

ORGANISATION

GEMEINSCHAFTS-EINRICHTUNGEN

EINFÜHRUNG

GENETIK

KALTES PLASMA

FAUSTREGELN

ASTHMA-SENSOR

EINFÜHRUNG

BIOINDIKATOREN

LINDAN

EINFÜHRUNG

SEKTIONEN

PROJEKTBEREICHE

SOZIOLOGIE





2

ANALYTIK

3

BERGBAUFOLGE

3

ÖKOTOXIKOLOGIE

4

SCHWERMETALLE

5

LANDNUTZUNGSÄNDERUNG

6

SUPER-BAKS

5

GENETIK & ÖKOLOGIE

3

BUCHENWÄLDER

4

GEOLOGIE

1

UFZ-ÜBERBLICK

5

KATALYSATOREN

6

MIKROORGANISMEN

6

KIESABBAU

7

GEWÄSSERSCHUTZ

S
A
F
I
R
A

NEUE VERFAHREN ZUR GRUNDWASSER- SANIERUNG – DAS PROJEKT SAFIRA

Holger Weiß, Georg Teutsch* und Birgit Daus

In Deutschland werden etwa 75% des Trinkwassers aus Grundwasser gewonnen. Durch Altlasten oder Schadensfälle meist großräumig und komplex verunreinigtes Grundwasser stellt eine Herausforderung an Sanierungstechnologien dar. Besonders erfolgversprechend sind dabei die sogenannten *in situ*-Verfahren, das heißt die Reinigung des Wassers im Untergrund.

SAFIRA (Sanierungs Forschung In Regional kontaminierten Aquiferen) ist ein interdisziplinäres Forschungsprojekt zur Entwicklung neuer *in situ*-Sanierungstechnologien. Es wurde vom UFZ in Zusammenarbeit mit den

Universitäten Tübingen, Kiel, Dresden, Halle und Leipzig entwickelt. Nach inzwischen dreijähriger Projektlaufzeit steht am Modellstandort in Bitterfeld eine Pilotanlage zur Verfügung, die es den Wissenschaftlern ermöglicht, ihre im Labormaßstab entwickelten Verfahren unter realen Standortbedingungen zu testen, zu optimieren und deren Leistungsfähigkeit zu demonstrieren.

Die Ausgangssituation

Die Erfahrung der letzten 20 Jahre zeigt, dass die hydraulische Boden- und Grundwassersanierung in vielen Fällen sehr ineffektiv ist. Dies gilt insbesondere für großflächige Areale. Da die Problematik der sogenannten »Pump-and-Treat«-Maßnahmen inzwischen allgemein anerkannt ist, wird in den letzten Jahren intensiv an der Entwicklung kostengünstiger *in situ*-Sanierungsmaßnahmen gearbeitet. Man unterscheidet dabei im allgemeinen zwischen sogenannten aktiven Technologien, die vor allem am Schadensherd ansetzen, und den passiven Methoden. Die passiven Methoden zeichnen sich dadurch aus, dass entweder keine oder nur sehr wenig (aktive) Energie während des



Bild 1: Luftbildaufnahme von Bitterfeld (Foto: Hansa Luftbild GmbH Münster, 1994)



Sanierungsvorgangs zugeführt werden muss. Dadurch können vor allem die Betriebskosten der Sanierung wesentlich reduziert werden, und diese sind bei den unvermeidlich langen Sanierungszeiten entscheidend. Kostengünstig dürfte sich außerdem auswirken, dass dabei das gereinigte Grundwasser nicht einer oberflächigen Entsorgung zugeführt werden muss.

Die zurzeit am weitesten entwickelte Variante passiver Sanierungstechnik sind die sogenannten *in situ*-Reaktionswände. Sie werden für einige wenige Einzelschadstoffe bzw. einfache Schadstoffgemische aus jeweils einer Schadstoffgruppe (z.B. aliphatische Chlorkohlenwasserstoffe, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)) an Modellstandorten bereits praktisch erprobt. Dieser neue Ansatz, bei dem nicht der Schadensherd selbst, sondern der kontaminierte Grundwasserabstrom behandelt wird, bietet erhebliche Vorteile, falls es gelingt, die Langzeitstabilität der (passiven) Behandlungssysteme (Reaktoren) auf niedrigem Kostenniveau sicherzustellen. Besonderer Entwicklungsbedarf besteht vor allem für komplexe Gemische organischer Schadstoffe, wie sie häufig an ehemaligen Produktionsstandorten der chemischen Industrie vorzufinden sind.

