

Franzius/Altenbockum/Gerhold

Handbuch Altlastensanierung und Flächenmanagement

56. Aktualisierung der 3. Auflage
September 2008



C. F. Müller

8114 9700 056

REVVIN – Revitalisierung von Industriebrachen: Entwicklung eines Leitfadens und Technologie-Finders

*Dipl.-Chem. Dr. Ralf Kilger, Hamburg, Dipl.-Geol. Thomas Haupt, Hamburg,
Dipl.-Ing. Stadtplaner Daniel Luchterhandt, Hamburg, Dipl.-Chem. Dr. Irina
Tschistowskaja, Dessau, Dr.-Ing. Niels-Christian Lund, Dr.-Ing. Frank Ihle,
Hamburg*

Inhaltübersicht

	Rdnr.
Zusammenfassung	
1. Einleitung	1 – 5
2. REVVIN-Leitfaden – Schritte zur erfolgreichen Flächenrevitalisierung	6 – 30
2.1 Ziele	7 – 9
2.2 Prinzipien des Leitfadens	10
2.3 Zielgruppen	11, 12
2.4 Fünf Stufen	13 – 30
3. REVVIN-Technologie-Finder – Methodik für die Auswahl geeigneter Sanierungstechnologien	31 – 46
4. Ergebnisse	47 – 51
4.1 Technische Innovation	47
4.2 Umfassende Information	48
4.3 Fachliche Integration	49
4.4 Neue Kooperation	50
4.5 Offene Kooperation	51
5. Literatur	

Schlagwortübersicht nach Rdnr.

Altlasthinweiskataster 14, 15, 16	Sanierungsaufwand 19, 22 f., 48
Flächenpass 17, 19	Sanierungsplan 30, 41
Gedankenspiel 33	Sanierungsvarianten 22, 26 f., 38, 40 – 44
Gefährdungsabschätzung 16, 18	Sanierungsziele, nutzungsbezogen 9, 19, 22, 24, 31, 37, 39
Gefahrenabwehr 16, 19	Schutzgüter 23, 43
Kooperation 5, 10, 12, 25, 49 – 51	St. Petersburg 2 f., 12, 47, 49 – 51
Kosten 8, 26, 30, 39, 44	Stadtentwicklung 11
Nutzung 3, 8 f., 11, 15, 20, 22, 27, 37 f., 40 f., 47 – 49	Standortmodell 17 f., 23, 33
Pilotprojekt/-anlage 4, 32, 41	Universität 50
Rahmenbedingungen 5 f., 9, 15, 17, 20 f., 25, 33, 48	„weiche“ Kriterien 25, 39
Realisierbarkeit 20 – 22	

Zusammenfassung

Die Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt hat im Rahmen eines BMBF-teilgeförderten Forschungsvorhabens für ihre Partnerstadt St. Petersburg einen „Leitfaden für eine erfolgreiche Flächenentwicklung“ und einen „Technologie-Finder“ entwickelt. Im „Leitfaden“ werden fünf Stufen definiert, in denen die an der Flächenentwicklung Beteiligten das Projekt in einem iterativen Prozess immer weiter konkretisieren. Dabei kommt der „Technologie-Finder“ zum Einsatz, mit dem in vier Auswahlritten die grundsätzlich geeigneten Sanierungstechnologien ermittelt werden können.

1. Einleitung

- 1 Die Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU) hat sich in einem Forschungsvorhaben mit der „Revitalisierung von Industriebrachen in St. Petersburg“ (REVVIN) befasst. Entwickelt wurden dabei ein „Leitfaden für eine erfolgreiche Flächenentwicklung“ und ein „Technologie-Finder“, zwei Instrumente, die auch über das auf St. Petersburg ausgerichtete Vorhaben hinaus Anwendung finden können. Ebenso dürften die in Kap. 3 dargestellten Ergebnisse einen allgemeingültigen Charakter haben.
- 2 Das REVVIN-Projekt setzt sich mit der nachhaltigen Entwicklung und der Wiedergewinnung ehemaliger Industrieflächen in der Stadt **St. Petersburg** auseinander. Die russische Metropole steht vor der großen Herausforderung, das historische Stadtzentrum sowie den sich daran anschließenden Industriegürtel umzugestalten. Insbesondere in diesen Bereichen liegen enorme Potenziale, die Stadt innerhalb der bestehenden Strukturen und damit ohne neue Flächeninanspruchnahme am Stadtrand nachhaltig zu reformieren. Für das historische Zentrum als UNESCO-Weltkulturerbe (4,4 % des Stadtgebietes) besteht die Aufgabe darin, die Revitalisierung im Einklang mit der großen Zahl an Bau- und Kulturdenkmälern zu bewältigen. Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung können Konversionsvorhaben helfen, die Innenstadt auch künftig als bedeutenden Standort für Wohnen, Arbeiten und Versorgung zu stärken.
- 3 Dass sich die **Neunutzung** von Brachflächen lohnen kann – ökologisch, städtebaulich, funktional und ökonomisch – zeigen zahlreiche Beispiele aus Regionen, die sich schon seit geraumer Zeit mit dieser Thematik erfolgreich auseinandersetzen. Die Freie und Hansestadt Hamburg kann auf eine langjährige Erfahrung auf dem Gebiet der Industrieflächenrevitalisierung zurückblicken, in der innovative Methoden und Technologien der Altlastensanierung eine wichtige Rolle gespielt haben. Die Umweltverwaltung der

Stadt **St. Petersburg**, das Komitee für Naturnutzung, Umweltschutz und ökologische Sicherheit, hat 2004 an Hamburg im Rahmen der gegenseitigen Städtepartnerschaft die Bitte gerichtet, sie in Fragen der Flächenrevitalisierung zu unterstützen. Aus diesem Anliegen heraus entstand das Gemeinschaftsprojekt REVVIN, an dem auch das Umweltbundesamt sowie das Hamburger Ingenieurbüro IGB als Partner beteiligt waren. Gefördert wurde das Projekt gemeinsam vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (mit 79 %) und von Hamburg (mit 21 %), Förderkennzeichen 0330705.

Während seiner 2½-jährigen Laufzeit vom September 2005 bis Februar 2008 wurden

- methodische und technologische Erfahrungen der Hamburger Verwaltung auf dem Gebiet der Revitalisierung von Industriebrachen auf die Gegebenheiten der Stadtverwaltung von St. Petersburg übertragen,
- Grundlagen und Handlungsmöglichkeiten für eine erfolgreiche Flächenrevitalisierung beispielhaft anhand von **Pilotprojekten** erarbeitet sowie
- ein allgemeiner Handlungsleitfaden zur integrierten Flächenrevitalisierung für die Stadt St. Petersburg unter besonderer Berücksichtigung der Altlastenproblematik entwickelt.

Der Leitfaden zur Industrieflächenrevitalisierung in St. Petersburg folgt Hamburger Erfahrungen im Umgang mit den Merkmalen dieses abstim- 5
mungsintensiven Planungsprozesses und versucht, Petersburger Besonderheiten in die Methodik zu integrieren. Der Prozess durchläuft unterschiedliche Phasen, die inhaltlich aufeinander aufbauen. Erstes Ziel des Verfahrens ist es, für Stadt und Investor gleichermaßen **Rahmenbedingungen** für die Entwicklung von Flächen verlässlich zu erfassen. Dazu gehört auch die systematische Erfassung der Altlastensituation. In einem iterativen Verfahren sollen Planungsziele und (im Falle einer Kontamination ggf. zu verfolgende) Sanierungsziele so zusammengeführt werden, dass die Fläche ökologisch sinnvoll, ökonomisch ertragreich und strukturell-städtebaulich gewinnbringend für die Stadt revitalisiert werden kann. Insbesondere dieses Ziel verlangt von allen Beteiligten Verhandlungs- und Kooperationsbereitschaft, damit es gelingt, die für einen Standort adäquat erscheinenden Sanierungsvarianten mit den wirtschaftlichen und zeitlichen Spielräumen des Projektes in einem integrierten Konzept zusammenzuführen. Dies setzt eine neue Rollenverteilung und Rollenwahrnehmung aller Partner voraus: im Mittelpunkt steht das Prinzip der **Kooperation** mit dem Ziel, gemeinsam etwas für die positive Entwicklung der Stadt zu tun und dabei persönlich von dieser Entwicklung zu profitieren.

