

5103.01

Dr. Michael Reinhard, Karlsruhe und Dr. Thomas Held, Darmstadt

Neufassung der BBodSchV fordert mehr Nachhaltigkeit in der Altlastensanierung

Zusammenfassung	1 – 4
1. Einleitung	5 – 8
2. Begriff Nachhaltigkeit	9 – 13
3. Bisherige Ansätze zur Berücksichtigung der Nachhaltigkeit	14 – 20
4. Problematik bei bisherigen Bewertungen der Nachhaltigkeit	21 – 27
4.1 CO ₂ -Emission (CO ₂ -Fußabdruck)	21 – 24
4.2 Indikatoren für Umwelt, Ökonomie und Soziales	25, 26
4.3 Nachhaltigkeitszahl	27
5. Ansätze zur Berücksichtigung der Nachhaltigkeit bei der Auswahl von Sanierungsverfahren	28 – 42
5.1 Sauberes (Trink-)Wasser	32
5.2 Qualität der Nachnutzung oder zukünftigen Nutzbarkeit der Sanierungsfläche	33
5.3 Klimaschutz	34 – 40
5.4 Design von Sanierungsvarianten auf der Basis von Nachhaltigkeitszielen	41, 42
6. Fazit	43 – 49
Literatur	

Schlagwortübersicht

Bilanzierungstools	24
Brundtland-Kommission	9
CO ₂ -Äquivalent (CO ₂ e)	
CO ₂ -Äquivalent (CO ₂ -Äquivalent > 2 e)	
CO ₂ -Emission	39
CO ₂ -Fußabdruck	
Contaminated Land: Applications in Real Environments (CL:AIRE)	15
Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie	4, 11, 30, 46
Emissionszertifikate	39

Handbuch Altlastensanierung / 5000 Sanierungsverfahren / 5100 Überblick, Gesamtdarstellungen / 5103 Nachhaltigkeit bei Altlastensanierungen – Ein Bewertungsverfahren mit Beispielen / 5103.01 Neufassung der BBodSchV fordert mehr Nachhaltigkeit in der Altlastensanierung

Erwärmungspotenzial	21
Gefahrenabwehr	11, 32 f., 37
Generation	9 f., 28, 44
Gerechtigkeit	9
Green Remediation	17
Grundwasser	13, 15, 18 ff., 25, 30, 32 f., 41 f., 46
Immobilien	16, 33
Interessensgruppen	27, 29, 45
Klima	4, 12 f., 17 ff., 22 f., 26, 30, 36, 46
Lärmbelästigung	25
Lebenszyklus	22
monetäre/nicht-monetäre Kriterien	2, 28, 44
Monetarisierung	25
Nachnutzung	30, 33, 41 f., 46, 48
Network for Industrially Contaminated Land in Europe (NICOLE)	15
Oberflächengewässer	18, 25, 32
Ökologie	15, 26
Ökonomie/Wirtschaft	4, 10, 12, 15 f., 25 f., 30, 46
Pump-and-Treat	13, 18, 32, 35 ff.
Rendite	16
Ressource	9, 18, 26, 30, 32, 41, 46
Sanierungsplan	42
Sanierungsuntersuchung	1 ff., 7, 28, 30, 33 f., 41, 43, 45
Sanierungsvariante	2, 17, 28 f., 32, 35 ff., 39, 41, 44, 48
Soziales	15 f., 25 f.
Starkregen	19
SuRF UK	3, 15 f., 25 f., 29, 45, 47
Treibhausgase	3, 21
Trockenperioden	19
Umwelt	2, 6 f., 9 f., 15 ff., 25 f., 28, 44
United States Environmental Protection Agency (US EPA)	15

Zusammenfassung

- 1 In der Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), die seit dem 01.08.2023 gilt, wird erstmals die Prüfung der Nachhaltigkeit in die Altlastenbearbeitung eingeführt und dort in der Phase der Sanierungsuntersuchung verortet.
- 2 In der Sanierungsuntersuchung erfolgt die schrittweise und systematische Ableitung eines Sanierungsvorschlags. Für anwendbare Sanierungsvarianten erfolgen Kostenschätzungen und die Prüfung der so genannten *nicht-monetären* (kostenunabhängigen) Kriterien. Es wird vorgeschlagen, hier zwischen Kriterien der *Auswirkungen auf die Umwelt* in Analogie zur alten BBodSchV und der *Nachhaltigkeit* zu unterscheiden.
- 3 Für die Bewertung der Nachhaltigkeit können aufwändige Verfahren gemäß den Vorgaben der gemeinnützigen Organisation SuRF UK (Kapitel 4) durchgeführt werden. Allerdings wird dies in den wenigsten Fällen realisiert werden können, zudem wäre eine deutlich größere Planungstiefe als der Entwurfsstatus der Sanierungsuntersuchung erforderlich.
- 4 Die Nachhaltigkeitsbetrachtung kann sich in einer einfacheren Weise der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie [3] mit den drei altlastenrelevanten Zielen sauberes (Trink-)Wasser (i), Wirtschaftswachstum, Aufbau widerstandsfähiger Infrastruktur, Förderung der Industrialisierung, lebenswerte Städte (ii) und Maßnahmen zum Klimaschutz (iii) orientieren. Diese Betrachtung sollte bei allen Sanierungsuntersuchungen möglich sein.

