

GUTER GRUND

An aerial photograph of a residential development. In the foreground and middle ground, there are several modern, multi-story houses with white facades and flat roofs, some of which have green roofs. A large, multi-story brick building with a grid-like facade, possibly a former industrial or commercial building, stands out in the center. To the right of this brick building is a large, open, undeveloped plot of land. The background shows a cityscape with various buildings and a range of hills under a cloudy sky. The text "GUTER GRUND" is overlaid in large, bold, yellow capital letters across the upper half of the image.

Wo früher Fabriken oder Kasernen standen, soll heute vielerorts Wohnraum entstehen. Die Flächen von Altlasten zu befreien, ist jedoch aufwendig und teuer. Verschiedene Substanzen von Evonik wandeln Schadstoffe im Erdreich vor Ort in harmlose Produkte um oder binden sie – und bieten eine nachhaltige und kostengünstige Alternative zu klassischen Sanierungsarten.

TEXT **TIM SCHRÖDER**



Pionier-Arbeit: Wo früher US-Soldaten stationiert waren, sollen am Stadtrand von Hanau künftig 5.000 Menschen wohnen



Peter Martus (l.) von der Umweltberatung Aecom und Gordon Bures vom Sanierungsunternehmen Sensatec im Pioneer Park

Der Pioneer Park liegt idyllisch am Rand von Hanau, direkt am Wald. Ganz in der Nähe fließt das Flüsschen Kinzig vorbei. Die Bewohner der neuen Siedlung werden hier künftig spazierengehen, Kinder können im Wald toben. 5.000 Menschen sollen in wenigen Jahren auf dem ehemaligen Kasernengelände der US Army wohnen. Das Militär hatte den Standort in der Nähe von Frankfurt am Main nach dem Zweiten Weltkrieg bezogen und 2008 stillgelegt. Die alten Baracken und Werkstattgebäude wurden abgerissen, jetzt entsteht hier ein Wohnquartier. Noch wirkt das Gelände etwas kahl, doch viele Reihen- und Einfamilienhäuser sowie kleine zweigeschossige Wohnblöcke sind bereits bewohnt.

Ungewöhnlich an diesem Neubaugebiet sind die arm-dicken Metallrohre, die an vielen Stellen aus dem Boden ragen. Sie reichen mehrere Meter tief in den Erdboden bis hinab zum Grundwasser. Regelmäßig kommen Techniker vorbei, um hier Wasserproben zu nehmen, denn im Boden befanden sich lange Zeit unerwünschte Hinterlassenschaften der US Army – Chlorkohlenwasser-

» Wir konnten Hunderte Lkw-Fahrten vermeiden.«

PETER MARTUS, TECHNISCHER LEITER
BEI DER UMWELTBERATUNG AECOM

stoffe (CKW). CKW sind fettlöslich und wurden jahrzehntelang in der Textilreinigung oder zum Säubern von Maschinen verwendet, auch in der ehemaligen Pioneer-Kaserne. Die Substanzen schaden allerdings der Gesundheit, wenn Menschen damit in Berührung kommen, zum Beispiel, wenn sie mit Wasser aus belasteten Hausbrunnen ihr Gemüse gießen.

Dass an diesem Ort nun Menschen wohnen und arbeiten können, ist einem Produkt aus dem Evonik-Konzern zu verdanken. Eine umweltfreundliche Substanz namens



Spezielle Bohrmaschinen treiben Metallrohre in die Erde, durch die Reagenzien ins Erdreich gepumpt werden



EHC Reagent bewirkt im Boden, dass Chlorkohlenwasserstoffe in harmlose Substanzen umgewandelt werden. Das günstige und nachhaltige Verfahren könnte künftig auf vielen Konversionsflächen, die zuvor industriell oder militärisch genutzt wurden, zum Einsatz kommen und bietet Kommunen und der Immobilienwirtschaft somit eine interessante Lösung.

