



**Köster Umwelt-  
Technik GmbH**

Wilhelm-Kabus-Str. 42/44 – 10829 Berlin  
Tel.: 030 – 327 068-05 Fax 030- 327 068-22  
info@koester-umwelttechnik.de

# Der Turbo-Stripeinsatz

ein Patent der  
**Köster Umwelttechnik GmbH**

## **Anwendungsgebiete**

Sanierung von LHKW- und  
BTEX/MKW-Schäden

## **Sanierungstechniken mit Turbo-Stripeinsätzen**

Turbobrunnen zur *in-situ-Reinigung*  
von Grundwasser

Wirbelkammerdesorptionsanlage zur *on-site-  
Reinigung* von Grundwasser

**Köster Umwelttechnik GmbH** • Wilhelm-Kabus-Str. 42/44 • 10829 Berlin  
Tel. 030 / 327068-05 • Fax. 327068-22  
Email: [info@koester-umwelttechnik.de](mailto:info@koester-umwelttechnik.de)



## Der Turbo-Stripeinsatz: Wirkprinzip, Konfiguration, Forschungsergebnisse und Einsatzbereiche

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Der Turbo-Stripeinsatz und seine Einsatzbereiche .....	2
1.1 Das Wirkprinzip des Turbo-Stripeinsatzes .....	3
1.2 Zirkulation und Belüftung des Grundwassers und Reinigung des Rohgases .....	5
1.3 Wasserdurchsatz und Antriebstechnik des Turbo-Stripeinsatzes .....	6
1.4 Physikalisch-chemische Beeinflussungen des Grundwassers durch den Turbo-Stripeinsatz .....	7
1.4.1 Temperaturbeeinflussung .....	7
1.4.2 pH -Wert-Änderungen .....	7
1.4.3 Elektrische Leitfähigkeit .....	7
1.4.4 Sauerstoffgehalte und Redoxpotential .....	7
1.4.5 Kationenverteilung .....	8
1.4.6 Eisen und Mangankationen .....	8
1.4.7 Grundwasserreinigungsgrad .....	8
1.4.8 Potentialdifferenzen des Grundwassers .....	8
1.4.9 Grundwassermarkierungsversuche .....	9
1.5 Ausbau eines Grundwasserzirkulationsbrunnens zu einem Turbobrunnen für den <i>in-situ</i> -Betrieb .....	9
1.6 Weitere Entwicklungsergebnisse und Erfahrungen aus dem Praxisbetrieb ....	10
1.7 Grundwasserreinigung mit dem Turbo-Stripeinsatz bei komplizierten Untergrundverhältnissen ( <i>on-site</i> -Wirbelkammerdesorptionsanlage).....	10
1.7.1 Grundwasserstrippung in Reaktoren .....	11
1.7.2 Vorteile einer WDA gegenüber herkömmlichen Desorptionsanlagen .....	11
2 Referenzprojekte für Sanierungen mit dem Turbo-Stripeinsatz .....	13



## 1 Der Turbo-Stripeinsatz und seine Einsatzbereiche

Der von H. KÖSTER **patentiert** Turbo-Stripeinsatz (Abb. 1) stellt ein Kernsystem zur Reinigung des Grundwassers von leichtflüchtigen halogenierten und aromatischen Kohlenwasserstoffen dar (LHKW/BTEX, bedingt auch MKW; vgl. Kap. 2). Dieses System kann direkt in einen Sanierungsbrunnen, den so genannten Turbobrunnen, zur *in-situ*-Reinigung von Grundwasser oder *on-site*, in eine *Wirbelkammerdesorptionsanlage* (WDA) eingesetzt werden. Bei einem *in-situ*-Einsatz in einem Sanierungsbrunnen kann gleichzeitig kontaminierte Bodenluft über dem Grundwasserspiegel abgesaugt und gereinigt werden.