1. Einleitung

- 5 Bei der Planung der Sanierung von Altlasten wird die Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten schon seit den 1990er Jahren diskutiert, man suchte bisher jedoch den Begriff Nachhaltigkeit in den rechtlichen Grundlagen vergebens. Dies hat sich nun geändert. Nach der Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), die am 01. August 2023 in Kraft getreten ist, sind gemäß § 16 im Rahmen von Sanierungsuntersuchungen die geeigneten, erforderlichen und angemessenen (also verhältnismäßigen) Maßnahmen unter Berücksichtigung von Maßnahmenkombinationen zu ermitteln.
- 6 Weiter heißt es in § 16 (2) BBodSchV: „Insbesondere sind dabei die Eignung der Verfahren, deren technische Durchführbarkeit, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit, der erforderliche Zeitaufwand, die Wirkungsdauer der Maßnahmen und deren Überwachungsmöglichkeiten, die Erfordernisse der Nachsorge und die Nachbesserungsmöglichkeiten, die Auswirkungen auf die Betroffenen im Sinne des § 12 Satz 1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes und auf die Umwelt, Zulassungserfordernisse sowie die Entstehung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen zu prüfen und miteinander zu vergleichen.“
- 7 Somit ist mit der neuen Verordnung die Prüfung der Nachhaltigkeit erstmals formal in die Altlastenbearbeitung eingeführt und in der Sanierungsuntersuchung verortet. Bisher war in der noch geltenden Vorschrift lediglich der Aspekt der Auswirkungen auf die Umwelt genannt, der in der Vergangenheit bei der fachlichen Auseinandersetzung vielfach mit den Nachhaltigkeitsaspekten assoziiert wurde.
- 8 Dieser Beitrag liefert Überlegungen, wie die Forderung nach der Berücksichtigung der Nachhaltigkeit in der Praxis umgesetzt werden kann.

2. Begriff Nachhaltigkeit

- 9 Nachhaltigkeit ist ein Handlungsprinzip bei der Nutzung von Ressourcen. Hierbei soll eine dauerhafte Bedürfnisbefriedigung gewährleistet werden, indem die natürliche Regenerationsfähigkeit der beteiligten Systeme bewahrt wird, vor allem von Lebewesen und Ökosystemen [1]. Der Gedanke der Nachhaltigkeit wurde schon sehr früh geprägt. Bereits 1560 forderte die Kursächsische Forstordnung, Wäldern nur so viel Holz zu entnehmen, wie nachwachsen kann. Aber erst mit dem Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (UN) (so genannte Brundtland-Kommission) im Jahr 1983 erhielt die Nachhaltigkeit eine höhere Bedeutung: „Entwicklung zukunftsfähig zu machen, heißt, dass die gegenwärtige Generation ihre Bedürfnisse befriedigt, ohne die Fähigkeit der zukünftigen Generation zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse befriedigen zu können“ [2]. Damit wurde der Gedanke der Generationengerechtigkeit, der globalen Gerechtigkeit und der gemeinsamen Behandlung getrennter Politikfelder in das Thema Nachhaltigkeit aufgenommen.
- 10 Dies ist auch in Artikel 20 a des Grundgesetzes als Staatsziel verankert. Dort heißt es: „Der Staat schützt [...] in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen im Rahmen der verfassungsmäßigen Ordnung durch die Gesetzgebung und nach Maßgabe von Gesetz und Recht durch die vollziehende Gewalt und die Rechtsprechung“. Nachhaltigkeit basiert danach auf den drei Säulen *Gesellschaft, Umwelt und Ökonomie*. Eine Maßnahme kann nur dann nachhaltig sein, wenn sie allen drei Säulen in optimal ausgewogenem Maße gerecht wird.
- 11 Nachhaltigkeit ist ein Handlungsansatz, der sich in der Vergangenheit mehr und mehr in allen gesellschaftlichen Bereichen ausgebreitet hat. Allerdings fand hierbei der nachsorgende Umweltschutz bislang keine Beachtung, da dieser auf die Gefahrenabwehr ausgerichtet ist. Auch die Veröffentlichung der Bundesregierung „Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Weiterentwicklung 2021“ [3], in der die 17 Ziele der Vereinten Nationen für eine nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals) aufgenommen und auf Deutschland übertragen sind, berücksichtigt den nachsorgenden Umweltschutz nur indirekt.
- 12 Von den 17 Zielen lassen sich grob die folgenden Ziele auf Altlastensanierungen übertragen: (i) sauberes (Trink-)Wasser, (ii) Maßnahmen zum Klimaschutz und (iii) Wirtschaftswachstum, Aufbau

widerstandsfähiger Infrastruktur, Förderung der Industrialisierung, lebenswerte Städte.

- 13 Der Aspekt sauberes Wasser lässt sich auf eine Grundwassersanierung anwenden. Da Sanierungsmaßnahmen oft langwierig sind, kann dieses bei langjährigen energieintensiven Grundwasserreinigungen bei Pump-and-Treat-Maßnahmen mit einem hohen Energieverbrauch und dem Ausstoß von Treibhausgasen (im Wesentlichen CO₂) verbunden sein. Hier ist dann auch der Klimaschutz tangiert. Der dritte Aspekt *Wirtschaftswachstum, Aufbau widerstandsfähiger Infrastruktur, Förderung der Industrialisierung, lebenswerte Städte* ist dann relevant, wenn zusammen mit einer Sanierung ein erfolgreiches (Brach-)Flächenrecycling stattfindet.