VERHÄNGNISVOLLE WASCHSUBSTANZEN

Bodenverunreinigungen stellen weltweit ein gewaltiges Problem dar. Nach Schätzung der Europäischen Umweltagentur sind allein in Europa rund 250.000 Flächen bekannt, die durch Altlasten verunreinigt sind. Hinzu kommen rund 1,8 Millionen Flächen, die im Verdacht stehen, kontaminiert zu sein. Damit auf diesen Grundstücken neue Wohnungen oder moderne Gewerbegebiete entstehen können, sind aufwendige Vorarbeiten nötig. Dazu werden in Deutschland und anderen europäischen Ländern Altlasten bislang meist ausgebagert und deponiert („dig and dump“). Alternativ wird das verschmutzte Grundwasser abgepumpt und gereinigt

(„pump and treat“) „Diese Verfahren machen rund 90 Prozent des Marktes aus“, sagt Mike Mueller, der hinter der Erfindung von EHC Reagent steckt.

Auch in Hanau mussten die Verantwortlichen handeln, bevor die frühere Army-Fläche neu genutzt werden konnte. Besonders viel CKW gelangte dort über die Jahre durch eine Wäscherei in den Boden. Das Militär nutzte Reinigungsmittel, die diese Verbindungen enthielten, um die Kleidung der Soldaten zu reinigen. Auch ein paar hundert Meter weiter bei den alten Werkstätten, wo früher Fahrzeugteile entfettet wurden, gelangten CKW ins Erdreich; insgesamt rund drei Tonnen.

Die Projektentwicklungsgesellschaft LEG Hessen-Hanau, die das Gelände vor einigen Jahren übernommen hatte, entschied, das 500.000 Quadratmeter große Areal umfassend zu sanieren. Unterstützt wurde sie von der →



Die Reagenzien zur Bodensanierung werden als Granulat angeliefert

»EHC Reagent schien uns in Hanau das Mittel der Wahl zu sein.«

GORDON BURES, TECHNISCHER LEITER BEIM
SANIERUNGSUNTERNEHMEN SENSATEC

Ort und Stelle („in situ“). Dabei werden Substanzen in den Boden gepresst, die Schadstoffe zerstören oder binden und dadurch unschädlich machen.

Die LEG Hessen-Hanau willigte ein, und Peter Martus nahm Kontakt zu seinem Kollegen Gordon Bures vom Sanierungsunternehmen Sensatec auf. Bures stammt aus Kanada. „Dort und in den USA wird für die Sanierung von CKW-Altlasten schon länger EHC Reagent von Evonik eingesetzt“, sagt der Schadstoff-Experte, „und das schien uns auch in Hanau das Mittel der Wahl zu sein.“

EISEN UND PFLANZENFASERN

EHC Reagent besteht aus zwei umweltfreundlichen und nachhaltigen Hauptinhaltsstoffen: grobem Eisenpulver, das aus Metallschrott hergestellt wird, und pflanzlichen Fasern, die bei der Produktion von Pferdefutter anfallen. Hinzu kommt ein Verdickungsmittel. Rührt man EHC Reagent mit Wasser an, entsteht eine dickflüssige Masse, die sich gut ins Erdreich pumpen lässt. Die Kombination von Kohlenstoff aus den Futterresten und elementarem Eisen verleiht dem Produkt eine besondere Eigenschaft: Es greift die giftigen Chlorkohlenwasserstoff-Moleküle auf mehreren Wegen an und baut sie so gründlich ab.

Angesichts der enormen Größe des Geländes tasteten sich die Partner in Hanau langsam voran: In einer Pilotphase wurde zunächst im besonders stark belasteten Bereich um die ehemalige Wäscherei EHC Reagent in den Boden gepumpt. „Wir wollten sehen, wie stark die CKW tatsächlich abgebaut werden“, sagt Bures. Nachdem die Injektion der EHC-Masse abgeschlossen war, nahmen Mitarbeiter von Aecom regelmäßig Grundwasserproben. Nach einigen Monaten konnten sie erkennen, dass die CKW-Moleküle durch die biologischen und chemischen Reaktionen im Boden von den Chloratomen befreit, also dechloriert, wurden. Später waren im Grundwasser als Abbauprodukte nur noch kleine Kohlenstoffverbindungen, Chlorid, und Wasser nachweisbar. „Das ist ein großer

