



**ZECH UMWELT GMBH**

# AIR-SPARGING AUDI IN-CAMPUS

## Sanierung einer Raffineriealtlast mittels In-situ-Airsparging und Bodenluftabsaugung

### 1. Einleitung

Die IN-Campus GmbH, ein Joint Venture der AUDI AG mit der Stadt Ingolstadt, entwickelt auf dem ehemaligen Raffineriegelände der Bayernoil einen Technologiepark. Bevor jedoch mit der Erschließung des Geländes begonnen werden konnte musste dieses aufwendig saniert werden. Die ZECH Umwelt GmbH erhielt den Auftrag die ersten großen Geländeabschnitte mit einer Kombination aus In-situ-Airsparging und Bodenluftabsaugung von den raffinerietypischen Schadstoffen zu entfrachten. Begleitet wurde die Maßnahme durch eine hydraulische Abstomsicherung.

Erfahrungen über eine Sanierung in dieser Größenordnung lagen bisher in Deutschland noch nicht vor. Daher bestand eine der Haupt-Herausforderungen darin, das geplante Sanierungsverfahren besonders flexibel aufzubauen, um es sowohl kostengünstig als auch technisch effizient an die noch unbekannt und wechselnden Anforderungen der fortschreitenden Sanierung anpassen zu können.

Über Aufbau und Betriebserfahrungen wird im Folgenden berichtet.

### 2. Anforderungen

Zur Erfüllung der vielfältigen Anforderungen, insb. auch der engen Zeitvorgabe des Kunden, wurde von der ZECH Umwelt GmbH im Vorfeld der Sanierung ein Paket von Maß-

nahmen und weiteren Optimierungsoptionen erarbeitet und anhand einer Matrix aus harten und weichen Faktoren im Hinblick auf eine möglichst kurze Sanierungszeit bewertet. Unter harten Faktoren wird hierbei i.W. die konkret bezifferbare installierte Geräte-Leistungen verstanden. Die weichen Faktoren umfassen dagegen konstruktive und organisatorische Maßnahmen und Aspekte. Letztere wurden in Ihrer Wirkung abgeschätzt und für die vergleichende Gegenüberstellung quantifiziert.

### 3. Aufgabe der Anlage und Gestaltung der Sanierungsfelder

Ein wesentlicher Aspekt der Planungen bestand darin, die technische Leistung für Absaugung und Injektion möglichst nah an den Brunnen und Lanzen, d.h. direkt im Feld, zu platzieren. Dadurch konnten die hydraulischen Leistungsverluste auf zwei Arten minimiert werden. Zum einen durch die generell kürzeren Rohrlängen zwischen Aggregat und Brunnen bzw. Lanze. Und zum anderen durch die frühestmögliche Ausschleusung von Bodenluftfeuchte, welche ansonsten bei langen Rohrleitungen besonders im Winter zu Querschnittsverengungen bis zur Verblockung der Absaugleitungen führt. Weiterhin ergaben sich durch die Verteilung der Anlagenleistung auf mehrere autarke Untereinheiten Redundanzen, was letztendlich der Betriebssicherheit zu Gute kam.

**Ein Ansprechpartner, viele Lösungen**

Wir kümmern uns um Ihre Umwelt-Aufgaben – nachhaltig, effizient & wirtschaftlich.

 **Adresse**  
August-Bebel-Allee 1  
28329 Bremen

 **E-Mail**  
kontakt@zech-umwelt.com

 **Telefon**  
+49 (0)421 4 10 07-0

Bei der Gestaltung der Installationen im Feld stand das Ziel im Vordergrund die in der Vorerkundung bekannt gewordenen hochkontaminierten Bereiche vermehrt mit Absaugleistung zu versorgen. Dies führte zu der unten graphisch dargestellten Aufteilung des Sanierungsfeldes in Teilfelder sowie der variabel strangweisen Zuordnungen der Absaugbrunnen. In den hochbelasteten Zonen wurden 4 bis 5 Absaugbrunnen in einem Absaugstrang zusammengefasst, in den schwachbelasteten Zonen waren es dagegen 6 bis 9 Absaugbrunnen die sich die Absaugleistung eines Lüfters teilen. Zudem wurden die hochbelasteten Zonen „von zwei Seiten aus angegriffen“, d.h. sie konnten von 2 UnterAbsaugeinheiten (UA) parallel abgesaugt werden, was die Effektivität noch einmal steigerte.