2. REVVIN-Leitfaden – Schritte zur erfolgreichen Flächenrevitalisierung

- 6 Jede Fläche bietet unterschiedliche **Rahmenbedingungen** für eine Revitalisierung – seien es räumliche Besonderheiten, die Konstellation der Akteure oder die vorliegende Altlastensituation. Jeder Altlastenfall ist damit ein Einzelfall, und dies erschwert die Aufstellung eines allgemeingültigen Leitfadens für die Revitalisierung von ehemaligen Industrieflächen. Die Hamburger Erfahrungen haben jedoch gezeigt, dass der Revitalisierungsprozess bestimmte Phasen durchläuft, in denen konkrete Fragen erörtert werden müssen. Diese Erfahrungen sind in den REVVIN-Leitfaden zur Flächenrevitalisierung eingeflossen.

2.1 Ziele

- 7 Der REVVIN-Leitfaden beschreibt eine Vorgehensweise, mit deren Hilfe schrittweise festgestellt werden kann, ob und in welchem Umfang eine Altlastenverdachtsfläche tatsächlich kontaminiert ist und ob und in welcher Weise sie sich für eine Revitalisierung eignet.
- 8 Der REVVIN-Leitfaden leistet Hilfestellung dabei, mögliche Sanierungserfordernisse und **-kosten** für bestehende Altlasten mit konkreten Planungen für die Umnutzung von Flächen (mit Aussagen zu Art und Maß der (baulichen) **Nutzung**, künftigen Nutzergruppen, Erschließung, Umweltschutz, Denkmalschutz etc.) in Einklang zu bringen und erfolgreich Revitalisierungsvorhaben vorzubereiten.
- 9 Der REVVIN-Leitfaden soll helfen,
- **Rahmenbedingungen** von Standortentscheidungen frühzeitig zu klären und produktiv zu beeinflussen,
 - frühzeitig die Altlastenproblematik in den Planungsprozess zu integrieren, Planungs- und Sanierungskonzepte integriert auf ihre Machbarkeit hin zu überprüfen,
 - den Zusammenhang von künftiger **Nutzung**, dem Schutzbedürfnis künftiger Nutzer, dem Umweltschutz und möglichen Sicherungs- und Dekontaminationsmaßnahmen transparent und operationalisierbar zu machen (**nutzungsbezogene Sanierungsziele**),
 - die unterschiedlichen Interessen der Akteure zu bündeln und zu einvernehmlichen Lösungen zu führen und
 - das Verwaltungshandeln für die komplexen Revitalisierungsprozesse zu strukturieren und für private Akteure Transparenz im Planungs- und Abstimmungsprozess herzustellen.

2.2 Prinzipien des Leitfadens

Der Leitfaden soll alle Projektbeteiligten dabei unterstützen, die folgenden Ziele zu erreichen: 10

- Untersuchungsaufwand optimieren
- Transparenz herstellen
- Chancen, Risiken und Restriktionen Schritt für Schritt ausloten
- Zuständigkeiten offen legen
- **Kooperations-** und Verhandlungsbereitschaft fördern

2.3 Zielgruppen

Der REVVIN-Leitfaden richtet sich sowohl an Bedienstete der Umweltverwaltung als auch an private Investoren und Entwickler, die aktiv Flächenrevitalisierung betreiben und dabei das Problem eines Altlastenverdachts auf Grund der historischen **Nutzung** des Standortes lösen müssen. Insgesamt müssen sich die Akteure die unterschiedlichen Interessen und Ziele aller Beteiligten vergegenwärtigen. Denn während die öffentliche Verwaltung alle Maßnahmen auf eine nachhaltige **Stadtentwicklung**, auf das Gemeinwohl und auf gesunde Lebens- und Arbeitsverhältnisse ausrichtet, verfolgen private Akteure schwerpunktmäßig individuelle Interessen. Hier gilt es, einen Abstimmungs- und Einigungsprozess zu Gunsten Aller zu fördern. 11

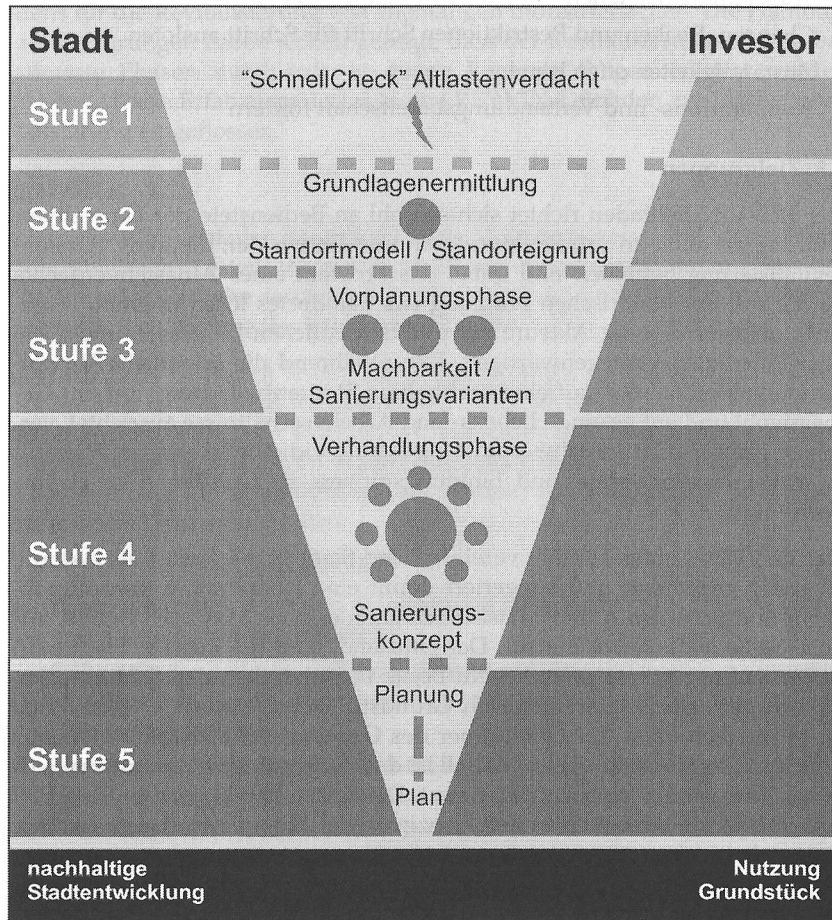
Der REVVIN-Leitfaden stellt vereinfachend Stadt und Investor als Akteure einander gegenüber und suggeriert damit eine **Kooperation** von öffentlichem und privatem Akteur. Tatsächlich kann es sein, dass auch eine öffentliche Stelle als Investor auftritt. Der Umstand, dass die meisten Flächen in **St. Petersburg** sich in öffentlichem Besitz befinden, legt den Schluss nahe, dass die öffentliche Seite zugleich Grundstückseigentümer ist. Tatsächlich ist es möglich, dass der Eigentümer des Grundstücks als weiterer Akteur auftritt. Wesentlich für dieses Modell ist das Zusammenwirken unterschiedlicher Interessen, öffentlich und privat. Die Konstellation wird im Regelfall also komplexer ausfallen, an den Prinzipien des Modells wird sich dadurch aber nichts ändern. 12

2.4 Fünf Stufen

Insgesamt können fünf Stufen der Bearbeitung definiert werden (Abb. 1). Ziel ist es, am Ende jeder Stufe notwendige Informationen zu erhalten, die die Entscheidungen über Art und Umfang der Fortsetzung des Planungs- 13

prozesses erleichtern. Nachfolgend werden die fünf Stufen kurz beschrieben. Dargestellt werden die Aufgaben und Handlungsschwerpunkte einerseits für die öffentliche Verwaltung und andererseits für private Investoren/Entwickler.

Abb. 1: Stufenmodell der Flächerevitalisierung



Stufe 1 – „SchnellCheck“ Altlastenverdacht

14

Dem „SchnellCheck“ Altlastenverdacht kommt eine bedeutende Rolle zu. Gerade dann, wenn für die Stadt (noch) keine flächendeckenden Informationen zur Altlastensituation vorliegen, ist die systematische Untersuchung des Stadtgebietes im Hinblick auf potenzielle Altlasten zwingend erforderlich. Der „SchnellCheck“ Altlastenverdacht unterstützt den Aufbau und die Pflege eines **Altlasthinweiskatasters**, die Ermittlung von Altlastenverdachtsflächen und eine schnelle Abschätzung eines Altlastenverdachts in dringenden Fällen.