Umweltberatung Aecom aus Frankfurt. „Im ersten Schritt haben wir Boden- und Grundwasserproben genommen, um die Größe des belasteten Bereichs zu ermitteln“, erzählt Dr. Peter Martus, technischer Leiter bei Aecom. Die Untersuchung zeigte, dass das Grundwasser von Ost nach West unter dem ehemaligen Wäschereigebäude und dem ehemaligen Werkstattbereich hindurchfließt und die CKW als unterirdische Schadstofffahne sogar über das Kasernengelände hinaus verlagert. Der belastete Bereich war mit rund 11.000 Quadratmetern größer als ein Fußballfeld und bis zu 15 Meter mächtig.

Bei kleineren Altlasten wie etwa an Tankstellen lässt sich der Boden meist relativ einfach abtragen oder das belastete Grundwasser reinigen. Hier schieden beide Verfahren aus. Der Bodenaustausch bis in mehrere Tiefe und in voller Breite wäre unwirtschaftlich gewesen. Eine Pump- und -Treat-Behandlung hätte viele Jahre gedauert. Zudem hätte man das strenge Sanierungsziel vermutlich nicht erreicht. Peter Martus schlug deshalb ein alternatives Verfahren vor, die Reinigung des Bodens an



In Mischmaschinen wird das Reagenz mit Wasser zu einer dickflüssigen Masse verrührt

Erfolg“, sagt Bures. Anschließend wurden Injektionsbohrungen im gesamten belasteten Areal durchgeführt. Wie die Grundwasseranalysen zeigen, sind die CKW inzwischen fast überall in den sanierten Bereichen abgebaut.

Bures gehört zu den Entwicklern des Injektionsverfahrens, bei dem ein Bohrgestänge langsam in den Untergrund geschlagen wird. Etwa alle 50 bis 75 Zentimeter wird der Vortrieb gestoppt und über das Rohr EHC Reagent ins Erdreich gepresst (siehe Schaubild Seite 36/37). Der Druck ist so hoch, dass sich im Untergrund feine Risse bilden, durch die sich die Masse in einem Radius von bis zu fünf Metern um das Bohrloch verteilt. Im Pioneer Park wurden insgesamt 200 Tonnen EHC Reagent in den Boden gebracht. Nach und nach hat es die CKW-Moleküle zerstört, sodass das Grundwasser, das heute den Bereich durchströmt, keine Schadstoffe mehr mit sich trägt. Da die EHC-Reagent-Suspension zähflüssig ist, kann das Grundwasser sie nicht fortspülen. Sie bleibt für mehrere Jahre an Ort und Stelle.

Die CKW werden über drei verschiedene Wege abgebaut, zum einen mithilfe von Bodenbakterien, zum anderen über zwei chemische Reaktionspfade mithilfe des Eisens: So dient der in den Futtermittelabfällen enthaltene Koh-

lenstoff den Bakterien als Nahrung. Sie bauen die Futterreste ab und setzen dabei verschiedene Fettsäuren frei, unter anderem Ameisensäure, Buttersäure und Milchsäure. Diese Fettsäuren ernähren wiederum andere Bakterien, die CKW dechlorieren.

Die chemische Reaktion mit dem Eisen läuft direkt ab: Im ersten Fall reagiert das Eisen unmittelbar mit den Chlorverbindungen. Im zweiten löst es sich zunächst im Grundwasser, um dann über einen leicht veränderten Reaktionspfad die CKW abzubauen.

VOM STARTUP IN DEN KONZERN

Erfinder von EHC Reagent ist Mike Mueller. Der US-Amerikaner hat die Entwicklung mit seinem Startup zuerst in den USA und im kanadischen Markt etabliert. Die Firma ging dann im US-Unternehmen Peroxychem auf, das 2020 von Evonik übernommen wurde. Seitdem arbeitet Mueller bei dem Spezialchemiekonzern – und führt EHC Reagent nun als vielversprechende Substanz für In-situ-Verfahren in den europäischen Markt ein. „Die Stärke von EHC Reagent liegt in der Verbindung von bakteriellem und chemischem Abbau. Das macht das Verfahren besonders effizient“, sagt Mueller.