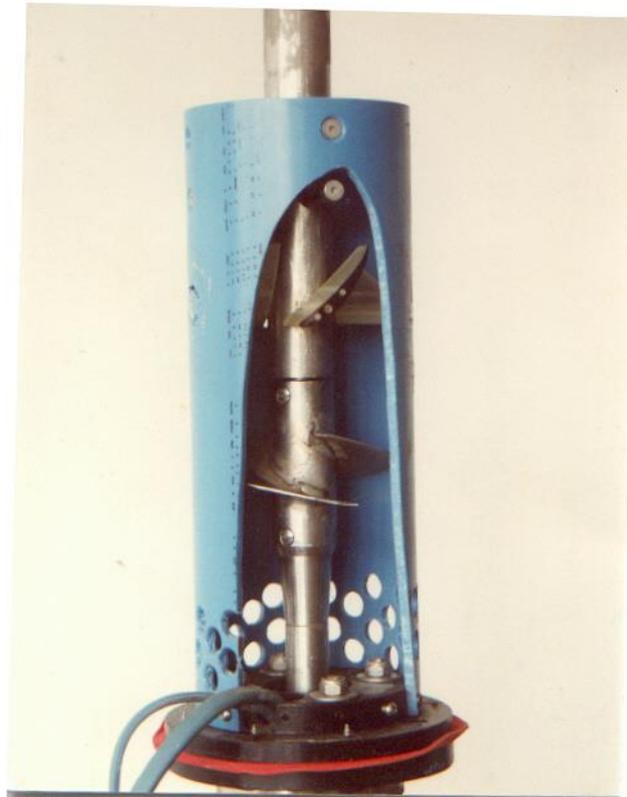


Abb. 1: Der Turbo-Stripeinsatz zur kombinierten Reinigung von Grundwasser und Bodenluft

Bei einem *in-situ* Einsatz wird das Turbo-Stripsystem direkt in den Sanierungsbrunnen eingebaut, wo nach dem Prinzip eines Zirkulationsbrunnens Grundwasser umgewälzt, belüftet und gereinigt wird. Im *on-site*-Betrieb wird das kontaminierte Grundwasser zunächst aus dem Sanierungsbrunnen gefördert und in Reaktorbehälter (Wirbelkammern) geleitet. In diesen Reaktoren wirken dann ebenfalls modifizierte Turbo-Stripeinsätze, die auch hier das zentrale Grundwasserbelüftungssystem darstellen.



Die Wirksamkeit des Turbo-Stripeinsatzes wurde während einer 8-monatigen Erprobungsphase durch die unabhängige DR. VERLEGER INGENIEURS- UND NATURWISSENSCHAFTLER-GMBH geprüft und in einem Abschlussbericht vom September 1994 positiv beurteilt. Seither wurde das System kontinuierlich weiterentwickelt und verbessert, wodurch sich die Turbo-Stripeinsätze in der Praxis vielfach bewähren konnten. Das grundlegende Gutachten von 1994 wurde im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin und Herrn Dipl.-Geol. H. Köster erstellt.

## 1.1 Das Wirkprinzip des Turbo-Stripeinsatzes

Das **Wirkprinzip** des Turbo-Stripeinsatzes besteht darin, gelöste leichtflüchtige Schadstoffe aus dem Grundwasser in eine zugeführte Gasphase (Trägergas) zu überführen. Das zugeführte unbeladene Trägergas perlt dabei im Bereich des Turbo-Stripeinsatzes in feinsten Blasen aus und nimmt dadurch die leichtflüchtigen Schadstoffe auf. Dieser Prozess findet sowohl in Turbobrunnen *in-situ*, wie auch in den Reaktorgefäßen der WDA *on-site* statt. Das beladene Trägergas tritt gravitativ aus dem Grundwasser aus und wird dann aus dem oberen Brunnenrohr bzw. aus dem oberen Reaktorraum abgesaugt. Die Reinigung dieser Luft wird, je nach Anforderung, durch Aktivkohlefilter, eine Lösemittelnrückgewinnungsanlage oder durch eine nach-geschaltete katalytische Verbrennung vorgenommen.

Bei unserem ***in-situ*-Stripverfahren** in einem speziell verfilterten Grundwasserzirkulationsbrunnen (Turbobrunnen, vgl. 1.5) ist es von Bedeutung, im Grundwasserleiter eine Wasserkonvektion in Gang zu setzen, um möglichst hohe Schadstoffaustragsraten zu erzielen. Der hohe Reinigungsgrad wird dadurch erreicht, dass das kontaminierte Grundwasser durch die erzeugte Konvektionswalze dem Turbo-Stripeinsatz mehrmals zuströmt. Dadurch wird ein polyzyklischer Reinigungseffekt im Grundwassers hervorgerufen. Der Propeller des Turbo-Stripeinsatzes kann dabei linksdrehend geschaltet werden, wodurch eine Aufhöhung des Grundwassers im Umfeld des Sanierungsbrunnens und eine **rechtsdrehende Konvektionswalze** im Grundwasserleiter erzeugt wird (Abb. 2). Diese Art der Grundwasserkonvektion ist vor allem bei der Sanierung von LHKW-Schäden relevant, da diese das Grundwasser zur Teufe hin kontaminieren. Wird der Turboeinsatz hingegen rechtsdrehend geschaltet, wird dadurch eine Absenkung des Grundwassers im Bereich des Sanierungsbrunnens und eine **linksdrehende Konvektionswalze** erreicht. Dies hat sich insbesondere bei BTEX/MKW-Schäden bewährt, da diese Schadstoffe vorwiegend das hangende Grundwasser im Aquifer kontaminieren. Durch den herbeigeführten Absenkungseffekt werden diese Schadstoffe dem Sanierungsbrunnen leichter zugeführt und entzogen. Die Aufhöhungs- bzw. Absenkungsrate des Grundwassers durch den Turbo-Stripeinsatz ist, wie der maximale Wasserdurchsatz, in einem *in-situ*-Sanierungsbrunnen in geologischer Hinsicht in erster Linie von der hydraulischen Leitfähigkeit des Grundwasserleiters und damit vom Durchlässigkeitskoeffizienten ( $K_f$ -Wert) der



Aquifersedimente abhängig. Dieser sollte für das *in-situ*-Turbobrunnen-System idealerweise bei  $10^{-4}$  bis  $10^{-2}$  liegen (Feinsand bis Feinkies).