Der Modellstandort

Eine durch Altlasten besonders stark betroffene Region in den neuen Bundesländern ist der Raum Bitterfeld/Wolfen, der beispielhaft im Rahmen dieses Vorhabens betrachtet werden soll. Dort haben die über einhundert Jahre andauernden Aktivitäten des Braunkohlenbergbaus und der chemischen Industrie die Umweltkompartimente Boden und Grundwasser nachhaltig geschädigt. Während sich die Bodenbelastungen im Wesentlichen auf die Betriebsflächen



Bild 2: Der Bitterfelder Industriestandort aus der Vogelperspektive: Der Rückbau von Altindustrieflächen ist nicht zu übersehen (Foto: Reinart Feldmann, UFZ)

der industriellen Standorte und deren Deponien beschränkt, ist durch die lang andauernden Schadstoffeinträge das Grundwasser in einem regionalen Ausmaß, das heißt auf einer Fläche von circa 25 km² bei einem geschätzten Volumen von 200 Mio. m³, zum Teil hochgradig kontaminiert. Er muss als eigenständiger Schadensherd betrachtet werden. Die stoffliche Situation ist durch die flächenhafte Verbreitung von halogenierten Kohlenwasserstoffen gekennzeichnet, wobei neben chlorierten Aliphaten insbesondere chlorierte Aromaten dominieren.

Der Modellstandort für die Pilotanlage, in welcher die neuen *in situ*-Technologien erprobt werden sollen, befindet sich im Abstrom des Geländes der ehemaligen Chemiekombinate. Durch die großflächige Kontamination ist mit einer konstant hohen Belastung der Grundwässer über mindestens die nächsten 10 Jahre zu rechnen.

Das Projekt SAFIRA

Das Ziel des Projektes SAFIRA ist es, innovative Technologien zur Sanierung komplex belasteter Grundwässer zu entwickeln. Dabei sollen neben der naturwissenschaftlich-



Bild 3 und 4: Mobile Testeinheit für Versuche im halbertechnischen Maßstab (Fotos: Norma Neuheiser, UFZ)

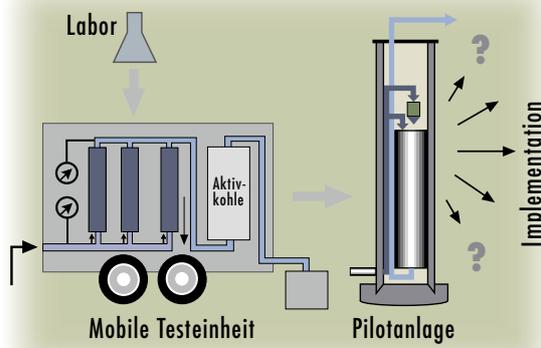
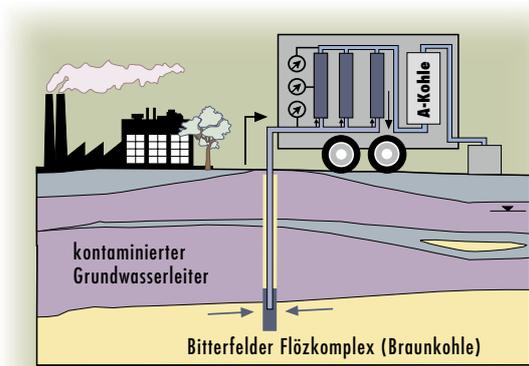


Bild 5: Schema der mobilen Testeinheit

Bild 6: Upscaling-Schritte des SAFIRA-Projektes

technischen Realisierung insbesondere die ökonomischen und die mit einer eingeschränkten Flächenfolgenutzung verbundenen umweltplanerischen bzw. umweltrechtlichen Aspekte berücksichtigt werden. In das interdisziplinäre Projekt sind Arbeitsgruppen aus dem UFZ sowie den Universitäten Tübingen, Dresden, Kiel, Leipzig, Halle und Reading (Großbritannien) und TNO (Niederlande) integriert. Zur Projektvorbereitung und -planung wurde zunächst