### Aufteilung der Sanierungsfelder

Die gesamt zu behandelnde Sanierungsfläche wurde für eine zeitlich gestaffelte Bearbeitung in mehrere Sanierungsfelder gegliedert:

- jedes Sanierungsfeld wurde weiter in Teilfelder unterteilt
- jedes Teilfeld enthielt genau 1 UnterAbsaugeinheit
- jedes Teilfeld wurde wiederum in 4 Quadranten gegliedert
- jeder Quadrant wurde durch genau 1 Absaugstrang abgesaugt und durch eine Anzahl korrespondierender Injektionslanzen mit atmosphärischer Druckluft versorgt

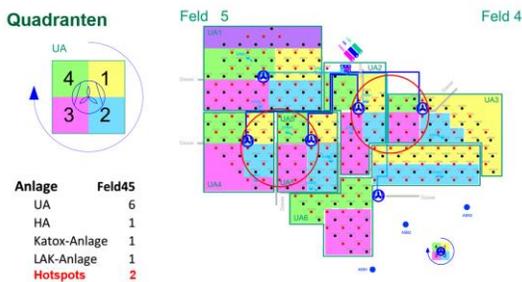


Abb. 1: Aufteilung eines Sanierungsfeldes in Teilfelder und Quadranten

Das Raster der versetzten Absaugbrunnen und Injektionslanzen betrug jeweils 9 m. Aufgrund der besseren Kontrolle der effektiven Absaugung über die Fläche wurden Absaugbrunnen ggü. Drainagerohren bevorzugt; so ist es unter anderem einfach möglich die Absaugleistung bei Bedarf auch hydraulisch punktuell bereitzustellen bzw. zu erweitern. Um bei der Absaugung Kurzschlüsse über die Geländeoberfläche zu unterbinden wurde diese mit einer Folie für die Dauer der Sanierung abgedeckt.

Die insgesamt behandelten Felder erstreckten sich über eine Gesamtfläche von 24.000 m<sup>2</sup>. Diese wurden sukzessive bearbeitet, wobei im Anschlag Anlagentechnik für die

Bearbeitung von bereits ca. 3/4-ten der Flächen bereitstand. Mit Fortschritt der Sanierung wurden die Anlagen-Container von den bereits fertig behandelten Teilfeldern abgezogen und entweder den noch in Behandlung befindlichen Feldern zur Intensivierung beigelegt oder zur Sanierung der noch unbehandelten Felder umgezogen.

### Technische Anlagen

Die technischen Anlagen direkt im Feld, die UnterAbsaugeinheiten, stellten die Absaug- und Injektionsleistung sowie deren Steuerarmaturen und die UEG-Schutzeinrichtungen bereit. Die Injektionslanzen konnten individuell, die Absaugbrunnen strangweise durch Steuerungsprogramme automatisiert angesprochen werden. Die am Rande außerhalb des Sanierungsfeldes platzierten Haupteinheiten beherbergten die Transportlüfter, die die von den Untereinheiten aus dem Boden abgesaugte Bodenluft saugend übernahmen und der jeweiligen Luftreinigung zuleiteten. Ebenfalls waren hier die Gasmesseinrichtungen zur Online-Erfassung der Kontamination untergebracht. Für die Luftreinigung kamen bei hohen Kontaminationen Katox-Anlagen zum Einsatz, bei geringen Bodenluftkonzentrationen Luftaktivkohlefilter.