Um unerwünschte Ausfällungen durch die Oxidation von  $\text{Fe}^{3+}$  und  $\text{Mn}^{3+}$ , sowie von Erdalkalien ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ) zu minimieren, wurde eine **Kreisgasführung** des Trägergases entwickelt, das zunächst aus Luft besteht. Durch eine Kreisgasführung kann der Sauerstoffgehalt des Trägergases, nach einer kurzen Anlaufphase, deutlich herabgesetzt werden, da Sauerstoff umgehend an die o.g. Kationen gebunden und so dem weiteren Gaskreislauf dauerhaft entzogen wird. Der Praxisbetrieb zeigt, dass dadurch Verockerungsprozessen signifikant entgegengewirkt wird, wodurch deutlich weniger Wartungsaufwand an den Anlagen betrieben werden muss. Ferner verfügen alle Systeme über eine zusätzliche steuerbare **Dosiereinrichtung**, über die, je nach Bedarf, verschiedene Agenzien zugeführt werden können (z.B. mikrobiologisch wirksame Bakterien, Sauerstoff, Traceragenzien u.a.).

Wird der **Turbo-Stripeinsatz *on-site***, d.h., in oberirdisch installierten Reaktionsbehältern betrieben (Abb. 4), wird diesem das kontaminierte Grundwasser durch Unterwasserpumpen zugeführt. Im Reaktor wird dieses Wasser dann in mehrstufigen Prozessen umgewälzt und belüftet. Dadurch können die leichtflüchtigen Schadstoffe wiederum in die Gasphase partitionieren. Das beladene Trägergas steigt dann gravitativ auf, wird abgesaugt und gereinigt. Auch dieses System wird aus den oben genannten Gründen mit einer Kreisgasführung gefahren.

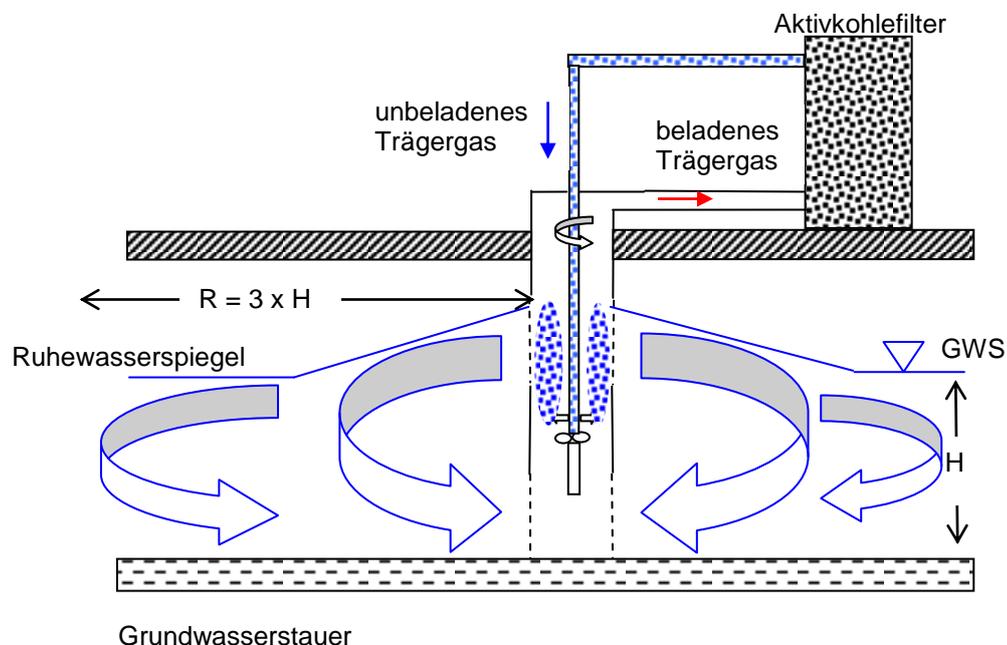


Abb. 2: Prinzipskizze eines *in-situ*-Turbobrunnens mit Turbo-Stripeinsatz, Kreisgasführung, Filterstrecken und induzierter Konvektionsströmung bei einer Aufhöhung des Grundwassers



Die verschiedenen Einsatzbereiche des Turbo-Stripeinsatzes als *in-situ*- und *on-site*-System und die signifikanten Vorteile dieser Systeme gegenüber herkömmlichen Stripanlagen werden in Kapitel 1.5 und 1.7 erläutert.

