

# BMBF-Forschungsverbund: Bewertung von Schadstoffen im Flächenrecycling und nachhaltigen Flächenmanagement auf der Basis der Verfügbarkeit/ Bioverfügbarkeit (BioRefine) – Poster 1/2

## Problemstellung

Die Flächeninanspruchnahme von durchschnittlich 130 ha pro Tag in den Jahren vor der Jahrtausendwende, veranlasste die Bundesregierung das Ziel einer Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch neue Siedlungs- und Verkehrsflächen bis zum Jahr 2020 auf 30 ha pro Tag in ihrer nationalen Nachhaltigkeitsstrategie festzulegen. Ein Weg, um dieses Ziel zu erreichen, besteht in der Wiedernutzung brachliegender ehemaliger Industrie-, Gewerbe- und Konversionsflächen.

Bislang erfolgt die Beurteilung kontaminierter Flächen schwerpunktmäßig mit den Gesamtgehalten der Schadstoffe in Böden. Ein Teil dieser erfassten Schadstoffe ist an der Bodenmatrix sorbiert oder gebunden (bound residues) und damit nicht verfügbar. Eine Beurteilung auf Basis von Gesamtgehalten kann somit zu einer Überbewertung des Risikos führen, da nur von Schadstoffen, die potentiell verfügbar/ bioverfügbar sind, eine Gefährdung ausgeht (Abb.1). Eine realistische Gefährdungsabschätzung ist daher wünschenswert.

## Kurzdarstellung

Im Forschungsverbund BioRefine werden Bewertungsmaßstäbe für Brach- und Altlastenflächen auf Grundlage der Verfügbarkeit/ Bioverfügbarkeit der Schadstoffe in Böden erarbeitet. Auf der Basis dieser Schadstoffanteile sollen zielgerichtet Empfehlungen für kostengünstige Sanierungsverfahren und für geeignete Nutzungen gegeben werden.

Ziel ist es, ein Instrumentarium für Kommunen und Investoren zu entwickeln, um auf Basis der Verfügbarkeit/ Bioverfügbarkeit für Brach- und Altlastenflächen individuelle, kostengünstige Sanierungs- und Umnutzungskonzepte zu erstellen.

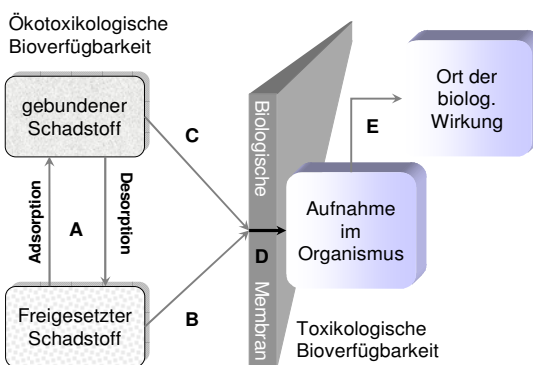


Abb. 1: Ökotoxikologische Bioverfügbarkeit in Böden (A-C) und die toxikologische oder metabolische Bioverfügbarkeit (E), National Research Council (2002)

## BMBF-Forschungsverbund

**Teilvorhaben 1:**  
**Verfügbarkeit von Schadstoffen, innovative Flächennutzung und Verbundkoordination**  
Freie Universität Berlin  
Institut für Geographische Wissenschaften  
AG Organische Umweltgeochemie  
Prof. Dr. mult. Dr. h. c. Konstantin Tertyze (Verbundleitung), Dipl.-Geogr. Robert Wagner

**Teilvorhaben 2:**  
**Lebensraumfunktion und Abbaupotential**  
Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (IME)  
Dr. Kerstin Hund-Rinke  
Dr. Kerstin Derz

**Teilvorhaben 3:**  
**Resorptionsverfügbarkeit und Expositionsabschätzung**  
Technische Universität Berlin  
Institut für Technischen Umweltschutz  
Fachgebiet Umweltchemie  
Prof. Dr. Wolfgang Rotard  
Dipl.-Ing. Bettina Dietrich

**Teilvorhaben 4:**  
**Referenzflächen, praktische Umsetzung und Kommunikation beim Flächenrecycling**  
Prof. Dr. Macholz Umweltprojekte GmbH  
Prof. Dr. Rainer Macholz  
Dipl.-Ing. Manja Liese

## Untersuchungsstrategie

Bei der Konzeptentwicklung werden die Wirkungspfade Boden-Mensch, Boden-Pflanze, Boden-Grundwasser und Boden-Bodenorganismen berücksichtigt. Die verfügbaren/ bioverfügbaren Schadstoffanteile werden mittels spezifischer Extraktionsverfahren und chemischer Analytik sowie über toxikologische bzw. ökotoxikologische Testmethoden untersucht, wobei bereits veröffentlichte Empfehlungen und Grundsätze berücksichtigt werden.