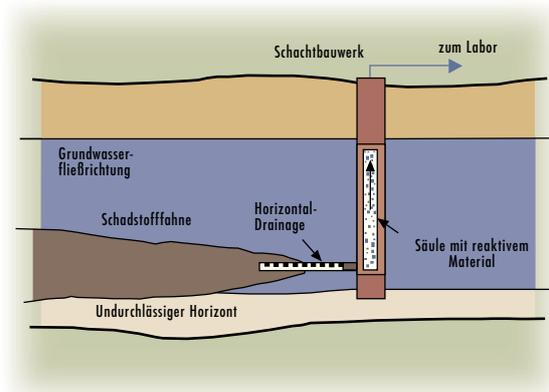


Bild 7: Prinzipische Skizze der Pilotanlage

eine Vorauswahl grundsätzlich geeigneter Aufbereitungstechnologien getroffen. Diese wurden sowohl im Labormaßstab als auch im halbertechnischen Maßstab mit Bitterfelder Grundwasser am Modellstandort erprobt. Für die kleinmaßstäblichen on site-Untersuchungen wurde ein mobiler, klimatisierter Kastenanhänger (Mobilreaktor) gebaut, mit unterschiedlichen 1 Meter langen Reaktionsäulen bestückt und vor Ort gebracht, um direkt am Bohrloch das gepumpte Grundwasser unter *in situ*-nahen Bedingungen zu reinigen. Die Technologien, die im Mobilreaktor erfolgreich waren oder zumindest vielversprechende erste Ergebnisse lieferten, sind für die großmaßstäbliche *in situ*-Anwendung vorgesehen.

Die *in situ*-Pilotanlage

Die *in situ*-Pilotanlage – das wesentliche Element des SAFIRA-Konzepts – soll sicherstellen, dass die ausgesuchten Sanierungstechnologien unter realen Bedingungen im Dauerversuch erprobt und technisch wie ökonomisch unter Praxisbedingungen miteinander verglichen werden können.

Die *in situ*-Pilotanlage ist von vornherein so konzipiert worden, dass sie alle wesentlichen Merkmale aufweist, die eine spätere bautechnische Realisierung einer *in situ*-Reaktionswand ermöglicht. Fünf Senkschächte mit einem Innendurchmesser von 3 Metern wurden bis zu einer Tiefe von 23 Metern in den Grundwasserleiter eingebracht. Das kontaminierte Wasser wird über horizontale Filterbrunnen aus dem am stärksten kontaminierten Bereich in circa 20 Meter Tiefe entnommen und direkt in Edelstahlreaktoren geleitet, in denen sich je nach Verfahrenskonzept unterschiedliche Materialien befinden.

In der ersten Projektphase von 3 Jahren werden folgende Technologien in der Pilotanlage untersucht:

- Adsorption und simultaner mikrobieller Abbau auf Aktivkohle (Universität Dresden)
- katalytische Oxidation (Universität Leipzig)
- zeolith-gestützte Palladium-Katalysatoren (Universität Tübingen)
- membran-gestützte Katalysatoren (UFZ, Sektion Sanierungsforschung)
- Entwicklung von Kombinationsreaktoren (Universität Kiel)
- Bioabbau von chlorierten Schadstoffen in einem anaeroben/mikroaerophilen System (TNO, Niederlande)
- Aktivkohlefiltration (Universität Tübingen)