## **1.2 Zirkulation und Belüftung des Grundwassers und Reinigung des Prozessgases**

Die Wasserzirkulation im Turbobrunnen oder in der Wirbelkammerdesorptionsanlage wird über einen im Turbo-Stripeinsatz installierten Propeller induziert, der mit Hilfe eines Unterwasser-Elektromotors angetrieben wird. Über den Propellerschaufeln befinden sich horizontale Röhren, die mit gleicher Geschwindigkeit wie die Propellerschaufeln rotieren. Das gesamte Modul ist in einem Stahlrohr gelagert, durch das dem System zugleich auch das Trägergas zugeführt wird. Das zunächst im Stahlrohr und Propellermodul stehende Wasser wird durch die bei der Rotation entstehenden Zentrifugalkräfte herausgeschleudert. Dadurch wird der entstehende Unterdruck in den rotierenden Luftröhrchen größer als der Gegendruck des Wassers, wodurch über das zentrale Stahlrohr das Trägergas angesaugt wird. Dieses tritt dann durch die horizontal rotierenden Röhren über dem Propeller in das vorbeiströmende Grundwasser aus. Die so entstehenden feinen Luftblasen werden zusätzlich an Prallstegen zerschlagen, um möglichst kleine Bläschen zu erzeugen, welche die Wassersäule oberhalb des Propellers durchperlen. Dadurch wird eine möglichst große Reaktionsoberfläche an der Wasser-Luft-Grenzfläche geschaffen, an der die Schadstoffe (LHKW, BTEX) aus dem Grundwasser, ihrem leichtflüchtigen Charakter folgend, in die Gasphase partitionieren. Die schadstoffbeladene Gasphase steigt danach gravitativ in den oberen, wasserfreien Brunnen- oder Reaktorraum auf und wird dort mit Hilfe eines Seitenkanalverdichters, mit einem Unterdruck von etwa –25 mbar abgesaugt (Abb. 3). Das geförderte Abgas wird über einen Wasserabscheider geführt und anschließend durch verschiedene Verfahren gereinigt. Bei der Abluftreinigung werden die Schadstoffe entweder an Aktivkohle gebunden, einer Lösemittelrückgewinnungsanlage zugeführt oder in einer katalytischen Verbrennungsanlage zu unschädlichen Reagenzien gecrackt (CO<sub>2</sub> und Salzsäure). Die gereinigte Abluft ist durch die Kreisgasführung bereits sauerstoffarm und wird sofort wieder als Trägergas eingesetzt. Dadurch können unerwünschte Fällungsprozesse weitgehend vermieden werden.



Abb. 3: Brunnenkopf mit Prozessgaszuführungs- und Abgasabsaugvorrichtung

### 1.3 Wasserdurchsatz und Antriebstechnik des Turbo-Stripeinsatzes

Die maximale **Wasserdurchsatzrate** des Turbo-Stripeinsatzes ist sowohl bei einem *in-situ*-Turbobrunnen, wie auch bei einer WDA, einerseits von den geologischen Gegebenheiten des Aquifers im Umfeld des Sanierungsbrunnens (vgl. 1.1) und andererseits von den technischen Parametern des Turbo-Stripeinsatzes abhängig. In technischer Hinsicht wird der Wasserdurchsatz in erster Linie vom Durchmesser und der Drehzahl des Propellers im Turbo-Stripeinsatz bestimmt. Die Drehzahl des Propellers liegt bei Drehstrom- und Wechselstrommotoren bei 2850 U/min. Bei Verwendung von Gleichstrommotoren ist die Drehzahl regelbar. Gleichstrommotoren kommen z.B. bei einer Konfiguration der Sanierungsanlage mit Solarenergiegeneratoren zum Einsatz, die von uns auf Wunsch angeboten werden. Im Regelfall liegen auf Sanierungsbaustellen aber 380 V bzw. 220 V Dreh- oder Wechselstrom-Netzanschlüsse vor, die für den Antrieb der Elektromotoren genutzt werden können. Damit ist die Wasserdurchsatzrate vorwiegend vom Propellerdurchmesser abhängig und beträgt bei der neuesten Generation von Turboeinsätzen, bei Propellerdurchmessern von 80 mm, etwa 6 m<sup>3</sup>/h. Dieser Wasserdurchsatz setzt einen entsprechend hohen Wasserzufluss aus dem Grundwasserleiter voraus. Verschiedene Messungen unter standardisierten Bedingungen während der Entwicklungsphase haben gezeigt, dass bei Wasserdurchsatzraten von 6 m<sup>3</sup>/h, Aufhöhungen des Grundwassers um 900 mm



vorlagen. Im späteren Praxisbetrieb wurden dann Aufhöhungen gemessen, die, in Abhängigkeit der geologischen und technischen Parameter, in Bereichen zwischen 400 mm und 1400 mm variierten.

