive Dechlorierung)															
○ Melasse, organische Säuren, Alkohole	X				X			X			X			X	
○ HRC ¹⁾	X				X			X			X			X	
Stimulierung des aeroben LCKW-Abbaus (Methan-Biostimulation)	X				X			X			X			X	
Chemische Verfahren															
ISCO, In-situ-chemische Oxidation															
○ Kalium-/Natriumpermanganat	X				X			X			X		X ²⁾		
○ Fentons Reagenz	X				X			X			X			X	
○ Persulfat															
○ Ozon	X				X			X							
In-situ-chemische Reduktion															
○ Eisen-Partikel								X			X			X	
○ In-situ-Reduktion von Chrom (VI)	X				X			X			X			X	
Durchströmte Reinigungswände	X					X			X		X				X

¹⁾ TÜV-Anlagenprüfung

²⁾ Der Einsatz von Kaliumpermanganat ist erlaubnislos, wichtig beim Bundesamt für Arzneimittelforschung (BfArM), Bonn

³⁾ In Baden-Württemberg liegt ein mit dem Umweltministerium abgestimmtes Papier vor, das die Einleitung von Alkoholen zum Zweck der Altlastensanierung aus wasserrechtlicher Sicht erlaubt, sofern gewisse Randbedingungen eingehalten werden.

Hinweis:

Die erforderlichen Genehmigungen und die Genehmigungsvoraussetzungen sind jeweils im Einzelfall mit den zuständigen Behörden abzustimmen. Zur Klärung des Genehmigungsweges und der Anforderungen an die Genehmigungsunterlagen ist die frühzeitige Einschaltung der Genehmigungs- und Fachbehörden unerlässlich.

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

19

Fazit ITVA Arbeitshilfe

- ITVA-Arbeitshilfe soll helfen das Potential der In-situ-Verfahren aufzuzeigen und zu deren breiteren Anwendung beitragen
- ITVA-Arbeitshilfe „Innovative In-situ-Sanierungsverfahren“ soll einen Beitrag leisten zur Lösung einiger Altlastenprobleme
- Implementierung innovativer Sanierungsverfahren bedarf enger Zusammenarbeit zwischen Standorteignern, Verwaltung und Ingenieurbüros
- Arbeitshilfe weitgehend fertig gestellt, Überarbeitung und „final draft“ in den nächsten Wochen

Ziel Gelbdruck im Herbst 2009

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

20

Dank an die Mitglieder des AK

- für die Ausarbeitung der verschiedenen Verfahrensblätter und Textbausteine
- für die konstruktiven und kritischen Diskussionen in den bisher 11 Sitzungen des AK
- Ein ganz besonderer Dank gilt Frau Sabine Gier, die maßgeblich die Struktur der Arbeitshilfe mit geprägt hat und viele Details recherchiert, zusammengetragen und textlich ausgearbeitet hat und die zahlreichen Überarbeitungen immer wieder umsetzte und auch noch weiter umsetzen wird.

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



 Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

21

Zum guten Schluss

Danke für Ihr Interesse

Haben Sie Fragen ??

