Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz

Arbeitshilfe

Anforderungen an eine Sanierungsuntersuchung unter Berücksichtigung von Nutzen-Kosten-Aspekten

von

Dr. Peter Dreschmann

focon – Ingenieurgesellschaft mbH, Aachen

Im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen

Essen, 2000

Vorbemerkung

Bei der Erarbeitung dieser Arbeitshilfe wurden die Ergebnisse des Untersuchungsvorhabens im Auftrag des Landesumweltamtes NRW "Auswahl und Bewertung geeigneter Sanierungsverfahren für Altstandorte und Altablagerungen (BESAL)" in großen Teilen berücksichtigt. Das v. g. Untersuchungsvorhaben wurde vom Lehrstuhl für Grundbau und Bodenmechanik der Ruhr-Universität Bochum (Prof. Jessberger, Projektleiter Dr. Neteler) bearbeitet und vom Landesumweltamt NRW fachlich begleitet.

Impressum

Herausgeber:	Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA NRW) Wallneyer Straße 6 • 45133 Essen • Telefon (02 01) 79 95 - 0 • Telefax (02 01) 79 95 – 14 48 E-Mail: poststelle@lua.nrw.de
Erscheinungsort/-datum:	Essen, 2000
Projektleitung und Gesamtredaktion:	Dipl.-Ing. Michael Odensaß Dipl.-Ing. Stefan Schroers Landesumweltamt NRW
Schriftenvertrieb:	Gemeinnützige Werkstätten Neuss, Am Krausenbaum 11, 41464 Neuss, Telefax (0 21 31) 74502110
Umschlaggestaltung:	Werbeagentur Scharke, Düsseldorf
Druck:	Druckerei JVA Geldern
ISSN:	1432-3575
Informationsdienste des LUA NRW:	Umweltdaten aus NRW, Fachinformationen: • Internet unter http://www.lua.nrw.de • WDR-Videotext, 3. Fernsehprogramm, Tafeln 177-179
	Gedruckt auf 100 % Altpapier ohne Chlorbleiche

Vorwort

Nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) soll die zuständige Behörde vom Verpflichteten einer Altlast die notwendigen Untersuchungen zur Entscheidung über Art und Umfang der erforderlichen Maßnahmen verlangen. Im Rahmen dieser Sanierungsuntersuchung sind neben den technischen Möglichkeiten auch die für die Durchführung der Maßnahmen entscheidungserheblichen rechtlichen, organisatorischen und finanziellen Randbedingungen zu prüfen. In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) wird auch ausdrücklich die Durchführung von Untersuchungen zum Verhältnis von Kosten und Wirksamkeit verlangt. Bisher liegen dazu keine konkretisierenden Regelungen vor.

Das Landesumweltamt hat daher eine Arbeitshilfe veröffentlicht, in der die Vorgehensweise bei der Durchführung einer Sanierungsuntersuchung unter Berücksichtigung der Anforderungen aus Anhang 3 der BBodSchV dargestellt werden. Dabei wird insbesondere eingegangen auf:

- die Projektvorbereitung,
- die Grundlagenermittlung und ergänzende Standortuntersuchungen,
- die Machbarkeitsstudie einschließlich aller Teilarbeitsschritte und Entscheidungshilfen,
- das Maßnahmenkonzept und
- die Anforderungen an ein Gutachten zur Sanierungsuntersuchung.

Ein besonderer Schwerpunkt der Arbeitshilfe sind die Nutzen-Kosten-Aspekte. Es werden die existierenden und für die Entscheidung über Altlastensanierungen in Frage kommenden Methoden zur Kostenvergleichsrechnung, Kosten-Wirksamkeits-Analyse und Kosten-Nutzen-Analyse beschrieben und die für die Praxis geeigneten Methoden an einem Fallbeispiel exemplarisch dargestellt.

Essen, im Juli 2000

Dr.-Ing. Harald Irmer
Präsident des
Landesumweltamtes
Nordrhein-Westfalen

Inhaltsverzeichnis

Seite

1 Einführung 13

2 Generelle Anforderungen an eine Sanierungsuntersuchung 15

2.1 Arbeitsschritte der Sanierungsuntersuchung 15
2.2 Projektvorbereitung 19
2.2.1 Beteiligte 19
2.2.2 Vorarbeiten des Auftraggebers 23
2.2.3 Vergabe und Honorierung 26
2.2.4 Sanierungsziel 27
2.3 Grundlagenermittlung 29
2.3.1 Bestandsaufnahme und Ortsbesichtigungen 29
2.3.2 Planung der weiteren Arbeitsschritte 31
2.3.3 Dokumentation 31
2.4 Ergänzende Standortuntersuchung 32
2.4.1 Untersuchungsprogramm 33
2.4.2 Sofortmaßnahmen 36
2.4.3 Dokumentation 37
2.4.3.1 Tätigkeitsberichte 37
2.4.3.2 Aktuelle Standortbeschreibung 37
2.4.3.3 Bewertung der Daten 39
2.5 Machbarkeitsstudie 39
2.5.1 Festlegung von Sanierungszonen 40
2.5.2 Auswahl geeigneter Sanierungstechniken/-verfahren 40
2.5.3 Eignungsuntersuchungen 45
2.5.4 Erarbeitung von Sanierungsszenarien 47
2.5.5 Fachliche Bewertung der Sanierungsszenarien 50
2.5.5.1 Bewertungskriterien 51
2.5.5.2 Durchführung der Bewertung 55
2.5.6 Kostenschätzung 56
2.5.7 Nutzen-Kosten-Untersuchung 57
2.5.8 Vorgeschlagenes Maßnahmenkonzept 59
2.5.9 Dokumentation 60

2.6 Präsentation des vorgeschlagenen Maßnahmenkonzeptes 61
2.7 Behördliche Prüfung 62
2.8 Erarbeitung des abgestimmten Maßnahmenkonzeptes 63
2.9 Gutachten zur Sanierungsuntersuchung 64
2.10 Nachfolgende Schritte 66
2.10.1 Öffentlich-rechtlicher Vertrag 66
2.10.2 Sanierungsplan 68
2.11 Begriffsbestimmungen 69

3 Anforderungen an eine Nutzen-Kosten-Untersuchung im Rahmen einer Sanierungsuntersuchung 75

3.1 Methodik der Nutzen-Kosten-Untersuchung 75
3.2 Voraussetzungen für die Anwendung 78
3.2.1 Vorgaben des Auftraggebers 78
3.2.2 Ermittlung des Nutzens 79
3.2.3 Kostenschätzung 80
3.3 Kostenvergleichsrechnung 81
3.3.1 Methodenbeschreibung 81
3.3.2 Anwendungsbereich 85
3.3.3 Zusammenstellung der bewertungsrelevanten Kosten 85
3.3.4 Ermittlung der Kostenbarwerte und Jahreskosten 86
3.3.5 Kostengegenüberstellung 96
3.3.6 Sensitivitätsanalyse 97
3.3.7 Gesamtbeurteilung und Empfehlung 99
3.3.8 Anwendung des LAWA-Software-Paketes 100
3.4 Kostenwirksamkeitsanalyse 103
3.4.1 Methodenbeschreibung 103
3.4.2 Anwendungsbereich 104
3.4.3 Nutzenermittlung 105
3.4.4 Ermittlung der Kostenbarwerte 117
3.4.5 Nutzen-Kosten-Vergleich 117
3.4.6 Sensitivitätsanalyse 122
3.4.7 Gesamtbeurteilung und Empfehlung 122
3.4.8 Anwendung des Softwarepaketes „Umweltbilanzierung von Altlastensanierungsverfahren“ 122
3.5 Kosten-Nutzen-Analyse 126
3.5.1 Methodenbeschreibung 126
3.5.2 Anwendungsbereich 129

3.5.3 Nutzenermittlung 129
3.5.4 Ermittlung der Kostenbarwerte 133
3.5.5 Nutzen-Kosten-Vergleich 134
3.5.6 Sensitivitätsanalyse 134
3.5.7 Gesamtbeurteilung und Empfehlung 134
3.6 Fallbeispiel für die exemplarische Durchführung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen 135
3.6.1 Zusammenfassende Darstellung der Randbedingungen des Fallbeispiels 135
3.6.1.1 Ausgangsdaten 135
3.6.1.2 Zielsetzung der Sanierungsuntersuchung 136
3.6.1.3 Geeignete Sanierungsszenarien 137
3.6.1.4 Geschätzte Kosten der Sanierungsszenarien 139
3.6.2 Kostenvergleichsrechnung 144
3.6.2.1 Berechnung der Kostenbarwerte 144
3.6.2.2 Gegenüberstellung der Kosten 152
3.6.2.3 Sensitivitätsanalyse 152
3.6.2.4 Gesamtbeurteilung 157
3.6.3 Kostenwirksamkeitsanalyse 157
3.6.3.1 Nutzwertanalytische Bewertung des Nutzens 157
3.6.3.2 Berechnung der Kostenbarwerte 165
3.6.3.3 Nutzen-Kosten-Verhältnis der Sanierungsszenarien 166
3.6.3.4 Sensitivitätsanalyse 168
3.6.3.5 Gesamtbewertung 170
3.7 Empfehlungen für die Anwendung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen 170

4 Weiterführende Literatur 174

Anhang 1 179

Anhang 2 192

Anhang 3 200

Anhang 4 231

Abbildungsverzeichnis

		Seite
Abbildung 1	Einordnung der Sanierungsuntersuchung in die Arbeitsschritte der Altlastenbehandlung	17
Abbildung 2	Fließdiagramm	22
Abbildung 3	Systematik der Zuordnung von Szenarien zum jeweiligen Sanierungsziel (beispielhaft)	25
Abbildung 4	Matrix zur Prüfung der schadstoffspezifischen Eignung von Dekontaminationsverfahren	42
Abbildung 5	Matrix zur Prüfung der bodenspezifischen Eignung von Dekontaminationsverfahren	43
Abbildung 6	Matrix zur Prüfung der wirkungspfadspezifischen Eignung der Sicherungsverfahren	44
Abbildung 7	Kriterien und Indikatoren zur Bewertung des Nutzens	52
Abbildung 8	Systematische Darstellung zur Zuordnung von bewertungsrelevanten Indikatoren und Komponenten (beispielhaft)	55
Abbildung 9	Arbeitsschritte der Sanierungsuntersuchung mit Ausrichtung auf die bei der Nutzen-Kosten-Untersuchung (NKU) zu bearbeitenden Teilschritte	77
Abbildung 10	Arbeitsschritte zur Durchführung der Kostenvergleichsrechnung (KVR)	84
Abbildung 11	Veranschaulichung der zeitlichen Gewichtung von Kostengrößen bei der Kostenvergleichsrechnung (abgeändert nach LAWA)	86
Abbildung 12	Sensitivitätsanalyse bezüglich des Zinssatzes (abgeändert nach LAWA)	99
Abbildung 13	Grundkonzept des LAWA-Software-Paketes (abgeändert nach LAWA)	102
Abbildung 14	Arbeitsschritte zur Durchführung der Kostenwirksamkeitsanalyse (KWA)	104
Abbildung 15	Beispielhafte Zuordnung der bewertungsrelevanten Indikatoren	107
Abbildung 16	Bewertungsbereich für den Indikator „Sanierungszielerfüllung“	109
Abbildung 17	Bewertungsbereich für den Indikator „Wirkungsdauer“	109
Abbildung 18	Bewertungsbereich für den Indikator „Überwachbarkeit“	110
Abbildung 19	Bewertungsbereich für den Indikator „Wiederherstellbarkeit“	110

Abbildung 20 Bewertungsbereich für den Indikator „Beeinträchtigung Betroffener“ 111
Abbildung 21 Qualitativer Bewertungsbereich für den Indikator „Beeinträchtigung der Umwelt“ 111
Abbildung 22 Bewertungsbereich für den Indikator „Abfallentstehung, -verwertung und -beseitigung“ 112
Abbildung 23 Bewertungsbereich für den Indikator „Nutzungsmöglichkeiten“ 112
Abbildung 24 Bewertungsbereich für den Indikator „Haftungssicherheit“ 113
Abbildung 25 Bewertungsbereich für den Indikator „Stadtstrukturelle Funktion“ 113
Abbildung 26 Nutzwertanalytische Bewertung der Indikatoren, beispielhaft für das Kriterium „Wirkungsdauer“; Teilbewertung der Indikatoren 114
Abbildung 27 Nutzwertanalytische Bewertung der Kriterien; Gesamtbewertung eines Szenarios 116
Abbildung 28 Beispielhafte Darstellung von Bewertungsprofilen für eine Kostenwirksamkeitsbewertung 120
Abbildung 29 Graphische Darstellung des Kosten-Nutzenverhältnisses 121
Abbildung 30 Arbeitsschritte zur Durchführung der Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) 128
Abbildung 31 Nutzenprofile der Bewertungskriterien „Wirksamkeit“ (K1), „Auswirkungen“ (K2) und „Grundstücksqualität“ (K3) 167

Tabellenverzeichnis

		Seite
Tabelle 1	Verfahrensspezifische Untersuchungen	35
Tabelle 2	Durchzuführende Arbeiten in Abhängigkeit von der gewählten Methode zur Nutzen-Kosten-Untersuchung	80
Tabelle 3	Durchschnittliche Nutzungsdauer für Anlagen und Bauwerke (LAWA 1998)	95
Tabelle 4	Gewichtungsbereiche für Kriterien und Indikatoren	117
Tabelle 5	Allgemeines Beispiel einer Kosten-Nutzenmatrix	118
Tabelle 6	Beispiel für ein vorzugswürdiges Sanierungsszenario (Szenario 4)	118
Tabelle 7	Gliederung der Methode zur Umweltbilanzierung von Altlastensanierungsverfahren (abgeändert nach LfU, 1998)	124
Tabelle 8	Datenstruktur der Schritte eins bis vier der Umweltbilanzierung (abgeändert nach LfU, 1998)	125
Tabelle 9	Beispiel für den Monetisierungsbereich des Indikators „Nutzungsmöglichkeiten“	131
Tabelle 10	Beispiel für den Monetisierungsbereich des Indikators „Haftungssicherheit“	133
Tabelle 11	Daten des Musterstandortes (Auszug)	136
Tabelle 12	Handlungsschwellenwerte für das Grundwasser	137
Tabelle 13	Leistungen und Kosten des Sanierungsszenarios 1 aus der Kostenschätzung	141
Tabelle 14	Leistungen und Kosten des Sanierungsszenarios 2 aus der Kostenschätzung	142
Tabelle 15	Leistungen und Kosten des Sanierungsszenarios 3 aus der Kostenschätzung	143
Tabelle 16	Kostengruppen des Szenario 1 (Bruttoangaben)	145
Tabelle 17	Kostengruppen des Szenarios 2 (Bruttoangaben)	146
Tabelle 18	Kostengruppen des Szenarios 3 (Bruttoangaben)	147
Tabelle 19	Kostenreihe (nicht maßstabgerecht), Barwerte und Jahreskosten des Szenarios 1	149
Tabelle 20	Kostenreihe (nicht maßstabgerecht), Barwerte und Jahreskosten des Szenarios 2	150
Tabelle 21	Kostenreihe (nicht maßstabgerecht), Barwerte und Jahreskosten des Szenarios 3	151
Tabelle 22	Szenarienbarwerte für Zinssätze von 2, 3 und 5 % p. a. bei 80 a	154