3. Bisherige Ansätze zur Berücksichtigung der Nachhaltigkeit

- 14 Die Berücksichtigungen von Nachhaltigkeitsaspekten bei der Altlastensanierung begannen in Deutschland im Jahr 2004 vor allem mit ersten Ansätzen zur Ökobilanzierung [4, 5] und bereits im Jahr 1998 mit einem EDV-Programm „Umweltbilanzierung von Altlastensanierungsverfahren“ [25]. Nach unserer Information wurde dies aber nur sehr selten eingesetzt. Bedingt durch zahlreiche europäische und internationale Aktivitäten in diesem Bereich Mitte der 2010er Jahre gab es auch in Deutschland mehrere Vorträge und Veröffentlichungen zur Nachhaltigkeit [u. a. 6, 7, 8], ohne dass das Thema in der Folgezeit stärker in die Altlastenbearbeitung eingegangen wäre.
- 15 Anders liegt der Fall im europäischen und internationalen Ausland. Viele Umweltschutzorganisationen wie beispielsweise NICOLE (*Network for Industrially Contaminated Land in Europe*) [9], die US EPA (*United States Environmental Protection Agency*) [10] oder CL:AIRE (*Contaminated Land: Applications in Real Environments*, Großbritannien) haben sich intensiver mit der Nachhaltigkeit auseinandergesetzt. Die Vorgehensweise zur Bewertung der Nachhaltigkeit wurde beispielsweise in Großbritannien im Rahmen des SuRF (*Sustainable Remediation Forum, UK*) recht weit entwickelt [11]. Grundlage dafür ist, dass der Sanierungsprozess selbst nicht nur zu einer Dekontamination von Boden und Grundwasser führt, sondern auch negative Auswirkungen auf die Umwelt und die umliegende Gemeinschaft haben kann (z. B. Störung von bestehenden Nutzungen). Für eine nachhaltige Sanierung ist es dann erforderlich, alle beteiligten und betroffenen Interessengruppen zu involvieren, um negative ökologische, soziale und wirtschaftliche Aspekte zu vermeiden oder zu mindern.
- 16 Jeder Ansatz muss auf soliden wissenschaftlichen Erkenntnissen und einem transparenten Entscheidungsprozess basieren. Der Weg, Nachhaltigkeit zu berücksichtigen und zu bewerten, ist in einem Leitfaden der SuRF UK festgelegt [11]. Zur Bewertung der Nachhaltigkeit wurden Indikatoren entwickelt. Diese stammen aus den Bereichen Umwelt (Boden, Wasser und Luft) und enthalten soziale Indikatoren wie die Auswirkung auf die Gesundheit und die Gemeinschaften sowie wirtschaftliche Indikatoren wie Gesamtkosten im Vergleich zur Rendite. Andere Effekte, die bewertet werden können, sind die positive oder negative Auswirkungen auf umgebende Immobilienwerte.
- 17 Grundsätzlich ist bei den bisherigen Ansätzen das abschließende Ziel, zu entscheiden, welche der technisch machbaren Sanierungsvarianten die nachhaltigere ist (vergleichende Betrachtung). Von diesen Ansätzen

ist der Begriff der *Green Remediation* (in der Literatur nicht immer stringent durchgehalten) abzugrenzen. Unter *Green Remediation* wird die Verminderung des negativen Einflusses auf die Umwelt betrachtet, wie beispielsweise Minimierung einer Abfallentstehung und Landinanspruchnahme. Wesentliche Parameter zielen auch auf eine Minimierung des Einflusses auf das Klima ab, z. B. mit der Maximierung des Einsatzes erneuerbarer Energien, Minimierung des Energieverbrauchs und damit des Ausstoßes von CO₂.

- 18 Einhergehend mit der Diskussion des Klimawandels gewinnt auch der Aspekt der *Minimierung des Wasserverbrauchs und des Einflusses auf Wasserressourcen* eine höhere Bedeutung. So ist es bei langlaufenden *Pump-and-Treat*-Maßnahmen (meist mehrere 10er Jahre bis unbegrenzt) oft wenig nachhaltig, Grundwasser durch eine Sanierungsmaßnahme zu entnehmen und in abfließendes Oberflächengewässer abzuleiten. Dies führt zu einer Schwächung des Grundwasserspeichers und zu einer Verstärkung des Klimaeffekts durch geringerer Grundwasserneubildungsraten.
- 19 Während des langen Betriebes solcher Sanierungen laufen aktuell klimatische Änderungen in einer Geschwindigkeit ab, die zu erkennbaren Einflüssen auf die Sanierungseffizienz führen können. Zwar stehen den langen Trockenperioden auch häufigere Starkregenereignisse gegenüber, in der Summe jedoch nimmt die Trockenheit zu und die Grundwasserstände sinken [26], was auf Sanierungen unterschiedliche Auswirkungen haben kann.
- 20 Zum einen können oberflächennähere Bereiche der Bodenbelastungen, die sich ursprünglich in der grundwassergesättigten Zone befunden haben, mit sinkenden Grundwasserständen trockenfallen und mit den, für das Grundwasser installierten, Sanierungsmaßnahmen nicht mehr erreicht werden. Zum anderen kann der geringere Wasseranfall auch zu geringeren Grundwasserströmungsgeschwindigkeiten und damit zu einer höheren Aufkonzentrierung der Schadstoffe im Grundwasser führen. Das ist einzelfallspezifisch zu betrachten. In jedem Fall aber können diese Effekte einen Einfluss (positiv oder negativ) auf die Nachhaltigkeit eines Sanierungsverfahrens [13-16] haben.

4. Problematik bei bisherigen Bewertungen der Nachhaltigkeit

4.1

CO₂-Emission (CO₂-Fußabdruck)

- 21 Erste Ansätze zur Berücksichtigung der Nachhaltigkeit im Bereich von Altlastensanierung und Flächenrecycling zielten auf Aspekte der Ökobilanzierung, im Wesentlichen auf den Verbrauch an Energie und die daraus generierte CO₂-Emission. Für deren Berechnung bei Sanierungen gab bzw. gibt es einige frei verfügbare Berechnungsprogramme z. B. [27]. Die Angabe des Fußabdruckes erfolgt nach einem weltweit eingeführten Standard in der Einheit CO₂-Äquivalent (CO₂e). Treibhausgase wirken unterschiedlich. Um verschiedene Treibhausgase vergleichen zu können, wird deren globales Erwärmungspotenzial in die des CO₂e umgerechnet (CO₂ = 1) [18].
- 22 Generell muss bei der Bilanzierung zunächst festgelegt werden, welcher Bilanzrahmen berücksichtigt werden soll (Detaillierungsgrad). Oft wird der gesamte Lebenszyklus der eingesetzten Produkte (von der Herstellung über die Verwendung bis zur Entsorgung) und die dabei entstehenden klimaschädlichen Gase (kg CO₂e/Produkt) berücksichtigt. Ähnlich werden technische Tätigkeiten oder Prozesse bilanziert.
- 23 Für die Werte „t CO₂e/Produkt“ und „t CO₂e/kWh“ sind in den existierenden Berechnungsprogrammen die Berechnungsgrundlagen oft nicht genannt oder/und die Werte sind zum Teil schon vor längerem berechnet worden bzw. sind staatspezifisch. Die Problematik liegt darin, dass die Werte (zum Beispiel für Stahlbehälter, Dichtwandmassen, Sorptionsmittel, Chemikalien, etc.) keine festen Größen sind und einer stetigen Veränderung unterliegen, da sich die Produktionen hin zu immer klimafreundlicheren Prozessen ändern (können). Zudem ändert sich die CO₂-relevante Herstellungsweise des Energieträgers „Strom“ laufend und unterscheidet sich von Staat zu Staat wegen der unterschiedlichen Energiemixe.
- 24 Ein über die Zeit steigender Anteil erneuerbarer Energien bei der Stromerzeugung hat in den vergangenen Jahren den Wert für kg CO₂e pro kWh Strom deutlich sinken lassen. Die Verwendung älterer Datengrundlagen in älteren Berechnungsprogrammen ist daher nicht mehr uneingeschränkt und nicht ungeprüft möglich. Die entsprechenden Daten der Programme müssen stetig und staatspezifisch gepflegt werden, um