Evonik-Bodensanierungsexperte Mike Mueller auf dem Werksgelände in Hanau-Wolfgang

»Der Mix aus bakteriellern und chemischem Abbau macht das Verfahren besonders effizient.«

MIKE MUELLER, MANAGER DES BODEN- UND GRUNDWASSERSANIERUNGSTEAMS VON EVONIK ACTIVE OXYGENS

ARSEN UND SPITZENLEISTUNG

Wie sich toxische Metalle im Boden binden lassen

Mit einer Altlast befasst sich Evonik derzeit auch in einem zweiten Projekt in Hanau. Hier geht es um die In-situ-Sanierung eines mit Arsenverbindungen belasteten Bereichs auf dem Werksgelände. 1875 entstand dort die Königlich-Preußische Pulverfabrik, die in Zeiten des Ersten Weltkrieges auch Arsen verarbeitete. Hinzu kommt Arsen aus natürlichen – sogenannten geogenen – Quellen: Unter Teilen des Geländes war das Arsen ursprünglich in festen Eisenverbindungen im Boden gebunden, in sogenannten Raseneisenerzfeldern. Durch die Arbeiten in der Pulverfabrik sowie andere industrielle Tätigkeiten während der langen Nutzungsdauer wurde der Boden aber chemisch so verändert, dass sich das Arsen aus dem Raseneisenerz löst. „Heute stehen wir vor der Aufgabe, diese historische Altlast zu sichern, damit das Arsen nicht weiter das Grundwasser belastet“, sagt Pascal Endres, der bei Evonik für das Altlastenmanagement am Standort Hanau zuständig ist. Bislang wird das Grundwasser permanent abgepumpt, um zu verhindern, dass es Arsen über das Werksgelände hinausträgt. Das Pumpen kostet jedoch eine Menge Energie. Zudem müssen die Pumpen regelmäßig gewartet werden. „Nach Abwägung verschiedener Varianten und intensiver Konzeptabstimmung mit der zuständigen Behörde und unserem Umweltgutachter, haben wir uns entschlossen, eine In-situ-Maßnahme einzusetzen. Das ist die nachhaltigere Sicherungsmethode“, sagt Endres. Wie zuvor auf dem Pioneer-Park-Gelände werden derzeit Injektionsbohrungen durchgeführt. Zum Einsatz kommen in Hanau allerdings andere Produkte; Geoform ER und Metafix, zwei Reagenzien, die im Untergrund geeignete geochemische Bedingungen zur Immobilisierung des Arsens schaffen. Dabei bildet sich das extrem haltbare und reaktionsträge Mineral Arsenopyrit, das auch in natürlichem Gestein vorkommt. „Kohlenwasserstoffe wie im Pioneer Park kann man chemisch abbauen, Metalle wie Arsen nicht“, erklärt Endres, „daher ist es sinnvoll, diese vor Ort dauerhaft chemisch zu binden, sodass sie das Grundwasser nicht mehr belasten.“

Mit der Evonik-Lösung lassen sich selbst die strengsten Vorgaben erfüllen. Da sich in direkter Nachbarschaft des Pioneer Parks eine Trinkwasserentnahmestelle befindet, haben die zuständigen Behörden einen CKW-Höchstwert von 20 Mikrogramm pro Liter Wasser vorgegeben. Das entspricht Trinkwasser-Qualität. Normalerweise werden für städtische Bereiche Grenzwerte von einigen 100 Mikrogramm als Sanierungsziel festgelegt. Die Wasserproben, die regelmäßig auf dem Gelände genommen werden, zeigen, dass die 20 Mikrogramm in weiten Teilen bereits unterschritten werden. An insgesamt 140 Stellen werden auch in den kommenden Jahren regelmäßig Messungen vorgenommen.