## **1.4 Physikalisch-chemische Beeinflussungen des Grundwassers durch den Turbo-Stripeinsatz**

### **1.4.1 Temperaturbeeinflussung**

Eine Temperaturbeeinflussung des Grundwassers durch den Betrieb eines Turboeinsatzes im Sanierungsbrunnen ist im Normalbetrieb nicht festzustellen. Die gemessenen Temperaturunterschiede im Umfeld des Turbobrunnens blieben insignifikant und sind überwiegend auf jahreszeitliche Schwankungen zurückzuführen.

### **1.4.2 pH-Wert-Änderungen**

Das austretende gestrippte Grundwasser zeigt im Mittel leicht erhöhte pH-Werte gegenüber dem eintretenden kontaminierten Grundwasser. Dies ist auf das Ausgasen von  $\text{CO}_2$  als Folge der Strippung zurückzuführen.

### **1.4.3 Elektrische Leitfähigkeit**

Die im Eintrittsfilter gemessenen elektrischen Leitfähigkeiten liegen mit fortschreitender Zeit etwas höher als im Austrittsfilter. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine zunehmende Ausfällung von Karbonat im Austrittsfilter zurückzuführen.

### **1.4.4 Sauerstoffgehalte und Redoxpotential**

Die Sauerstoffgehalte des eintretenden Grundwassers lagen während des Pilotversuchs 1993/94 bei 0,1 – 0,2 mg/l. Das gestrippte Grundwasser wies dagegen Sauerstoffgehalte von 0,5 – 0,8 mg/l auf und war damit nahezu sauerstoffgesättigt. Entsprechend waren deutliche Unterschiede im Redoxpotential zwischen einströmendem und ausströmendem Grundwasser festzustellen, die im auströmenden Grundwasser etwa um den Faktor 2 höher lagen (+111 mV vs. +237 mV). Um diesen Effekten entgegen zu wirken, wurde die Kreisgasführung des Trägergases entwickelt, wodurch heute die Sauerstoffgehalte im Gas bzw. im Wasser und damit unerwünschte Präzipitationen minimiert werden können.



### 1.4.5 Kationenverteilung

In Bezug auf das Kationenverteilungsmuster (Ca, K, Na, Mg) des Grundwassers ergaben sich nur geringe Unterschiede bezüglich des zuströmenden und abströmenden Grundwassers, mit einem Trend zu leicht erniedrigten Werten im abströmenden Grundwasser. Diese leichte Abnahme wird in erster Linie durch Karbonatfällung hervorgerufen. Dafür spricht auch die leicht erniedrigte **Basekapazität** ( $K_B$  8,2) im gestrippten Grundwasser, was für eine Verschiebung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts infolge des Stripprozesses spricht. Gleichzeitig war der Anteil an **Hydrogenkarbonat** im gestrippten Wasser geringer, wodurch es vermehrt zu unerwünschter Karbonatfällung kam. Diesem Effekt konnte, z.B. im Sanierungsfall Knipping - Herne, ebenfalls durch die Installation einer Kreisgasführung sehr erfolgreich entgegengewirkt werden.

### 1.4.6 Eisen und Mangankationen

Im abströmenden Grundwasser sind deutlich geringere Gehalte an Fe- und Mn- Kationen festzustellen, die auf die sehr geringen Löslichkeiten von  $Fe^{3+}$  und  $Mn^{3+}$  bei erhöhtem Redoxpotential zurückzuführen sind. Diese Kationen werden nahezu quantitativ als  $Fe^{III}/Mn^{III}$ - Oxidhydrate gefällt, die häufig zu Brunnenverockerungen führen. Bei einer durchschnittlichen Wasserdurchsatzrate von  $1\text{ m}^3/\text{h}$  führten die  $Fe^{III}$ - und  $Mn^{III}$ - Oxidhydratfällungen während der 8-monatigen Erprobungsphase 1993/94 jedoch nicht zu einem Rückgang des Wasserdurchsatzes infolge von Brunnenverockerung. Die Präzipitation dieser Oxidhydrate hängt somit nicht nur von den Sauerstoffgehalten, sondern auch von der Quantität der Fe- und Mn- Kationen im belüfteten Grundwasser ab. Um unerwünschten Präzipitationen dieser Art entgegen zu wirken, wurde z.B. bei einem Sanierungsfall in Berlin-Treptow, ebenfalls erfolgreich eine Kreisgasführung installiert.