Handbuch Altlastensanierung / 5000 Sanierungsverfahren / 5100 Überblick, Gesamtdarstellungen / 5103 Nachhaltigkeit bei Altlastensanierungen
– Ein Bewertungsverfahren mit Beispielen / 5103.01 Neufassung der BBodSchV fordert mehr Nachhaltigkeit in der Altlastensanierung / 4.
Problematik bei bisherigen Bewertungen der Nachhaltigkeit / 4.1 CO₂-Emission (CO₂-Fußabdruck)

valide zu sein. Dies ist bei frei verfügbaren Bilanzierungstools eher selten der Fall. Die Datengrundlagen müssen dem Gutachter bekannt sein, damit er diese auf Plausibilität prüfen kann [19].

Handbuch Altlastensanierung / 5000 Sanierungsverfahren / 5100 Überblick, Gesamtdarstellungen / 5103 Nachhaltigkeit bei Altlastensanierungen
 – Ein Bewertungsverfahren mit Beispielen / 5103.01 Neufassung der BBodSchV fordert mehr Nachhaltigkeit in der Altlastensanierung / 4.
 Problematik bei bisherigen Bewertungen der Nachhaltigkeit / 4.2 Indikatoren für Umwelt, Ökonomie und Soziales

4.2 Indikatoren für Umwelt, Ökonomie und Soziales

25 Andere Ansätze gehen über den reinen CO₂-Fußabdruck hinaus. SuRF UK hat für die drei Bereiche Umwelt, Soziales und Ökonomie je Bereich fünf bis sechs Indikatoren (siehe Tabelle 1) entwickelt und ausführlich beschrieben [16]. Ein Indikator ist ein einzelnes Merkmal, das einen Nachhaltigkeitseffekt darstellt und bei verschiedenen Sanierungsoptionen verglichen werden kann. Dabei müssen die Indikatoren messbar oder in irgendeiner Weise vergleichbar sein, um eine Bewertung zu ermöglichen. Der Versuch, sämtliche Indikatoren auf eine Maßzahl (z. B. CO₂-Emission) zurückzuführen oder zu monetarisieren, wurde früh aufgegeben, da es nicht gelingt, beispielsweise die nicht nachhaltige Ableitung von Grundwasser in Oberflächengewässer oder auch die Lärmbelästigung von Anwohnern während einer Sanierung zu monetarisieren oder anderweitig zu berechnen.

26

Tab. 1: Indikatoren nach SuRF UK (übersetzt aus [16])

Umwelt	Soziales	Ökonomie
Einflüsse auf Luft (einschließlich Klimaveränderung)	Auswirkungen auf Gesundheit und Sicherheit	Direkte wirtschaftliche Kosten und Benefits
Einflüsse auf Boden	Ethische und Gleichbehandlungs-Abwägungen	Indirekte wirtschaftliche Kosten und Benefits
Einflüsse auf Wasser	Auswirkungen auf Nachbarschaft oder Region	Beschäftigung und Kapitalertrag
Einflüsse auf Ökologie	Bürgerbeteiligung und -berücksichtigung	Lebensdauer und „Projektrisiken“
Nutzung natürlicher Ressourcen und Erzeugung von Abfällen	Übereinstimmung mit politischen Zielen und Strategien	Projektflexibilität
Intrusivität	Ungewissheiten	

4.3 Nachhaltigkeitszahl

- 27 Wegen der Vielfältigkeit von Sanierungen gibt es den Ansatz, zunächst eine Auswahl zu treffen, welche der Indikatoren im Einzelfall relevant sind. Diese werden als Kriterium bezeichnet. Die Kriterien können bepunktet und zusätzlich gewichtet werden. Um dabei eine Subjektivität auszuschließen und eine Akzeptanz des Ergebnisses herzustellen, ist es erforderlich, dass diese Festlegungen (Punkte, Wichtungen) einvernehmlich unter allen von der Sanierung betroffenen Interessensgruppen (Sanierungsverantwortlicher, Kommune, etc.) erfolgen. Dies ist meist ein sehr aufwändiges Unterfangen, da die Interessenslagen sehr unterschiedlich sein können. Die sich bei dem Berechnungsansatz ergebende *Nachhaltigkeitszahl* eines Sanierungsverfahrens ist dann ausschließlich für den betrachteten Einzelfall gültig und lässt sich nicht auf andere Sanierungsfälle übertragen. Es kann entsprechend nicht auf „Muster“ zurückgegriffen werden.