Die Dimensionierung der im Feld installierten Injektionsleistung folgte dem Ansatz im Untergrund, also in-situ, einen vergleichbaren Stripp-Faktor zu realisieren, wie er auch bei Ex-Situ-Strippanlagen zur Behandlung von BTEX-Kontaminationen typisch ist. Die Absaugleistung folgte dann der Injektionsleistung, wobei zur Vermeidung der Akkumulation mobilisierter schadstoffbeladener Bodenluft im Untergrund ein Sicherheitsfaktor einzurechnen war.

### Die Sanierung in Zahlen

Fläche	24.000 m <sup>2</sup>
Anzahl Brunnen und Lanzen	539
Absaug- und Injektionsleitungen	8390 m
Absaugleistung	3250 m <sup>3</sup> /h
Injektionsleistung	1800 m <sup>3</sup> /h
Elektrische Leistung ohne Katox	145 kW
Elektrische Leistung Katox-Anlagen	130 kW
Luftaktivkohle	10.000 kg

### 4. Betriebsprogramm

Neben dem technischen Aufbau der Sanierungsanlage war vor allem das Betriebs- und Steuerungsprogramm für den Erfolg der Sanierung von zentraler Bedeutung. Im Verlauf der Sanierung wurde dieses immer wieder an die neuen Bedingungen und Erfordernisse angepasst.

Bei der Inbetriebnahme eines Sanierungsfeldes stand zunächst eine flächig gleichmäßige Behandlung im Vordergrund. Im gewählten Intervallbetrieb wurden alle Stränge einer UnterAbsaugeinheit zeitgesteuert einzeln und nacheinander abgesaugt und die jeweils korrespondierenden Injektionslanzen mit Druckluft beaufschlagt. Im weiteren Verlauf erfolgte durch die Auswahl und Kombination der ab-

Ein Ansprechpartner, viele Lösungen

Wir kümmern uns um Ihre Umwelt-Aufgaben – nachhaltig, effizient & wirtschaftlich.

**Adresse**  
August-Bebel-Allee 1  
28329 Bremen

**E-Mail**  
kontakt@zech-umwelt.com

**Telefon**  
+49 (0)421 4 10 07-0

zusaugenden Stränge, sowie durch eine zeitliche Gewichtung, eine bevorzugte Behandlung der erkannten Hotspot-Bereiche. Bei abnehmender Schadstofffracht konnte mit der parallelen Luftbehandlung über Katox- und Luftaktivkohle-Anlage schließlich die Limitierung der Luftbehandlung allein über die Katox-Anlage aufgehoben und hochkontaminierte und schwachkonzentrierte Bodenluft getrennt den jeweilig dafür effizienten Luftbehandlungen zugeführt werden.

Eine weitere Betriebsoption stellte die Stark-Injektion dar. Als Stark-Injektion wird hier der Betrieb mit hohen Injektions-Volumenströmen in einzelne Injektionslanzen bezeichnet. Hierbei steht die Auflockerung des Bodengefüges, d.h. die mechanische Mobilisierung von in Bodenzwickeln angelagerten Schadstoffdepots im Vordergrund. Im Gegensatz dazu diente das in-situ-Airsparging, welches mit einem gemäßigten Volumenstrom in großflächig angesprochenen Injektionslanzen arbeitete, der Überführung der im Grundwasser gelösten Schadstoffe in die Bodenluft (physikalische Mobilisierung).

Im Laufe der Sanierung hat sich gezeigt, dass diese Stark-Injektion allein nicht immer ausreichte um besonders hartnäckige Kontaminationen zeitnah zu sanieren. Als Antwort darauf wurden die Maßnahmen der Stark-Injektion eskaliert und die installierte Anlagenleistung aus bereits fertiggestellten Bereichen in Anlagen dieser besonders kritischen Bereiche unterstützend zur Seite gestellt. Ebenfalls wurde die Behandlung punktuell auf die verbliebene Restkontamination konzentriert.