Tabelle 23	Sensitivitätsanalyse des Sanierungsszenarios 2 für einen Untersuchungszeitraum von 100 Jahren	155
Tabelle 24	Sensitivitätsanalyse des Sanierungsszenarios 3 für einen Untersuchungszeitraum von 100 Jahren	156
Tabelle 25	Übersicht über die bewertungsrelevanten Indikatoren des Sanierungsszenarios 1	158
Tabelle 26	Übersicht über die bewertungsrelevanten Indikatoren des Sanierungsszenarios 2	158
Tabelle 27	Übersicht über die bewertungsrelevanten Indikatoren des Sanierungsszenarios 3	159
Tabelle 28	Bewertungspunkte für die Sanierungsszenarien 1, 2 und 3	160
Tabelle 29	Nutzwertanalytische Bewertung des Sanierungsszenarios 1	162
Tabelle 30	Nutzwertanalytische Bewertung des Sanierungsszenarios 2	163
Tabelle 31	Nutzwertanalytische Bewertung des Sanierungsszenarios 3	164
Tabelle 32	Nutzen-Kosten-Verhältnisse bezogen auf die Szenarienbarwerte (i = 3 % p. a. und 80 a)	166
Tabelle 33	Nutzen-Kosten-Verhältnisse der Sensitivitätsanalyse bezogen auf einen Zinssatz von i = 2 % p. a. bei einem Untersuchungszeitraum von 80 Jahren	168
Tabelle 34	Nutzen-Kosten-Verhältnisse der Sensitivitätsanalyse bezogen auf einen Zinssatz von i = 5 % p. a. bei einem Untersuchungszeitraum von 80 Jahren	168
Tabelle 35	Nutzen-Kosten-Verhältnisse der Sensitivitätsanalyse bezogen auf einen Untersuchungszeitraum von 100 Jahren bei einem Zinssatz von i = 3 % p. a.	169
Tabelle 36	Gegenüberstellung der Bewertungsverfahren zur Durchführung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen bei der Sanierungsuntersuchung	171
Tabelle 37	Vor- und Nachteile der für die Sanierungsuntersuchung empfohlenen Verfahren zur Nutzen-Kosten-Untersuchung	173

1 Einführung

Nach §13 (BBodSchG) wird unter bestimmten Voraussetzungen (Verschiedenartigkeit der erforderlichen Maßnahmen bei Altlasten oder Vorliegen von „in besonderem Maße“ schädlichen Bodenverunreinigungen oder sonstigen Gefahren) vom Sanierungspflichtigen die Vorlage einer Sanierungsuntersuchung verlangt. Voraussetzung hierfür ist die von der zuständigen Behörde auf der Grundlage einer Gefährdungsabschätzung getroffene Feststellung, dass von einer Fläche eine Gefahr für die öffentliche Sicherheit ausgeht (Gefahrenabwehr nach Ordnungsrecht). Andererseits kann durch eine künftige Nutzung auf einem Grundstück bzw. eine beabsichtigte Nutzungsänderung die Notwendigkeit für eine Sanierungsuntersuchung bestehen (Gefahrenvorsorge nach BauGB). Für beide Fälle wird im nachfolgenden von einer sanierungsbedürftigen Fläche gesprochen. Da grundsätzlich eine einzelfallbezogene Sanierungslösung erarbeitet werden muss, ist in Abhängigkeit vom Sanierungsziel, den betroffenen Schutzgütern, der planungsrechtlich zulässigen bzw. vorgesehenen Nutzung, den jeweiligen Standortverhältnissen sowie sonstigen individuellen Randbedingungen ein geeignetes Maßnahmenkonzept für die Sanierung zu erarbeiten. Vom Gutachter wird ein für die Sanierung geeignetes Maßnahmenkonzept vorgeschlagen. Nach Prüfung der Sanierungsuntersuchung durch die zuständige Behörde wird von ihr das zu realisierende abgestimmte Maßnahmenkonzept festgelegt.

Ziel der Sanierungsuntersuchung ist deshalb die einzelfallbezogene Ermittlung eines technisch geeigneten, rechtlich zulässigen und verhältnismäßigen Konzeptes für Maßnahmen zur Abwehr der von der einzelnen Fläche aktuell bzw. zukünftig ausgehenden Gefahren für die öffentliche Sicherheit.

Die Sanierungsuntersuchung dient der zuständigen Behörde und dem Verpflichteten bzw. Sanierungsträger als Grundlage für die Entscheidung, welches der möglichen Sanierungsszenarien im Einzelfall zur Umsetzung kommen soll.

Im Rahmen der Sanierungsuntersuchung sind neben den Gutachter- und Ingenieurleistungen im allgemeinen auch VOB- bzw. VOL-Leistungen zu erbringen (u. a. Pegelerstellung, Brunnenbau, Probenahme und Analytik). Die nachfolgend ausgeführten Arbeitsschritte umfassen schwerpunktmäßig die Gutachter-/Ingenieurleistungen (wie z. B. Begutachtung, Planung, Koordination und Betreuung der Leistungen Dritter). Darüber hinaus kann für spezielle Fragen die Hinzuziehung von Experten, wie z. B. Toxikologen, erforderlich werden.

Die Arbeitshilfe „Anforderungen an eine Sanierungsuntersuchung unter Berücksichtigung von Nutzen-Kosten-Aspekten“ berücksichtigt die rechtlichen Rahmenbedingun-

gen des Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG). Sie gliedert sich in die beiden Teile

- Generelle Anforderungen an eine Sanierungsuntersuchung und
- Anforderungen an eine Nutzen-Kosten-Untersuchung.

Im Anhang 3 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) wird für die Sanierungsuntersuchung gefordert, dass bei den geeigneten Sanierungsszenarien"das Verhältnis von Kosten und Wirksamkeit" zu prüfen ist.

Auch nach § 7 der Landeshaushaltsordnung NW bzw. den Haushaltsordnungen anderer Bundesländer sind für Maßnahmen von erheblicher finanzieller Bedeutung Nutzen-Kosten-Untersuchungen durchzuführen, um die Grundsätze von Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit zu beachten. Auch die Gemeinden haben nach § 75 Abs. 2 Gemeindeordnung NW den Haushalt sparsam und wirtschaftlich zu führen und dementsprechend diese Aspekte zu beachten.

Ziel der Nutzen-Kosten-Untersuchung ist es, im Einzelfall den Nutzen der einzelnen Sanierungsalternativen in Relation zu den jeweiligen Kosten zu setzen, damit die Entscheidung für eine gleichermaßen geeignete und wirtschaftliche Sanierungslösung getroffen werden kann.

Aufgrund fehlender Vorgaben und mangelnder Erfahrung beschränkt sich der Vergleich verschiedener geeigneter Sanierungsalternativen in der Praxis bisher auf eine Diskussion der technischen Vor- und Nachteile sowie auf eine reine Kostengegenüberstellung.
Häufig werden Sanierungsalternativen miteinander verglichen, ohne deren unterschiedlichen Nutzen zu bewerten und zu berücksichtigen. Weiterhin wurden bisher häufig nur einmalige Investitionskosten miteinander verglichen, ohne die weiteren oder laufenden Kosten im Rahmen der Nachsorge in den Kostenvergleich mit einzubeziehen.

Es werden in dieser Arbeitshilfe daher die existierenden und für die Entscheidung über Altlastensanierungen in Frage kommenden Methoden zur Kostenvergleichsrechnung, Kosten-Wirksamkeits-Analyse und Kosten-Nutzen-Analyse beschrieben und die für die Praxis geeigneten Methoden an einem Fallbeispiel exemplarisch dargestellt.

2 Generelle Anforderungen an eine Sanierungsuntersuchung

2.1 Arbeitsschritte der Sanierungsuntersuchung

Nach § 13 BBodSchG soll die zuständige Behörde bei Altlasten, bei denen wegen der Verschiedenartigkeit der erforderlichen Maßnahmen ein abgestuftes Vorgehen notwendig ist oder von denen auf Grund von Art, Ausbreitung oder Menge der Schadstoffe in besonderem Maße schädliche Bodenveränderungen oder sonstige Gefahren für den Einzelnen oder die Allgemeinheit ausgehen, vom Verpflichteten die notwendigen Untersuchungen zur Entscheidung über Art und Umfang der erforderlichen Maßnahmen verlangen.

Eine qualifizierte Sanierungsuntersuchung besteht i. d. R. aus einzelnen Arbeitsschritten mit ihrer jeweils speziellen Bedeutung für ein schlüssiges und nachvollziehbares Ergebnis. Sowohl bei großen als auch bei kleinen Sanierungsfällen sollten alle Arbeitsschritte bearbeitet werden, wobei jedoch in Abhängigkeit vom Einzelfall eine vereinfachte Vorgehensweise möglich ist. Bei Bagatell- bzw. Routinefällen sowie Maßnahmen, wo aus ähnlich gelagerten Fällen geeignete Sanierungsszenarien abgeleitet werden können, oder ein geeignetes und verhältnismäßiges Sanierungsszenario ganz offensichtlich auf der Hand liegt, kann sich der Aufwand deutlich reduzieren. Die Sanierungsuntersuchung umfasst nachfolgende Arbeitsschritte:

- Formulierung des vorläufigen Sanierungsziels,
- Grundlagenermittlung,
- ergänzende Standortuntersuchungen,
- Machbarkeitsstudie
  - Festlegung von Sanierungszonen,
  - Auswahl geeigneter Sanierungstechniken/-verfahren,
  - Erarbeitung von Sanierungsszenarien,
  - fachliche Bewertung der Sanierungsszenarien,
  - Kostenschätzung,
  - Nutzen-Kosten-Untersuchung,
  - Konkretisierung des Sanierungsziels,
  - vorgeschlagenes Maßnahmenkonzept,

- Präsentation des vorgeschlagenen Maßnahmenkonzeptes sowie
- Ausarbeitung des abgestimmten Maßnahmenkonzeptes.

Die Bearbeitung der in Abbildung 1 dargestellten Arbeitsschritte sollte nicht starr nacheinander erfolgen, vielmehr ist durch eine kontinuierliche Berücksichtigung der unterschiedlichen Einflussgrößen und Teilergebnisse sowie eine ständige Abstimmung zwischen den an der Sanierungsuntersuchung Beteiligten eine effektive optimierte Projektbearbeitung zu gewährleisten.

Gemäß BBodSchG sind mit der Sanierungsuntersuchung die zur Erfüllung der Pflichten nach § 4 Abs. 3 BBodSchG geeigneten, erforderlichen und angemessenen Maßnahmen zu ermitteln, und von der zuständigen Behörde bezüglich der in Anhang 3 BBodSchV aufgeführten Kriterien zu prüfen. Die Sanierungsuntersuchung ist der Arbeitsschritt, der bei einer zu sanierenden Fläche (festgestellte Altlast oder einer im Hinblick auf eine künftige Nutzung zu sanierenden Fläche) grundsätzlich vor dem Sanierungsplan sowie der anschließenden Sanierungsplanung durchzuführen ist.

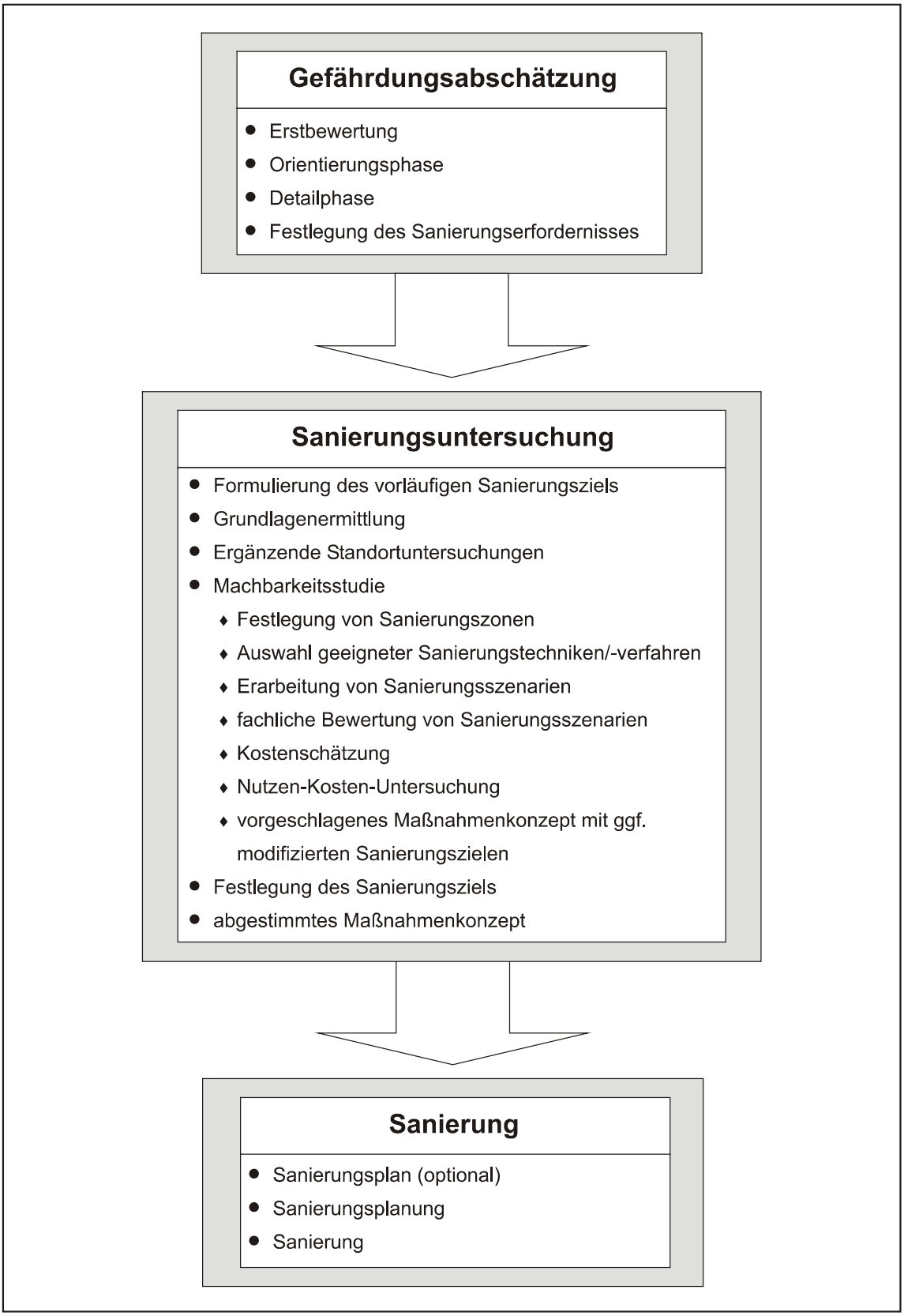


Abbildung 1 *Einordnung der Sanierungsuntersuchung in die Arbeitsschritte der Altlastenbehandlung*

Bezogen auf die derzeit gültige HOAI vom Januar 1996 entspricht die Sanierungsuntersuchung prinzipiell den Planungsschritten „Grundlagenermittlung“ und „Vorplanung“. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die in der HOAI im Teil VII § 55 in den jeweiligen Leistungsphasen definierten Grundleistungen und Besonderen Leistungen aufgrund der allgemeinen Ausrichtung den Anforderungen an die Gutachterleistungen im Rahmen der Sanierungsuntersuchung nicht vollständig gerecht werden.

Die Sanierungsuntersuchung bildet die Grundlage für die nachfolgende Entwurfs-, Genehmigungs- und Ausführungsplanung.

Zum besseren Verständnis des Gesamtzusammenhangs sind nachfolgend die einzelnen Bearbeitungsschritte kurz erläutert (siehe Abbildung 2).

Als Vorgabe für die Sanierungsuntersuchung wird von der zuständigen Behörde das vorläufige Sanierungsziel formuliert (siehe Kapitel 2.2.4). Im Rahmen der Grundlagenermittlung erfolgt die Klärung der Aufgabenstellung, die Prüfung der vorliegenden Unterlagen, Ortsbesichtigungen zur Aufnahme der aktuellen Standortverhältnisse sowie eine aktuelle Zusammenstellung sämtlicher Daten und Informationen.