5. Ansätze zur Berücksichtigung der Nachhaltigkeit bei der Auswahl von Sanierungsverfahren

- 28 In der Sanierungsuntersuchung erfolgt die schrittweise und systematische Ableitung des späteren Sanierungsvorschlags. Die grundsätzlich geeignete(n) Sanierungsvariante(n) werden neben der Prüfung auf Kosteneffizienz nach § 16 (2) BBodSchV auch auf ihre *nicht-monetären (also kostenunabhängigen)* Kriterien geprüft. Die BBodSchV gibt hierzu Überbegriffe (darunter die Nachhaltigkeit), jedoch nicht einzelne konkrete Kriterien vor. Die Liste der zu berücksichtigenden Punkte im Verordnungstext ist durch das Wort *insbesondere* nicht abschließend. Für die bessere Einordnung und Systematik bei der Beurteilung der *nicht-monetären* Kriterien ist es sinnvoll, diese in Kriterien der *Auswirkungen auf die Umwelt* (in Analogie zum Anhang 3 der alten BBodSchV) und der *Nachhaltigkeit* zu unterteilen. Diese Unterscheidung könnte zum Beispiel durch das Kriterium erfolgen, ob eine langfristige, generationenübergreifende „nachhaltige“ Beeinflussung oder eine eher kurzfristige „Auswirkung auf die Umwelt“ (z. B. Staub, Lärm) vorliegt. Diese systematische Unterscheidung kann helfen, die Akzeptanz von Entscheidungen in der Öffentlichkeit transparenter zu machen [19].
- 29 Bei den Kriterien zur Nachhaltigkeit ist es möglich, in Anlehnung an die Leitfäden von SuRF UK [11] zu verfahren (s. Kapitel 4). Bei der Wahl der von SuRF UK vorgeschlagenen Vorgehensweise (s. Kapitel 4) ist es zumindest erforderlich, für die einzelnen Indikatoren ein sanierungsfallunabhängiges verbindliches Punktesystem zu entwickeln und zu definieren, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, um eine bestimmte Punktzahl zu erreichen. Eine Wichtung der einzelnen Indikatoren ist vom jeweiligen Einzelfall abhängig und sollte unter den beteiligten Interessensgruppen abgestimmt werden. Damit ließe sich eine standortspezifische vergleichende Bewertung der Sanierungsvarianten vornehmen. Das Ergebnis der nicht-monetären Bewertung und die daraus resultierende Rangfolge der fallspezifisch geeigneten Verfahren sollte verbal beschrieben und konkret begründet werden [17].
- 30 Wegen der fehlenden Planungstiefe auf der Stufe der Sanierungsuntersuchung ist es in den meisten Fällen jedoch sinnvoller, eine deutlich verkürzte Betrachtung der Nachhaltigkeit anzustellen. Diese kann sich an den drei relevanten Themen der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie [3] orientieren [19]:
- Sauberes (Trink-)Wasser (übertragen: Schutz der Ressource Grundwasser),

Handbuch Altlastensanierung / 5000 Sanierungsverfahren / 5100 Überblick, Gesamtdarstellungen / 5103 Nachhaltigkeit bei Altlastensanierungen – Ein Bewertungsverfahren mit Beispielen / 5103.01 Neufassung der BBodSchV fordert mehr Nachhaltigkeit in der Altlastensanierung / 5. Ansätze zur Berücksichtigung der Nachhaltigkeit bei der Auswahl von Sanierungsverfahren

- Wirtschaftswachstum, Aufbau widerstandsfähiger Infrastruktur, Förderung der Industrialisierung, lebenswerte Städte (übertragen: Qualität der Nachnutzung oder zukünftigen Nutzbarkeit der Sanierungsfläche) sowie
- Klimaschutz (übertragen: Minimierung der CO₂-Emission)

31 Auch für diese Kriterien gilt, dass das Maß der Nachhaltigkeit nicht unmittelbar abgeleitet werden kann.

5.1 Sauberes (Trink-)Wasser

- 32 Das Kriterium *sauberes (Trink-)Wasser* ist bei einer Sanierung stets positiv belegt, da das Ziel einer Sanierung häufig eine Unterbrechung des Abströmens von belastetem Grundwasser ist (Gefahrenabwehr). Die Sanierung unterstützt damit das Nachhaltigkeitsziel *sauberes Trinkwasser*. Je nach Ausgestaltung können aber einzelne Sanierungsvarianten nicht-nachhaltige Eingriffe in den Grundwasserhaushalt verursachen. So wird bei einer *Pump-and-Treat*-Maßnahme die Ressource Grundwasser (als potenzielles Trinkwasser) dem Aquifer entzogen. Wenn keine Wiederversickerung sauberen Wassers, sondern eine Einleitung in ein Oberflächengewässer stattfindet, ist dieser Anteil der Ressource Grundwasser entzogen und die Ressource geschwächt. Insbesondere in Zeiten sinkender Grundwasserstände und Grundwasserknappheit in einigen Regionen kann dieser Punkt jetzt und in Zukunft eine höhere Relevanz als in der Vergangenheit haben.

Handbuch Altlastensanierung / 5000 Sanierungsverfahren / 5100 Überblick, Gesamtdarstellungen / 5103 Nachhaltigkeit bei Altlastensanierungen – Ein Bewertungsverfahren mit Beispielen / 5103.01 Neufassung der BBodSchV fordert mehr Nachhaltigkeit in der Altlastensanierung / 5. Ansätze zur Berücksichtigung der Nachhaltigkeit bei der Auswahl von Sanierungsverfahren / 5.2 Qualität der Nachnutzung oder zukünftigen Nutzbarkeit der Sanierungsfläche

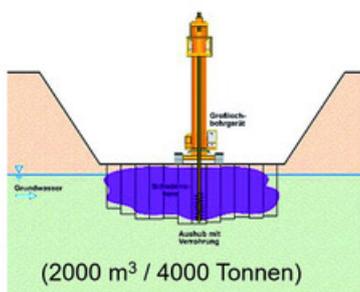
5.2 Qualität der Nachnutzung oder zukünftigen Nutzbarkeit der Sanierungsfläche

- 33 Dieses Nachhaltigkeitskriterium ist zunächst unabhängig von dem Ziel der Sanierung, welches auf die Gefahrenabwehr bei öffentlich-rechtlichen Schutzgütern (i. d. R. Grundwasser; Gesundheit von Menschen) ausgerichtet ist, zu sehen. Wird eine qualitativ höherwertige Nutzung nach der Sanierung angestrebt, ist damit ein Mehraufwand, aber auch ein Mehrwert nach der Sanierung und ein höheres Maß der Nachhaltigkeit verbunden. Eine Bewertung eines Mehrwertes könnte in grober Anlehnung an die Immobilienwertermittlungsverordnung (ImmoWertV) [24] erfolgen. Bei der Auswahl von Sanierungsverfahren im Rahmen einer Sanierungsuntersuchung wäre dieses Vorgehen jedoch sehr aufwändig. Es erscheint daher zielführender, die Aufwertung von Nachnutzungen verbal zu beschreiben und, wenn sich dadurch ein substanzieller Vorteil ergibt, diese mit den Sanierungsbeteiligten abzustimmen.