Manche Investoren und Behördenvertreter tendieren noch immer dazu, den kontaminierten Boden wegzuschaffen, berichtet Mueller. Die Vorstellung, die Schadstoffe im Untergrund zu behandeln, sei manchen nicht geheuer. Doch mittlerweile konnte der Amerikaner die zuständigen Ämter in mehreren Bundesländern davon überzeugen, dass EHC Reagent eine sinnvolle Alternative ist. Inzwischen wurde es europaweit in mehr als 200 Projekten eingesetzt.



Regelmäßig werden im Pioneer Park Wasserproben entnommen, um den Fortschritt bei der Sanierung zu dokumentieren



Mit einer Menge von 200 Tonnen EHC Reagent ist der Pioneer Park das bislang größte Sanierungsvorhaben in Europa, bei dem die Substanz zum Einsatz kommt: „Hätte man den kontaminierten Bereich ausgehoben, wären Hunderte Lkw-Fahrten nötig gewesen, um das Erdreich wegzuschaffen“, sagt Mueller. Peter Martus und seine Kollegen bei Aecom haben im Detail analysiert, wie viel umweltfreundlicher In-situ-Verfahren gegenüber dem Aushub oder dem Reinigen des Grundwassers sind. Dabei haben sie Lkw-Transporte, den Stromverbrauch der Pumpen und viele andere Parameter einbezogen. Eine Sanierung mit EHC Reagent verursacht demnach 90 Prozent weniger Kohlendioxidemissionen als der Aushub kontaminierter Erde und 70 Prozent weniger als das Abpumpen und Reinigen des Grundwassers.

Wirtschaftlicher ist das In-situ-Verfahren oben: Eine Bodensanierung mit Aushub, Abtransport und Deponierung oder Aufbereitung des Bodens wäre mindestens dreimal so teuer gewesen wie die In-situ-Behandlung mit EHC. Für die Bauwirtschaft und Investoren seien Militär- und Industriebrachen attraktive Flächen, auf denen Wohnungen errichtet werden können,

sagt Erfinder Mueller. „Mit EHC Reagent lassen sich die Grundstücke nachhaltig und vor allem auch leise von Altlasten befreien.“

Dass das Pioneer-Park-Projekt ein voller Erfolg ist, sehen offenbar auch andere so: 2024 wurde es mit der wichtigsten deutschen Auszeichnung der Sanierungsbranche geehrt, dem Brownfield Award. Das Projekt erhielt den dritten Platz in der Kategorie „Besonders nachhaltig“.

Tim Schröder arbeitet als Wissenschaftsjournalist in Oldenburg.



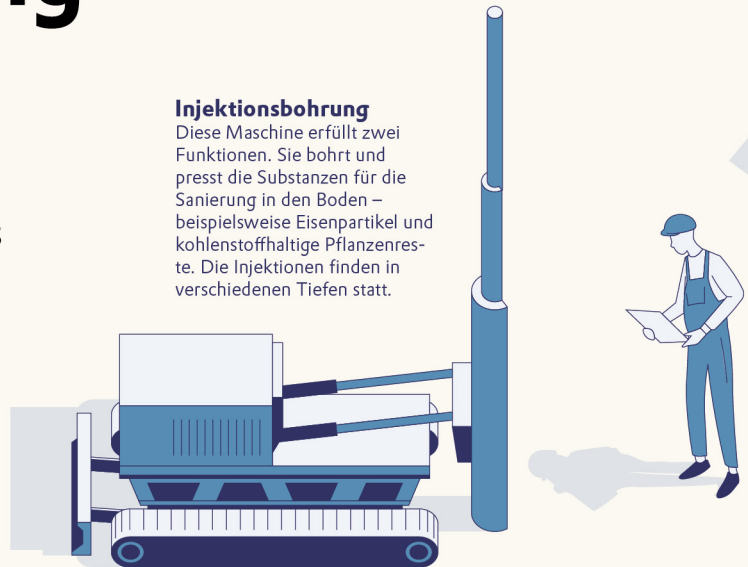
Saubere Lösung

Altlasten in Böden müssen nicht abgetragen oder abgepumpt werden, sondern lassen sich vor Ort unschädlich machen. Dabei werden Substanzen ins Erdreich gepresst, die schädliche chemische Verunreinigungen zu harmlosen Stoffen umwandeln.