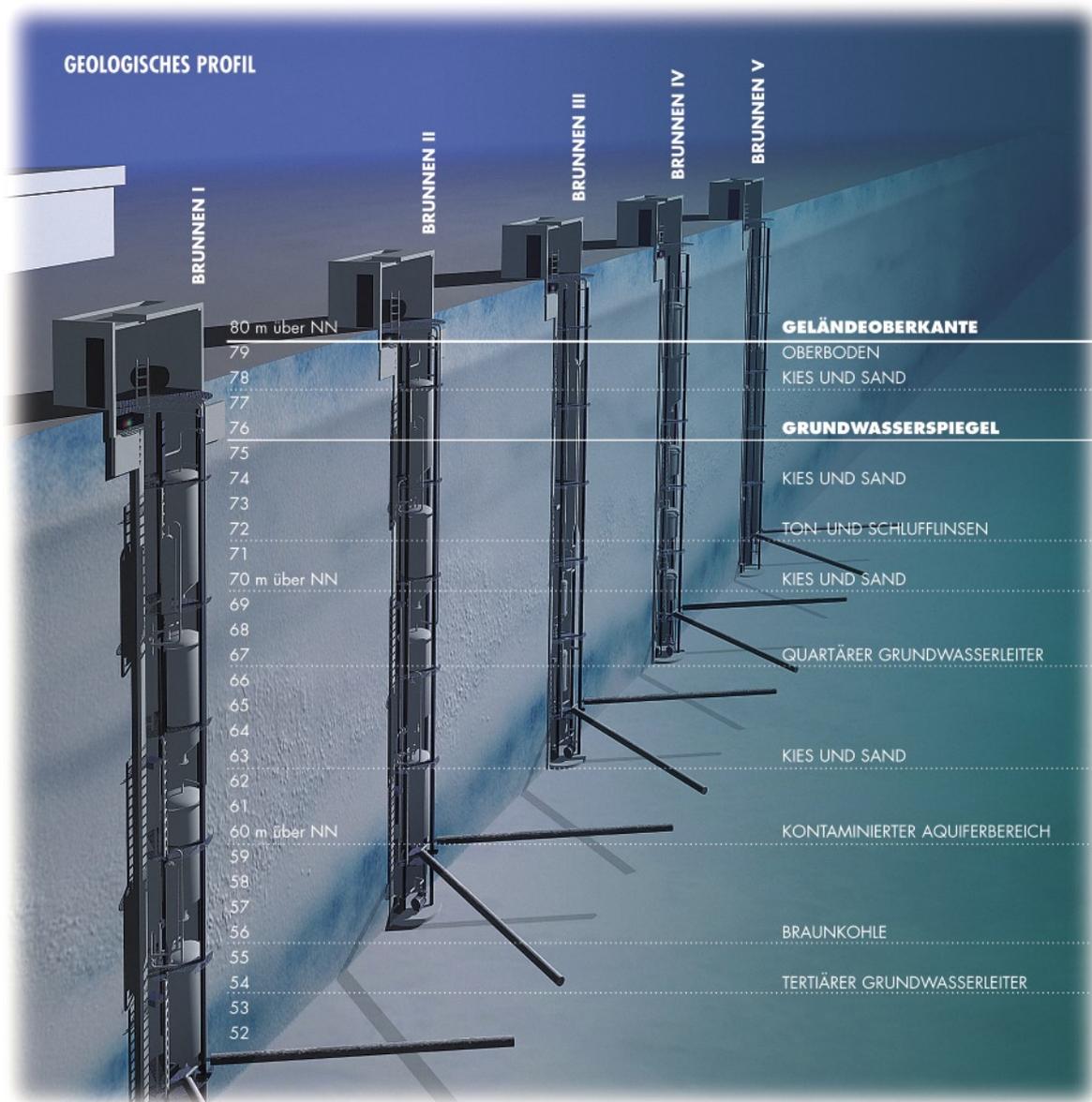


Bild 8: geologisches Profil des Modellstandortes (Grafik: Webster Design Atelier, Halle)



Bild 9: Blick in den Senkschacht (3 Meter Durchmesser, 23 Meter Tiefe)
Bilder 9 bis 16: Eindrücke vom Bau der SAFIRA-Pilotanlage
(Fotos: Ralf Trabitzsch; UFZ)



Bild 10: SAFIRA-Standort während der Bauphase



*Bild 11: Vorschacht mit Belastungsfundament
Bild 13: Tauchereinsatz beim Bau von Brunnen 5
Bild 15: Brunnenhäuser (rechts) und Laborgebäude*



*Bild 12: Abteufen eines Brunnenschachtes
Bild 14: Versuchsreaktor wird in den Schacht eingebracht
Bild 16: Im Laborgebäude werden Routineuntersuchungen zum Schadstoffabbau durchgeführt*



- Mikrobieller Schadstoffabbau unter anaeroben Verhältnissen (UFZ, Sektion Umweltmikrobiologie)

Die Anlage ist außerdem mit einer Vielzahl von Monitoring- und Probenahmemöglichkeiten ausgestattet, um eine optimale Überwachung und Bilanzierung der Prozesse zu gewährleisten. Im Laborgebäude auf dem Untersuchungs Gelände werden die Routineuntersuchungen des Schadstoffabbaus regelmäßig durchgeführt. Weiterhin ist geplant, ein on-line-Biomonitoring zur ökotoxikologischen Bewertung der Sanierungsverfahren aufzubauen.