hans-peter.koschitzky@iws.uni-stuttgart.de

<http://www.vegasinfo.de>

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



 Fachtagung
24.06.2009, Hattingen

22

Beispiel Verfahrensblatt Entwurf

Grundwassersanierung mit Dampf-Luft-Injektion (DLI)
<p>Prinzip Organische Schadstoffe können aus dem Grundwasser über Verdampfung in gasförmiger Form entfernt werden. Die thermisch unterstützte In-Situ-Sanierung mit Dampf-Luft-Injektion (DLI) im Grundwasser basiert auf der Injektion eines Wasserdampf-Luft-Gemisches in die gesättigte Zone im, bzw. unterhalb des Schadenszentrums. Die Schadstoffe beginnen bereits bei Temperaturen unterhalb der Dampftemperatur (100°C bei Atmosphärendruck) zu verdampfen bei der so genannten eutektischen Temperatur (Wasserdampfdestillation). Im Falle des Schadstoffs PCE liegt die Gemisch-Siedetemperatur (eutektische Temperatur) bei ca. 88°C. Durch die Injektion eines Dampf-Luft-Gemisches in die gesättigte Bodenzone erwärmt der injizierte Dampf durch die Abgabe seiner Verdampfungsenthalpie den zu sanierenden Bereich. Im Idealfall breitet sich die Dampf-Luftfront radialsymmetrisch um die Injektionsstelle aus. Die mit dem Dampf injizierte Luft wirkt als inertes Trägergas und trägt die Kontaminanten, ähnlich dem Air-Sparging, jedoch mit erheblich größerer Beladung, gasförmig in Richtung der ungesättigten Zone aus dem Grundwasserkörper (Aquifer) aus. Die gaseille Entfernung der Schadstoffe erfolgt über eine Bodenluftabsaugung aus der ungesättigten Bodenzone.</p>
<p>Aufbau und Beschreibung Bei der Injektion des Dampf-Luft-Gemisches breitet sich in Abhängigkeit der injizierten Dampfrate und der hydraulischen Durchlässigkeit ein geschlossenes Dampftrum mit Radien zwischen 1 – 5 m um die Injektionsstelle aus. Im erwärmten, dampferfüllten Bereich werden die flüssigen, leicht- bis mittelflüchtigen organischen Schadstoffen verdampft und in die Gasphase übergeführt. Die injizierte Luft strömt als inertes Trägergas von der Injektionsstelle bis zur die Dampffront, nimmt dabei die gasförmigen Schadstoffe auf und transportiert diese nach oben in die ungesättigte Bodenzone. Eine gleichzeitig betriebene Bodenluftabsaugung saugt die Kontaminanten aus der ungesättigten Zone ab, die Bodenluft wird in konventionellen Aufbereitungsanlagen (z.B. Luftaktivkohle, katalytische Verbrennung, etc.) gereinigt. Der Betrieb einer Grundwasseranlagung sichert die Entnahme der verstärkt wasser gelosten Schadstoffe und schützt vor einer abströmigen Verfrachtung. Anlagentechnisch ist neben einem Dampferzeuger und einem Kompressor zur Erzeugung und Injektion des Dampf-Luft-Gemisches eine Anlage zur Bodenluftabsaugung erforderlich. Die Bodenluftabsaugung beinhaltet einen Wärmetauscher mit Kondensatabscheider, einen Versichter, sowie die Abluftbehandlung (A-Kohle, TNV oder KatCo). Die Bereitstellung des erforderlichen Kühlwassers erfolgt über die hydraulischen Sicherung mittels Grundwasserförderung. Das Grundwasser sollte mittels Wasseraktivkohle aufbereitet werden. Eine entsprechende Wasseraufbereitung wird zur Behandlung des anfallenden wässrigen Kondensats aus der heißen Bodenluft eingesetzt. Dem Kondensatabscheider sollte ein Phasenabscheider zur Trennung der wässrigen und i.d.R. nicht anfallenden organischen Flüssigkeit nachzuschalten werden. Die getrennte organische, bzw. wässrige Phase ist gesondert zu behandeln, bzw. zu entsorgen. Der Betrieb einer Phasenschöpfung ist i.d.R. nicht erforderlich. Erforderliche Planungsgrundlagen Ergebnisse der DU, Durchlässigkeiten, Schadstoffart, -lage und -menge, Geologischer Aufbau, Flurabstand, Informationen zur Infrastruktur am Standort (Wasser-, Strom-, Gas-, Abwasseranschluss), Informationen zur Gründung von Gebäuden, Leitungen und Kanäle im Untergrund und zu temperatur-empfindlichen Bauteilen, Informationen zur vertikalen Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit im Aquifer zur Reichweitenabschätzung (Pumpversuche, Flowlog-Messungen).</p>