5.3 Klimaschutz

- 34 Da eine Sanierungsuntersuchung sich in einem Planungsstadium des Vorentwurfs befindet, sind nur grobe Annahmen zur Art und Menge der eingesetzten Produkte und den verfahrensspezifischen Abläufen möglich. Deshalb ist es empfehlenswert, sich zur Abschätzung der CO₂-Emissionen ausschließlich auf die Hauptemittenten zu fokussieren. Das sind in der Regel die Baumaschineneinsätze, Transporte, Entsorgungsanlagen, Energieverbräuche von technischen Anlagen und der Einsatz großer Mengen an Verbrauchstoffen.
- 35 Nach unseren Erfahrungen aus Projekten der letzten Jahre im Bereich der Altlastensanierung und des Flächenrecyclings liegt der Anteil der CO₂-Emission durch Verfahrensprozesse in den meisten Fällen weit über dem der eingesetzten Stoffe. So liegt beispielsweise bei einer Pump-and-Treat-Maßnahme der CO₂-Footprint einer Aktivkohle einschließlich Regeneration meist weit unter dem der Energie zum Betrieb der Sanierung. Allerdings kann man nicht generalisieren und jede Sanierung ist einzelfallspezifisch zu betrachten. Dies soll an dem Beispiel zweier fiktiver Sanierungsvarianten, einer *Dekontamination mit Bodenaushub*, *Bodentransport und Hochtemperatur-Verbrennung* sowie einer alternativen *Pump-and-Treat-Maßnahme* erläutert werden.
- 36 Die Differenz zwischen den beiden Sanierungsvarianten beträgt bei den in Abbildung 1 angegebenen Randbedingungen der Sanierung 480 t CO₂e. Bei der Berechnung der Emissionen der energieintensiveren Pump-and-Treat-Maßnahme wurde berücksichtigt, dass Strom in 40 Jahren klimaneutral produziert wird, und bei einem linearen Rückgang der Emissionen damit ein 20 Jahre andauernder emissionsrelevanter Energieverbrauch anzusetzen wäre, auch wenn die Maßnahme quasi unendlich laufen würde. Der Berechnung der Aktivkohle liegt eine reaktivierte Kohle (1 t CO₂e/t) zugrunde. Verwendet man nicht reaktivierte Kohle würde der Wert bei mindestens 7 t CO₂e/t [23] liegen.
- 37 **Abb. 1: Berechnung der CO₂-Emissionen bei zwei fiktiven Sanierungsvarianten Bodenaushub (links) und Pump-and-Treat (rechts) (verändert aus [21])**

Handbuch Altlastensanierung / 5000 Sanierungsverfahren / 5100 Überblick, Gesamtdarstellungen / 5103 Nachhaltigkeit bei Altlastensanierungen – Ein Bewertungsverfahren mit Beispielen / 5103.01 Neufassung der BBodSchV fordert mehr Nachhaltigkeit in der Altlastensanierung / 5. Ansätze zur Berücksichtigung der Nachhaltigkeit bei der Auswahl von Sanierungsverfahren / 5.3 Klimaschutz

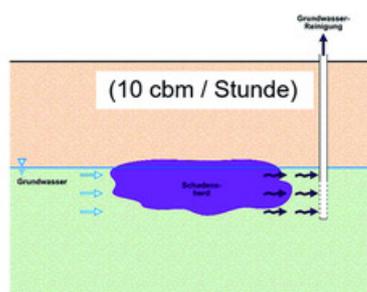


HT Verbrennung 90 Tonnen CO₂e

Transport 100 km 2 Tonnen CO₂e

Aushub 50 Tonnen CO₂e

Summe: 150 Tonnen CO₂e



Energie 30 Tonnen CO₂e /a

Aktivkohle 1,5 Tonnen CO₂e/a

Dauer 20 Jahre

Summe: 630 Tonnen CO₂e

- 38 Eine Bewertung der Abschätzungen zum CO₂-Footprint mit Hilfe von Orientierungswerten ist nicht möglich. Es gibt zwar die international anerkannte Berechnungseinheit des Kohlendioxid-Äquivalents (CO₂e), jedoch keine Orientierungswerte oder Prüfwerte, wie sie z. B. aus der Altlastenbearbeitung bekannt sind.
- 39 Ein diskutierter Vorschlag, als Maßstab die geldwerten CO₂-Emissionsrechte bzw. Emissionszertifikate heranzuziehen, ist wenig zielführend. Die gehandelten Zertifikate sind für die energieintensive Industrie gedacht und führen bei dem Vergleich von Sanierungsvarianten in der Regel zu relativ geringen Summen. Diese wiederum können den Eindruck erwecken, dass bei Betrachtung der Gesamtkosten die Einsparung von CO₂-Emissionen eher irrelevant sei. Bei dem oben beschriebenen Beispiel würde sich bei einem Handelspreis (6/23) der CO₂-Emissionszertifikate von 80 Euro je Tonne CO₂e eine geldwerte Differenz zwischen dem größeren und kleineren CO₂-Ausstoß von rd. 40 000 Euro ergeben, was im Hinblick auf die Gesamtkosten der Sanierungen als eher gering einzustufen wäre.
- 40 Um die Größenordnung gegenüber Dritten besser darzustellen, gibt es auch Diskussionsansätze, hilfsweise Verbrauchszahlen aus anderen Lebensbereichen heranzuziehen, wie zum Beispiel Diesel-Kfz-Fahrten/Jahr. Auf das Beispiel bezogen, würden die 450 t CO₂e dem CO₂-Ausstoß von rund 130 Dieselfahrzeugen (20 000 km/a) in einem Jahr entsprechen. Eine solche Zahl ist aber nicht evaluierbar und unterliegt dem individuellen

Handbuch Altlastensanierung / 5000 Sanierungsverfahren / 5100 Überblick, Gesamtdarstellungen / 5103 Nachhaltigkeit bei Altlastensanierungen – Ein Bewertungsverfahren mit Beispielen / 5103.01 Neufassung der BBodSchV fordert mehr Nachhaltigkeit in der Altlastensanierung / 5. Ansätze zur Berücksichtigung der Nachhaltigkeit bei der Auswahl von Sanierungsverfahren / 5.3 Klimaschutz

Empfinden. Deshalb ist es empfehlenswert, die Beurteilung des CO₂-Footprints nur vergleichend durchzuführen und in die Gesamtbeurteilung einzubetten.