Die Entwicklung von Verfahren zur *in situ*-Grundwassersanierung – SAFIRA – also innovative Technologien über den Labor- und Technikumsmaßstab hinaus – stellt eine besondere wissenschaftliche und technologische Herausforderung dar. Ein Blick in einen 23 Meter tiefen Brunnen schacht mit seinen Edelstahlreaktoren vermittelt eindrucksvoll die Dimension des Projektes. Der Inbetriebnahme der Pilotanlage in Bitterfeld im Oktober 1999 gingen zwei Jahre intensiver und unverzichtbarer Gespräche und Diskussionen, Labor- und Feldversuche sowie Untersuchungen zur Standortauswahl voraus.

Die folgenden fünf Beiträge sollen Ihnen einerseits einen Einblick in die umfangreichen Arbeiten zur geologischen und hydrogeologischen Erkundung, zur Charakterisierung des komplexen Schadstoffspektrums und der Hauptkontaminanten sowie zum ökotoxikologischen Wirkpotential geben. Andererseits werden zwei Verfahren zum Schadstoffabbau vorgestellt, die im Labor und in der mobilen Testeinheit erfolgreich erprobt worden sind und sich nun in der Pilotanlage bewähren sollen: der mikrobielle Schadstoffabbau unter anaeroben Bedingungen und die elektrokatalytische Dehalogenierung der Schadstoffe.

*Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Geologisches Institut



*Bild 17: Blick in einen 23 Meter tiefen Brunnen schacht
(Foto: Norma Neuheiser, UFZ)*

English Abstract

New techniques for groundwater remediation – Project SAFIRA

Holger Weiß, Georg Teutsch*, Birgit Daus

About 75% of Germany's drinking water is extracted from groundwater. The large sections of groundwater complexly polluted by residual waste and environmental accidents constitute a major challenge for remediation technologies. One of the most promising approaches appears to be the use of 'in situ techniques' – methods which involve cleaning water underground.

SAFIRA (Remediation Research in Regionally Contaminated Aquifers) is an interdisciplinary research project for the development of new *in situ* remediation technologies. It has been developed by the UFZ in conjunction with the universities of Tübingen, Kiel, Dresden, Halle and Leipzig. Following project work lasting two years, a pilot plant has now been set up at a model site in Bitterfeld where scientists can test, optimise and demonstrate the effectiveness of techniques developed in the laboratory under actual site conditions.

The initial situation

The experience of the past 20 years has shown that hydraulic soil and groundwater remediation is very ineffective in many cases, especially in large areas. Owing to the generally recognised problems of »pump and treat« methods, intensive work has been carried out in recent years to develop low-cost *in situ* remediation techniques. The approaches used can be divided into »active« technologies, which are chiefly directed towards the contaminant source itself, and »passive« methods, in which either no or only very little (active) energy needs to be supplied during the remediation process. The chief benefit of passive techniques is that the running costs are reduced – a crucial factor in view of the unavoidably long times required for remediation. Moreover, financial advantage stems from the fact that the treated groundwater need not be disposed of at the surface. At present, »in situ reaction walls« are the passive remediation technique whose development is the most advanced. They have already been practically tested for a few individual pollutants and simple mixtures consisting of one group

of contaminants (e.g. aliphatic chlorinated hydrocarbons or polycyclic aromatic hydrocarbons) at model locations. This new approach in which not only the contaminant source but also the contaminated groundwater flow is treated harbours considerable advantages, as long as the inexpensive, long-term stability of the (passive) treatment systems (the reactors) can be ensured. Work now needs to be focused on tackling complex mixtures of organic pollutants of the type frequently encountered at disused production sites of the chemical industry.