In Abhängigkeit von der Datengrundlage aus der Gefährdungsabschätzung sind u. U. bezogen auf die als grundsätzlich geeignet ermittelten Sanierungstechniken/-verfahren abgestimmte verfahrens-/bautechnische Standortuntersuchungen (Feld- und Laboruntersuchungen) durchzuführen. Ggf. können auch Untersuchungen zur Eingrenzung der Belastungssituation erforderlich sein. Die ermittelten Daten bilden die Grundlage zur Ableitung der kontaminierten Massen bzw. Frachten in den entsprechenden Umweltmedien bzw. Bausubstanzen.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse und des Sanierungsziels wird die zu sanierende Fläche gegebenenfalls in unterschiedlich zu sanierende Zonen aufgeteilt. Anschließend erfolgt die Auswahl grundsätzlich geeigneter Sanierungstechniken/-verfahren (Dekontamination und/oder Sicherung) bezüglich ihrer Einsatzmöglichkeit für die Sanierung der Gesamtfläche bzw. der Sanierungszonen.

Im nächsten Schritt sind für die grundsätzlich verfügbaren und geeigneten Sanierungstechniken/-verfahren oder deren Kombinationen realisierbare standortbezogene Sanierungsszenarien zu erarbeiten. Diese müssen sowohl die gesetzlichen Regelungen als auch die einzelfallspezifisch festgelegten Vorgaben der zuständigen Behörde erfüllen. Um aus den alternativen Szenarien eine qualifizierte Auswahl treffen zu können, sind diese einer fachlichen Bewertung zu unterziehen. Die Bewertung ist ohne Berücksichtigung der Kosten durchzuführen.

Die anschließende Kostenschätzung wird nur für die geeigneten Sanierungsszenarien durchgeführt. Hierbei sind für sämtliche Haupt- und Nebenleistungen die Investitions-, Betriebs-, Nachsorge- und Folgekosten zu kalkulieren. Abschließend sind die

geeigneten Sanierungsszenarien im Rahmen einer Nutzen-Kosten-Untersuchung vergleichend gegenüberzustellen und zu bewerten.

Auf der Grundlage der Ergebnisse sämtlicher Arbeitsschritte wird vom Gutachter ein Maßnahmenkonzept vorgeschlagen und von der zuständigen Behörde geprüft.

Danach wird von der zuständigen Behörde ein mit allen Beteiligten abgestimmtes, ggf. auch vom Gutachtervorschlag abweichendes Sanierungsszenario und das Sanierungsziel festgelegt.

Das ausgewählte Sanierungsszenario wird als abgestimmtes Maßnahmenkonzept ausgearbeitet.

2.2 Projektvorbereitung

Wurde von der zuständigen Behörde die Erstellung einer Sanierungsuntersuchung gegenüber dem Verpflichteten angeordnet, so ist vor der Beauftragung eines Gutachters eine systematische Projektvorbereitung erforderlich. Hierzu sind u. a. sämtliche projektspezifischen Randbedingungen sowie die am Projekt zu Beteiligenden festzulegen, so dass darauf aufbauend eine Projektorganisation mit einer klaren Definition die jeweiligen Zuständigkeiten und Aufgaben aufgestellt werden kann. Bereits in dieser Phase ist festzulegen, welche Leistungen vom Verpflichteten selbst erbracht werden bzw. welche Aufgaben von einem Projektsteuerer bzw. Gutachter zu übernehmen sind.

2.2.1 Beteiligte

Beteiligte bei der Durchführung einer Sanierungsuntersuchung im Rahmen von Gefahrenabwehrmaßnahmen sind i. d. R. der Verpflichtete bzw. der Sanierungsträger, die zuständige Behörde – je nach Fallgestaltung Kreisordnungsbehörde (KrOrdB), Bezirksregierung (BezReg) oder Bergamt (BA) – der Gutachter sowie die unmittelbar Betroffenen. Werden alleine die Belange des Bauplanungsrechtes und dabei die Aspekte der Gefahrenvorsorge berührt, sind die zuständigen Behörden die kommunalen Planungsbehörden.

Häufig werden auch die entsprechenden politischen Gremien an den Entscheidungsprozessen beteiligt.

Gemäß BBodSchG soll die zuständige Behörde von einem zur Sanierung Verpflichteten die Durchführung der Sanierungsuntersuchung verlangen. Im Einzelnen kann dies sein: der Verursacher, dessen Gesamtrechtsnachfolger oder derjenige, der aufgrund gesetzlicher Vorschriften für das Verhalten des Verursachers einzustehen hat, der Grundstückseigentümer oder der Inhaber der tatsächlichen Gewalt über ein Grundstück.

Die Sanierungsuntersuchung kann auch von einem Sanierungsträger, wie beispielsweise dem Abfallentsorgungs- und Altlastensanierungsverband (AAV), Landesentwicklungsgesellschaften, privaten Dritten (z. B. Investoren) oder der Kommune als Verpflichteter oder in Ersatzvornahme durchgeführt werden.

Die zuständige Behörde ergibt sich aus der jeweils gültigen Zuständigkeitsverordnung.

In Fällen, bei denen sowohl Gefahrenabwehr als auch Gefahrenvorsorgeaspekte eine Rolle spielen, haben die jeweils zuständigen Behörden eine entsprechende Abstimmung vorzunehmen.

Gutachter im Sinne dieser Schrift ist ein Sachverständiger (natürliche Person), der über besondere Sachkunde, ständige Weiterbildung, Zuverlässigkeit, Integrität, Verschwiegenheit und die erforderliche gerätetechnische Ausrüstung verfügt. Der besseren Lesbarkeit halber wird auch vom Gutachter gesprochen, wenn der Auftrag zusätzliche Planungsleistungen beinhaltet.

Neben den direkt an der Erarbeitung einer Sanierungsuntersuchung Beteiligten sind insbesondere bei bewohnten Altlasten die Betroffenen frühzeitig und unaufgefordert zu informieren und ggf. anzuhören (§ 11 LbodSchG NW). Damit wird ihnen die Möglichkeit gegeben, sich über die Auswirkungen der Sanierungsmaßnahme bezogen auf ihre Belange zu informieren und diese beurteilen zu können. Durch eine rechtzeitige Information der Betroffenen wird diesen die Möglichkeit gegeben, Bedenken und Anregungen gegenüber dem Sanierungspflichtigen oder der zuständigen Behörde geltend machen zu können, wodurch eine breite Akzeptanz geschaffen und die Durchführung der Sanierung erleichtert wird. Zur Gruppe der Betroffenen zählen Personen oder Personengruppen, die im Bereich einer Altlast wohnen, sich dort regelmäßig aufhalten oder deren Belange sonst berührt sind, wie z. B. Grundstückseigentümer, regelmäßige Nutzer von Grundstücken, Nutzungsberechtigte wie Mieter und Pächter sowie Personen, die bei der Durchführung einer Sanierungsmaßnahme vorübergehend zum Kreis der Betroffenen zählen (z. B. Nachbarschaft).

Die Kommune hat als für die Bauleitplanung zuständige Behörde für die Bauleitplanung oder bei festgestellten Bodenbelastungen im Geltungsbereich eines rechtsgültig verabschiedeten Bebauungsplans (B-Plan) sicherzustellen, dass bei Sanierungsuntersuchungen die zusätzlich zu Maßnahmen der Gefahrenabwehr erforderlichen Anforderungen der bauplanungsrechtlichen Gefahrenvorsorge berücksichtigt werden.

Da bei der Sanierungsuntersuchung im Einzelfall ggf. auch weitergehende Aspekte (u. a. Stadtplanung und Umweltpolitik) tangiert werden, sollte zur Verbesserung des Bearbeitungsablaufes und zur Vermeidung von Konflikten möglichst frühzeitig abgeklärt werden, welche Behörden (Untere Wasser- und Landschaftsbehörde, (Sonder-)Ordnungsbehörde, Planungs-, Bauordnungs- und Bergamt, Denkmalschutzbehörde etc.) und Entscheidungsträger in den Bearbeitungsprozess zu integrieren sind. Zwischen allen Beteiligten sollte über den gesamten Bearbeitungszeitraum eine ständige Abstimmung erfolgen, damit eine effektive Projektbearbeitung und ein von allen Beteiligten mitgetragenes abgestimmtes Maßnahmenkonzept erarbeitet werden kann.

In Abbildung 2 sind die generellen Arbeitsschritte der Sanierungsuntersuchung bezogen auf die Beteiligten und deren Aufgaben dargestellt.

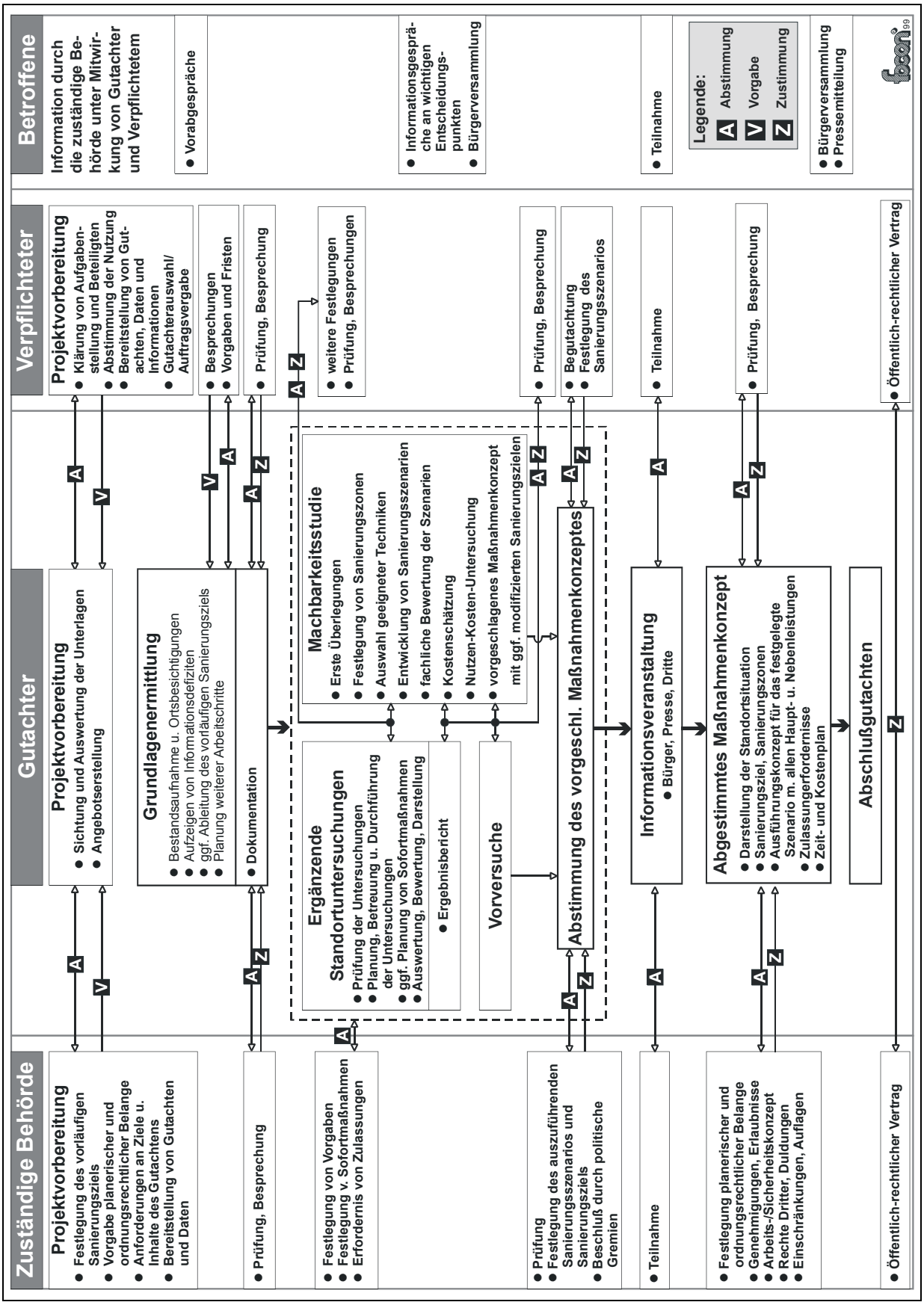


Abbildung 2 Fließdiagramm

2.2.2 Vorarbeiten des Auftraggebers

Damit die vom Auftraggeber gewünschte Qualität, der vorgesehene Zeit- und Kostenrahmen, die Berücksichtigung sämtlicher bereits vorliegenden Gutachten und Informationen gewährleistet ist, hat er sich vor der Auftragsvergabe rechtzeitig über seine Aufgaben und Pflichten im Zusammenhang mit einer effektiven Bearbeitung der Sanierungsuntersuchung zu informieren und diese wahrzunehmen. Die Sanierungsuntersuchung sollte an einen Gutachter vergeben werden, der gemäß den Anforderungen an Sachverständige bei der Bearbeitung von Altlasten für die Untersuchung und Beurteilung von Altlastverdachtsflächen und Altlasten nach BBodSchG § 18 über die erforderliche Sachkunde, Zuverlässigkeit und gerätetechnische Ausstattung verfügt (Stand Juli 2000: LABO-Merkblatt: "Anforderungen an Sachverständige nach § 18 BBodSchG").

Dem beauftragten Gutachter sind vor Auftragsvergabe u. a.:

- der Anlass, Zweck und Rahmen des Gutachtens zur Sanierungsuntersuchung klar und eindeutig zu benennen,
- die von der zuständigen Behörde festgelegten Schutzziele sowie ggf. das vorläufig festgelegte Sanierungsziel mitzuteilen,
- das zukünftige Nutzungskonzept sowie sonstige planerische Vorgaben bzw. die Vorstellungen von Investoren mitzuteilen,
- sämtliche zu berücksichtigenden Gutachten, Stellungnahmen, Vorgaben und Informationen zur Verfügung zu stellen,
- bereits bekannte Informationsdefizite, Probleme und Schwierigkeiten mitzuteilen,
- die am Projekt zu Beteiligenden (Behörden, politische Gremien, ggf. Investoren, Banken etc.) und deren Zielvorstellungen zu benennen,
- die aktuellen bzw. geplanten Besitzverhältnisse darzulegen sowie
- ggf. spezifische Anforderungen an Inhalt und Umfang der einzelnen Bearbeitungsschritte vorzugeben (z. B. Ableitung von Sanierungszielen, Art der Bewertung, Nutzen-Kosten-Untersuchung, Umfang des Berichtswesens).

Vor der Auftragsvergabe einer Sanierungsuntersuchung muss somit von Seiten des Auftraggebers festgelegt werden, auf welcher nutzungsbezogenen Grundlage die Sanierungsuntersuchung durchgeführt werden soll. In Abhängigkeit vom Einzelfall sind nachfolgende Varianten möglich:

- Reine Gefahrenabwehr mit Beibehaltung der aktuellen Nutzung (gleichbleibende Folgenutzung)

- Vorgabe einer durch die Planungsbehörde festgelegten Folgenutzung (z. B. B-Plan, nutzungsbezogene Sanierung)
- Entwicklung einer standortangepassten Konzeption für die Folgenutzung unter Berücksichtigung der Standortverhältnisse, Schadstoffe, Sanierungsmöglichkeiten sowie Vorstellungen von Stadtplanung und Investoren als Vorgabe für die Sanierungsuntersuchung.

Bei allen drei Varianten ist die Nutzen-Kosten-Untersuchung für die festgelegte Folgenutzung durchzuführen. Andererseits ist auch die nachfolgende Variante möglich:

- Vorgabe verschiedener möglicher Nutzungsalternativen durch die Planungsbehörde (flexible Folgenutzung des Grundstückes) durch die Entwicklung und den Vergleich alternativer Sanierungslösungen.

Hierbei ist die Nutzen-Kosten-Untersuchung für mehrere mögliche Alternativen einer Folgenutzungen durchzuführen, so dass in Abhängigkeit vom Nutzen-Kosten-Verhältnis letztendlich über die umzusetzende Folgenutzung und das hierfür am besten geeignete Sanierungsszenario entschieden werden kann.

Mit der zu Beginn der Sanierungsuntersuchung formulierten Zielsetzung (Gefahrenabwehr oder Nutzungsänderung, Sanierungsziel etc.) wird auch gleichzeitig das Zielsystem der Nutzen-Kosten-Untersuchung definiert.