Sofern kein flächendeckendes **Altlasthinweiskataster** vorliegt oder sich dieses noch im Aufbau befindet, muss der „SchnellCheck“ Altlastenverdacht dann durchgeführt werden, wenn Entwicklungs- und Investitionsdruck auf einer ehemals industriell genutzten Fläche bestehen. In diesem Fall besteht die Notwendigkeit, vor Planungsbeginn kurzfristig „auszuloten“, ob gravierende Belastungen und damit besonders zu berücksichtigende **Rahmenbedingungen** vorhanden sind. Der „SchnellCheck“ Altlastenverdacht ist von der öffentlichen Verwaltung durchzuführen, kann im Einzelfall aber auch von Investoren bei der Sondierung geeigneter Bauflächen eigenmächtig durchgeführt werden. Um zu einer ersten Gefahreinschätzung zu gelangen, sind allgemeine und grundstücksbezogene Informationen zu sammeln und auszuwerten. In jedem Fall ist eine Ortsbegehung durchzuführen. Für die Feststellung eines Altlastenverdachts genügt zunächst eine historische Recherche, die Aussagen zu früheren **Nutzungen** von Boden und baulichen Anlagen trifft. Für einen gezielten und effizienten „SchnellCheck“ sollten die notwendigen Informationen systematisch dokumentiert werden. Der „SchnellCheck“ Altlastenverdacht ist grundsätzlich kurz- bis mittelfristig auch dann durchzuführen, wenn kein Entwicklungsdruck auf den Flächen besteht. Denn er dient auch dazu, die allgemeine Umweltsituation in der gesamten Stadt zu erfassen und künftige Aufgaben des Umweltschutzes aufzuzeigen.

Entscheidungen:

Die Ergebnisse des „SchnellChecks“ Altlastenverdacht sind auszuwerten und in das **Altlasthinweiskataster** einzutragen (das gilt sowohl für Aussagen, die einen Altlastenverdacht erhärten, als auch für Fehlanzeigen). Weiterhin sind ggf. eine vorläufige **Gefährdungsabschätzung** vorzunehmen und weitere Erkundungen einzuleiten sowie – im Falle akuter Gefährdungen – Maßnahmen zur **Gefahrenabwehr** vorzunehmen.

16

17 Stufe 2 – Grundlagenermittlung

Gegenstand der Stufe 2 ist die systematische Ermittlung der für den Standort charakteristischen **Rahmenbedingungen**. Sie mündet in einem **Flächenpass** für den Standort, in einem **Standortmodell** als Grundlage für die weitere Altlastenbearbeitung sowie in einer Prüfung der Standorteignung durch den Investor auf der Basis von städtischen und eigenen Recherchen und Analysen.

18 Stadt und Investor:

Auf städtischer Seite ist zu klären, welche Entwicklungsperspektiven für den Standort bestehen oder im Kontext der Umgebung als wünschenswert erachtet werden. In dem Zusammenhang sind (verbindliche) Anforderungen an die Standortentwicklung zu formulieren. Aus Altlastensicht stehen in dieser Stufe die Erkundungen an (historische Erkundung, orientierende Erkundung und Detailerkundung) mit dem Ziel, ein **Standortmodell** auszuarbeiten und zu einer fundierten **Gefährdungsabschätzung** zu kommen.

19 Massenermittlung:

Auf dieser Basis lassen sich grob der **Sanierungsaufwand** einschätzen, **nutzungsbezogene Sanierungsziele** formulieren, der **Flächenpass** fortschreiben, ggf. Maßnahmen zur **Gefahrenabwehr** abschätzen und vorbereiten und potenziellen Investoren verlässliche Informationen über die Altlastensituation vermitteln.

20 Damit lässt sich aus städtischer Sicht klar absehen, welche Restriktionen zu überwinden sind und ob und ggf. mit welchem Aufwand die für ein Gebiet formulierten Planungsziele erreichbar sind. Eventuell sind die Ziele in Abstimmung aller betroffenen Ressorts (Städtebau, Architektur, Infrastruktur, Investitionen) zu modifizieren. Für die eigene Planung des Investors sind neben der Feststellung der **Rahmenbedingungen** (Vorgaben und Restriktionen) zusätzlich die vorhabensbezogenen Vorgaben und Zielsetzungen zu definieren. (**Nutzungs-** und Geschäftsidee, Realisierungszeitraum, Renditeerwartung). Hierfür ist für den Investor in dieser Stufe eine eigenständige, unabhängige Bestandserhebung erforderlich, um zu einer eigenen Einschätzung der Situation und der **Realisierbarkeit** der Idee zu gelangen. Dazu gehört auch der „SchnellCheck“ Altlastenverdacht, der im Sinne einer Beweissicherung frühzeitig sicherstellt, welche Kontamination der Investor mit dem Grundstück erwirbt (und für die er als Handlungsstörer nicht verantwortlich ist).

Entscheidungen:

Auf Basis dieser Grundlagenermittlung müssen inhaltlich die Anforderungen an die weitere Planung bestimmt werden. Dies kann auch bedeuten, dass der Standort für das geplante Vorhaben nicht weiter interessant ist und ein neuer Standort gesucht werden muss. Sofern das Projekt von beiden Seiten unter den gegebenen **Rahmenbedingungen** für grundsätzlich **realisierbar** eingestuft wird, sind für das weitere Vorgehen Zuständigkeit sowie die Trägerschaft und Lastenverteilung für die durchzuführenden Sanierungsmaßnahmen abzustimmen, bevor die Vorplanungsphase gestartet werden kann.

Stufe 3 – Vorplanungsstufe

Stadt und Investor:

Ziel der Vorplanungsphase ist die fundierte Überprüfung der Machbarkeit des Vorhabens an dem vorgesehenen Standort. In Hinblick auf die Altlastenproblematik ist es Ziel dieser Stufe, den **Sanierungsaufwand** abzuschätzen. An dem Sanierungsaufwand bemisst sich für den Investor in erheblichem Maße die **Realisierbarkeit** des Projektes. Für die städtische Seite ist eine eigene Prüfung des Sanierungsaufwandes vor dem Hintergrund definierter **nutzungsbezogener Sanierungsziele** auch dann von Interesse, wenn die Maßnahme nicht von der Stadt durchgeführt wird. Einerseits muss sie abschätzen können, welche **Sanierungsvarianten** zielführend sind und andererseits wird sich der Sanierungsaufwand auch im Grundstückspreis niederschlagen. Für eine starke und zugleich realistische Verhandlungsposition ist dieses Wissen daher unerlässlich. Darüber hinaus können mit unterschiedlichen Sanierungsvarianten auch Änderungen der planerischen Konzeption verbunden sein. Die Möglichkeiten, durch geschickte **Nutzungszonierungen** den erforderlichen Sanierungsaufwand zu steuern, ohne dabei die Projektziele in Frage zu stellen, dürfen in dieser Vorplanungsphase nicht unterschätzt werden.

REVVIN-Technologie-Finder (siehe Kap. 3.):

Für die Abschätzung des **Sanierungsaufwands** kommt Teil 1 des REVVIN Technologie-Finders zum Einsatz. Auf Grundlage des ermittelten und zwischen Verwaltung und dem Investor abgestimmten **Standortmodells** kann die Zahl anwendbarer Technologien (Abb. 2) eingegrenzt werden. Maßgeblich in dieser Stufe sind die Kriterien Untergrund, Bodenverhältnisse und Schadstoffe sowie **Schutzgüter** und Wirkungspfade.