INFOGRAFIK MAXIMILIAN NERTINGER

Injektionsbohrung

Diese Maschine erfüllt zwei Funktionen. Sie bohrt und presst die Substanzen für die Sanierung in den Boden – beispielsweise Eisenpartikel und kohlenstoffhaltige Pflanzenreste. Die Injektionen finden in verschiedenen Tiefen statt.



Bohrkanäle

Das Bohren und Injizieren findet im selben Kanal statt. Der Vortrieb wird etwa alle 50 bis 75 Zentimeter gestoppt, um das Material zu injizieren. Danach wird die Bohrung weiter vorangetrieben.

Grundwasserstauer

Diese Bodenschichten sind so dicht, dass sie kaum von Wasser durchdrungen werden.

-5m

Injektionen

Die unter Druck injizierte **Emulsion** verteilt sich in den Porenräumen des Bodens und bildet eine reaktive Zone, in der die Schadstoffumwandlung stattfindet

Grundwasserleiterzone

Grundwasserleiter bestehen aus Sand, Kies und lockerem Gestein und werden leicht von Wasser durchströmt. Aus ihnen wird oftmals Trinkwasser gewonnen.

-10m

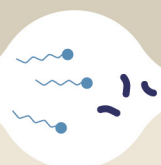
Abbau über Kohlenstoff

ABBAUWEGE FÜR DIE CHLORVERBINDUNGEN

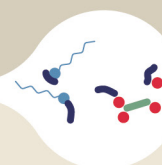
Die Chlorverbindungen werden auf drei Wegen abgebaut, dabei nutzt einer eine Kohlenstoffquelle und zwei andere nutzen Eisenpartikel