Wird das Sanierungsziel nicht konkret genug beschrieben, so tritt in der Praxis oft das Problem auf, dass Sanierungsalternativen verglichen werden, die verschiedene, nicht gleichwertige Sanierungsziele erfüllen. Werden für unterschiedliche Sanierungsziele die jeweils geeigneten Sanierungsszenarien erarbeitet, verglichen und anschließend einer Nutzen-Kosten-Untersuchung unterzogen, so ist das hiermit erzielte Ergebnis nicht verwertbar, da nicht aussagekräftig. Der Grund hierfür liegt darin, dass die verschiedenen Sanierungsszenarien i. d. R. nicht alle das gleiche Sanierungsziel erfüllen, sondern jeweils unterschiedliche oder Teilziele. Somit wird die Entscheidung für ein Szenario auf der Grundlage unterschiedlicher Wirksamkeiten bezüglich der Sanierungszielerfüllung getroffen.
Ist es beabsichtigt, die Sanierungsuntersuchung für unterschiedliche Nutzungen und damit verschiedene Sanierungsziele durchzuführen, so sind getrennt für jedes Sanierungsziel geeignete Szenarien zu erarbeiten, wobei ein Unterschied darin besteht, ob die Sanierungsziele den Anforderungen der Abwehr bestehender Gefahren gemäß Bundes-Bodenschutzgesetz entsprechen oder auf eine Nutzungsänderung ausgerichtet sind. In Abbildung 3 ist diese Vorgehensweise einmal systematisch dargestellt.

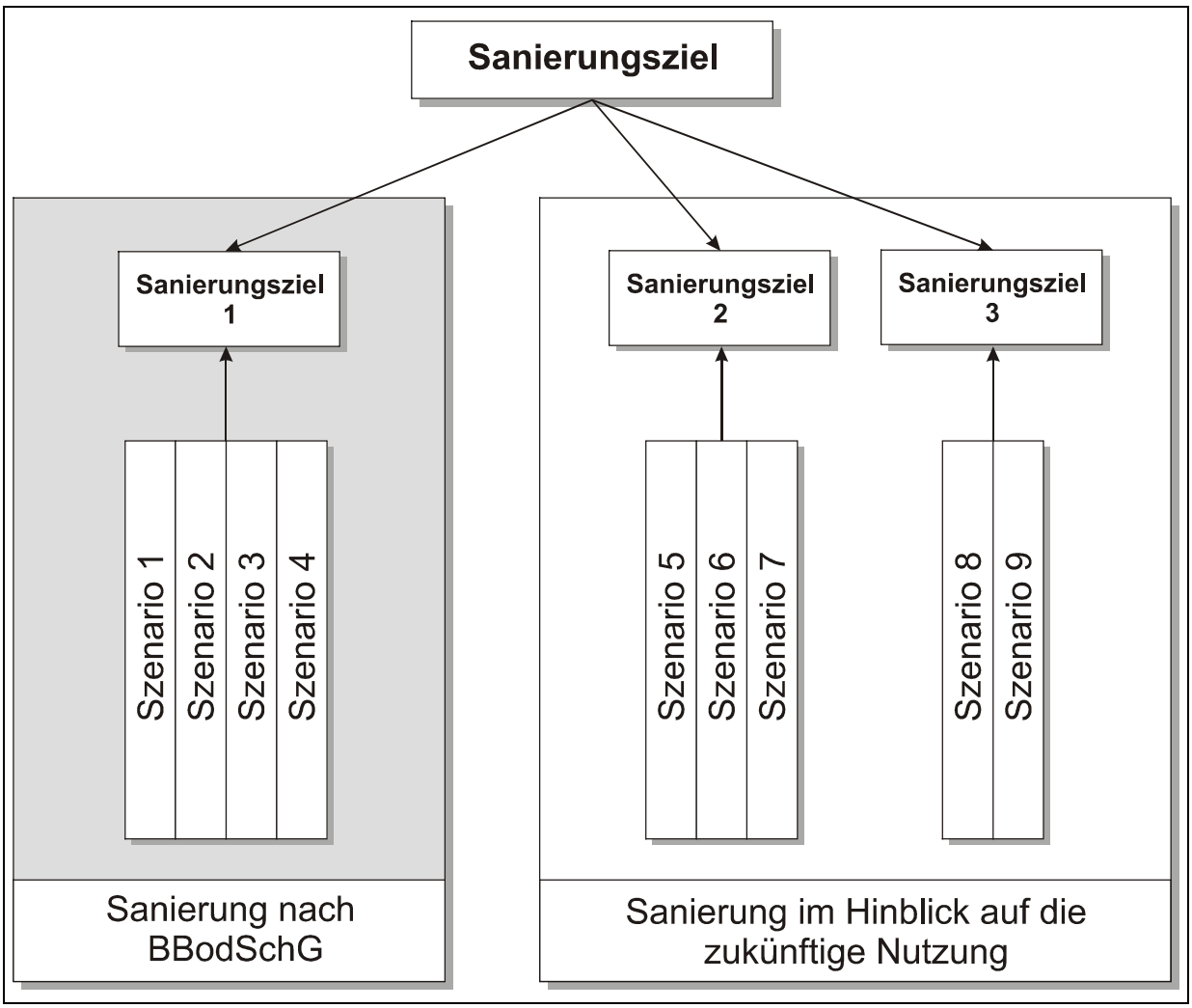


Abbildung 3 *Systematik der Zuordnung von Szenarien zum jeweiligen Sanierungsziel (beispielhaft)*

Vor Beginn der Bearbeitung sollte daher in nicht einfach gelagerten Fällen diesbezüglich ein Abstimmungsgespräch zwischen Auftraggeber, Planungsbehörde, der für Gefahrenabwehrmaßnahmen zuständigen Behörde, Gutachter und ggf. dem zukünftigen Nutzer stattfinden.

Die v. g. Angaben und Informationen sind dem Gutachter weitgehend bereits mit der Aufforderung zur Angebotsabgabe zur Verfügung zu stellen bzw. zur Einsichtnahme vorzulegen.
Sofern der Gutachter die Altlast nicht kennt, sollte er vor Angebotsabgabe eine Begehung mit dem Auftraggeber vornehmen.

Weiterhin sind dem Gutachter bereits vorab mitzuteilen,

- nach welcher Vergabeart (VOB/VOL) die Vergabe von Drittleistungen (Labor- und Felduntersuchungen) vorgesehen ist,
- welche Leistungen vom Auftraggeber selbst ggf. mit Zustimmung der zuständigen Behörde durchgeführt werden sowie
- welche spezifischen Anforderungen an zusätzliche Untersuchungen (z. B. Einsatz DV-gestützter Modelle, modellgestützte Untersuchungen, Art der Nutzen-Kosten-Untersuchung etc.) gestellt werden.

Mit der Preisanfrage sind die Anforderungen an das Berichtswesen (z. B. Inhalt, Umfang und Anzahl) zwischen Auftraggeber und Gutachter abzustimmen. Bei umfangreichen Sanierungsmaßnahmen kann eine zeitnahe Information über den aktuellen Arbeitsstand bzw. den jeweiligen Bearbeitungsschritt in Form von Zwischenberichten sinnvoll sein. Die Erstellung von Tätigkeitsberichten, Kurzberichten, Stellungnahmen und Tischvorlagen sind mit dem Gutachter abzustimmen und vertraglich zu vereinbaren. Bezüglich der Anforderungen an das Gutachten zur Sanierungsuntersuchung wird auf Kapitel 2.8 verwiesen.

2.2.3 Vergabe und Honorierung

Gutachterliche Leistungen zur Durchführung der Sanierungsuntersuchung sind geistig-schöpferischer Natur und somit grundsätzlich freihändig zu vergeben und nicht auszuschreiben. Sie unterliegen grundsätzlich keinem Preiswettbewerb (siehe § 55 Abs. 1 der BHO bzw. BGH-Entscheidung vom 02.05.1991, BGH I ZR 227/89).

Bei komplexen Projekten können Gespräche über die durchzuführenden Arbeiten und die Vergütung mit einem oder mehreren in Betracht kommenden Gutachtern geführt werden.

Bevor die Gutachterleistungen vergeben werden, empfiehlt es sich, diese in Form einer „Leistungsbeschreibung“ bezüglich der wesentlichen Inhalte, der einzelnen Arbeitsschritte sowie deren Inhalt und Umfang vorzugeben (siehe Kapitel 2.2.2). Auf dieser Grundlage kann vom Gutachter eine weitgehende Aufwands- und Kostenkalkulation vorgenommen werden, und der Auftraggeber hat die Möglichkeit einer separaten Beurteilung und Bewertung der erreichten Ergebnisse.

Die Sanierungsuntersuchung sollte als Gesamtauftrag vergeben werden. Können vor der Auftragsvergabe Art und Umfang der ggf. durchzuführenden Untersuchungen bzw. die Anzahl der Besprechungstermine noch nicht abgeschätzt werden, so empfiehlt sich eine gestaffelte Beauftragung.

Solange kein auf die gutachterlichen Leistungen bei der Altlastenbehandlung angepasstes Leistungsbild in der HOAI vorliegt, sollte das Honorar für die Sanierungsuntersuchung bezogen auf § 52 Abs. 9 HOAI leistungsorientiert bzw. gemäß § 6 HOAI nach dem nachzuweisenden Zeitbedarf auf der Grundlage von Stundensätzen frei vereinbart werden.

Bei der Vergabe von gutachterlichen Leistungen, z. B. der Sanierungsuntersuchung, die einen Auftragswert von netto 200.000 ECU übersteigen, ist die Verdingungsordnung für freiberufliche Leistungen (VOF) anzuwenden, soweit sich nicht aus § 2 Vergabeverordnung (VgV) etwas anderes ergibt.

2.2.4 Sanierungsziel

Das Sanierungsziel sollte nicht zu früh als starre Vorgabe formuliert werden, sondern in einem iterativen Prozess entsprechend den jeweiligen standortspezifischen Gegebenheiten, der technischen Machbarkeit und unter Einhaltung der Verhältnismäßigkeit abgeleitet werden [SRU 1995, Tz. 122].

Nach der abschließenden Gefahrenbeurteilung werden von der zuständigen Behörde zunächst die Schutzziele einzelfallspezifisch und bezogen auf die betroffenen Schutzgüter und Wirkungspfade definiert.

Mögliche Schutzziele sind u. a.:

- Verhinderung der Schadstoffaufnahme durch Direktkontakt,
- Verhinderung des Schadstoffeintrags in das Grundwasser,
- Verhinderung des Schadstoffaustrags über das Grundwasser,
- Verhinderung der Migration von Schadstoffen in geschlossene Räume,
- Verhinderung von mit Schadstoffen belasteten Staubemissionen sowie
- Verhinderung der Aufnahme von Schadstoffen durch Pflanzen.

Ausgehend von diesen Schutzzielen ist von der zuständigen Behörde als Grundlage für die Sanierungsuntersuchung das Sanierungsziel vorzugeben. Im Rahmen der Sanierungsuntersuchung wird das vorläufige Sanierungsziel ggf. konkretisiert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Sanierungsziele mit Sanierungsmaßnahmen überhaupt und mit verhältnismäßigem Aufwand erreicht werden können.

Das Sanierungsziel ist je nach Fallgestaltung für die Gefahrenabwehr oder für die bauplanungsrechtliche Gefahrenvorsorge entsprechend den gesetzlichen Vorgaben nach pflichtgemäßem Ermessen als Maß des duldbaren Restrisikos bzw. Restbelastung einzelfallspezifisch abzuleiten, wobei nachfolgende Kriterien zu prüfen und zu bewerten sind:

- stoffbezogenes Schadstoffpotential (Stoffdaten, Art und Umfang der Kontamination),
- planungsrechtliche Nutzung (bisherige und künftige Nutzung des zu sanierenden Grundstückes),
- betroffene Wirkungspfade (z. B. über Boden, Grundwasser, Luft) und Ausbreitungsbedingungen,
- Exposition der Schutzgüter (Mensch, Grundwasser, Boden),
- Schutzwürdigkeit der tangierten Rechtsgüter,
- toxikologische Bewertung,
- Vergleichswerte aus Regelwerken, Beurteilungshilfen, Untersuchungen,
- Hintergrundbelastungen (geogen oder ubiquitär/anthropogen),
- technische Machbarkeit und
- Verhältnismäßigkeit.

Für die Ableitung der vorläufigen Sanierungsziele können auch die in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) im Anhang 2 aufgeführten Maßnahmen- und Prüfwerte orientierend herangezogen werden.

Die für die jeweiligen Medien festgelegten Sanierungsziele können als Zahlenwerte, d. h. maximal zulässige Schadstoffkonzentration im kontaminierten Medium (einzelfallbezogene Sanierungszielwerte, Einbauwerte, Einleitwerte, tolerierbare Restbelastungen) oder als verbale Umschreibung formuliert werden. Für letztere Form sind beispielsweise denkbar:

- Aushub des kontaminierten Materials in einem definierten Bereich,
- Förderung des Grundwassers bzw. der Bodenluft mit anschließender Behandlung bis zum Erreichen einer tolerierbaren Restkonzentration im Bereich der Altlast sowie im Umfeld,
- durch eine Oberflächenabdichtung/-deckung ist der Direktkontakt mit … zu unterbinden sowie

- der Eintrag von Niederschlag in die ungesättigte Bodenzone ist durch eine Oberflächenabdichtung zu unterbinden.

Wenn das zu erfüllende Schutzziel alleine durch Schutz-, Beschränkungs- oder administrative Maßnahmen, wie z. B. Nutzungsänderung, erreicht werden soll, ist eine Sanierungsuntersuchung i. d. R. zunächst nicht erforderlich.

Erst nach Vorlage der Ergebnisse der Sanierungsuntersuchung kann das Sanierungsziel von der zuständigen Behörde sachgerecht festgelegt werden.

2.3 Grundlagenermittlung

Der Gutachter beginnt mit der Grundlagenermittlung die Projektbearbeitung. Hierfür sind ihm vom Auftraggeber sämtliche verfügbaren Unterlagen und Informationen zur Verfügung zu stellen (siehe Kapitel 2.2).

Ziel der Grundlagenermittlung ist es, die aktuelle Standortsituation bzw. den aktuellen Informationsstand zu erfassen und im Hinblick auf die Zielvorstellungen sowie nachfolgenden Bearbeitungsschritte zu bewerten. Hierzu sind die vorliegenden Unterlagen, Daten und Informationen auf Plausibilität, Vollständigkeit und Belastbarkeit zu prüfen, so dass ggf. deren Aktualisierung sowie die Notwendigkeit ergänzender Untersuchungen abgeschätzt werden kann. Dies ist insbesondere dann erforderlich, wenn seit der Gefährdungsabschätzung ein längerer Zeitraum vergangen ist.

2.3.1 Bestandsaufnahme und Ortsbesichtigungen

Die Aufgabenstellung sowie die zu beachtenden Randbedingungen sind abschließend zu klären, festzulegen und ggf. zu konkretisieren.

Dazu sind die vom Auftraggeber bereitgestellten Gutachten, Unterlagen und Pläne sind vom Gutachter durchzuarbeiten und zu prüfen. Sämtliche berücksichtigte Unterlagen sind aufzulisten sowie deren Ergebnisse übersichtlich zusammenzustellen.

Nach der Aufarbeitung der Unterlagen ist die sanierungsbedürftige Fläche unter Berücksichtigung der arbeitsschutzrechtlichen Bestimmungen durch Ortsbegehungen möglichst genau aufzunehmen. Hierbei ist es empfehlenswert, diese gemeinsam mit einem ehemaligen Beschäftigten bzw. Ortskundigen durchzuführen. Die aktuellen Standortverhältnisse sind zu dokumentieren und ergänzend fotografisch festzuhalten.

Nach § 3 Abs. 2 LbodSchG NW muss der Grundstückseigentümer Vertretern der zuständigen Behörde oder deren Beauftragten das Betreten und Besichtigen des Grundstückes gestatten, soweit dies zur Aufgabenerfüllung nach BBodSchG oder LbodSchG NW erforderlich ist.