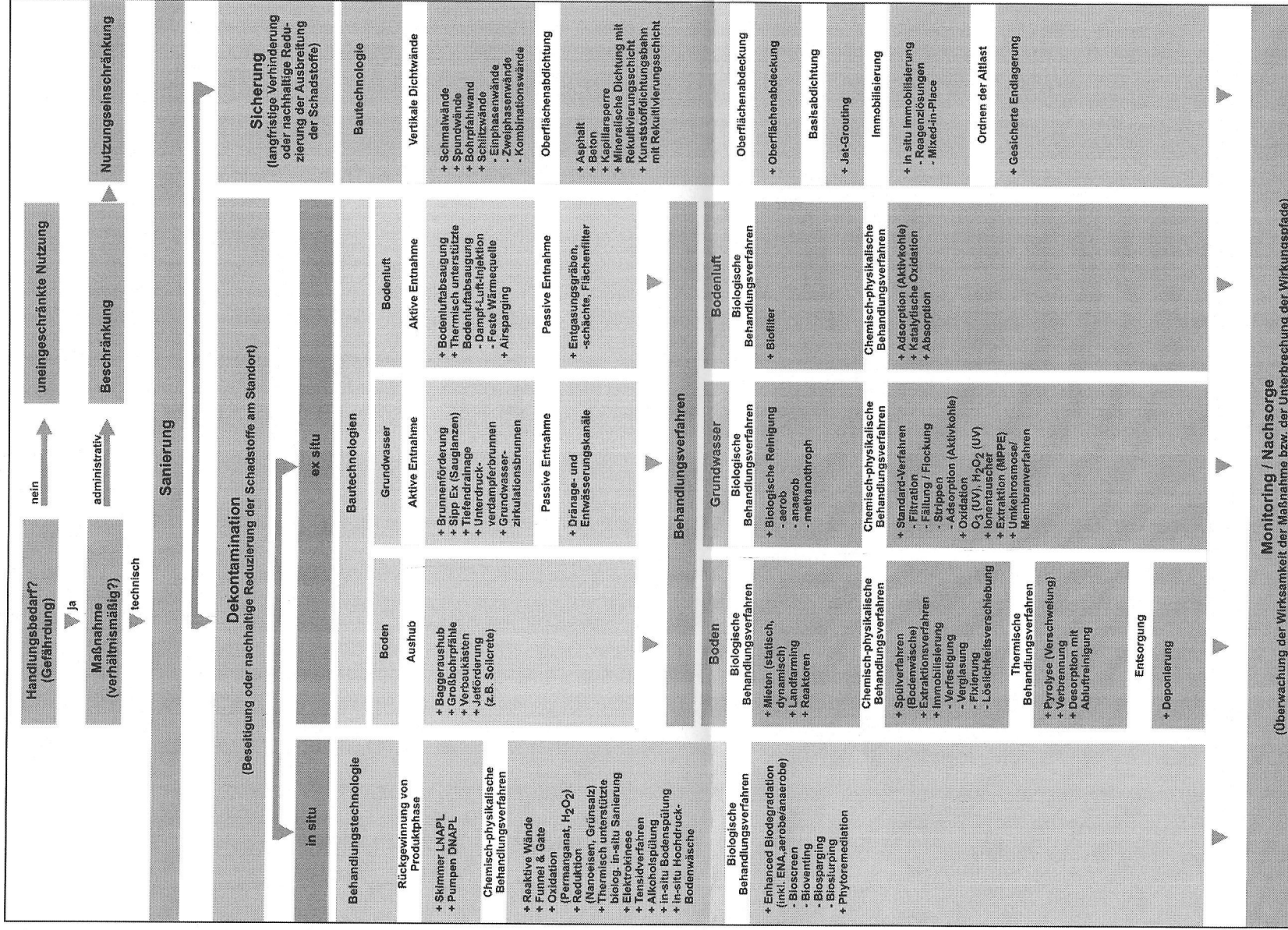
24 Entscheidungen:

Wenn öffentliche und private Planungsziele sowie **nutzungsbezogene Sanierungsziele** technisch erreichbar sind und wenn das Projekt für den Investor wirtschaftlich tragbar und es für die Stadt volkswirtschaftlich (ggf. auch mit Förderung des Vorhabens) sinnvoll ist, dann bestehen für beide Seiten gute Voraussetzungen, das Projekt in der Verhandlungsphase gemeinsam zu konkretisieren.

R.

Abb. 2: Übersicht über die gebräuchlichsten Sanierungsverfahren

Abb. 2: Übersicht über die gebräuchlichsten Sanierungsverfahren



Stufe 4 – Verhandlungsstufe

25

Anders als die Planungsstufe zuvor, ist die Verhandlungsstufe durch ein **kooperatives** Zusammenwirken aller Akteure bestimmt. Denn sowohl städtische Institutionen als auch private Akteure haben sich intensiv mit den **Rahmenbedingungen** vertraut gemacht und können sehr genau abschätzen, welche Bedingungen aus ihrer jeweiligen Perspektive erfüllt sein müssen, um das Projekt zu einem erfolgreichen Abschluss zu verhelfen. Und während die vorherigen Stufen stark auf Ausschlusskriterien für die Machbarkeit ausgerichtet sind, kommen in dieser Stufe „weiche“ **Bewertungskriterien** zum Einsatz. Die Verhandlungsstufe setzt daher auch eine Verhandlungs- und Kompromissbereitschaft aller beteiligten Akteure voraus.

Ziel dieser Stufe ist die Erarbeitung eines Konzeptes für die Revitalisierung eines kontaminierten Standorts, und in diesem Zusammenhang die Ausarbeitung und Abstimmung einer tragfähigen Sanierungsstrategie. Mit Hilfe des REVVIN-Technologie-Finders (Auswahlschritte 1 bis 3, siehe Kap. 3) sollen adäquate Technologien sondiert werden. Hierzu müssen alle in Betracht kommenden **Sanierungsvarianten** einer qualitativen vergleichenden Prüfung unterzogen werden, die sich an folgenden Kriterien orientiert:

- Sanierungsdauer
- Sanierungskosten
- Wirkungsgrad
- Konsequenzen für die Umwelt
- Umgebungsschutz
- Aufwand Monitoring
- Akzeptanz Öffentlichkeit

Alle Akteure haben sich auf eine Gewichtung der Kriterien zu verständigen. Beim Entwurf der **Sanierungsvarianten** und anschließend bei der Ausgestaltung des Sanierungskonzeptes sind in besonderem Maße auch räumliche Strategien anzuwenden. Es ist auszuloten und zu entscheiden, ob und ggf. wie sich Spielräume für eine zielführende und zugleich finanzierbare Gesamtlösung ergeben durch

- Art der Maßnahme (in situ und/oder ex situ; on site und/oder off site),
- Kombination unterschiedlicher Technologien,
- Bildung von Sanierungszonen,
- Anpassung **Nutzungszonierung** Grundstück und/oder
- stufenweise Realisierung des Planungskonzeptes.

- 28 Wettbewerbe:
Der Weg, zu adäquaten und innovativen Lösungsansätze zu kommen, kann auf sehr unterschiedliche Weise erfolgen. So ist es möglich und oft auch sinnvoll, auf Basis der Ergebnisse der Vorplanungsstufe einen Wettbewerb zwischenzuschalten, der die Lösung der Konversionsproblematik an dem betreffenden Standort zum Gegenstand hat. Der Wettbewerb bietet die Möglichkeit, einen geeigneten Partner für die Verhandlungsphase zu gewinnen. Die Verhandlungsstufe zur Konkretisierung des Vorhabens ist indes unumgänglich, kann allerdings durch einen vorgeschalteten Wettbewerb qualifiziert, unter Umständen sogar verkürzt werden.
- 29 Entscheidungen:
Ergebnis der Verhandlungsstufe ist die Verständigung sowohl auf ein Planungs- als auch auf ein Sanierungskonzept und deren vertragliche Fixierung. Mit den Konzepten sind auch Entscheidungen zur Trägerschaft und Finanzierung der Maßnahme vorbestimmt. Wenn keine Einigung erzielt werden kann, muss ggf. in die Vorplanungsstufe erneut eingestiegen werden und die planerischen Zielsetzungen überdacht werden.
- 30 Stufe 5 – Planungsstufe
Auf Basis der vertraglichen Vereinbarung kann das Projekt in allen Details durchgeplant und die nötigen genehmigungsrechtlichen Schritte eingeleitet sowie alle Vorbereitungen zur baulichen Umsetzung der Maßnahme getroffen werden. Für den Bereich der Altlastensanierung als integraler Bestandteil der Planung sind nunmehr eine Genehmigungsplanung (**Sanierungsplan**), eine Ausführungsplanung sowie eine **Kostenberechnung** durchzuführen. Gegebenenfalls sind erste technische Versuche zur Vorbereitung der Sanierungsmaßnahme vorzusehen, bevor das Vorhaben in die Realisierung geht.
3. REVVIN-Technologie-Finder – Methodik für die Auswahl geeigneter Sanierungstechnologien
- 31 Der Technologie-Finder ist ein Instrumentarium, mit dessen Hilfe für einen vorliegenden Altlastenfall geeignete Technologien zu dessen Sanierung bestimmt werden können. Dabei werden anhand festgelegter Auswahlkriterien aus einem Fundus von Sanierungstechnologien grundsätzlich geeignete Technologien sondiert. Ziel ist die Selektion solcher Technologien, die die **Sanierungsziele** optimal (ökologisch und ökonomisch) erreichen. Ungeeignete Technologien müssen erkannt und aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden.

Die in Abb. 2 sowie in Tab. 1–4 genannten Sanierungsverfahren stellen eine Auswahl der gebräuchlichen Technologien dar. Die einzelnen Verfahren unterscheiden sich stark in ihrem Anwendungsstatus (**Pilotprojekt**, wenige Referenzfälle, Stand der Technik). Die Angaben zu möglichen Anwendungen ersetzen in keinem Fall eine eingehende Untersuchungs- und Planungsphase. In jedem Fall sind ausführliche Erkundungen durchzuführen, zusätzlich bei innovativen Verfahren noch Vorversuche im Labor- und Technikkumsmaßstab.