Die Modellflächen werden nach der neuen Methodik, die die Verfügbarkeit/ Bioverfügbarkeit der Schadstoffe in Böden einbezieht, bewertet. Daraus werden wirtschaftlich praktikable Sanierungs- und Nutzungskonzepte erarbeitet.

Diese Resultate werden der konventionellen Vorgehensweise nach Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vergleichend gegenübergestellt.

Neben der konkreten Anwendung auf den Modellflächen erfolgt eine Verallgemeinerung der Erkenntnisse in Form einer Handlungsanleitung (Abb. 2). Diese dient Akteuren im Flächenrecycling dazu, die Verfügbarkeit/ Bioverfügbarkeit bei der Bewertung und Planung der Nachnutzung von kontaminierten Brachflächen zu berücksichtigen.

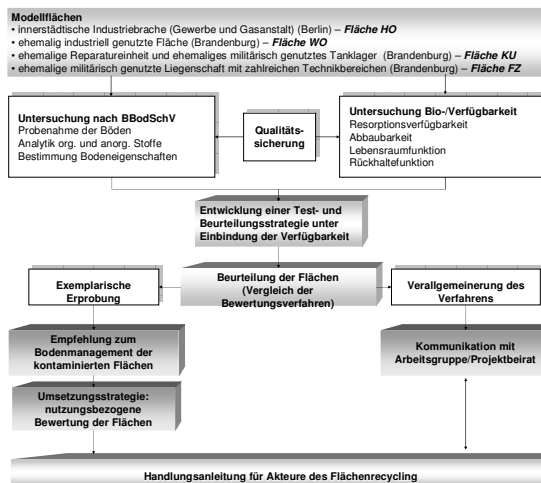


Abb. 2: Untersuchungsstrategie des Forschungsverbundes BioRefine

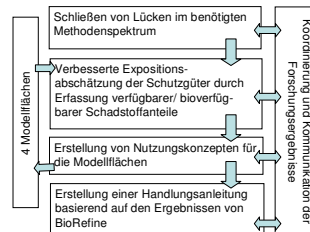


Abb. 3: Vernetzung der Teilziele

Unmittelbar praxisnah umsetzbare Inhalte der Handlungsanleitung werden sein:

- die Beschreibung des fachlich nachvollziehbaren, fundierten Vorgehens bei Gefährdungsabschätzungen, die mit den Ergebnissen des Forschungsverbundes BioRefine eine neue, gegenüber der konventionellen Bewertungsmethodik deutlich gesteigerte Qualität erreichen werden
- die Darstellung aller Details von wirtschaftlich innovativen, verallgemeinerungsfähigen Umnutzungen von Modellflächen



Foto 2: Rückbau ehemalige milit. Liegenschaft



Foto 3: Hochbehälter innerstädtische Industriebrache



Foto 4: Teerschaden innerstädtische Industriebrache



Foto 5: Panzerskelett ehemalige milit. Liegenschaft

# BMBF-Forschungsverbund: Bewertung von Schadstoffen im Flächenrecycling und nachhaltigen Flächenmanagement auf der Basis der Verfügbarkeit/ Bioverfügbarkeit (BioRefine) – Poster 2/2

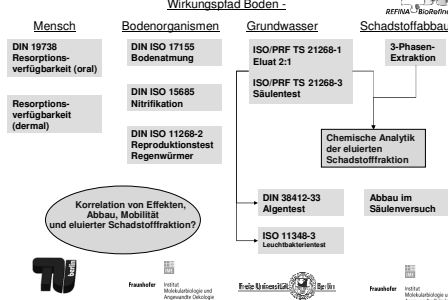
## Eingesetzte Methoden I

Eine realistischere Gefährdungseinschätzung mit Hilfe der in Abb. 1 aufgeführter Testsysteme ermöglicht effektivere und kostengünstigere Maßnahmen zur Wiedernutzbarmachung bzw. Sanierung kontaminierter Flächen.

Im Wirkungspfad **Boden-Mensch** wird die ingestive und perkutane Resorptionsverfügbarkeit in die Gefährdungsabschätzung der betrachteten Flächen aufgenommen.