### 1.4.7 Grundwasserreinigungsgrad

Hinsichtlich der Reinigungsleistung des Turbobrunnens in Bezug auf LHKW konnten schon während der Erprobungsphase zum Gutachten von 1994 sehr gute Ergebnisse mit dem *in-situ*-System erzielt werden. Die Reinigungsleistung lag laut Gutachten immer zwischen 92 und 99%, wobei der statistische Medianwert, auf der Basis von 26 Messungen, bei 97% Reinigungsleistung lag. Das später entwickelte *on-site*-System (WDA) arbeitet nachweislich mit einem Reinigungsgrad von 100% bezogen auf LHKW.

### 1.4.8 Potentialdifferenzen des Grundwassers

Die während des Pilotversuchs gemessenen Potentialdifferenzen des Grundwassers zwischen dem oberen und dem unteren Brunnenfilter lagen im Durchschnitt bei einem Meter und damit in der gleichen Größenordnung wie die Werte späterer Mes-



sungen, die im Zusammenhang mit der Ermittlung der Wasserdurchsatzraten dokumentiert wurden. Während des Pilotversuchs kam es zu einer Grundwasserabsenkung im tiefen Kontrollpegel (Grundwasseranstrom) und zu einer Aufhöhung im flachen Kontrollpegel (Grundwasserabstrom nach Turbobrunnenpassage). In den beiden 1 m vom Sanierungsbrunnen entfernt gelegenen Pegeln wurden noch Grundwasserpotentialdifferenzen von 0,3 m gemessen. Insgesamt waren hier noch Aufhöhungen des oberflächennahen Grundwassers feststellbar.

#### **1.4.9 Grundwassermarkierungsversuche**

Im Rahmen des Gutachtens von 1994 wurde unter der Leitung von Prof. Dr. H. Brühl vom Institut für Angewandte Geologie der Freien Universität Berlin, ein Grundwassermarkierungsversuch (Tracerversuch) mit anschließenden Dispersionsberechnungen durchgeführt, um Daten zur Wasserkonvektion im Grundwasserleiter und zum hydraulischen Wirkungsradius des Turbobrunnens zu ermitteln. Danach lag der hydraulische Wirkungsgrad des Turbobrunnens während des Pilotversuchs, bei einem Wasserdurchsatz von  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ , bei etwa 10 m. Beeinflussungen der Grundwasserpotentiale durch den Turbobrunnen konnten aber auch noch in Entfernungen von  $\leq 20$  m nachgewiesen werden. Der Wirkungsradius des Turbobrunnens hängt wesentlich von der Mächtigkeit des erfassten Grundwasserleiters und seiner Durchlässigkeit bzw. seiner Durchlässigkeitsanisotropie ab, das heißt, von dem Verhältnis zwischen vertikalem und horizontalem  $K_f$ -Wert. Weitere Vorteile beim Einsatz des Turbobrunnens gegenüber einer einfachen Grundwasserentnahme stellt die erzwungene vertikale Durchspülung und somit die intensive Reinigung der Sedimente im Grundwasserschwankungsbereich dar. Demgegenüber werden bei einer rein horizontalen Brunnenanströmung (einfache Wasserentnahme) hauptsächlich die gröberen und besser durchlässigen Sedimentschichten gereinigt, während sich die Schadstoffe bevorzugt in den feineren Partien anlagern. Ferner haben die Tracerversuche gezeigt, dass nur etwa 5 % des in den Turbobrunnen eintretenden Grundwassers bereits nach einmaliger Brunnenpassage in den Grundwasserabstrom gelangt. Demnach werden etwa 95 % des aus dem hangenden Filter abströmenden Wassers der induzierten Konvektionsströmung zugeführt, wodurch bereits vorgereinigtes Wasser den Turbobrunnen mehrmals durchströmt und wiederholt nachgereinigt wird.

#### **1.5 Ausbau eines Turbobrunnens für den *in-situ*-Betrieb**

Der **Sanierungsbrunnen mit Turbo-Stripeinsatz** (Turbobrunnen) besitzt grundsätzlich zwei Filterbereiche mit einer Filterstrecke im liegenden und einer Filterstrecke im hangenden Bereich des Aquifers (Abb. 2). Die hangende Filterstrecke reicht dabei über den Ruhewasserspiegel des Grundwassers hinaus und ist mit der liegenden Filterstrecke durch eine Vollrohrstrecke verbunden. Über die hangende Filterstrecke kann somit bei Bedarf auch kontaminierte Bodenluft abgesaugt werden. Bei LHKW-Schäden ist der Turbo-Stripeinsatz so geschaltet, dass das kontaminierte Grundwasser dem Turbobrunnen durch die liegende Filterstrecke zuströmt. Im Brunnen wird es