Auswahlschritte 1–3 des REVVIN-Technologie-Finders

Im ersten Auswahlschritt sind von den verfügbaren Sanierungstechnologien sämtliche grundsätzlich machbaren Technologien auszuwählen. Voraussetzung für eine erfolgreiche Suche bzw. Eingrenzung der für einen Altlastenfall relevanten Technologien ist die Kenntnis bestimmter **Rahmenbedingungen (Standortmodell)**. Es müssen eine Reihe von Erkundungen durchgeführt worden sein, um zu einem fundierten Ergebnis zu kommen. Natürlich kann der REVVIN-Technologie-Finder auch hypothetisch, gewissermaßen als **Gedankenspiel**, verwendet werden, in dem von den Bearbeitern bestimmte Annahmen ohne vorherige Recherche getroffen werden können. Um die Suche nach geeigneten Sanierungstechnologien zu erleichtern, werden in der ersten Auswahlstufe in drei Schritten über eine standardisierte Abfrage von Kriterien mögliche Technologien ausgeschlossen bzw. in die engere Wahl genommen:

1. Auswahlschritt

Art des Schadens:
Ausmaß der Kontamination, bezogen auf die Medien Boden, Grundwasser und Bodenluft sowie Lage der Schadstoffquelle, bezogen auf den Standort und die Umgebung.

2. Auswahlschritt

Untergrundbeschaffenheit nach DIN 18196:
Unterscheidung in die Kategorien: grobkörnig ($k_f = 10^{-4}$ bis 10^{-2} m/s); gemischtkörnig ($k_f = 10^{-6}$ bis 10^{-4} m/s); feinkörnig ($k_f = 10^{-8}$ bis 10^{-6} m/s); organogen/organisch; veränderliches Halbfestgestein; Festgestein (geklüftet).

3. Auswahlschritt

Art der Schadstoffe (anorganisch/organisch):
Zu sämtlichen in der Tabelle aufgeführten Sanierungstechnologien sind Festlegungen getroffen worden, ob der Einsatz der Technologie ausschließ-

lich im Hinblick das jeweilige Kriterium „möglich“ (+), „bedingt möglich“ (o), „nicht möglich“ (-) oder unter bestimmten Voraussetzungen überhaupt „nicht relevant“ (NR) ist. Dabei ist das Kriterium „bedingt möglich“ (o) insbesondere dann gewählt worden, wenn z. B. in der Literatur unterschiedliche Aussagen zur Eignung der Technologie gefunden wurden. Mit der Eingrenzung der möglichen Technologien ist noch keine Entscheidung darüber getroffen, welche für einen Einsatz in Betracht kommen. Wohl aber kann hiermit ein Eindruck davon gewonnen werden, welcher Aufwand technisch, finanziell und zeitlich zu erwarten ist. Diese Aussagen sind besonders in der Vorplanungsphase des REVVIN-Leitfadens (siehe Kap. 2.4) relevant, wenn dieser Aufwand in Relation zum Gesamtaufwand des Vorhabens betrachtet und abgeschätzt wird. Finanzielle und wirtschaftliche Kriterien stellen bei der Vorauswahl kein Beurteilungskriterium dar.

37 Zu bedenken sind insgesamt folgende Aspekte:

- schadstoff-, boden-, material- und standortspezifische Eignung
- wirkungspfadspezifische Eignung
- Erfüllung der vorläufigen **Sanierungsziele**
- technische Durchführbarkeit
- Eignung als Technik-/Verfahrenskombination
- Genehmigungsfähigkeit
- Abstimmung mit der **Standortnutzung**

38 Die Vorauswahl grundsätzlich geeigneter Sanierungstechnologien ist auf die künftige planungsrechtlich zulässige **Standortnutzung** auszurichten. Ggf. sind mehrere Technologien zu verschiedenen **Sanierungsvarianten** zu kombinieren. Der Einfluss der für die **Folgenutzung** erforderlichen Baumaßnahmen wird bei der Entwicklung der Sanierungsvarianten berücksichtigt. In diesem Arbeitsschritt wird geprüft, ob z. B. durch bautechnische Änderungen bzw. Zusatzmaßnahmen eine Sanierung mit der ausgewählten Technologie möglich ist. Gleiches gilt für die Kompatibilität der Sanierungsvariante mit einem geplanten Bebauungskonzept.

39 4. Auswahlsschritt

Hier erfolgt eine Bewertung nur für die Sanierungstechnologien, die die vorläufigen **Sanierungsziele** erfüllen. Jetzt erst werden „weiche“ **Auswahlkriterien** in den Auswahlprozess mit eingeschlossen: Dauer, Kosten, Wirkungsgrad, Konsequenzen für die Umwelt, Umgebungsschutz, Aufwand Monitoring, Akzeptanz Öffentlichkeit.

Dieser Auswahlsschritt verlangt einen „kreativen“ Umgang mit den Technologien. Ziel ist es, aus dem Fundus „möglicher“ und „bedingt möglicher“ Technologien **Sanierungsvarianten** in der Kombination aus unterschiedlichen Dekontaminations- und Sicherungstechnologien zu entwerfen, die für den konkreten Schadensfall und abgestimmt auf die anderen Planungsziele (**Nutzung**, Städtebau, Freiraum etc.) einen sinnvollen Beitrag leisten. Diese Sanierungsvarianten können daher nur im Gesamtzusammenhang des Projektes verhandelt werden („Verhandlungsphase“ im REVVIN-Leitfaden, siehe Kap. 2.4). Es empfiehlt sich der Einsatz einer Matrix, in der die unterschiedlichen Sanierungsvarianten, bezogen auf die genannten, von den Akteuren einvernehmlich zu gewichtenden Kriterien, gegenüber gestellt werden.

Die Zuverlässigkeit der vorgesehenen Sanierungstechnologie soll möglichst hoch sein und mit einem möglichst geringen technischen Aufwand während der Sanierungsmaßnahme gewährleistet werden. Im Einzelnen sind folgende allgemeine Punkte zu beachten:

- Da unvorhersehbare Veränderungen des Schadstoffprofils und der Untergrundverhältnisse auftreten können, ist die Flexibilität der Sanierungstechnologien in der Anpassung an veränderte Randbedingungen, bezogen auf Schadstoffe, Boden- und Materialeigenschaften, zu bewerten.
- Der jeweilige technische Entwicklungsstand (Technikumsmaßstab, **Pilotanlage**, Stand der Technik, Anzahl objektrelevanter Referenzen) der Sanierungstechnologie ist zu berücksichtigen. Der Einsatz innovativer Techniken ist möglich, jedoch sind Aussagen hinsichtlich der technischen Umsetzbarkeit zu machen.
- Die zeitliche Umsetzung der Gesamtsanierung, bezogen auf den Standort, kann relevant sein, wenn Konflikte bezüglich zeitlicher Vorgaben für die **Nachnutzung** auftreten.
- Die benötigte Infrastruktur bzw. der Flächenbedarf ist vor allem bei on site-Maßnahmen relevant, wenn bei einem zu bewertenden Szenario die am Standort verfügbaren Infrastruktureinrichtungen und Flächen zur Umsetzung der einzelnen Sanierungsverfahren nicht ausreichen und es zu erheblichen Einschränkungen im Bauablauf kommen würde.
- In Abhängigkeit vom Sanierungsszenario können sich während und nach der Sanierung **Nutzungseinschränkungen** für den Grundstückseigentümer, den Pächter, Bewohner oder zukünftigen Investor ergeben, wobei die im Sanierungsszenario vorgesehenen **Nutzungseinschränkungen**, bezogen auf das Ausmaß der Einschränkung, zu bewerten sind.

- Der Koordinierungsbedarf für einen reibungsfreien Sanierungsablauf ist nach dem notwendigen Aufwand zu bewerten.
- Generell sind die Anforderungen des Arbeitsschutzes zu berücksichtigen. Daraus ergibt sich der Aufwand für notwendige Schutzmaßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit der Beschäftigten und Anwohner.
- Die Genehmigungsfähigkeit der **Sanierungsvariante** durch die zuständige Behörde ist insbesondere, bezogen auf einen **Sanierungsplan** nach § 13 Abs. 6 BBodSchG, zu bewerten. Dies schließt alle begleitenden Genehmigungen mit ein.