Zur Ermittlung der **Rückhaltefunktion** und zur Betrachtung des Wirkungspfad **Boden-Grundwasser** werden Bodeneluate in Säulen- und Schüttelversuchen (Perkolations- und Batchtests) hergestellt, deren ökotoxikologisches Potential mit Hilfe von aquatischen Tests überprüft wird.

## Untersuchung Verfügbarkeit / Bioverfügbarkeit



## Eingesetzte Methoden II

Um Effekte auf Bodenorganismen (**Lebensraumfunktion**) zu ermitteln, werden ökotoxikologische Tests mit Bodenorganismen unterschiedlicher Trophiestufen durchgeführt. Hierbei werden Ergebnisse zur Bioverfügbarkeit der Schadstoffe sowie deren Wechselwirkungen gewonnen, und eine ganzheitliche Antwort zum ökotoxikologischen Potential eines Bodens möglich gemacht. Um abbaubare Schadstoffe zu erfassen, erfolgt die Bestimmung potenziell **bioabbaubarer Schadstoffanteile** mit der in BioRefine standardisierten 3-Phasen-Extraktion. Damit ist es möglich aufwändige Abbauteils mit chemischer Begleitanalytik auf ein Minimum zu beschränken.



Abbildung 1: Untersuchungen zur Bioverfügbarkeit/Verfügbarkeit von Schadstoffen (Methodenspektrum)

## Erste Ergebnisse der Untersuchung zur Bioverfügbarkeit/Verfügbarkeit

Die **Böden der Modellflächen** sind stark durch ihre frühere Nutzung geprägt. Vorwiegend handelt es sich um schwach-lehmige bis reine Sandböden mit einem Humusgehalt von 0,4 bis ca. 11%. Die festgestellten Hauptkontaminanten sind Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).

**Rückhaltefunktion:** Die gewonnenen wässrigen Eluate wurden chemisch und mit Hilfe aquatischer Ökotoxizitätstest (Leuchtbakterientest (Lumineszenz) und Algentest) untersucht. Die PAK-Konzentrationen beliefen sich in den Eluaten zwischen 0,7 und 5,9 µg/l. Im Leuchtbakterientest blieben alle Eluate unter dem Grenzwert (GL) von 8 und zeigten somit kein ökotoxikologisches Potenzial. Im Algentest die Eluate mit Ausnahme einer Probe gleich oder kleiner als der Grenzwert (GA) von 4 (vgl. Tab. 2). Auch in den MKW belasteten Proben ist eine Mobilisierung durch die Säulenelution kaum nachweisbar.

**Lebensraumfunktion:** Die Bioverfügbarkeit der Schadstoffe wurde anhand von Organismen unterschiedlicher Trophiestufen geprüft. Die Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede in der Toxizität der Flächen. Im Gegensatz zu den PAK-Flächen ist bei den MKW-belasteten Flächen eine Einschränkung der Lebensraumfunktion zu verzeichnen. Dabei korreliert das Ausmaß der Toxizität nicht mit den Gesamtschadstoffgehalten, was die Bedeutung einer Bewertung auf Basis der Bioverfügbarkeit unterstreicht.

Tabelle 1: Auswahl der untersuchten Böden

	Untersuchungsflächen			
	HO	WO	KU	FZ
<b>Bodencharakterisierung %</b>				
C-org.	1,90	3,48	0,47	1,57
Humusgehalt	3,27	5,99	0,81	2,70
Bodenart*	Ss	Su2	Ss	Ss
<b>Feststoffanalytik [mg/kg TM] (rot: Prüfwertüberschreitung nach BBodSchV)</b>				
PAK 16	98,8 ± 2,82	608,7 ± 139,7	0,6	0,4
Benzo[a]pyren	10,8 ± 1,47	50,14 ± 15,5	< 0,02	0,04
MKW	< 25	< 25	5,170 ± 1,530 (m. A.: 5,100)	2,500 ± 580 (m. A.: 1,010)
<b>Eluatkonzentration (Säulenelution) [µg/l]</b>				
PAK	2,73	0,79	--	--
MKW	--	--	< 100	< 100
<b>Aquatische Ökotoxizität - G-Werte, rot: Gefahr eines Austrages von Schadstoffen gegeben</b>				
Leuchtbakterien-test	2	2	6	3
Algentest	4	1	1	3
<b>Terrestrische Ökotoxizität - rot: Lebensraumfkt. eingeschränkt</b>				
Bodenatmung	Untox.	Untox.	Tox.	Untox.
Nitrifikation	Untox.	Untox.	Tox.	Tox.
Regenwurm	Untox.	Untox.	Tox.	Untox.
<b>Resorptionsverfügbarkeit</b>				
Mobilisiert [mg/kg TM]	Benzo[a]pyren	1	1,8	--
	MKW	--	1.300	800
Resorptionsverfügbarkeit [%]		9	3,6	25
				32