Es ist zu prüfen, ob beispielsweise die nachfolgend aufgeführten Aspekte bekannt sind bzw. die Darstellungen mit den aktuellen Verhältnissen vor Ort übereinstimmen; Defizite sind im Gutachten aufzuführen. Hierbei sind u. a. zu berücksichtigen:

- Schadstoffpotential (Art, Konzentration, Bindungsform, Umfang, Ausdehnung etc.),
- betroffene Medien (Boden, Wasser, Luft, biologische Materialien),
- betroffene Schutzgüter und Wirkungspfade,
- Ausbreitungsbedingungen,
- Untergrundverhältnisse (Geologie, Hydrogeologie),
- Grundwasser (Anzahl der Stockwerke, Fließrichtung etc.),
- Mengenabschätzungen (Boden, Grundwasser, Abfall etc.),
- Baugrundeigenschaften (Standsicherheit, Korngrößenverteilung etc.),
- aktuelle (ggf. auch nicht genehmigte) und künftige Nutzung (ggf. B-Plan-Entwurf) sowie Eigentumsverhältnisse,
- Zustand der Altlast (Gebäude, Flora, Ablagerungen etc.),
- Nutzung benachbarter Grundstücke (Entfernung zur angrenzenden Bebauung, sensible Nutzung),
- nutzbare Infrastruktur sowie nutzbare bauliche Einrichtungen (z. B. Gebäude, Hallen, Straßen, Wasserentnahmerechte, Abwasserableitung, Freiflächen, Zwischenlagerplätze),
- standortbezogene Einschränkung der Sanierungsarbeiten (Landschaftsschutz- und Wasserschutzgebiet, sensible Nutzung, z. B. Wohnbebauung etc.),
- technische und rechtliche Zugänglichkeit des Standortes (z. B. für schweres Gerät) sowie Verkehrsanbindungen (Straße, Schiene, Wasser) sowie
- ordnungsrechtliche und stadtplanerische Vorgaben.

Weiterhin ist festzustellen, ob bereits ausgeführte Sofortmaßnahmen ausreichend sind, oder die Durchführung ergänzender Sofortmaßnahmen erforderlich ist; ggf. sind entsprechende Empfehlungen zu formulieren.

Auf der Grundlage von Bestandsaufnahme und Ortsbesichtigungen sind bestehende Defizite aufzuzeigen. Mit dem Auftraggeber und der zuständigen Behörde ist abzustimmen, inwieweit fehlende Informationen und Unterlagen noch verfügbar sind, beschafft werden sollen bzw. für die Erarbeitung der Sanierungsuntersuchung unverzichtbar sind. Weiterhin ist der Umfang von ergänzenden Standortuntersuchungen (siehe Kapitel 2.4.1) aufzuzeigen.

Ergibt die Bestandsaufnahme bedeutsame Defizite bei der Gefährdungsabschätzung, so ist dies der zuständigen Behörde mitzuteilen, dass die Sanierungsuntersuchung an dieser Stelle ggf. unterbrochen und die Gefährdungsabschätzung ergänzt wird. Dies ist insofern erforderlich, da sich u. U. ein verändertes Sanierungsziel ergeben kann.

Die Entscheidung für die weitere Vorgehensweise und der Umgang mit verbleibenden Informationsdefiziten ist gemeinsam zwischen Auftraggeber, zuständiger Behörde und Gutachter abzustimmen.

2.3.2 Planung der weiteren Arbeitsschritte

Als Ergebnis von Bestandsaufnahme und Ortsbesichtigungen ist ein möglichst detaillierter Leistungskatalog für die Abwicklung der nachfolgenden Arbeitsschritte zu erstellen. Die aus Sicht des Gutachters zusätzlich erforderlichen Untersuchungen (verfahrensspezifische bzw. standortspezifische Untersuchungen, siehe Kapitel 2.4.1) sind zu begründen und mit dem Auftraggeber sowie ggf. mit der zuständigen Behörde abzustimmen. Weiterhin ist festzulegen, ob weitere fachlich zu Beteiligende hinzuzuziehen sind.

Das zum Zeitpunkt der Angebotsabgabe erstellte Konzept zur Bearbeitung der Sanierungsuntersuchung kann ggf. unter Berücksichtigung neuer Erkenntnisse modifiziert werden. Es sollte eine aktuelle Kosten- und Zeitplanung vorgenommen werden.

2.3.3 Dokumentation

Sofern mit dem Auftraggeber vereinbart, sind die Ergebnisse der Grundlagenermittlung sowie das für die weitere Abwicklung der Sanierungsuntersuchung vorgeschlagene Arbeitsprogramm in Form eines Zwischenberichtes nachvollziehbar zu dokumentieren. Hierbei liegt der Schwerpunkt bei der Beschreibung der Auswertung des

Informationsstandes sowie dem Arbeitsprogramm für die nachfolgenden Arbeitsschritte. Die Darstellung sollte kurz, übersichtlich und nachvollziehbar sein. Form und Umfang der Berichtserstellung sollten mit dem Auftraggeber bei der Auftragserteilung vereinbart werden (siehe Kapitel 2.2.2). Der Bericht soll dem Auftraggeber als Entscheidungshilfe für das weitere Vorgehen dienen.

2.4 Ergänzende Standortuntersuchung

Inwieweit ergänzende Standortuntersuchungen erforderlich sind, ergibt sich zum einen aus der Grundlagenermittlung (siehe Kapitel 2.3) und zum anderen aus einer ersten Abschätzung der möglicherweise geeigneten Sanierungstechniken/-verfahren (siehe Kapitel 2.5.2). Die aus der Sicht des Gutachters zusätzlich erforderlichen Untersuchungen sind zu begründen und zwischen den Beteiligten abzustimmen; sie müssen angepasst und verhältnismäßig sein.

Ziel der ergänzenden Standortuntersuchungen ist die abschließende, auf die Sanierung ausgerichtete Vervollständigung bzw. Aktualisierung der Datengrundlage, um eine abgesicherte Auswahl und Bewertung geeigneter Sanierungstechniken/-verfahren (verfahrensspezifische Untersuchungen) sowie eine ggf. erforderlich werdende Eingrenzung der Belastungssituation mit abschließender Ermittlung der zu behandelnden Massen bzw. zu sichernden Flächen (standortspezifische Untersuchungen) vornehmen zu können. Dies ist erforderlich, damit geeignete Sanierungstechniken/-verfahren bestimmt, ggf. eine Aufteilung der Altlast in Sanierungszonen vorgenommen und geeignete Sanierungsszenarien erarbeitet werden können.

Die im Rahmen der Detailphase ausschließlich zur Risikoabschätzung ermittelten Daten sind in der Regel für eine abschließende verfahrensspezifische Beurteilung sowie für eine abgesicherte Festlegung der zu sanierenden Fläche bzw. Teilflächen und den zugehörigen Mengen bzw. Kubaturen nicht ausreichend. Deshalb empfiehlt es sich, in Abstimmung mit dem Auftraggeber die für eine abgesicherte Planung notwendigen Untersuchungen durchzuführen. Damit wird i. d. R. erst eine realistische Kostenschätzung im Rahmen der Sanierungsuntersuchung und letztendlich eine Verringerung der Unwägbarkeiten (Erhöhung der zu behandelnden Mengen) bei der späteren Sanierungsdurchführung möglich.

Bei der Erstellung des Untersuchungsprogramms ist zu berücksichtigen, dass die gewonnenen Daten auch als Basisdaten für die spätere Planung der Sanierungsmaßnahme dienen.

2.4.1 Untersuchungsprogramm

Unter Zugrundelegung sämtlicher vorliegender Daten ist vom Gutachter ein abgestuftes auf die vorangegangenen Untersuchungen abgestimmtes Untersuchungsprogramm aufzustellen und mit dem Auftraggeber sowie der zuständigen Behörde einvernehmlich abzustimmen; bei den standortspezifischen Untersuchungen ist zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse eine Abstimmung mit den im Rahmen der Gefährdungsabschätzung durchgeführten Untersuchungen erforderlich.

Das im Einzelfall erforderliche Untersuchungsprogramm ist aus der Aufgabenstellung, der jeweiligen Standortsituation, den aus vorangegangenen Bearbeitungsstufen nutzbaren Daten sowie den bei der Vorauswahl als grundsätzlich geeignet eingestuften Sanierungstechniken/-verfahren abzuleiten, zu beschreiben und zu begründen.

Die durchzuführenden Untersuchungen sind in Art und Umfang sowie den jeweiligen Anforderungen an Probenahme, -technik, und -handling sowie den zugehörigen Analyseverfahren vorzugeben. Der Untersuchungsumfang ist einzelfallspezifisch in Abhängigkeit von der Fragestellung festzulegen. Beispielsweise sind bei verschiedenen Böden oder Auffüllungen die unterschiedlichen Daten getrennt zu ermitteln. Die für ein abgesichertes Ergebnis jeweils notwendige Probenanzahl ist im Einzelnen zu begründen.

Bei der Durchführung der Untersuchungen sind besondere Vorkommnisse sowie ggf. notwendige Abweichungen vom festgelegten Untersuchungsprogramm zu dokumentieren und zu begründen.

Im Einzelfall können ergänzend u.a. nachfolgende Untersuchungen erforderlich sein:

- geologische Untersuchungen (z. B. Schürfe, Sondierungen, Bohrungen),
- hydrogeologische Untersuchungen (z. B. Pumpversuch, Tracerversuch, Infiltrationsversuch, Abfluss- und Niederschlagsmessungen),
- bodenmechanische Untersuchungen (z. B. Steifemodul, Lagerungsdichte),
- biologische Untersuchungen (z. B. mikrobielle Aktivität, Abbauversuche),
- chemisch-analytische Untersuchungen,
- geophysikalische Untersuchung (z. B. Geoelektrik, Geomagnetik),
- Untersuchungen sanierungsrelevanter Begleitparameter (z. B. pH-Wert, Nährstoffgehalte, TOC, Redoxpotential etc.),

- Untersuchung auf sanierungsrelevante Untergrundrisiken (z. B. Hohlräume, Fundamente, bauliche Hindernisse, Untergrundinhomogenitäten) sowie auch
- Vermessungsarbeiten.

Die gewerblichen Leistungen werden entweder vom Gutachter, von Fachfirmen oder vom Verpflichteten in Eigenleistung durchgeführt. Hierbei sind die einschlägigen gesetzlichen und berufsgenossenschaftlichen Bestimmungen, die Unfallverhütungsvorschriften, die Arbeitsstättenverordnung, sonstige behördliche Vorschriften sowie einschlägige fachliche Richtlinien, Vorschriften und Empfehlungen (ITVA, DIN, DEV,DVGW,LAGA,LAWA etc.) einzuhalten.

Der Grundstückseigentümer muss gemäß §3 Abs. 2 LbodSchG NW den Vertretern der zuständigen Behörde oder deren Beauftragten die Probennahme auf dem Grundstück gestatten, soweit dies zur Aufgabenerfüllung nach BBodSchG oder LbodSchG NW erforderlich ist.

In Tabelle 1 sind beispielhaft für einige Sanierungstechniken verfahrensspezifisch notwendige Daten aufgeführt, die im Rahmen der Sanierungsuntersuchung zur Beurteilung der Eignung und auch bei der nachfolgenden Planung für die Ausschreibung erforderlich sind. Die Tabelle erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, sondern ist vielmehr im Einzelfall sinnvoll zu ergänzen bzw. auch in bezug auf die bereits vorliegenden Daten der Gefährdungsabschätzung zu reduzieren.

Zusätzlich zu den in Tabelle 1 aufgeführten Daten sind für die vorliegenden Schadstoffe aus den entsprechenden Standardwerken die sanierungsrelevanten Stoffeigenschaften zu entnehmen. Beispielsweise sind dies für aktive pneumatische Verfahren: Dampfdruck, Siedetemperatur, Gasdichte, Sättigungskonzentration in Luft, untere Explosionsgrenze (UEG) und obere Explosionsgrenze (OEG).

Vom Gutachter sind u. a. nachfolgende Leistungen zu erbringen:

- Vorbereitung und Durchführung von Ausschreibung und Vergabe gewerblicher Leistungen (Feld- und Laboruntersuchungen),
- Ermittlung von Eigenkontrollmaßnahmen,
- Ermittlung des Kosten- und Zeitplans für die Durchführung sämtlicher Untersuchungen,
- Information und Beratung des Auftraggebers,
- Organisation, Überwachung, Abnahme und Dokumentation sämtlicher Eigen- und Fremdleistungen sowie Vorkommnisse (Bautagebuch),
- Rechnungsprüfung und Kostenkontrolle,

- tabellarische und/oder graphische Darstellung der Untersuchungsergebnisse,
- Plausibilitätsprüfung und Auswertung der ermittelten Daten sowie
- fachliche Beurteilung der Ergebnisse.

Tabelle 1 Verfahrensspezifische Untersuchungen

verfahrensspezifisch notwendige Daten	**Sanierungstechniken**						
	Thermische Verfahren	**Mikro-biologische Verfahren**	**Wasch-/ Extraktions-verfahren**	**Aktive pneuma-tische Verfahren**	**Aktive hy-draulische Verfahren**	**Immo-bilisierung**	**Ein-kapselung**
Bindungsform der Schadstoffe		X	X				
Eluatverhalten		X	X		X	X	
toxische/abbauhemmende Stoffe		X					
Glühverlust / org. Bestandteile	X	X					
Oxidationsstufe der Schwer-metalle			X			X	
Verzweigungsgrad und Länge der C-Ketten, PAK-Ringe		X					
biologische Aktivität		X			X		
Korngrößenverteilung, Feinst-kornanteil		X	X			X	
Feuchtegehalt des Bodens	X	X	X				
Bodendurchlässigkeit, k_f-Wert		X		X	X	X	
Adsorptionsverhalten des Bodens, C_{org}-Gehalt (TOC)		X	X		X	X	
Anteil an Schlacken und Aschen		X	X			X	
Anteil an Bauschutt und Fremdstoffen	X	X	X			X	X
Luftdurchlässigkeit des Bodens (Ab-saugversuch)				X			
Schichtaufbau und maßgebliche Eigenschaften im Untergrund, Inho-mogenitäten				X			X
Setzungsverhalten des Untergrundes							X
Entwicklung der Schadstoffgehalte in der Bodenluft (Absaugversuch)				X			
Feuchte und Temperatur der abge-saugten Luft				X			
pH-Wert, Leitfähigkeit					X		
Sauerstoffgehalt					X		
Gesamt- u. Carbonathärte					X		
$CaCO_3$ - Sättigung					X		
DOC, CSB					X		
Eisen- u. Mangangehalt					X		
Redoxpotential		X			X		

Die fachliche Beurteilung dient zur abschließenden Prüfung, inwieweit mit den aktuellen Daten und Informationen eine abgesicherte Auswahl geeigneter Sanierungstechniken/-verfahren bzw. Kombinationen, ggf. eine Aufteilung der zu sanierenden Fläche in einzelne Sanierungszonen sowie die Erarbeitung von standortspezifischen Sanierungsszenarien möglich ist.

Sollten sich durch die aktuell ermittelten Daten die resultierenden Risiken gegenüber der vorliegenden Gefährdungsabschätzung geändert haben, so ist die zuständige Behörde davon unverzüglich in Kenntnis zu setzen.

Weiterhin ist zu prüfen, inwieweit ein festgelegtes Nutzungskonzept zu modifizieren bzw. mögliche Nutzungsoptionen einzuschränken sind (siehe Kapitel 2.2.2).

2.4.2 Sofortmaßnahmen

Wurde im Rahmen der Grundlagenermittlung eine bisher nach Art und Umfang nicht erkannte unmittelbare Gefährdung der Schutzgüter festgestellt, so sind in Abstimmung mit der zuständigen Behörde ggf. Sofortmaßnahmen zur Gefahrenabwehr unverzüglich einzuleiten.