Tab. 1: REVVIN-Technologie-Finder Auswahlsschritt 1: + = Sanierungsverfahren geeignet; o = bedingt möglich; - = Sanierungsverfahren nicht geeignet; NR = nicht relevant, nicht zutreffend

Dekontamination in situ- Behandlungstechnologie	Schritt 1	Sanierungstechnologie Behandlungstechnologie Bauverfahren	Oberboden	Boden (>30 cm Tiefe)		Grundwasser		Bodenluft	
				ungesättigt auf eigenem Grundstück	gesättigt	S-Quelle auf Grundstück	S-Quelle in Nachbarzonen	S-Quelle auf Grundstück	S-Quelle in Nachbarzonen
Dekontamination in situ- Behandlungstechnologie	Rückgewinnung von Produkt-Phase	· Schlämme LNAPL	NR	-	-	+	+	-	-
		· Pumpen DNAPL	NR	-	-	+	+	-	-
		· Reaktive Wände	NR	-	-	+	+	-	-
	chemisch-physikalische Behandlungsverfahren	· Flame & Gate	NR	-	-	+	+	-	-
		· Oxidation (Permanganat, H ₂ O ₂)	+	+	+	+	+	-	-
		· Elektroklyse	+	+	-	-	-	-	-
		· Reduktion (Nanoseisen, Grünsalz)	+	+	+	+	+	+	-
		· thermisch unterstützte biol. in situ-San.	+	+	+	+	+	+	-
		· Tensidverfahren	+	+	+	+	+	+	-
		· Alkoholspülung	+	+	+	+	+	+	-
biologische Behandlungsverfahren	· In-situ-Bodenspülung	+	+	+	+	+	+	-	
	· In-situ-Hochdruck-Bodenwäsche	-	+	+	-	-	-	-	
	· Enhanced Biodegradation	-	+	+	+	+	+	+	
	· Phytoremediation	+	+	+	+	+	+	+	
Austub	· Baggeraustub	+	+	+	NR	NR	NR	NR	
	· Großbohrpflöhe	-	+	+	NR	NR	NR	NR	
	· Verbaukästen	-	+	+	NR	NR	NR	NR	
Boden	· Jelförderung (z. B. Soilcrete)	+	+	+	NR	NR	NR	NR	
	· Brunnenförderung	NR	NR	NR	+	+	+	+	
	· Slipp Ex (Sauglanzen)	NR	NR	NR	+	+	+	+	
	· Tiefendrainage	NR	NR	NR	+	+	+	+	
Grundwasser	· Unterdruckverdampferbrunnen	NR	NR	NR	+	+	+	+	
	· Grundwasserzirkulationsbrunnen	NR	NR	NR	+	+	+	+	
Bodenluft	· Drainage- und Entwässerungskanäle	NR	NR	NR	+	+	+	+	
	· Bodenluftabsaugung	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
	· thermisch unterstützte Bodenluftabsaugung	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
	· Ausparngung	NR	NR	+	+	+	+	+	
passive Entnahme	· Entgasungsgräben, -schächte, Flächenfilter	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	

(Fortsetzung Tab. 1)

Technologie	Beschreibung	erproblich ($k_r = 10^{-2}$ bis 10^{-1} m/s)		gerietekönig ($k_r = 10^{-2}$ bis 10^{-1} m/s)		falschkömig ($k_r = 10^{-2}$ bis 10^{-1} m/s)		Untergrund (nach DIN 18196)		verändertes Halblegestein	Festgestein (geklüftet)
		+	-	+	-	+	-	organisch/ organisch	NR ¹		
Boden	biologische Behandlungsverfahren	Mieten (statisch, dynamisch)	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	chemisch-physikalische Behandlungsverfahren	Reaktoren	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Spülverfahren (Bodenwäsche)	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Extraktionsverfahren	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Immobilisierung	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Pyrolyse (Verschmelzung)	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Verbrennung	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Desorption	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Deponierung	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Verwertung	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		biologische Reinigung	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	Standard-Verfahren	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
Grundwasser	chemisch-physikalische Behandlungsverfahren	Oxidation O ₂ (UV), H ₂ O ₂ (UV)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Ionen-tauscher	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Extraktion (MPPE)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	biologische Behandlungsverfahren	Umkehrosmose/Membranverfahren	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Biofilter	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Absorption (Aktivkohle)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Absorption	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		katalytische Oxidation	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Schilzwände	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Schmalwände	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Spundwände	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Bohrpfahlwände	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Asphalt	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR		
Sicherheit	Oberflächenabdichtung	Beton	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Kapillarsperre	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		mineralische Dichtung mit Rekultivierungsschicht	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	Oberflächenabdeckung	Kunststoffdichtungsbahn mit Rekultivierungsschicht	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		qualifizierte Erdabdeckung	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Jet-Grouting	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	Basisabdichtung	In situ-Immobilisierung	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Immobilisierung	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Ordnung der Altlast	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

Tab. 2: REVVIN-Technologie-Finder Auswahlsschritt 2: NR¹ - die Bodenart hat nur bei der Entnahme Einfluss; NR² - kein Eingriff in den Boden; NR³ - im Allgemeinen keine Anwendung

Technologie	Beschreibung	erproblich ($k_r = 10^{-2}$ bis 10^{-1} m/s)		gerietekönig ($k_r = 10^{-2}$ bis 10^{-1} m/s)		falschkömig ($k_r = 10^{-2}$ bis 10^{-1} m/s)		Untergrund (nach DIN 18196)		verändertes Halblegestein	Festgestein (geklüftet)
		+	-	+	-	+	-	organisch/ organisch	NR ¹		
Dekontamination in situ- Behandlungstechnologie	Schritt 2 Rückgewinnung von Produkt-Phase	Skimmer LNAPL	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Pumpen DNAPL	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Reaktive Wände	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Funnel & Gate	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Oxidation (Permanganat, H ₂ O ₂)	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Elektrokinese	-	-	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Reduktion (Nanocisen, Grünsalz)	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		thermisch unterstützte biolog. in situ-San.	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Tensidverfahren	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Alkoholspülung	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	biologische Behandlungsverfahren	In-situ-Bodenspülung	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		In-situ-Hochdruck-Bodenwäsche	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Boden	chemisch-physikalische Behandlungsverfahren	Enhanced Biodegradation	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Phytoremediation	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Baggeraushub	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	Aushub	Großbohrflähle	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Verpackkästen	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Jetförderung (z. B. Solcrete)	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Brennerförderung	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Slipp Ex (Sauglanzen)	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Tiefendrainage	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Unterdruckverdampferbrunnen	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Grundwasserzirkulationsbrunnen	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		Drainage- und Entwässerungskanäle	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Grundwasser	aktive Entnahme	Bodenluftabsaugung	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		thermisch unterstützte Bodenluftabsaugung	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
		Airsparung	+	+	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
Bodenluft	passive Entnahme	Entgasungsgräben, -schächte, Flächenfilter	NR ¹	NR ¹	NR ¹	NR ¹	NR ¹	NR ¹	NR ¹	NR ¹	NR ¹

Dekontamination ex situ-Behandlungsverfahren		Boden		Grundwasser		Bodenluft		Sicherungstechnologie	
biologische Behandlungsverfahren	· Mieten (statisch, dynamisch)								
	· Landfarming	+							
	· Reaktoren	+							
	· Spülv Verfahren (Bodenwäsche)	+							
	· Extraktionsverfahren	+							
	· Immobilisierung	+							
	· Pyrolyse (Verschmelzung)	+							
	· Verbrennung	+							
	· Desorption	+							
	· Deponierung	+							
	· Verwertung	+							
	· biologische Reinigung	NR ¹							
	· Standard-Verfahren	NR ¹							
	· Oxidation O ₃ (UV), H ₂ O ₂ (UV)	NR ¹							
· Ionenaustauscher	NR ¹								
· Extraktion (MPPE)	NR ¹								
chemisch-physikalische Behandlungsverfahren	· Umfahrrinnen/Membranverfahren	NR ¹							
	· Biofilter	NR ¹							
	· Adsorption (Aktivkohle)	NR ¹							
	· Adsorption	NR ¹							
	· katalytische Oxidation	NR ¹							
	· Schilfwände	+							
	· Schmalwände	+							
	· Spundwände	+							
	· Bohrfahrwände	+							
	· Asphalt	NR ²							
	· Beton	NR ²							
	· Kapillarsperre	NR ²							
	· mineralische Dichtung mit Rekultivierungsschicht	NR ²							
	· Kunststoffdichtungsbahn mit Rekultivierungsschicht	NR ²							
· qualifizierte Erdebedeckung	NR ²								
Oberflächenabdeckung	· Jet-Grouting	+							
	· Basisabdichtung	+							
	· Immobilisierung	O							
	· Ordnen der Alltief	+							
Sicherungstechnologie	· vertikale Dichtwände								
	· Oberflächenabdichtung								
	· biologische Behandlungsverfahren								
	· chemisch-physikalische Behandlungsverfahren								