dann durch den Turboeinsatz gehoben und muss diesen zwangsweise durchfließen, da der obere Brunnenfilter im Bereich des Turbo-Stripeinsatzes durch einen Pneumatikpacker oder einen Kunststoffflansch gegen den unteren Brunnenfilter abgedichtet ist. Dabei wird das kontaminierte Grundwasser nach dem beschriebenen Wirkprinzip von leichtflüchtigen Schadstoffen gereinigt und gleichzeitig aufgehört. Das aufgehöhte Wasser strömt dann über die obere Filterstrecke ab und wird nachhaltig der erzeugten Konvektionsströmung zugeführt (vgl. 1.4.9), wodurch ein polyzyklischer Reinigungseffekt eintritt. Bei MKW/BTEX- Schäden werden die *in-situ*-Sanierungsbrunnen in gleicher Weise ausgebaut, mit dem Unterschied, dass bei Bedarf eine linksdrehende Konvektion induziert werden kann. Dadurch wird eine leichte Absenkung des Grundwassers und ein Zufluss der Schadstoffe durch den oberen Brunnenfilter hervorgerufen.

## **1.6 Weitere Entwicklungsergebnisse und Erfahrungen aus dem Praxisbetrieb**

Mehrjährige Sanierungserfahrung mit dem Turbobrunnen und fortgesetzte Entwicklungsarbeiten am Turbo-Stripeinsatz, führten einerseits zu einer Bestätigung der hohen Reinigungsleistung der angebotenen Systeme und andererseits zu einer deutlichen Erhöhung der **Standfestigkeit** im Praxisbetrieb, insbesondere bei der Durchströmung mit aggressivem, LHKW- und BTEX-belastetem Grundwasser. Gleichzeitig konnte eine Optimierung der Modulkomponenten des Turbo-Stripeinsatzes, der internen Strömungsverhältnisse sowie der Trägergasführung erreicht werden. Darüber hinaus wurden deutliche Fortschritte bei der Wartungsfreundlichkeit des Gesamtsystems erzielt, die den Turbobrunnen sowohl unter ökonomischen wie ökologischen Gesichtspunkten zu einer fortschrittlichen Alternative im Vergleich mit herkömmlichen Grundwasserreinigungsanlagen macht.

## **1.7 Grundwasserreinigung mit dem Turbo-Stripeinsatz bei komplizierten Untergrundverhältnissen (*on-site*-Wirbelkammerdesorptionsanlage)**

Das Wirkprinzip einer *in-situ*-Reinigung setzt, wie erläutert, einen geologisch weitgehend ungestörten Grundwasserleiter voraus. Da diese Prämisse aber in vielen Bereichen, vor allem in städtischen Ballungsräumen nicht immer gegeben ist, wurde von der **Köster Umwelttechnik GmbH** ein *on-site*-System entwickelt, bei dessen Einsatz kontaminiertes Grundwasser gefördert und in Reaktoren übertage gereinigt wird (Abb. 4). Die Kerntechnik dieser *on-site*-Reaktoren besteht aus einer Wirbelkammerdesorptionsanlage (WDA), die mit modifizierten Turbo-Stripeinsatzes als zentrale Belüftungssysteme arbeitet. Diese Neuentwicklung wurde für den Einsatz auf Sanierungsbaustellen konzipiert, die geologisch komplizierte Untergrundverhältnisse mit Schluff-, Mergel- und Tonlinsen aufweisen oder durch anthropogene Barrieren, wie Fundamente, Tanks, Spundwände u.v.m. gestört sind. Ferner kann das *on-site* System auf Sanierungsbaustellen eingesetzt werden, wo



bereits einfach verfilterte Sanierungsbrunnen vorhanden sind und keine weiteren Brunnen gebohrt werden sollen.

### **1.7.1 Grundwasserstrippung in Reaktoren**

Die Strippung organischer Schadstoffe in Reaktoren ist prinzipiell mit der Strippung im Turbobrunnen vergleichbar, wenngleich es sich hierbei um einen mehrstufigen Prozess handelt. Dieser erfordert eine technische Anpassung des Turbo-Stripsystems an die neuen Strömungsverhältnisse des Wassers im Reaktor und damit einige technische Modifikationen am Kernsystem. Grundsätzlich wird aber auch hier das kontaminierte Grundwasser von Trägergas durchperlt und wie bereits mehrfach beschrieben abgesaugt und gereinigt.