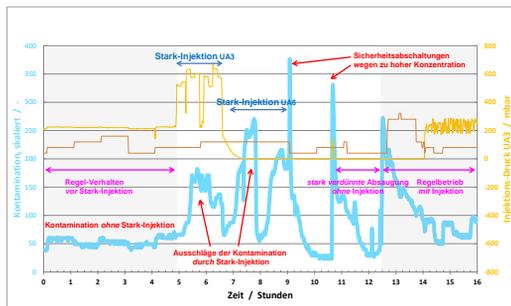


Abb.2: Erfassung der Auswirkungen einer Stark-Injektions-Maßnahme durch die anlageneigene Online-Gasmessung

Eine wesentliche Rolle für die fortlaufenden Anpassungen des Betriebsregimes im Hinblick auf Effizienz und eine kurze Sanierungszeit fiel der Online-Gasmessung zu. Neben ihrer Aufgabe der allgemeinen Dokumentation und Kontrolle des Sanierungsfortschritts erfüllte sie aktiv die Funktion der Identifikation von Hotspots und persistenten Kontaminationsnestern sowie dem Nachweis der Wirksamkeit einer bestimmten Betriebsvariante. Neben der

expliziten KW-Messung in der Hauptanlage lieferten auch die UEG-Messungen der im Feld vorgelagerten Untereinheiten, welche nach einem anderen Messprinzip arbeiteten, wichtige Informationen und Hinweise.

### 5. Ergebnisse

Mit fortschreitender Sanierung wurden mehrere Betriebsanpassungen notwendig, um der Schadstoffentwicklung gerecht zu werden. Dabei zeigte sich ein typischer Sanierungsverlauf, welcher aus nachfolgender Darstellung des Schadstoffaustrags-über die Zeit abgeleitet werden kann:

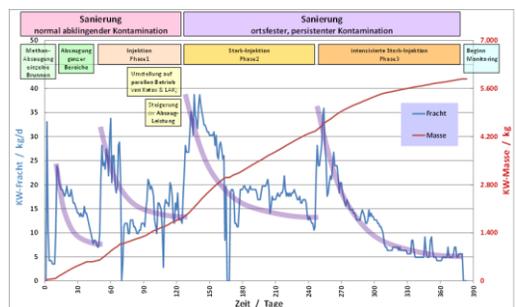


Abb.3: Darstellung der verschiedenen Sanierungsphasen und Betriebsregime an-hand der ausgetragenen Kontamination am Beispiel eines Sanierungsfeldes (KW: Kohlenwasserstoff-Kontamination)

### Die Phasen im Einzelnen:

- Methanabsaugung mit langsamer Steigerung der Absaugung**  
Entfernung der durch langzeitliche biologische Umwandlungen im Untergrund gebildeten Methankonzentrationen in der ungesättigten Bodenzone durch flächiges Absaugen; Limitierung der Absaugung durch sehr hohe initiale Konzentrationen >> UEG-Grenzwert mit sukzessiver Steigerung der Absaugflächen und -leistung
- Injektion Phase 1**  
In-situ-Airsparging mit einem gemäßigten Volumenstrom über großflächig angesprochene Injektionslanzen, Überführung der im Grundwasser gelösten Schadstoffe in die Bodenluft und Absaugung der Bodenluft (Entfrachtung)
- Injektion Phase 2**  
In-situ-Airsparging (wie in Phase 1) mit zwischengeschalteten Stark-Injektions-Zyklen zur Auflockerung des Bodengefüges sowie zur mechanischen Mobilisierung von in Bodenzwickeln angelagerten Schadstoffdepots (Push-Verfahren)

Ein Ansprechpartner, viele Lösungen

Wir kümmern uns um Ihre Umwelt-Aufgaben – nachhaltig, effizient & wirtschaftlich.