\*Ss = reiner Sand, Su2 = schwach schluffiger Sand, S12 = schwach lehmiger Sand

**Resorptionsverfügbarkeit:** Die Simulation der menschlichen Verdauung erfolgte nach DIN 19738. Nur die aus dem schadstoffkontaminierten Material in die wässrige Phase mobilisierten Schadstoffe werden erfasst. Die Ergebnisse zeigen für Benzo(a)pyren (BAP) als Leitkomponente für die PAK eine Mobilisierung zwischen 2,7 und 12 %. Wahrscheinlich aufgrund ihrer größeren Wasserlöslichkeit und ihres geringeren Sorptionsvermögens lassen sich die MKW mit 10 bis 35% signifikant leichter mobilisieren als die PAK.

**Fazit:** Die Schadstoffe aus den Bodenproben sind geringfügig mobilisierbar und verfügen kaum über eine biologisch wirksame Komponente. Es wird deutlich, dass trotz hoher Schadstoffgehalte im Feststoff, Effekte auf die Testspezies ausbleiben können, da offensichtlich keine oder nur geringe bioverfügbare Anteile vorliegen. Diese Ergebnisse zeigen, dass die untersuchten Areale der Liegenschaften ein wesentlich geringeres Gefährdungspotential besitzen, als auf Grundlage der Gesamtgehalte der Schadstoffe zu vermuten ist. Damit wären kostenintensive Boden-sanierungen nicht notwendig und vielfältigere Nachnutzungen, bei gleichzeitiger Verringerung der Entwicklungskosten, möglich.

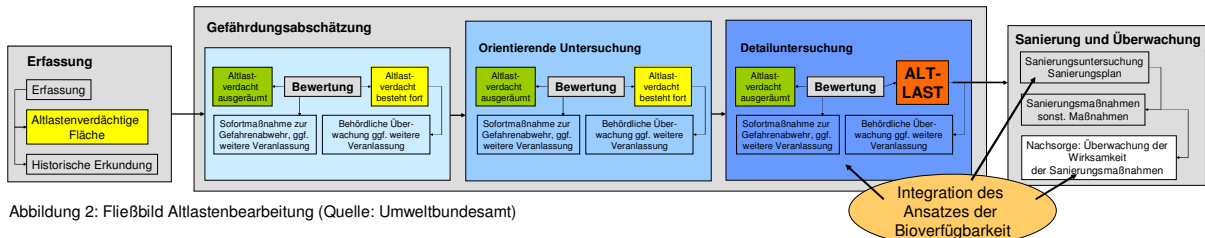


Abbildung 2: Fließbild Altlastenbearbeitung (Quelle: Umweltbundesamt)

## Rechtliche Rahmenbedingungen:

Die Auswirkungen von schädlichen Bodenveränderungen müssen bei planungsrelevanten Belangen im Bauplanungsrecht berücksichtigt werden. Ist eine Begutachtung erforderlich, wird das betroffene Grundstück einer Untersuchung in Anlehnung an § 3 Abs. 3 BBodSchV unterzogen. Nach § 9, Absatz 1 BBodSchV ist bei Überschreitung festgesetzter Prüfwerte der BBodSchV durch die zuständige Behörde eine weitergehende Sachverhaltsmittlung (Detailuntersuchung (vgl. Abb. 2)) im Einzelfall vorzunehmen.

Dabei sind insbesondere Art und Konzentration der Schadstoffe, die Möglichkeit ihrer Ausbreitung in die Umwelt und ihrer Aufnahme durch Menschen, Tiere und Pflanzen sowie die planungsrechtlich zulässige Nutzung des Grundstückes nach § 4 Abs. 4 zu berücksichtigen. Der Ansatz der (Bio-)Verfügbarkeit ist hier in planerische Entscheidungsprozesse integrierbar, denn bei der Bewertung mittelalter Bodenbelastungen sind für das Plangebiet alle relevanten Umstände zu berücksichtigen.

Der Ansatz der (Bio-)Verfügbarkeit hilft die „relevanten Umstände“ insbesondere die konkreten Freisetzungsbedingungen und die realen Gefährdungsmomente von Mensch, Tier und Pflanzen (incl. Bodenorganismen) durch eine Verdachtsfläche oder altlastenverdächtige Fläche besser einzuschätzen.

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Projektträger Jülich für die Förderung des Forschungsverbundes BioRefine (Förderkennzeichen: 0330765A).