Tab. 3: REVVIN-Technologie-Finder, Auswahlsschritt 3: NR¹ - Die Wahl des Entnahmeverfahrens ist im Allgemeinen von den Schadstoffen unabhängig, NR² - Die Wahl des Dichtungselements ist im Allgemeinen von den Schadstoffen unabhängig

Schritt 3		Sanierungstechnologie								Schadstoff, anorganisch								Schadstoff, organisch							
		Behandlungstechnologie Bauverfahren								Schwermetalle/ Arsen	Cyanide	MKW	BTEX	PAK	Phenole	LiHW	PCB	SHKW	Nitroaromaten						
Dekontamination in situ- Behandlungstechnologie	Rückgewinnung von Produkt-Phase	· Schlamm LM/PL	NR	NR					NR	NR											NR	NR			
		· Pumpen DM/PL	NR	NR					NR	NR											NR	NR			
		· Reaktive Wände	+	O					+	+											+	+			
		· Funnel & Gate		O					+	+											+	+			
		· Oxidation (Permanganat, H ₂ O ₂)								+	+											+	+		
		· Elektroklyse	O	O																		O	O		
chemisch-physikalische Behandlungsverfahren	· Reduktion (Nanoeisen, Grünsalz)	+	O																						
	· thermisch unterstützte biol. in situ-San.																								
	· Tensivverfahren																								
	· Alkoholspülung																								
	· In-situ-Bodenspülung	O	O																						
	· In-situ-Hochdruck-Bodenwäsche	O	O																						
biologische Behandlungsverfahren	· Enhanced Biodegradation																								
	· Phytoremediation																								
	· Bageraushub	NR ¹	NR ¹																						
	· Großbohrpflanze	NR ¹	NR ¹																						
	· Verkadasten	NR ¹	NR ¹																						
	· Brunnenförderung (z. B. Solicrate)	+	+																						
Boden	· Aushub	NR ¹	NR ¹																						
	aktive Entnahme	· Slipe Ex (Sauglätzen)	NR ¹	NR ¹																					
		· Tiefdrainage	NR ¹	NR ¹																					
		· Unterdruckventilbrunnen	NR ¹	NR ¹																					
		· Grundwasserzirkulationsbrunnen	NR ¹	NR ¹																					
		· Drainage- und Entwässerungskanäle	NR ¹	NR ¹																					
Grundwasser	· passive Entnahme																								
	aktive Entnahme	· Bodenluftabsaugung																							
		· thermisch unterstützte Bodenluftabsaugung																							
		· Atmungspiegel																							
Bodenluft	· passive Entnahme																								
	· Engpassgräben, -schächte, Flächenfilter																								

(Fortsetzung Tab. 3)

		Mieten (statisch, dynamisch)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Dekontamination ex situ-Behandlungsverfahren	biologische Behandlungsverfahren	Landflämung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	chemisch-physikalische Behandlungsverfahren	Reaktoren	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Spülverfahren (Bodenwäscher)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Extraktionsverfahren	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	thermische Behandlungsverfahren	Immobilisierung	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Pyrolyse (Verschwelung)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Verbrennung	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	gesicherte Endlagerung	Desorption	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Deponierung	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Verwertung	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
biologische Behandlungsverf.	biologische Reinigung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Standard-Verfahren	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Oxidation O ₃ (UV), H ₂ O ₂ (UV)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
chemisch-physikalische Behandlungsverfahren	Ionen-tauscher	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Extraktion (MPPE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Umkehrosmose/Membranverfahren	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Bodenluft	Biofilter	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Adsorption (Aktivkohle)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Absorption	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sicherungstechnologie	vertikale Dichtwände	katalytische Oxidation	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Schaltzwände	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²
		Schmalwände	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²
		Bohrpfahlwände	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²
		Asphalt	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²
		Beton	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²
		Kapillarsperre	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²
		mineralische Dichtung mit Rekultivierungsschicht	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²
		Kunststoffdichtungsbahn mit Rekultivierungsschicht	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²	NR ²
		qualifizierte Erdbedeckung	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Oberflächenabdeckung	Jet-Grouting	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Immobilisierung	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	in situ-Immobilisierung	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Ordnung der Altlast	gesicherte Endlagerung	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	

Tab. 4: REVVIN-Technologie-Finder Auswahlsschritt 4: + = Kriterium ist positiv zu bewerten; o = Kriterium ist mittel zu bewerten; - = Kriterium ist negativ zu bewerten

		Sanierungstechnologie	Sanierungs-dauer	Sanierungs-kosten	Wirkungs-grad	Konsequenzen für die Umwelt	Umgebungs-schutz	Aufwand	Akzeptanz	
		Sanierungstechnologie	Sanierungs-dauer	Sanierungs-kosten	Wirkungs-grad	Konsequenzen für die Umwelt	Umgebungs-schutz	Aufwand	Akzeptanz	
Dekontamination in situ-Behandlungsverfahren	Schritt 4	Rückgewinnung von Produkt-Phase	o	+	+	+	+	o	+	
		chemisch-physikalische Behandlungsverfahren	Pumpen DNAPL	-	-	o	+	+	+	o
			Reaktive Wände	o	o	o	+	+	+	o
	Funnel & Gate		o	o	o	+	+	+	o	
	Oxidation (Permanganat, H ₂ O ₂)		-	o	+	+	+	+	o	
	Elektrolyse		-	o	o	+	+	+	o	
	Reduktion (Nanoeisen, Grünsatz)		-	o	o	+	+	+	o	
	thermisch unterstützte biolog. in situ-San.		-	o	o	+	+	+	o	
	Tensidverfahren	-	o	o	+	+	+	o		
	biologische Behandlungsverfahren	Alkoholspülung	-	o	o	+	+	+	o	
In-situ-Bodenspülung		+	o	+	+	+	+	o		
In-situ-Hochdruck-Bodenwäsche		+	o	+	+	+	+	o		
Boden	Aushub	Enhanced Biodegradation	-	+	-	+	+	o	o	
		Phytoremediation	+	o	+	+	+	+	o	
		Begleerausub	+	o	+	+	+	+	+	o
	Grundwasser	Großbohrpflöhe	+	o	+	+	+	+	+	o
		Verbaukästen	+	o	+	+	+	+	+	o
		Jeffordierung (z. B. Salcrete)	+	o	+	+	+	+	+	o
		Brumenförderung	o	o	+	+	+	+	+	+
	Bodenluft	aktive Entnahme	Slipp-Ex (Stauglätzen)	o	+	o	+	+	+	+
			Tiefendrainage	o	+	o	+	+	+	+
			Unterdruckverdampferbrunnen	o	+	o	+	+	+	+
passive Entnahme		Grundwasserzirkulationsbrunnen	o	+	o	+	+	+	+	
		Drainage- und Entwässerungskanäle	o	+	o	+	+	+	+	
		Bodenluftabsaugung	-	o	+	+	+	+	+	
		thermisch unterstützte Bodenluftabsaugung	o	o	+	+	+	+	+	
Dekontamination ex situ-Bautechnologie	aktive Entnahme	Auspargung	o	o	+	+	+	+	+	
		Engpassgräben, -schächte, Flächenfilter	o	+	o	+	+	+	+	

Sinne der Verhinderung der Schadstoffausbreitung verbunden sein können. Deshalb wird gefordert, dass die Wiederherstellbarkeit der Sicherungswirkung auch nachträglich möglich sein muss. Bewertet werden kann z. B. der Aufwand.