Mögliche Sofortmaßnahmen können sein:

- Zugangsbeschränkung zur Verhinderung des Direktkontaktes,
- Beschränkung der Nutzung von Grundwasser als Trinkwasser oder zur Bewässerung,
- Einschränkungen bestimmter baulicher Nutzungen,
- Beschränkung der landwirtschaftlichen oder gärtnerischen Nutzung,
- Abschöpfen oder Abpumpen von Schadstoffen in Phase im Grundwasserleiter,
- Maßnahmen zur Bekämpfung von Explosions- und Brandgefahr (z. B. Installation von Warngeräten oder Belüftungseinrichtungen),
- Absperrung oder Sicherung bei Absturz- oder Rutschgefahr (z. B. Zaun) sowie
- Abdeckung durch Folien gegenüber eindringendem Niederschlagswasser.

2.4.3 Dokumentation

2.4.3.1 Tätigkeitsberichte

Wenn mit dem Auftraggeber vereinbart, sind die durchgeführten Untersuchungen vom Gutachter bzw. den ausführenden Unternehmen in Form von Tätigkeitsberichten zu dokumentieren. Hierzu gehören u. a.:

- Ausführender mit Angabe von Einsatzort und Datum,
- ausgeführte Tätigkeiten (z. B. Bohrprotokolle, Schichtenverzeichnisse, Ausbaupläne von Messstellen, Mess-, Probenahme- sowie Analysenprotokolle) sowie Angaben zur Untersuchungsmethode,
- Art und Umfang von Kontrollen bei weitervergebenden Leistungen,
- Angaben über den Verbleib angefallener Abfälle,
- Auflistung von Schwierigkeiten und besonderen Vorkommnissen sowie
- Begründung für eventuelle Abweichungen vom ursprünglichen Untersuchungsplan.

2.4.3.2 Aktuelle Standortbeschreibung

Die aus der Gefährdungsabschätzung und den sonstigen vorliegenden Gutachten verfügbaren Standort- bzw. Umgebungsdaten sind mit den Ergebnissen der aktuellen Untersuchungen zusammenfassend darzustellen. Die aktuelle Standortbeschreibung ist Teil des Gesamtgutachtens. In einer Übersichtskarte (1:25 000) mit Angabe der Koordinaten ist die geographische Lage der Altlast darzustellen. In einem zusätzlichen Lageplan (ggf. 1:1 000) müssen Informationen über die Ausdehnung der zu sanierenden Fläche, ihre Höhenlage und die Anbindung an das unmittelbare Umfeld enthalten sein. Wurden Standortuntersuchungen durchgeführt, so sind die Probenahmepunkte, Bohr-, Sondier- und Messstellen in einem Lageplan darzustellen.

Die historische Entwicklung der zu sanierenden Fläche sollte im Rahmen der Historischen Erkundung erarbeitet worden sein. Im Rahmen der Sanierungsuntersuchung genügt eine kurze Beschreibung bzw. eine tabellarische Auflistung der Historie.

Die aktuelle Nutzung der zu sanierenden Fläche sowie die Nutzung und Erschließung des unmittelbaren Umfeldes sind zu beschreiben und in einem Lageplan darzustellen. Liegt die künftige Nutzung der sanierungsbedürftigen Fläche bzw. des Umfeldes fest, so ist auch diese zu beschreiben und in einem Lageplan darzustellen. Hierbei soll auf sensible Nutzungen besonders hingewiesen werden.

Im Hinblick auf die Auswahl geeigneter Sanierungstechniken/-verfahren sowie die Erarbeitung von Sanierungsszenarien sind zusätzlich Informationen über Freiflächen sowie deren infrastrukturelle Einrichtungen (Anschlüsse an öffentliche/private Transportwege, Ver- und Entsorgungsleitungen etc.) anzugeben.

Die geologische und hydrogeologische Situation ist anhand früherer sowie den aktuell durchgeführten Untersuchungen in Form geologisch-hydrogeologischer Profilschnitte und Pläne (z. B. geologische Detailplan des Standortes, Karte der Auffüllungsmächtigkeit, Grundwasserhöhengleichenpläne) darzustellen. Die Bohrergebnisse sind gemäß DIN 4021 (Erkundung und Probenahme), DIN 4022 (Führen eines Schichtenverzeichnisses) und DIN 4023 (Zeichnerische Darstellung) zu dokumentieren.

Für eine umfassende und übersichtliche Zusammenstellung des Schadstoffinventars sind die Untersuchungsergebnisse aus Gefährdungsabschätzung, Grundlagenermittlung und ergänzenden Standortuntersuchung in tabellarischer Form getrennt nach Umweltmedien (Boden, Bodenluft und Grundwasser) darzustellen. Zur besseren Interpretation der Ergebnisse sind die Probenanzahl, das Analysenverfahren sowie Minimal-, Maximal- und ggf. 50- und 90-Perzentilwerte anzugeben.

Veränderliche Schadstoffkonzentrationen sowie -frachten, z. B. im Grundwasser oder in der Bodenluft, sind in Form von Ganglinien für den jeweiligen Beobachtungszeitraum darzustellen. Hierbei ist auf die Korrelation der Daten untereinander, z. B. zwischen Grundwasserständen und Schadstoffkonzentrationsschwankungen, in geeigneter Form einzugehen. Abschließend sind sämtliche Untersuchungsergebnisse in aktuellen Belastungskarten (Boden, Bodenluft, Grundwasser) und ggf. in Profilschnitten darzustellen, so dass hieraus die Abgrenzungen sanierungsbedürftiger Flächen bzw. Volumina abgeleitet werden können (siehe Kapitel 2.5.1).

Für die aktuelle Standortbeschreibung gilt grundsätzlich:

- Die Ergebnisse sind verständlich und nachvollziehbar, insbesondere tabellarisch und/oder graphisch mit erläuterndem Text darzustellen.
- Graphische Darstellungen sollten, soweit möglich und zweckmäßig, eine direkte Zuordnung zu vorliegenden Plänen der Gefährdungsabschätzung wie auch ggf. zu Plänen hinsichtlich der Folgenutzung erlauben. Sie sollten klar lesbar sein und Angaben zu Maßstab, Nordpfeil, Koordinaten, Orientierungshilfen (Straßen, Gewässer, Gebäude etc.) sowie eine Abgrenzung des Untersuchungsgebietes enthalten.

2.4.3.3 Bewertung der Daten

Die für die verschiedenen Medien (Boden, Bodenluft und Grundwasser) sowie ggf. für Bausubstanz und Abfälle vorliegenden Daten sind auf der Grundlage neuester wissenschaftlich-technischer Erkenntnisse, den aktuellen Gesetzen, Rechtsverordnungen, Verwaltungsvorschriften und technischen Regelwerken zu bewerten. In Abstimmung mit dem Auftraggeber und der zuständigen Behörde kann auch eine modellgestützte Auswertung (Ausbreitungs- und Simulationsmodelle etc.) sinnvoll sein.

Anhand der abschließenden Bewertung der Untersuchungsergebnisse muss

- ggf. eine Aufteilung der sanierungsbedürftigen Fläche in einzelne Sanierungszonen,
- die Auswahl geeigneter Sanierungstechniken/-verfahren,
- die Erarbeitung standortspezifischer Sanierungsszenarien sowie
- deren fachliche Bewertung

möglich sein.

2.5 Machbarkeitsstudie

In der Machbarkeitsstudie werden aus der Vielzahl denkbarer Sanierungstechniken/-verfahren sowie deren Kombinationen für die sanierungsbedürftige Fläche bzw. einzelne Sanierungszonen technisch geeignete, rechtlich zulässige und verhältnismäßige Sanierungsszenarien zur Gefahrenabwehr bzw. zur Gefahrenvorsorge bezogen auf die bisherige und zukünftige Nutzung erarbeitet. Unter Berücksichtigung der standortspezifischen Verhältnisse sowie sämtlicher Randbedingungen werden diese bezüglich ihrer Eignung, Realisierbarkeit, Wirksamkeit sowie Auswirkungen auf Mensch und Umwelt fachlich bewertet und kostenmäßig abgeschätzt, so dass eine zur Realisierung geeignete und verhältnismäßige Sanierungsmaßnahme konzeptionell ausgearbeitet werden kann.

2.5.1 Festlegung von Sanierungszonen

Auf der Grundlage der Ergebnisse von Gefährdungsabschätzung, Grundlagenermittlung und den ergänzenden Standortuntersuchungen ist zu prüfen, inwieweit eine Aufteilung der sanierungsbedürftigen Fläche in unterschiedlich zu sanierende Teilflächen vorzunehmen ist, für die ein unterschiedlicher bzw. ggf. kein Sanierungsbedarf besteht. Es ist zu begründen, welche Standortbedingungen bzw. Handlungsempfehlungen zur vorgenommenen Flächenaufteilung geführt haben, z. B.:

- verschiedene Sanierungsziele/-werte für unterschiedlich genutzte Teilbereiche,
- Art der kontaminierten Medien,
- Faktoren hinsichtlich des Schadstoffinventars, wie z. B. Schadstoffart, -konzentration, -zusammensetzung, -verteilung etc., Lage der Kontamination,
- bodenspezifische Faktoren, wie z. B. Bodenart und -gefüge, Art vorhandener Auffüllungen und Fundamente etc. sowie
- unterschiedliche Baugrundeigenschaften.

Die Sanierungszonen sind in Lageplänen und ggf. Profilschnitten darzustellen. Ihnen sind die jeweils relevanten Flächen und Massen zuzuordnen.

Die nachfolgenden Schritte der Machbarkeitsstudie (Auswahl geeigneter Sanierungstechniken/ -verfahren, Erarbeitung von Sanierungsszenarien etc.) sind für die einzelnen Sanierungszonen getrennt durchzuführen und zu dokumentieren.

2.5.2 Auswahl geeigneter Sanierungstechniken/-verfahren

Für die Sanierung stehen eine Vielzahl von Sanierungstechniken/-verfahren mit unterschiedlicher Leistungsfähigkeit und Einsetzbarkeit zur Verfügung, so dass im ersten Schritt nur die grundsätzlich geeigneten Sanierungstechniken/-verfahren bzw. deren Kombinationen auszuwählen und zu prüfen sind. Nicht geeignete Techniken bzw. Verfahren bleiben bei der weiteren Bewertung unberücksichtigt.

Es ist zu beachten, dass einzelne Sanierungstechniken/-verfahren nur für sich betrachtet ungeeignet, aber in Kombination mit anderen Sanierungstechniken/-verfahren durchaus geeignet sein können. Sämtliche berücksichtigten Techniken/Verfahren bzw. Kombinationen sind aufzuführen.

Unter Berücksichtigung der betroffenen Schutzgüter, der geforderten Schutz- und Sanierungsziele, der vorliegenden Kontamination und dem festgelegten Nutzungskonzept sind die zur Auswahl stehenden Dekontaminations- und Sicherungstechniken hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Einsetzbarkeit für die Sanierung der sanierungsbedürftigen Fläche bzw. der Sanierungszonen bezogen auf nachfolgende Beurteilungskriterien, beispielsweise in Form einer Matrix, zu prüfen:

- schadstoff-, boden-, material- und standortspezifische Eignung,
- wirkungspfadspezifische Eignung,
- dauerhafte Wirksamkeit,
- Entwicklungsstand, Verfahrenstechnik und Sicherheit sowie
- technische Durchführbarkeit (z. B. technische Verfügbarkeit, verfahrens-/ bautechnische Umsetzbarkeit, Zeitvorgaben und erforderlicher Zeitaufwand, Genehmigungsfähigkeit).

In Abbildung 4 ist die schadstoffspezifische Eignung von Dekontaminationsverfahren (thermische, biologische, Wasch- und aktiv pneumatische Verfahren) bezogen auf Schadstoffgruppen dargestellt. Die Eignung bezogen auf die Einzelstoffe der jeweiligen Schadstoffgruppe ist in Anlage 1 dargestellt. Die Einsatzmöglichkeiten aktiver Grundwasser-Sanierungsverfahren bezogen auf bestimmte Schadstoffe und die gängigsten Vorbehandlungsverfahren für die am häufigsten auftretenden Störstoffe Eisen, Mangan und Trübstoffe sind in Anlage 2 zusammengestellt.

Wichtige Schadstoffgruppen: () = Zuordnung zu Schadstoffgruppen gemäß Anhang 3	**Dekontaminationsverfahren**			
	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
Schwermetalle (2)	◯ 1)	□	■	□
Cyanide und Verbindungen (3)	E 7)	□	■	□
Aliphatische Kohlenwasserstoffe (Mineralöl u. -produkte) (7)	■	■	■	E 5)
Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (8)	■ 2)	◯	■	■
Aromatische Kohlenwasserstoffe (10)	■	◯	■	E 5)
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (12)	■	E 3)	■ 6)	□
Sonstige halogenierte Kohlenwasserstoffe (11,13,14)	■ 2)	E 4)	■	□

Legende:

□ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt
E Einzelfallentscheidung, Stoffgruppenaussagen sind nicht möglich

Anmerkungen:

1) leichtflüchtige Schwermetalle (z.B. Quecksilber) können entfernt werden, schwerflüchtige Schwermetalle werden ggf. bei hoher Behandlungstemperatur in die Bodenmatrix eingebunden.
2) Abhängig von der Genehmigung
3) Bei PAK mit mehr als 3 Ringen ist ein signifikanter Schadstoffabbau innerhalb überschaubarer Zeiträume nicht gesichert, mit mehr als 4 Ringen bisher großtechnisch nicht nachgewiesen.
4) Abhängig von Chlorierungsgrad
5) Abhängig vom Grad der Flüchtigkeit des Stoffes
6) Einschränkungen bei Vorliegen der Schadstoffe in kornähnlicher Struktur und Größe (z. B. PAK-Agglomerate)
7) Geeignet bei komplex gebundenen Cyaniden
8) Abhängig vom Grad der Löslichkeit des Stoffes; bei flüssigen Stoffen ist ggf. ein Abpumpen in Phase möglich.

Abbildung 4 Matrix zur Prüfung der schadstoffspezifischen Eignung von Dekontaminationsverfahren

Auch die in Anlage 3 zusammengestellte Stoffdatensammlung dient zur Beurteilung der schadstoffspezifischen Eignung von Sanierungsverfahren. Die Zusammenstellung liefert für die Schadstoffe Daten zu Festpunkt, Siedepunkt, Löslichkeit, Dampfdruck und Sättigungskonzentration.

Die bodenspezifische Eignung von Dekontaminationsverfahren ist in Abbildung 5 für die Bodenarten nach DIN 18 196 dargestellt.

Bodenarten nach DIN 18196		**Dekontaminationsverfahren**			
		thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1. Kiese/Sande	GE; GW, GI, SE SW, SI	■	■	■	■
2. Kiese/Sande, schluffig/tonig	GU; GT, SU, ST	■	■	■	■
3. Kiese/Sande, stark schluffig/stark tonig	GU, GT, SU, ST	■	■	■	■
4. Schluff, gering-mittelplastisch	UL, UM	■	E	□	□
5. Ton, gering-hochplastisch	TL, TM, TA	■	□	□	□
6. Grob-gemischtkörnige Böden mit organ. Beimengungen	OH	■	■	■	■
7. Schluff mit organischen Beimengungen	OU	■	E	□	□
8. Ton mit organischen Beimengungen	OT	■	□	□	□
9. Organische Böden	HN, HZ, F	■	□	□	□
10. Auffüllungen	A	E	E	E	E

Legende:

□ i. d. R. nicht geeignet
■ i. d. R. geeignet
E Einzelfallentscheidung

Abbildung 5 Matrix zur Prüfung der bodenspezifischen Eignung von Dekontaminationsverfahren

Für Sicherungsverfahren ist in Abbildung 6 bezogen auf die vorrangig betroffenen Wirkungspfade Wasser, Boden und Luft die Eignung dargestellt.