Heterotrophe **Bakterien** bauen **Pflanzenreste** ab



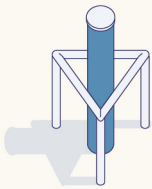
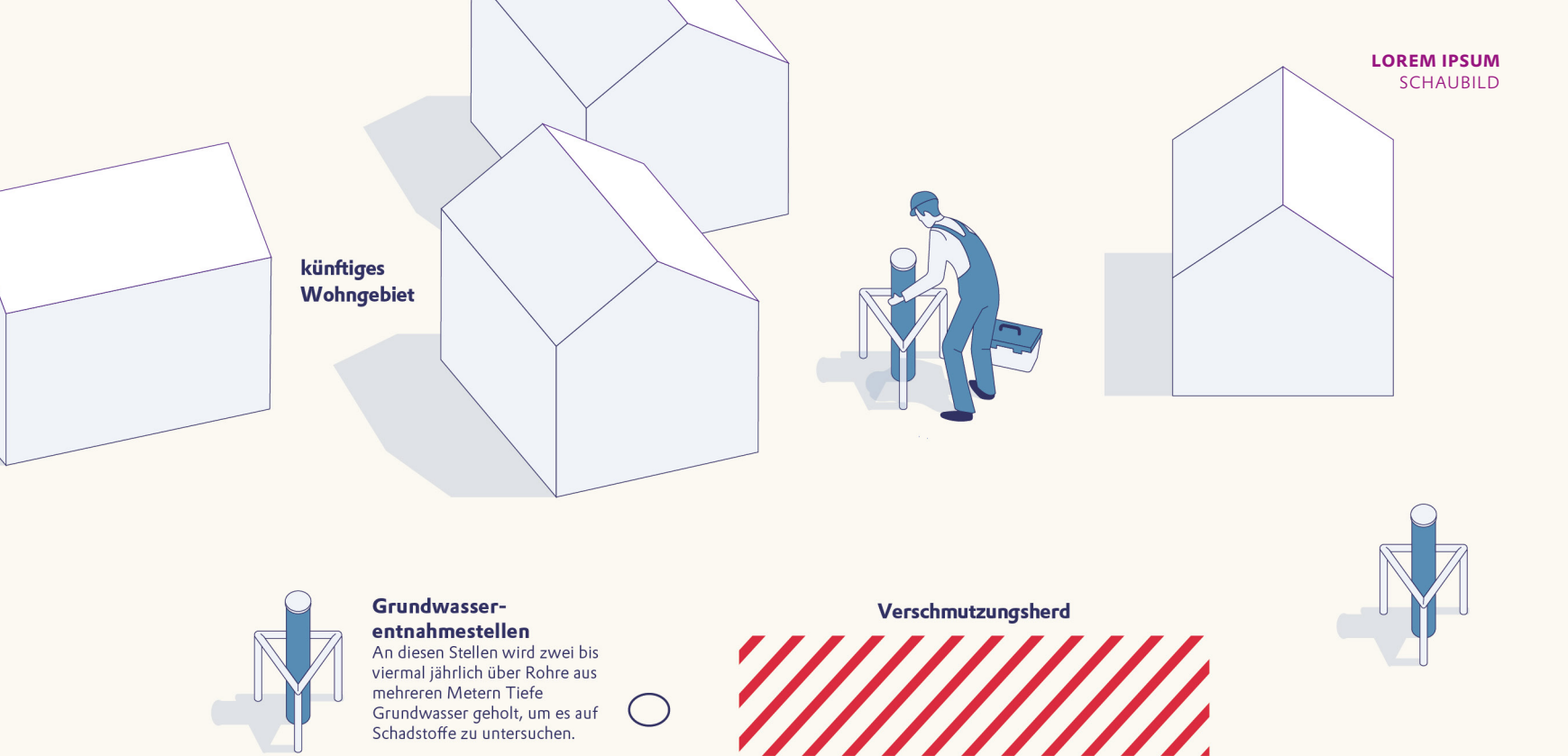
Durch den Abbau werden **Fettsäuren** frei, die die Bodenchemie verändern und einen anderen Typ von **Bakterien** gedeihen lassen



Diese **Bakterien** ernähren sich von den **Fettsäuren** und bauen außerdem die giftigen **Chlorverbindungen** ab, indem sie das Chlor abspalten



Übrig bleibt ein Kohlenstoffgerüst, das im Boden zu kleinen **Kohlenstoffverbindungen** und **Wasser** reagiert

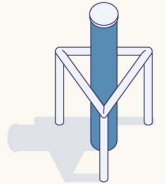


Grundwasser-entnahmestellen

An diesen Stellen wird zwei bis viermal jährlich über Rohre aus mehreren Metern Tiefe Grundwasser geholt, um es auf Schadstoffe zu untersuchen.



Verschmutzungsherd



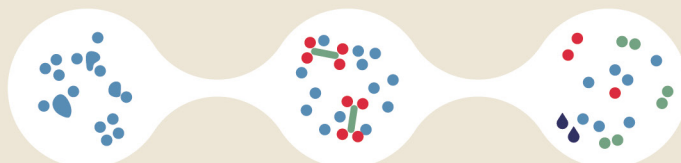
Direkte chemische Reaktion mit Eisen



Eisenpartikel reagieren direkt mit den giftigen **Chlorverbindungen** und spalten das Chlor ab

Übrig bleibt ein Kohlenstoffgerüst, das im Boden zu kleinen **Kohlenstoffverbindungen** und **Wasser** reagiert. Das **Chlor** reagiert im Boden zu ungiftigen Salzsäuremolekülen.

Indirekte chemische Reaktion mit Eisen



Eisenpartikel wandeln sich im Boden in gelöstes Eisen um

Das gelöste **Eisen** reagiert mit den giftigen **Chlorverbindungen** und spaltet das Chlor ab

Auch bei diesem Reaktionsweg stehen am Ende kleine **Kohlenstoffverbindungen** und **Wasser** sowie Salzsäuremoleküle