5.4 Design von Sanierungsvarianten auf der Basis von Nachhaltigkeitszielen

- 41 Nachhaltigkeitsziele können auch schon zu Beginn der Sanierungsuntersuchung definiert werden. Dies betrifft meist vorrangig (aber nicht nur) die Schonung von Grundwasserressourcen, die Minimierung des Verbrauchs fossiler Energieträger oder die Qualitätssteigerung von Nachnutzungen der sanierten Flächen. Mit Vorgabe von Nachhaltigkeitszielen ist es möglich, Sanierungsvarianten einzelfallabhängig grün zu designen. Als Beispiel für eine Qualitätssteigerung kann ein geplantes Sanierungsbauwerk auf einem ehemaligen Flugplatzgelände dienen. Hier sind per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) im Boden vorhanden, die in das Grundwasser eingetragen werden.
- 42 Die städtebauliche Entwicklung des Geländes ist wegen der großräumig vorhandenen und inhomogen verteilten Bodenbelastungen gehemmt. Nachhaltige Ziele in diesem Fall waren eine möglichst rasche Unterbindung der Einträge in das Grundwasser und das Ermöglichen von Nachnutzungen auf Flächen mit Bodenbelastungen. Die Lösung war ein Bauwerk, das die belasteten Böden aufnimmt, sichert und in dem eine Reinigung der Böden durch eine Bodenspülung möglich ist. Der Einbau von Bodenmaterial aus Flächen vom Flughafengelände ist in einem integralen Sanierungsplan, der verschiedene, örtlich getrennte Belastungsbereiche in die Genehmigung integriert, geregelt.

6. Fazit

- 43 In der Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), die seit dem 01. August 2023 gilt, ist erstmals die Prüfung der Nachhaltigkeit in die Altlastenbearbeitung eingeführt und dort in der Phase der Sanierungsuntersuchung verortet.
- 44 In dieser erfolgt die schrittweise und systematische Ableitung des späteren Sanierungsvorschlags. Die Sanierungsvarianten werden neben den monetären Kriterien auf die so genannten „nicht-monetären“ Kriterien geprüft. Für die bessere Einordnung und Systematik bei den „nicht-monetären Kriterien“ ist es sinnvoll, in Kriterien der „Nachhaltigkeit“ und Kriterien der „Auswirkungen auf die Umwelt“ zu unterscheiden. Diese Unterscheidung kann mit Hilfe des Kriteriums erfolgen, ob eine langfristige, generationenübergreifende Beeinflussung im Sinne der „Nachhaltigkeit“ oder eine eher kurzfristige „Auswirkung auf die Umwelt“ (z. B. Staub, Lärm) vorliegt. Die vorgeschlagene systematische Unterscheidung hilft, die Akzeptanz von Entscheidungen in der Öffentlichkeit transparenter zu machen.
- 45 Eine detaillierte Prüfung der Nachhaltigkeit wäre auf Grundlage der Kriterien in Anlehnung an die Leitfäden von SuRF UK [11] möglich. Hierzu ist aber eine einzelfallspezifische Aufstellung der Kriterien und Wichtung der einzelnen Indikatoren nach Abstimmung mit den beteiligten Interessensgruppen erforderlich. Dieses Vorgehen bedarf einer größeren Planungstiefe, als sie im Regelfall bei Sanierungsuntersuchungen vorliegt.
- 46 Daher ist es in den meisten Fällen sinnvoller, eine deutlich verkürzte Betrachtung der Nachhaltigkeit anzustellen. Diese kann sich an drei relevanten Themen der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie [3] orientieren [19]:
1. „Sauberes (Trink-)Wasser“ (auf Sanierungen übertragen: Schutz der Ressource Grundwasser)
 2. „Wirtschaftswachstum, Aufbau widerstandsfähiger Infrastruktur/ Förderung der Industrialisierung, Lebenswerte Städte“ (auf Sanierungen übertragen: Qualität der Nachnutzung oder zukünftigen Nutzbarkeit der Sanierungsfläche)
 3. „Klimaschutz“ (auf Sanierungen übertragen: CO₂-Emission)
- 47 Die einzelnen Kriterien sind grundsätzlich weder bei einer detaillierteren Betrachtung (z. B. nach SURF UK) noch bei der vereinfachten Nachhaltigkeitsbetrachtung in einem einheitlich genormten System

bewertbar. Da jeder Fall ein Einzelfall ist, ist es vermutlich auch in der Zukunft nicht möglich, ein auf breiter Basis akzeptiertes, einheitliches Bewertungsverfahren zu entwickeln.

- 48 Dies scheint auch der Grund dafür zu sein, warum sich bisher kein System, das einen normierenden Ansatz verfolgt, durchgesetzt hat. Die Problematik soll ein Beispiel verdeutlichen: Die Wahl einer Sanierungsvariante, die bewirkt, dass eine Brachfläche in guter Lage in einer Stadt wieder hochwertig genutzt werden kann, ist anders zu bewerten als die Brachfläche am Rande eines kleinen Dorfes, bei der keine Nachnutzung sinnvoll ist. In beiden Fällen wird das gleiche Ziel verfolgt, die Bewertungen sind aus regionalen Gründen vollkommen unterschiedlich. Noch schwieriger bis unmöglich ist es, inhaltlich unterschiedliche Nachhaltigkeitskriterien (CO₂-Fußabdruck, Eingriff in den Wasserhaushalt, Brachflächenrecycling etc.) miteinander aufzuwägen, ohne sich dem Vorwurf der Beliebigkeit aussetzen zu müssen.
- 49 Deshalb ist es bei dem vereinfachten Ansatz empfehlenswert, die Beurteilung der Sanierungsvarianten vergleichend und an die örtliche Situation angepasst durchzuführen. Bei einer vergleichenden Beurteilung kann eine vorausgewählte Sanierungsvariante als Beurteilungsgrundlage dienen. Die Beurteilung der übrigen Varianten erfolgt dann im Vergleich zu der ausgewählten Variante. Dies kann in einer Tabelle, Matrix und verbal erfolgen und ist einzelfallabhängig.