Bei dieser ausschließlich auf die Eignung und Wirksamkeit ausgerichteten Technik- bzw. Verfahrensauswahl bleiben die Behandlungs- bzw. Ausführungskosten grundsätzlich unberücksichtigt. Die Auswahl ist auf der Grundlage gesicherter Erkenntnisse sowie der Erfahrung aus vergleichbaren Maßnahmen durchzuführen.

vorrangig betroffene Wirkungspfade bei Altlasten: / Verfahren:	Wasser			Boden			Luft	
	Oberflächengewässer	Grundwasser/ horizontale Ausbreitung	Grundwasser/vertikale Ausbreitung in tiefer-gelegene GW-Stockwerke	Staubverwehung, Erosion	direkter Kontakt	Kulturpflanzen, Nahrungskette	Ausgasung an der Oberfläche	horizontale Ausbreitung im Untergrund
Einkapselung								
Oberflächenabdichtung	■	▨ 1)	▨ 1)	■ 7)	■ 7)	■	■ 2)	□
vertikale Dichtwände	▨	■ 3)	□	□	□	□	□	■
Basisabdichtung	□	□	■ 4)	□	□	□	□	□
Sickerwasserfassung	■ 4)	■ 4)	■ 4)	□	□	□	□	□
Gasdrainage	□	□	□	□	□	□	■ 4)	■ 4)
Immobilisierung	■ 5)	■ 5)	■ 5)	■ 5)	■ 5)	■ 5)	■ 5)	■ 5)
Passive hydraulische Maßnahme	□	■ 1) 6)	■ 1) 6)	□	□	□	□	□
Passive pneumatische Maßnahme	□	□	□	□	□	□	■ 3)	■

Legende:

□ i.d.R. nicht geeignet

▨ bedingt geeignet oder einzelfallabhängig

■ i.d.R. gut geeignet

Anmerkungen:

1) Verhinderung von Auslaugungseffekten, keine Reduzierung der Eigenmobilität der Stoffe

2) in Kombination mit Gasdrainage

3) Kombination mit Oberflächenabdichtung sinnvoll

4) Kombination mit weiteren Einkapselungselementen i.d.R. erforderlich

5) Qualität des Verfestigungsproduktes ist maßgebend, i.d.R. Kombination mit Einkapselungselementen erforderlich

6) Umlenkung der Schadstoffahne ist möglich

7) Abdeckung ohne besondere Dichtwirkung ist ggf. ausreichend

Abbildung 6 Matrix zur Prüfung der wirkungspfadspezifischen Eignung der Sicherungsverfahren

Die als geeignet eingestuften Sanierungstechniken/-verfahren sind aufzulisten, kurz zu beschreiben und hinsichtlich der standortspezifischen Eignung zu erläutern. Werden Sanierungstechniken/-verfahren trotz bekannter Einschränkungen als geeignet eingestuft, bzw. werden offensichtlich geeignete Sanierungstechniken/-verfahren vorzeitig ausgeschlossen, so sind die ausschlaggebenden Argumente aufzuführen.

Ergibt die Auswahl keine geeigneten Sanierungstechniken/-verfahren, so sind die Vorgaben (z. B. Nutzung, Sanierungsziele) zu überdenken und in Abstimmung mit den Beteiligten neu festzulegen. Für alle als geeignet befundenen Sanierungstechniken/-verfahren bzw. Kombinationen sind im nächsten Schritt standortspezifische Sanierungsszenarien zu erarbeiten (siehe Kapitel 2.5.4).

Eine Auswahl ist nicht erforderlich, wenn offensichtlich nur eine Sanierungstechnik bzw. ein Sanierungsverfahren als geeignet zur Verfügung steht; dies ist ausführlich zu begründen.

2.5.3 Eignungsuntersuchungen

Ergeben sich bei der Auswahl geeigneter Sanierungstechniken/-verfahren Unsicherheiten (siehe Kapitel 2.5.2), bzw. ist deren Anwendbarkeit und Wirksamkeit nur auf der Grundlage von standortspezifischen Versuchsergebnissen abgesichert möglich, so kann die Durchführung von Eignungsuntersuchungen sinnvoll sein. Der Gutachter hat

- die Notwendigkeit von Eignungsuntersuchungen ausführlich zu begründen,
- das Versuchsziel zu definieren,
- den inhaltlichen Umfang, das begleitende Untersuchungsprogramm und die Qualitätssicherung vorzugeben,
- den Versuchsmaßstab anzugeben,
- den Zeit- und Kostenaufwand aufzuzeigen,
- die Eignungsuntersuchungen mit dem Auftraggeber und der zuständigen Behörde abzustimmen und
- Angebote einzuholen, auszuwerten und die Vergabe vorzubereiten.

Mögliche Vorversuche werden in der Arbeitshilfe des Landes Sachsen "Laborative Vorversuche im Rahmen der Sanierungsuntersuchung und Sanierung" (LfUG Sachsen, 1999) beschrieben. Hinweise zur Auswahl der geeigneten Methode und zur Beurteilung des Ergebnisses im konkreten Einzelfall werden dort jedoch nicht gegeben.

Die Durchführung von Eignungsuntersuchungen kann beispielsweise zur Prüfung nachfolgend aufgeführter Sanierungstechniken/-verfahren im Labor- und Technikumsmaßstab oder – bei Bodenbehandlungen – ggf. in einer großtechnischen Anlage sinnvoll sein. Bei der Beurteilung des Versuchsmaßstabes sind technische, zeitliche und wirtschaftliche Kriterien zu berücksichtigen.

Zur Vermeidung unnötiger Kosten sollten Eignungsuntersuchungen bei Bodenluft- und Grundwassersanierungsmaßnahmen vorab zeitlich begrenzt werden, um unverhältnismäßig hohe Kosten zu vermeiden.

Bei Bodenluftsanierungsmaßnahmen eignen sich Eignungsuntersuchungen (Absaugversuch) zur Ermittlung der Absaugbarkeit der Schadstoffe. Außerdem kann die Reichweite der Absaugung und die Schadstoffentwicklung während des späteren Sanierungsbetriebes abgeschätzt und die Dimensionierung der Anlage weitestgehend abgeleitet werden.

Bei Grundwassersanierungsmaßnahmen kann zur Berechnung hydraulischer Eigenschaften des Grundwasserleiters die Durchführung eines Pumpversuches gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 111 erforderlich sein. Soll ein Pumpversuch Aussagen über zu erwartende Schadstoffgehalte liefern, muss die Fördermenge während des Pumpversuches mit der Fördermenge des späteren Sanierungsbetriebes übereinstimmen und ein hydrochemisches Gleichgewicht im Förderwasser erzeugt werden. Die Erreichbarkeit der vorgegebenen Sanierungsziele kann mit der vorgeschlagenen Anlagentechnik in einem Pilotversuch im Technikumsmaßstab überprüft werden. Dabei ist darauf zu achten, dass beim Vorversuch die Konzentration geogener Wasserinhalts- und Schadstoffe mit dem späteren Sanierungsbetrieb übereinstimmen.

Im Falle einer Bodenbehandlung wird anhand von originalem Material in Laborversuchen, in komplizierten Fällen auch in Technikumsversuchen oder in Betriebsanlagen, geprüft, ob das Sanierungsziel erreicht werden kann.

Die Versuche sind an Proben durchzuführen, die für die sanierungsbedürftige Fläche oder Sanierungszonen typisch sind, wobei der Zustand des Probenmaterials dem des Anlieferungszustandes bei einer Off-site-Anlage zu entsprechen hat. Die Art der Bodenbehandlung muss dem jeweiligen Sanierungsverfahren entsprechen; dies ist ggf. durch Laborversuche zu simulieren. Aus den Eignungsuntersuchungen können Angaben zum Massenanteil, zur Zusammensetzung der Abfälle, der Behandlungsanlage, zu den Verwertungsmöglichkeiten des gereinigten Bodens/Materials und zur Betriebsweise der Bodenbehandlungsanlage ermittelt werden.

Zur Beurteilung der Eignung von Oberflächensicherungsmaßnahmen oder vertikalen Abdichtungen können je nach Einzelfall Eignungsversuche mit nachfolgenden Zielsetzungen von Bedeutung sein.

Anhand von bodenspezifischen Untersuchungen kann die Eignung vorhandenen Bodenmaterials für die Erstellung mineralischer Oberflächenabdichtungen ermittelt werden. Für die vorgesehenen Systeme und Materialien ist mit den einzuhaltenden Qualitätsanforderungen ggf. zu prüfen, ob die Standsicherheit und das Verformungsverhalten des Untergrundes ausreichend und die bautechnische Ausführbarkeit gewährleistet ist.

Bei vertikalen Abdichtungen kann die Prüfung der grundsätzlichen Eignung bestimmter Dichtwandsuspensionen bezüglich der Untergrundverhältnisse oder Grundwasserbelastung erforderlich werden.

Zur Beurteilung der Eignung von Immobilisierungsmaßnahmen sind i. d. R. Eignungsuntersuchungen des Immobilisierungsproduktes erforderlich. Dazu zählen insbesondere die Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes k_f an einem Probekörper in einer Triaxialzelle, die Ermittlung der Schadstoffgehalte des S-4-Eluates und des Eluates aus der Triaxzelle, die Ermittlung der Druckfestigkeit und der Zerfallsziffer nach ENDELL und ggf. Untersuchungen des Langzeitverhaltens durch Langzeit-Elutionsversuche mit der Triaxialzelle.

Die Ergebnisse von Eignungsuntersuchungen müssen – sofern durchgeführt – vor der Erarbeitung von Sanierungsszenarien abgeschlossen, ausgewertet und dokumentiert sein.

2.5.4 Erarbeitung von Sanierungsszenarien

Für die geeigneten und verfügbaren Sanierungstechniken/-verfahren oder Kombinationen sind realisierbare Sanierungsszenarien zu entwickeln und hinsichtlich ihrer standortspezifischen Umsetzbarkeit zu prüfen.

Ein Sanierungsszenario beschreibt für die sanierungsbedürftige Fläche bzw. Sanierungszone eine Möglichkeit zur Sanierungsdurchführung bezogen auf geeignete Sanierungstechniken/-verfahren bzw. deren Kombinationen inkl. sämtlicher vorbereitender, begleitender und nachfolgender Leistungen (Nebenleistungen) entsprechend dem Stand der Technik, wobei alle kontaminierten Medien, die bisherige und künftige Nutzung sowie alle standortspezifischen Randbedingungen Berücksichtigung finden. Jedes Sanierungsszenario muss sowohl die gesetzlichen Vorschriften und Regeln sowie die von den Behörden für den Einzelfall festgelegten Anordnungen bzw. Vorgaben erfüllen. Dies bedeutet auch, dass als Grundlage für eine fachliche Bewertung bei jedem Sanierungsszenario folgende Voraussetzungen erfüllt sein müssen:

- Die vorläufigen Sanierungsziele müssen erreicht werden.
- Die Sanierungsszenarien müssen bezogen auf die standortspezifischen Rahmenbedingungen technisch durchführbar sein.
- Die Sanierungsszenarien müssen von allen Beteiligten mit getragen werden.
- Die zur Bewertung notwendigen Informationen zum Standort, den Sanierungsverfahren und zum Standortumfeld müssen in einem für die fachliche Bewertung ausreichenden Umfang vorliegen.

Die Sanierungsszenarien sind auf der Grundlage von Erfahrungswerten für die sanierungsbedürftige Fläche bzw. die jeweiligen Sanierungszonen zu entwickeln und auf ihre Umsetzung vor Ort im Rahmen eines Planspiels zu prüfen. Vorher ist zu klären, ob die Szenarien öffentliche und politische Akzeptanz sowie Genehmigungsfähigkeit besitzen, und ob der Entwicklungsstand der Verfahren eine erfolgreiche Anwendung sicherstellt. Relevante Aspekte bei der Entwicklung der Sanierungsszenarien können u. a. sein:

- Überprüfung der Notwendigkeit von Betretungserlaubnissen, Nutzungsvereinbarungen, Entschädigungen, Umsiedlungen und Evakuierungen;
- Zugänglichkeit (Ausbau bzw. Neubau) und Verkehrsanbindungen (Straße, Schiene, Wasser), sowie deren Beschränkungen;
- Baustelleneinrichtung (Infrastruktur und Flächenbedarf etc.);
- Entfernung von Bewuchs und Ablagerungen;
- Rückbau und Abbruch von Gebäuden (Abreinigung, Brechen, Separation, Arbeitsschutz, Entsorgung etc.);
- Durchführbarkeit der Sanierung (bautechnische Umsetzung, Platzbedarf, verfahrenstechnische Realisierbarkeit, erforderlicher Zeitaufwand, Auflagen bzgl. der maximal zu entnehmenden Grundwassermenge oder maximal zulässigen Einleitmenge, Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt, mögliche Setzungen umgebender Bebauung, etc.);
- Unwägbarkeiten (fehlende Daten, Einfluss auf die Sanierung etc.);
- Arbeits-, Emissions- und Immissionsschutz, Sicherheitskonzept (Schwarz-Weiß-Anlage, Reifenwaschanlage, Teil- und/oder Vollschutz, arbeitsmedizinische Untersuchungen und Begleitung etc.) und Notfallplan;
- Entstehung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen;
- Auswirkungen auf die Betroffenen (Lärm, Staub, Verschmutzung, Verkehrsaufkommen, Evakuierung etc.) sowie Akzeptanz der späteren Nutzer;
- Bodenaushub (Mengen, Wasserhaltung, Baugrubensicherung, Fundamente, Ver- und Entsorgungsleitungen etc.) sowie Bodenmanagement;
- Bodenzwischenlagerung (auf dem Gelände oder außerhalb, Mengen, Anforderungen etc.);
- Boden-/Materialtransport (auf dem Standort oder außerhalb, Mengen, Entfernungen, Straße, Schiene, Wasser, Container etc.);

- Sanierungsverfahren (Dekontaminationsverfahren: Annahmekriterien, Deklarationsanalytik, Bereitstellungs-/Zwischenlager, Rücktransport, Wiedereinbau, zulässige Restbelastungen in den zu sanierenden Medien; Sicherungsverfahren: Art der Folgenutzung, Rückhaltevermögen, langfristige Wirksamkeit, Trassenverlauf und kreuzende Versorgungstrassen bei Dichtwänden etc.);
- erforderliche Zulassungen (Szenarien mit fragwürdiger Genehmigungsfähigkeit sind zu vermeiden), genehmigungsrechtliche Auflagen (s. auch Leitfaden Recht, LfU 1995);
- Umbauarbeiten während der Sanierung;
- Entsorgungsmöglichkeiten und -wege (Art und Mengen, Wiederaufbereitung, Deponierung etc.);
- Wiedereinbau des gereinigten Materials (Mengen, Verdichtungsfähigkeit etc.);
- Qualitätsvorgaben an Verfüllmaterialien;
- Qualitätssicherung (Eigen- und Fremdüberwachung, behördliche Überwachung etc.);
- Öffentlichkeitsarbeit (Information der Betroffenen, Publikationen, Broschüren, Bürgerversammlungen etc.);
- Erfordernisse der Nachsorge;
- Nachsorgemaßnahmen (Langzeitbetrieb und –erhaltung, Funktionskontrollen und Überwachung der Wirkungspfade) zusätzliche Messstellen müssen in Abhängigkeit von der Folgenutzung zugänglich sein sowie überwacht und gewartet werden können;
- Wiederherstellung der Nutzbarkeit (Aufbringen von Oberboden, Landschaftsgestaltung, Elektro-, Gas-, Wasseranschluss, Kanalisation, Baureifmachung etc.).

Bei der Erarbeitung geeigneter Sanierungsszenarien sind der Arbeits- und Immissionsschutz, die Wirkungsdauer der Sanierungstechniken/-verfahren sowie deren Überwachungsmöglichkeiten während und nach der Sanierungsdurchführung (Nachsorge) verstärkt zu berücksichtigen. Der hiermit verbundene technische, analytische und organisatorische Aufwand ist so ausführlich darzustellen, damit die entsprechenden Kosten abgeschätzt werden können (siehe Kapitel 2.5.6). Hierbei ist darauf hinzuweisen, inwieweit ggf. nach der Festlegung der endgültigen Sanierungskonzeption (siehe Kapitel 2.7) noch ergänzende Eignungsuntersuchungen (z. B. Schurf, Lemberger-Box) zur Abschätzung der Anforderungen an den Arbeitsschutz erforderlich sind.