The model site

The Bitterfeld region was chosen as an example location for the project. Over a century of lignite-mining and the chemical industry have caused lasting damage to the soil and the groundwater in the Bitterfeld/Wolfen area. Whereas the soil pollution is mainly confined to industrial sites and waste dumps, long-term pollution has penetrated the groundwater of an entire region (i.e. an area of about 25 km² with an estimated volume of some 200 million m³). Some of this groundwater is now highly contaminated, and must be regarded as an independent contaminant source. The main problem is the widespread distribution of halogenised hydrocarbons – mainly chlorinated aromatic and aliphatic compounds. The model site for the pilot plant where the new *in situ* technologies are to be tested is located downstream of the former chemical combines. Owing to the widespread contamination there, the high level of pollution in the groundwater is expected to persist for at least the next ten years.

Project SAFIRA

The goal of Project SAFIRA is to develop innovative technologies for the remediation of complexly contaminated groundwater. Investigations are not restricted to scientific and technical implementation, but also take into account economic factors as well as aspects of environmental planning and environmental legislation connected with the land's limited subsequent usage. In addition to the UFZ, research groups from the universities of Tübingen, Dresden, Kiel, Leipzig and Halle (Germany) as well as Reading (UK) and TNO (Netherlands) are involved in this interdisciplinary project.

The project was started by drawing up a shortlist of fundamentally suitable treatment technologies, which were then tested both in the laboratory and at the model site using



groundwater from Bitterfeld. For the small-scale on site studies, a mobile air-conditioned reactor fitted with various reaction columns was built. Each reactor was 1 m tall and was installed at the borehole so that the pumped groundwater could be cleaned under virtually *in situ* conditions. The technologies which proved successful in the mobile reactor (or which at least delivered promising initial results) are now planned for large-scale *in situ* application.

The in situ pilot plant

The purpose of the *in situ* pilot plant – the major element of the SAFIRA concept – is to test the remediation technologies in long-term experiments under actual conditions, so that they can then be technically and economically compared under practical conditions.

From the outset, the *in situ* pilot plant was designed to feature all the main components which will enable the subsequent construction of an *in situ* reaction wall. Five vertical shafts with an internal diameter of 3 m have been positioned in the aquifer down to a depth of 23 m. The contaminated water is extracted via horizontal filtering wells from the most polluted area (about 20 m deep) and directly conducted into stainless steel reactors containing different materials, depending on the approach used.

In the first project phase lasting three years, the following technologies will be examined in the pilot plant:

- Adsorption and simultaneous microbial degradation on activated charcoal (University of Dresden)
- Catalytic oxidation (University of Leipzig)
- Zeolite-based palladium catalysts (University of Tübingen)
- Membrane based catalysts (UFZ, Department of Remediation Research)
- Development of combined reactors (University of Kiel)
- Biodegradation of chlorinated pollutants in an anaerobic/microaerophilic system (TNO, Netherlands)
- Activated charcoal filtration (University of Tübingen)
- Microbial pollutant degradation under anaerobic conditions (UFZ, Department of Environmental Microbiology)

The plant has also been fitted with diverse monitoring and sampling equipment to enable the optimum supervision and balancing of the processes. Routine investigations of pollution degradation are regularly carried out in the purpose-built laboratory building at the test site. Moreover, a system of online biomonitoring is to be installed for the ecotoxicological assessment of the remediation techniques.

The development of techniques for *in situ* groundwater remediation under Project SAFIRA – i.e. innovative technologies going beyond the laboratory and semi-technical scale – represents a tough economic and technological challenge. The scale of the project is impressively illustrated by a glance into one of the 23m-deep well shafts with their stainless steel reactors. The start-up of the pilot plant in Bitterfeld in summer 1989 followed two years of intensive yet indispensable discussions, laboratory and field trials, as well as studies to pinpoint the most suitable location.

The following five articles provide an insight into the extensive work carried out, including geological and hydrogeological exploration, categorising the complex spectrum of pollutants and the main contaminants, and determining the ecotoxicological impacts. Moreover, two pollutant degradation techniques are described (microbial degradation under anaerobic conditions and electrocatalytic dehalogenisation) which have already been successfully tested in the laboratory and the mobile unit, and which will now be examined in the pilot plant.