Literatur

- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/Nachhaltigkeit> (24.04.2023)
- [2] Brundtland Commission (1987) Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987_our-common-future.pdf (24.04.2023)
- [3] Bundesregierung (2021) Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Weiterentwicklung 2021 <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998194/1875176/3d3b15cd92d0261e7a0bc8f43b7839/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-2021-langfassung-download-bpa-data.pdf> (24.04.2023)
- [4] Gropper H, Kohler W, Kohlmeier E, Schöndorf T, Schrenk V, Wabbels D (2004) Ökobilanzierung von Altlastensanierungsverfahren. Schriftenreihe altlastenforum Baden-Württemberg, Heft 9
- [5] Schrenk V (2005) Ökobilanzierung zur Bewertung von Altlastensanierungsmaßnahmen. Mitteilungen. Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart – H. 141
- [6] Held T, Slenders H, Dols P, Verburg R, De Vries A, Schreurs J (2010) Nachhaltigkeit bei der Grundwassersanierung – Synergie von Sanierung und Energiegewinnung, 5917, HdA, 62. Aktualisierung, 3. Aufl., Oktober 2010
- [7] Koschitzky H, Held T (2016) Nachhaltigkeit bei Altlastensanierungen. 25. Altlastentag Hannover
- [8] Held T, Noé K (2012) Green and Sustainable Remediation – eine Perspektive bei der Altlastenbearbeitung? Chemie Ingenieur Techni, 84, No. 7, 1062–1069
- [9] Report of the NICOLE/SAGTA Workshop: Sustainable Remediation, 2008. https://www.researchgate.net/publication/250162196_Report_of_the_NICOLESAGTA_workshop_sustainable_remediation (abgerufen 02.05.2023)
- [10] US EPA (2008) Green Remediation: Incorporating Sustainable Environmental Practices into Remediation of Contaminated Sites. EPA 542-R-08–002
- [11] <https://www.claire.co.uk/projects-and-initiatives/surf-uk> (abgerufen 01.08.2023)
- [12] Warner SD (2007) Climate change, sustainability, and ground water remediation: the connection. Ground Water Monitoring & Remediation 27, no 4, 50 – 52

- [13] Libera A, de Barros FPJ, Faybishenko B, Eddy-Dilek C, Denham M, Lipnikov K, Moulton D, Maco B, Wainwright H (2019) Climate change impact on residual contaminants under sustainable remediation. *Journal of Contaminant Hydrology* 226, *Journal of Contaminant Hydrology*, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169772219300853> (11.05.2023)
- [14] US EPA (2013) Climate change adaptation technical fact sheet: groundwater remediation systems. EPA 542-F-13-004. https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-12/documents/cr_groundwater_systems_fact_sheet_2019_update.pdf (03.05.2023)
- [15] Maco B, Bardos P, Coulon F et al., (2018): Resilient remediation: Addressing extreme weather and climate change, creating community value. *Remediation Journal* 29(1), 7 – 18
- [16] Contaminated Land: Applications in Real Environments (CL:AIRE) (ed.) (2020) Supplementary Report 2 of the SuRF-UK Framework: Selection of indicators/criteria for use in sustainability assessment for achieving sustainable remediation. ISBN 978-1-905046-34-8
- [17] LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg., 2022): Sanierungsuntersuchung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen, Leitfaden zur Untersuchung von Sanierungsverfahren, Karlsruhe
- [18] Umweltbundesamt (2023) Glossar – [https://www.umweltbundesamt.de/service/glossary/c#:~:text=Emissionen%20anderer%20Treibhausgase%20als%20Kohlendioxid,\(CO2%20%3D%201\)](https://www.umweltbundesamt.de/service/glossary/c#:~:text=Emissionen%20anderer%20Treibhausgase%20als%20Kohlendioxid,(CO2%20%3D%201)) (05.05.2023)
- [19] Reinhard M, Held T (2022) Nachhaltigkeit in der Altlastensanierung – Ist der CO₂-Fußabdruck das Maß der Dinge?, 22. Karlsruher Altlastenseminar. ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt Band 41, Karlsruhe
- [20] LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg.) (2020) Ermittlung fachtechnischer Grundlagen zur Vorbereitung der Verhältnismäßigkeitsprüfung von langlaufenden Pump-and-Treat-Maßnahme – Entwicklung einer standardisierten Vorgehensweise (Fortschreibung 2020), Karlsruhe
- [21] Reiersloh D, Reinhard M (2010) Altlastenratgeber für die Praxis; 287 Seiten Vulkan Verlag, Essen (ISBN 978-3-8027-2847-1)
- [22] Ingenieurtechnischer Verband für Altlastenmanagement und Flächenrecycling e.V. (ITVA) Hrsg. (2018) Verhältnismäßigkeitsprüfung bei der Sanierungsuntersuchung; ITVA-Arbeitshilfe H1-16, Berlin

- [23] Desotec (2017) <https://www.desotec.com/de/carbonology/anwendungsfalle/reaktivierte-aktivkohle-sorgt-f-r-geringeren-co2-ausstoss> (abgerufen 08.05.2023)
- [24] Verordnung über die Grundsätze für die Ermittlung der Verkehrswerte von Immobilien und der für die Wertermittlung erforderlichen Daten (Immobilienwertermittlungsverordnung – ImmoWertV) vom 14. Juli 2021 (BGBl. I S. 2805)
- [25] LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1998: Umweltbilanzierung von Altlastensanierungsverfahren CD-ROM für die Betriebssysteme Microsoft Windows 95 und Microsoft Windows NT 4.0 sowie Methodenbeschreibung, erstellt von der C.A.U. GmbH
- [26] Wunsch A, Liesch T, Broda S (2022) Deep learning shows declining groundwater levels in Germany until 2100 due to climate change. Nature Communications DOI: 10.1038/s41467-022-28770-2. <https://www.nature.com/articles/s41467-022-28770-2>
- [27] Auswahl von Tools unter SURF: <https://www.sustainable-remediation.org/online-resources> (abgerufen 26.06.2023)