### **1.7.2 Vorteile der WDA gegenüber herkömmlichen Desorptionsanlagen**

Die von der **Köster Umwelttechnik GmbH** entwickelte WDA zeichnet sich nicht nur durch ihren optimierten Einsatzzweck, sondern auch durch signifikante ökonomische und ökologische Vorteile gegenüber konventionellen *on-site*-Desorptionsanlagen anderer Hersteller aus, die vergleichbare technische Kenndaten aufweisen (bis 5 m<sup>3</sup>/h Wasserdurchsatz, 40 mbar Druckdifferenz, <20 µg/l Schadstoffe nach Durchfluss). Konventionelle Anlagen dieser Leistungsstufe sind durch große Bauhöhen (ca. 6 m) und einen hohen primären Energieverbrauch gekennzeichnet. Zusätzlich wird ein Prozessluftvolumenstrom von 100 - 250 m<sup>3</sup>/h benötigt, wodurch große Verdichter eingesetzt werden müssen, die erhebliche Lärmimmissionen verursachen. Die neue WDA der **Köster Umwelttechnik GmbH** zeichnet sich demgegenüber durch folgende Vorteile aus:

- deutlich geringere Bauhöhe, die zwischen 1,6 m und 2 m liegt
- keine Notwendigkeit des Abspannens von Reaktionstürmen
- geringer horizontaler Platzbedarf (kompakte Bauform), d.h., das gesamte System ist in einem Kleincontainer unterzubringen
- kleiner Prozessgasvolumenstrom von nur etwa 20 m<sup>3</sup>/h, gegenüber 100 - 250 m<sup>3</sup>/h bisher
- dadurch möglicher Betrieb mit einer nachgeschalteten Kleinkatalytanlage
- geringe Lärmimmission durch geringen Prozessluftvolumenstrom
- Wegfall von Füllkörpern im Gegenluftstrom (kein Füllkörperwechsel)
- gute Akzeptanz in Wohngebieten (klein und geräuscharm)
- deutlich geringerer Energieverbrauch (ca. 1,1 kW vs. 2,5 kW bisher)
- gute Resistenz gegen kalk- und eisenhaltiges Wasser durch Kreisgasführung
- dadurch weniger wartungsintensiv (Kostensparnis im Routinebetrieb)
- leicht zu reinigen
- sicher im Winterbetrieb durch intensive Durchströmung
- Wegfall von Kiesfiltern zur Eisenfällung



Abb. 4: Mehrstufige Wirbelkammerdesorptionsanlage mit Kleincontainer zur Aufnahme der Versorgungs- und Rohgasreinigungstechnik.



## **2 Referenzprojekte für Sanierungen mit dem Turbo-Stripeinsatz**

### **2.1 *In-situ*- Anwendung des Turbo-Stripeinsatzes**

**Fa. Gühring/Gelit**, Lübarser Straße, Berlin

- Beseitigung einer LHKW- Verunreinigung im Grundwasser und in der Bodenluft, Pilotprojekt 1993/94

**Fa. „frische Wäsche“ Textilpflege Sønderby & Co. KG**, Neubrandenburg

- Beseitigung der LHKW- Verunreinigung im Grundwasser und in der Bodenluft

**ehem. Fa. Reese Technik**, Beskowdamm, Berlin

- Beseitigung der LHKW- Verunreinigung im Grundwasser und in der Bodenluft

**Oberfinanzdirektion Cottbus**, Fliegerhorst Holzdorf

- Sanierung einer BTEX/MKW- Verunreinigung im Grundwasser und in der Bodenluft

**elf oil**, Berlin Waidmannslust

- Sanierung einer BTEX/MKW- Verunreinigung im Grundwasser

### **2.2 *On-site*- Anwendung des Turbo-Stripeinsatzes**

**Fa. Deutsche Shell AG**, Lepsiusstraße, Berlin

- Reinigung einer BTEX- und MKW- Verunreinigung

**Fa. Deutsche Shell AG**, Ruhlebener Straße, Berlin

- Reinigung einer BTEX- und MKW- Verunreinigung

**Fa. „frische Wäsche“ Textilpflege Sønderby & Co. KG**, Neubrandenburg

- Sicherung des Abstromes, Reinigung einer LHKW- Verunreinigung

**S-Bahn GmbH**, Berlin

- Sicherung und Sanierung einer LHKW- Verunreinigung

**elf oil**, Berlin Rudow

- Sanierung einer BTEX- und MKW - Verunreinigung

**Fa. Siegel & Co. GmbH**, Essen

- Sanierung einer LHKW- Schadens

**Fa. Knipping/Dorn**, Herne

- Sanierung eines LHKW/MKW- Schadens



BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



**URKUNDE**

über die Erteilung des  
**Patents**

Nr. 42 04 059

**Bezeichnung:**  
Sanierungsbrunnen zur Beseitigung von  
Grundwasserverunreinigungen

**Patentinhaber:**  
Köster, Hans Herbert, Dipl.-Geol., 14059 Berlin, DE

**Erfinder:**  
gleich Inhaber

**Tag der Anmeldung: 07.02.1992**

**München, den 05.05.1994**

Der Präsident  
des Deutschen Patentamts



Prof. Dr. Häußer