- Zur Bewertung des Gefahrenpotenzials der verbleibenden Schadstoffe sind Kategorien nach Menge und Art der verbleibenden Kontaminationen zu bilden.
- 44 Eine **Kostenschätzung** ist für alle **Sanierungsvarianten** durchzuführen. Auf der Grundlage der fachlichen Bewertung sowie der Kostenschätzung sind für die Sanierungsvarianten **Kosten-Nutzen-Betrachtungen** durchzuführen. Ziel ist die Ermittlung der technisch und ökologisch geeigneten Sanierungstechnologien bei gleichzeitig sparsamem und zielgerichtetem Einsatz finanzieller Mittel.
- 45 Im Einzelfall können zusätzlich weitere Kriterien zur Bewertung herangezogen werden. Diese sind jedoch nur bei Relevanz anzuwenden. Bei der Bewertung der öffentlichen und politischen Akzeptanz sind die Belange und die Verpflichtungen der Betroffenen, Eigentümer sowie Träger öffentlicher Belange zu berücksichtigen. Dies können z. B. Bestandsschutz von Gebäuden und Anlagen, die Beeinträchtigung Dritter durch ein verstärktes Verkehrsaufkommen, Entschädigungspflichten, die Duldung der Maßnahme von Grundstückseigentümern, Pächtern oder Erbbauberechtigten sowie die Durchsetzbarkeit der Maßnahme gegenüber dem Verpflichteten sein.
- 46 Aus den Ergebnissen der Verknüpfung der monetären mit der nicht-monetären Bewertung ist eine Rangordnung der Varianten abzuleiten.

4. Ergebnisse

4.1 Technische Innovation

- 47 Die Sanierung der zahlreichen Altlasten in **St. Petersburg** wird nur mit moderner Technik zu bewältigen sein. Erfreulicherweise kann festgestellt werden, dass von russischen Unternehmen zunehmend innovative Technologien zum Einsatz kommen und dass das Know-how sich immer stärker verbreitet. Diskussionsbedarf besteht jedoch im Hinblick auf die Bewertung von Messergebnissen und die daraus abzuleitenden Handlungsschritte. Aus Hamburger Sicht ist deutlich geworden, dass die vorgeschriebenen Schadstoff-Grenzwerte für Böden in Russland sehr „ambitioniert“ sind, da sie sich ausschließlich auf eine landwirtschaftliche **Nutzung** beziehen. Auch aus der Kenntnis der Normen anderer Länder wird zu überlegen sein, in-

wieweit neben technischen Innovationen künftig auch eine weitere Differenzierung der Grenzwerte hinsichtlich unterschiedlicher Nutzungen (Gewerbe, Wohnen) aussehen kann.

4.2 Umfassende Information

Standortentwicklung – sei sie von privater oder öffentlicher Seite aus betrieben – verlangt eine ausführliche Informationslage. Die Kenntnis über die **Rahmenbedingungen** der Planung ermöglicht erst eine umfassende Kalkulation eines Vorhabens. Die schließt die Vorgaben der Denkmalpflege ebenso ein wie Art und Umfang von bestehenden Altlasten. Um der hemmenden Wirkung unklarer Rahmenbedingungen vorzubeugen, lohnt es sich, über die Einführung von Umweltpässen nachzudenken. Ziel dabei sollte es sein, in Kenntnis des zu erwartenden **Sanierungsaufwandes** im Hinblick auf die geplanten **Nutzungen** für alle beteiligten Akteure finanziell und zeitlich Planungssicherheit zu schaffen.

4.3 Fachliche Integration

Die umfassende Verfügbarkeit von Informationen erleichtert erfahrungsgemäß die Zusammenarbeit der fachlichen Ressorts, da sich in ihnen oft schon die unterschiedlichen Fachinteressen ablesen lassen. In vielen Revitalisierungsvorhaben ist der Beweis erbracht worden, dass die integrative, ämterübergreifende Zusammenarbeit für eine erfolgreiche Projektentwicklung wesentlich ist und zugleich zur Beschleunigung von Vorhaben führt. Für die **Wiedernutzung** der enormen Flächenreserven in **St. Petersburg** ist es hilfreich, die zunehmend enger geknüpften **Kooperationen** zwischen den einzelnen Komitees der Verwaltung weiter zu stärken.

4.4 Neue Kooperation

Der Kontakt mit der Polytechnischen **Universität St. Petersburg** im Rahmen dieses Projektes hat die Notwendigkeit offenbart, diese Zusammenarbeit auch in Zukunft fortzusetzen. Nicht nur aus Sicht der Hochschule, die bemüht ist, einen eigenen Studienschwerpunkt „Altlastensanierung“ einzurichten. Vor allem aus Sicht der Verwaltung erscheint eine **Kooperation** dringend geboten, da hier nützliches Know-how vorliegt und engagierte Professoren und Mitarbeiter bereit sind, sich an der Lösung des Altlastenproblems zu beteiligen. Auf diese Weise sind die kontinuierliche Verbindung mit Wissenschaft und Forschung und der Kontakt zum „Stand der Technik“ und zu Innovation gegeben. Dauerhaft ist für die Altlastenproble-

matik von Bedeutung, dass die Hochschulen künftig Experten in dem Bereich ausbilden und diese Arbeitskräfte – auch für die Stadtverwaltung oder private Ingenieurbüros – zur Verfügung stehen.

4.5 Offene Kooperation

- 51 Flächenrevitalisierung verlangt neue Bündnisse zwischen unterschiedlichen Partnern. Was sich in Städten wie Hamburg über einen langen Zeitraum hat entwickeln können, hat **St. Petersburg** sehr viel schneller erfasst: Die Transformation der Stadtstrukturen – nicht nur aber insbesondere betrifft dies die historische Innenstadt – kann nur teilweise von der Stadt selbst bewältigt werden. Daher braucht die Stadt Partnerschaften mit Investoren, Betreibern und Nutzern, Architekten, Planern und Ingenieuren, Vereinen und Initiativen, Bürgerinnen und Bürgern. Basis dieser Partnerschaften muss eine offene Informationspolitik sein, die auf allen Seiten dazu beiträgt, die Möglichkeiten der Flächenentwicklung realistisch abschätzen zu können. Sie ist auch Voraussetzung für transparente Entscheidungen. Neue Formen der **Kooperation** – wie sie auch im Rahmen des REVVIN-Projektes von russischer und deutscher Seite praktiziert werden – sowie innovative Methoden der Information und Beteiligung der Bürgerinnen und Bürger bereichern den Wissens- und Erfahrungsschatz für jeden Einzelfall und fördern so gewiss eine nachhaltige Entwicklung St. Petersburgs.

5. Literatur

- [1] Kilger, R., Haupt, T., Luchterhandt, D., Tschistowskaja, I., Lund, N.-C., Ihle, F., 2008: Flächenrevitalisierung in St. Petersburg, Wissenschaftlicher Vorlauf für die kostengünstige und sozialverträgliche Revitalisierung von Industriebrachen in St. Petersburg – Analyse von Möglichkeiten für den Technologie- und Wissenstransfer, REVVIN Abschlussbericht; Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (Hrsg.), ISBN 978-3-00-024263-2. Download unter [7]
- [2] Haupt, T., Kilger, R., Luchterhandt, D., Tschistowskaja, I., Lund, N.-C., Ihle, F., 2008: „Revitalization of Brownfields in Saint Petersburg – Development of a Tech-Finder for the Remediation of Contaminated Sites“, Proceedings of the 10. International UFZ/TNO Conference on Soil-Water-Systems – ConSoil, Milano/Italy, ISBN 978-3-00-024598-5. Download unter [7]
- [3] Luchterhandt, D., Haupt, T., Tschistowskaja, I., 2007: „Revitalization of Brownfields in St. Petersburg – development of a methodology under

the aspect of remediation of contaminated sites by the example of the Konjushennaja Square“, Proceedings of the 2. International Conference on Managing Urban Land, Stuttgart, ISBN 978-3-934409-33-4, Download unter [7]

- [4] Beratungshilfeprogramm des BMU 2004–2005: Erarbeitung eines Leitfadens für nachhaltiges Flächenrecycling von Industrie-Brachen in der Russischen Föderation am Beispiel von St. Petersburg; WTTC – Werkstoffe und Technologien, Transfer und Consulting, Berlin (Hrsg.).
- [5] Gorky, A. V.; Potiforov, A. I., Sojref, D., Weinig, H.-G., Fridman, K., B.; Bek, B. M., 2005: Nachhaltiges Flächenrecycling in St. Petersburg – Handlungsanleitung zur Bewertung des ökologischen Zustandes von Industriebrachen – Sanierungsuntersuchung/Sanierungsplan –; Russisches geoökologisches Zentrum St. Petersburg, WTTC – Werkstoffe und Technologien, Transfer und Consulting, Berlin (Hrsg.).
- [6] Schuldt, M., Kilger, R., Haupt, T., Luchterhandt, D., Riedel, C., Tschistowskaja, I., Lund, N.-C., 2006: Flächenrevitalisierung Konjushennaja Ploshad in St. Petersburg; Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (Hrsg.). Download unter [7]
- [7] Internet: www.revvin.hamburg.de oder www.hamburg.de/revvin