**Adresse**  
August-Bebel-Allee 1  
28329 Bremen

**E-Mail**  
kontakt@zech-umwelt.com

**Telefon**  
+49 (0)421 4 10 07-0

**d. Injektion Phase 3**

konzentrierte und intensivierte Stark-Injektion zur mechanischen Mobilisierung von in den Bodenzwickeln angelagerten Schadstoffdepots zur Restschadstoffentfernung

Als entscheidend für den nachhaltigen Sanierungserfolg erwies sich die punktuell gesteuerte Injektion. Wesentliche Verbesserungen der Schadstoff-Austragsrate gingen immer mit einer Optimierung des Airspargings sowie einer gezielten Schadstoffmobilisation durch Stark-Injektions-Zyklen einher. Die Bodenluftabsaugung musste dabei lediglich sicherstellen, dass die injizierte Luft örtlich auch abgesaugt und aus dem Untergrund ausgetragen wurde. Leistungssteigerungen der Absaugung selbst führten letztlich jedoch - bis auf die reine Bodenluftabsaugung in der kurzen Anfangsphase - nicht zu einem gesteigerten Schadstoffauftrag.

Qualitativ zeigte sich ein 2-phasiger Sanierungsverlauf. Leicht der Sanierung zugängliche Kontaminationen in der ungesättigten Bodenzone sowie im Grundwasser gelöste Schadstoffe der gesättigten Bodenzone ließen sich leicht und vollständig durch In-situ-Airsparging austreiben und absaugen. Ortsfest persistente Schadstoffe dagegen, also an die Bodenmatrix adsorbierte Schadstoff-Depots wie residuale Phasen (Blobs, Tröpfchen, Filme um Bodenkorn) und kohärente Phasen (Pools, zusammenhängende Phasenvolumen) benötigten eine vorhergehende gezielte Mobilisierung und Übertragung in das Grundwasser bevor sie in einem nächsten Schritt durch reguläres In-situ-Airsparging erfasst und mit der Bodenluft ausgetragen werden konnten.

Während Untergründe mit gut erreichbarer Kontamination schon nach 130 Tagen entfrachtet waren, benötigten Felder mit versteckter und persistenter Kontamination in etwa noch einmal die doppelte Zeit.

**6. Fazit**

Durch die stetige und flexible Anpassung des Anlagenaufbaus, die modulare Bereitstellung von zusätzlicher Aggregateleistung bei mitwachsender Verrohrung sowie durch fortlaufende Erweiterung des Betriebsprogramms um intelligente und situationsgerechte automatische Steuerungsroutinen gelang es der ZECH Umwelt GmbH den Kunden bestmöglich und erfolgreich bei der Verfolgung seines Sanierungsziels zu unterstützen.

Neben der konsequenten Umsetzung der in der Vorbetrachtung ermittelten Optimierungsmaßnahmen erwies sich vor allem die betriebsbegleitende Auswertung der On-line-Gasmesstechnik als ein wesentlicher Garant zur Einhaltung der zeitlichen Sanierungsvorgaben. In mehreren Explorations-Versuchen konnten mit der anlageneigenen Messtechnik die verbliebenen Hotspots identifiziert und im Anschluss daran mit einem speziell darauf abgestimmten neuen Betriebsregime zielgerichtet und effektiv behandelt werden.

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor der Sanierungsmaßnahme lag in der engen und angeregten Zusammenarbeit mit dem Kunden sowie den die Sanierung begleitenden Gutachtern.

Ansprechpartner:

Ralf Müller  
+49 (0) 2403 80955 23  
[rmueller@zech-water.com](mailto:rmueller@zech-water.com)

Hans Spannheimer  
+49 (0) 89 94 41 998 16  
[hspannheimer@zech-umwelt.com](mailto:hspannheimer@zech-umwelt.com)

Roland Littmann  
+49 (0) 89 94 41 99 80  
[rlittmann@zech-water.com](mailto:rlittmann@zech-water.com)



**Ein Ansprechpartner, viele Lösungen**

Wir kümmern uns um Ihre Umwelt-Aufgaben – nachhaltig, effizient & wirtschaftlich.

 **Adresse**  
August-Bebel-Allee 1  
28329 Bremen

 **E-Mail**  
[kontakt@zech-umwelt.com](mailto:kontakt@zech-umwelt.com)

 **Telefon**  
+49 (0)421 4 10 07-0