Grundwassersanierung mit Dampf-Luft-Injektion (DLI)
<p>Anwendungsbereich</p> <ul style="list-style-type: none"> • gesättigte Bodenzone • Lockergesteine (Feinsand bis Schluff) mit hydr. Durchlässigkeit k_v 5×10^{-8} bis 1×10^{-7} m/s • organische Schadstoffe LNAPL und DNAPL • Sanierung unter Gebäuden bei Erhalt der Gebäudenutzung während der Sanierung
<p>Anwendungsgrenzen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unter dem Ansatz einer anisotropen Schichtung und Durchlässigkeiten im Bereich zwischen $k_v = 0,5 - 5 \times 10^{-8}$ m/s kann nach derzeitigem Stand des Wissens von einer „thermischen Reichweite“ um 3 - 5 m Radius mit einer Injektionsrate um 150 kg/h Satttdampf (1 m Filtersicke) ausgegangen werden. Pilotanwendungen (Industriepark Zeit (2007), Karlsruhe-Durlach, 2006) die numerisch begleitet wurden, unterstützen diesen Ansatz. • Bei Vorliegen einer BTEX-Kontamination sollte die Injektion zusätzlich in die ungesättigte Zone und insbesondere in den Grundwasserwechselbereich erfolgen. • Leicht- und mittelflüchtige organischen Kontaminanten (Siedetemperaturen bis 180°C) in der gesättigten Zone.
<p>Besonderheiten, Hinweise, Risiken</p> <ul style="list-style-type: none"> • keine Flüssigmobilisierung von Schadstoffen (DNAPL und LNAPL) • Kontrolle der Sanierung über Temperaturmessungen im Sanierungsfeld, online für effektive Steuerung der Sanierung und Nachweis der Dampfausbreitung und des Sanierungserfolgs • Hydraulisch schlecht durchlässige Schichten, wie z.B. Schluff- oder Tonsschichten bis zu mehreren dm Mächtigkeit können thermisch mittels konduktiver Aufheizung saniert werden. • Kombination mit dem THERIS-Verfahren (Installation von elektrischen Heizelementen) mit geringem Mehraufwand realisierbar, dadurch können gezielt gering leitende Schichten größerer Mächtigkeit thermisch saniert werden. • Anlagenbau entsprechend Chemiestandards zum kontinuierlichen Betrieb erforderlich, z.B. redundante Pumpen mit Bestimmung der maßgeblichen Stoffströme, Temperaturen und Drucke • Pilotanwendung zur Reichweitenbestimmung wird empfohlen. • geringen Sanierungszeiten, sowie vollständigen Reinigung der über die eutektische Temperatur des entsprechenden Schadstoffe erwärmten Bereiche. • Da sich der Dampf in der gesättigten Zone durch Auftriebskräfte nicht nur horizontal im Aquifer sondern auch vertikal nach oben ausbreitet, kann das Verfahren zur simultanen Sanierung der gesättigten und ungesättigten Zone eingesetzt werden. • Liegen Zwischenstauern, z.B. Schluff- oder Tonlinsen vor, so strömt der Dampf unterhalb den hydraulischen schlecht durchlässigen Bereichen („steam-override“) und wärmt den darüber anstehenden Boden über fächelhafte Konduktion auf. In diesem Falle werden die Schadstoffe verdampft und gelangen gasförmig in die darüber liegenden Bereiche. Sie können über die Bodenluftabsaugung erfasst werden. Eventuell kondensierte Schadstoffe werden durch die „nachrückende“ Wärme wieder verdampft. • Durch Kombination mit dem THERIS-Verfahren (Installation von elektrischen Heizelementen, Betriebstemperatur 300 – 500 °C in Stahl-Schutzrohren) werden gezielt geringleitende Schichten größerer Mächtigkeit in der ungesättigten Zone über Wärmeleitung auf die eutektische Temperatur aufgewärmt, die Schadstoffe verdampft und die schlecht durchlässige Schicht thermisch saniert.
<p>Entwicklungsstand Mehrere Pilot-Anwendung in Deutschland vorhanden</p>
<p>Rechtliche Hinweise Keine besonderen Genehmigungen erforderlich (Wasserrechtliche Erlaubnis, Immissionsschutzrechtliche Anzeige, Einhaltung Betriebssicherheitsverordnung (Dampf- und Druckkessel, Arbeitsschutz))</p>
<p>Referenzprojekte / zuständige Behörde</p> <ul style="list-style-type: none"> • Thermische Sanierung eines GW-Schadens in Albstadt mittels Dampf-Luft-Injektion (September 2003 – Februar 2004), Auftraggeber: Metter-Toledo, Landratsamt Zollern-Ab • Pilotanwendung Dampf-Luft-Injektion in Karlsruhe-Durlach als Grundlage der Sanierungsplanung (Juni 2005 – Oktober 2006), Stadt Karlsruhe Umweltamt • Thermische In-situ-Pilotanwendung ehemaliges Hydrierwerk Zeit (Testfeld I) (Mai 2007 – Dezember 2007), Landratsamt Burgenlandkreis
<p>Ausgewählte Literatur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trötschler, O., Koschitzky, H.-P., Ochs, S.O., Denzel, S. und K. Stock: Dampf-Luft-Injektion in die gesättigte Zone. Pilotanwendung zur Sanierungsplanung an einem innerstädtischen Standort im

© VEGAS



Innovative In-situ-Sanierungsverfahren
- Aufbau und Zielsetzung der neuen ITVA Arbeitshilfe -



FAV Fachtagung
24.06.2009, Hattingen