Die als geeignet ausgewählten Sanierungsszenarien sind nachvollziehbar bezogen auf sämtliche vorbereitenden, begleitenden und Folgemaßnahmen bzw. mögliche Bauabschnitte darzustellen und bezüglich der jeweiligen Machbarkeit zu erläutern; auf die Vor- und Nachteile der Sanierungsszenarien ist hinzuweisen. Für jedes Sanierungsszenario sind die technische Eignung und Durchführbarkeit, die standortspezifische Realisierbarkeit, die Wirksamkeit im Hinblick auf das Sanierungserfordernis sowie die Auswirkungen auf den Nachbarschaftsschutz, Arbeitsschutz und auf die Umwelt darzustellen, so dass im nächsten Schritt eine fachliche Bewertung (siehe Kapitel 2.5.5) möglich und die Kostenschätzung (siehe Kapitel 2.5.6) nachvollzogen werden kann.

Mit den Fachbehörden und anderen an der Planung Beteiligten sind Gespräche bezüglich der Notwendigkeit von Duldungen, Erlaubnissen und Genehmigungen sowie zur Klärung von Detailproblemen zu führen.

2.5.5 Fachliche Bewertung der Sanierungsszenarien

Die für die sanierungsbedürftige Fläche bzw. für einzelne Sanierungszonen erarbeiteten und für eine Sanierung in Betracht kommenden Sanierungsszenarien sind unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Unterschiedlichkeit fachlich, d. h. ohne Berücksichtigung der Kosten, zu bewerten.

Auf ungesicherte Annahmen und Informationslücken sowie deren Einfluss auf die Bewertung ist deutlich hinzuweisen.

Das Ergebnis der fachlichen Bewertung steht hierbei für den Nutzen der Sanierungsszenarien und damit für den Grad ihrer fachlichen Eignung. Der mehrdimensionale Nutzen eines Sanierungsszenarios wird sowohl durch objektive Kenngrößen als auch durch subjektive Einschätzungen geprägt.

Ausgehend von den in § 5 Abs.1, 2 u. 5 BBodSchV formulierten Anforderungen an Dekontaminations- und Sicherungsmaßnahmen sowie den in Anhang 3 der BBodSchV für die Sanierungsuntersuchung formulierten Prüfkriterien, ergeben sich die „Wirksamkeit“ und die „Auswirkungen“ der Sanierungsszenarien als Bewertungskriterien nach BBodSchV. Um darüber hinaus auch die Qualität der sanierten Fläche insbesondere bei einer Nutzungsänderung (Flächenrecycling) bewerten zu können, kann zusätzlich auch eine Bewertung über das Kriterium „Grundstücksqualität“ empfehlenswert sein.

Ziel ist die fachliche Bewertung jedes einzelnen Sanierungsszenarios unter Berücksichtigung der jeweils erforderlichen Nebenmaßnahmen sowie die vergleichende Beurteilung der verschiedenen Szenarien bezogen auf die festgelegten Bewertungskriterien, so dass die Erstellung einer Rangfolge möglich ist.

Die vom Gutachter durchgeführte Bewertung muss sowohl für den technisch versierten Fachmann als auch für den nicht an der Projektbearbeitung beteiligten Entscheidungsträger transparent und nachvollziehbar sein.

Die Bewertung kann projektabhängig (Projektumfang, Komplexität, öffentliche Beteiligung etc.) verbalargumentativ und/oder nutzwertanalytisch durchgeführt werden. Die Art des Bewertungsansatzes ist mit dem Auftraggeber und der zuständigen Behörde vor der Auftragsvergabe abzustimmen (siehe Kapitel 2.2.2).

2.5.5.1 Bewertungskriterien

Es sind nur solche Sanierungsszenarien detailliert zu bewerten, bei denen die grundsätzliche Realisierbarkeit gegeben ist. Hierzu muss zuvor für die Sanierungstechniken/-verfahren die jeweilige Leistungsfähigkeit und Einsetzbarkeit anhand der Ausschlusskriterien schadstoff-, boden-, material- und standortspezifische Eignung, Wirksamkeit im Hinblick auf das Sanierungserfordernis und technische Durchführbarkeit nachgewiesen worden sein (siehe Kapitel 2.5.2). Nur die Sanierungstechniken/-verfahren, die diesen Anforderungen genügen, eignen sich zur Entwicklung von Sanierungsszenarien.
Damit ein Sanierungsszenario standortspezifisch umsetzbar und damit bezogen auf seinen Nutzen bewertbar ist, muss es den gesetzlichen Vorschriften und Regeln sowie den von den Behörden im Einzelfall festgelegten Anforderungen bzw. Vorgaben entsprechen, die vorläufigen Sanierungsziele zuverlässig erfüllen, genehmigungsfähig, flexibel in der Anpassung an Unvorhersehbares und im erforderlichen Zeitaufwand umsetzbar sein. Darüber hinaus muss es dauerhaft wirksam, überwachbar und nachbesserbar sein, die Auswirkungen auf Betroffene und Umwelt sowie die Entstehung von Abfällen minimieren, die Verwertung von Abfällen gegenüber der Beseitigung optimieren sowie die Erfordernisse von Arbeitsschutz und Nachsorge erfüllen.

Der hierfür bei den einzelnen Sanierungsszenarien ggf. unterschiedlich hohe Aufwand wird über die Kosten berücksichtigt.

Damit die Ermittlung des Nutzens der verschiedenen Sanierungsszenarien grundsätzlich vor dem gleichen Hintergrund erfolgt, wird das Ergebnis über geeignete Indikatoren abgebildet. Diese dienen als Messgrößen bzw. Messregeln zur Bestimmung der jeweiligen Zielerträge der Kriterien.

Indikatoren haben Vorschlagscharakter und können von der zuständigen Behörde in Abhängigkeit vom Einzelfall ergänzt bzw. reduziert werden; d. h., es kann ein anderer Nutzen festlegt werden. Bei einer Ergänzung der Indikatoren ist darauf zu achten, dass keine Doppelbewertung erfolgt bzw. zwischen den Indikatoren eine Abhängigkeit besteht. Erst durch die Bewertung aller Szenarien mit den gleichen vorher fest-

gelegten Kriterien bzw. Indikatoren ist eine objektive Beurteilung und damit die Möglichkeit zur Ermittlung des Nutzens sichergestellt.
Die Bewertung des Nutzens konzentriert sich auf den Standort und sein unmittelbares Umfeld.

Die den Kriterien zugeordneten Indikatoren sind in Abbildung 7 aufgeführt.

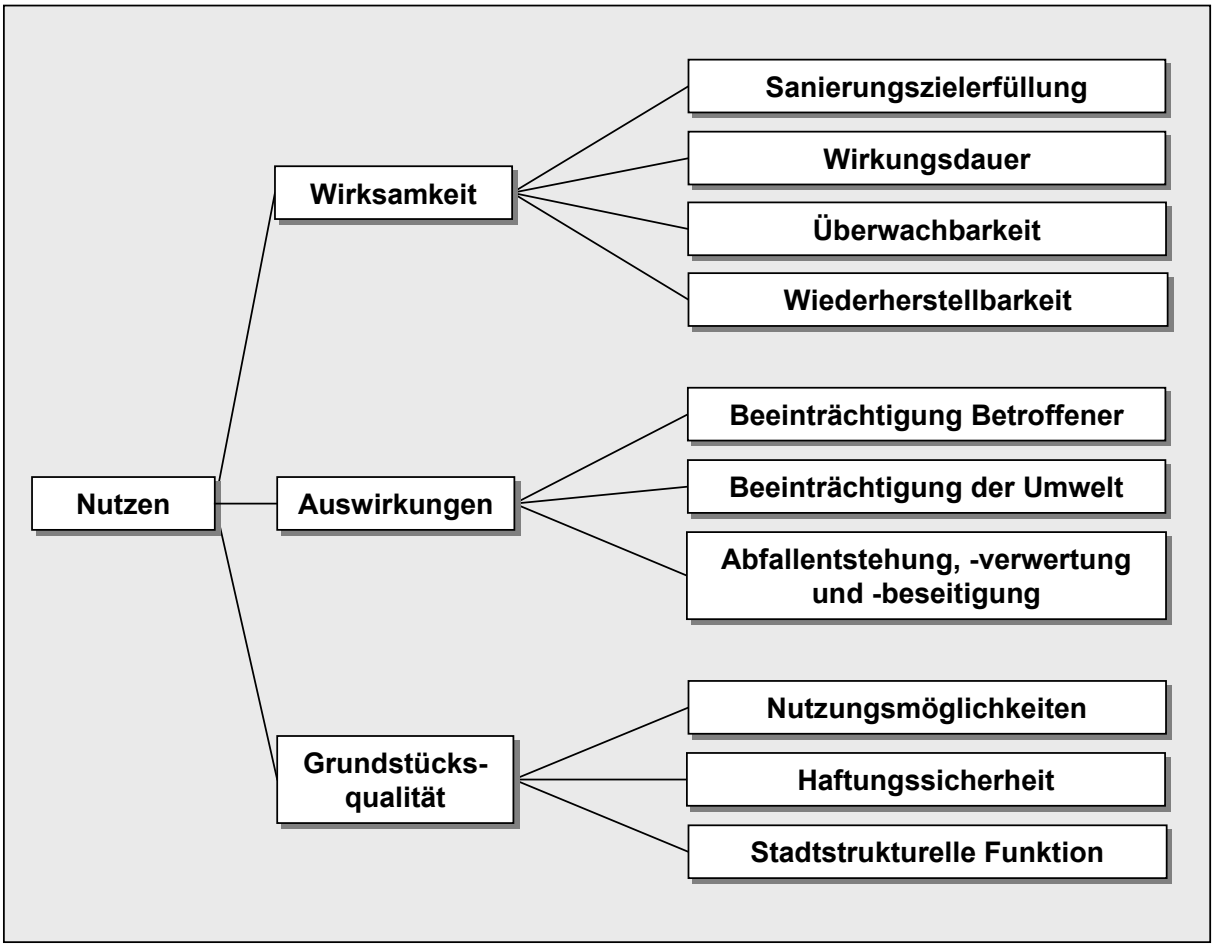


Abbildung 7 Kriterien und Indikatoren zur Bewertung des Nutzens

Was mit den einzelnen Bewertungskriterien und den ihnen zugeordneten Indikatoren zu bewerten ist, wird nachfolgend kurz erläutert. Bewertungsbereiche (Punkteverteilung) werden in Kap. 3.4.3 dargestellt.

- Die standortspezifische „Wirksamkeit“ eines Szenarios wird über die Indikatoren „Sanierungszielerfüllung“, „Wirkungsdauer“, „Überwachbarkeit“ und „Wiederherstellbarkeit/Nachbesserungsmöglichkeit“ abgebildet.

  Mit dem Indikator „Wirkungsdauer“ wird die Wirkungsdauer der Maßnahme unter Bezug auf die im jeweiligen Szenarios eingesetzten Sanierungsverfahren (Dekontamination, Sicherung) bewertet. Hierbei ist bei Bauwerken (Dichtwänden, Oberflächenabdichtungen, reaktiven Wänden, Bodenverfestigungen usw.), Anla-

gen (Grund- und Sickerwasserbehandlungsanlagen, hydraulischen Sperren, Entgasungsanlagen usw.) sowie Mess- und Überwachungseinrichtungen von der durchschnittlichen Nutzungsdauer auszugehen. Da hierzu erst wenige Werte vorliegen, ist auf Berechnungen, erste Erfahrungswerte und die in Tabelle 3 aufgeführten Durchschnittswerte zurückzugreifen. Besteht das Sanierungsszenario aus mehreren Bauwerken/Anlagen, so ist mit dem Ergebnis die Wirkungsdauer der Gesamtmaßnahme mit Bezug auf das für die Wirksamkeit maßgebliche Element zu bewerten.

Mit dem Indikator „Überwachbarkeit“ wird die Möglichkeit zur Durchführung notwendiger Funktionskontrollen an Sicherungsbauwerken und -anlagen, die Möglichkeit zur Überwachung der Wirkungspfade sowie deren Art und Umfang bewertet (Überwachungsmöglichkeiten). Setzt sich das Sanierungsszenario aus mehreren Komponenten (Bauwerken/Anlagen) zusammen, so hat das Bewertungsergebnis die Wirksamkeit der Überwachbarkeit bezogen auf die Gesamtmaßnahme zu repräsentieren.

Nach Anhang 3 der BBodSchV ist die Nachbesserungsmöglichkeit der Maßnahmen zu prüfen. Mit dem Indikator „Wiederherstellbarkeit/Nachbesserungsmöglichkeit“ wird die Möglichkeit und das Ausmaß zur Durchführung von Reparaturen, teilweisen Erneuerungen und des Ersatzes der gesamten Sanierungsmaßnahme im Rahmen der Nachsorge bewertet. Setzt sich das Sanierungsszenario aus mehreren Komponenten (Bauwerken/Anlagen) zusammen, ist mit dem Bewertungsergebnis die Möglichkeit und das Ausmaß zur Wiederherstellbarkeit bezogen auf die Wirksamkeit der Gesamtmaßnahme darzustellen.

- Die standortspezifischen „Auswirkungen“ eines Sanierungsszenarios werden über die Indikatoren „Beeinträchtigung Betroffener“, „Beeinträchtigung der Umwelt“ und „Abfallentstehung, -verwertung und -beseitigung“ abgebildet.

  Zur konkreten Quantifizierung und Bewertung der durch die Sanierungsszenarien verursachten Auswirkungen kann eine Bilanzierung mit dem Methodeninstrumentarium der „Ökobilanzierung“ notwendig werden und hilfreich sein. Zumindest sollten die methodischen Grundprinzipien des life-cycle-assessment, wie sie in DIN 14040 ff. dokumentiert sind, beachtet werden. Eine gute Grundlage kann die von der LfU Baden-Württemberg herausgegebene Umweltbilanzierung von Altlastensanierungsverfahren darstellen (Kapitel 3.4.8).

  Nach Anhang 3 der BBodSchV ist die Auswirkung der Maßnahmen auf die Betroffenen im Sinne von § 12 Abs. 3 Satz 1 BBodSchG und auf die Umwelt zu prüfen. Mit dem Indikator „Beeinträchtigung Betroffener“ wird das Ausmaß der durch die Durchführung des Sanierungsszenarios auf die Betroffenen (Eigentümer betroffener Grundstücke, Nutzungsberechtigte und betroffene Nachbarschaft) während der Baumaßnahme einwirkenden Umstände (Lärm, Erschütterungen, Ein-

schränkungen, Belästigungen etc.) und die nach Abschluss der Maßnahme verbleibenden Beschränkungen bewertet.

Mit dem Indikator „Beeinträchtigung der Umwelt“ wird das Ausmaß der mit der Durchführung des Sanierungsszenarios verbundenen negativen Auswirkungen auf Boden, Wasser, Flora und Fauna (Emissionen, Immissionen, Störungen und Folgen) am Standort und dessen Umfeld bewertet. Darüber hinaus kann über diesen Indikator auch der Energieaufwand und Ressourcenverbrauch bewertet werden.

Nach Anhang 3 der BBodSchV ist die Entstehung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen bei den Maßnahmen zu prüfen. Mit dem Indikator „Abfallentstehung, -verwertung und -beseitigung“ wird bewertet, in welchem Umfang durch die eingesetzten Sanierungsverfahren Abfallstoffe anfallen und diese verwertet werden können bzw. beseitigt werden müssen.

- Die „Grundstücksqualität“ wird über die Indikatoren „Nutzungsmöglichkeit“, „Haftungssicherheit“ und „Stadtstrukturelle Funktionen“ abgebildet.

  Mit dem Indikator „Nutzungsmöglichkeiten“ wird die Verbesserung der Grundstücksnutzung durch den Abbau von Restriktionen bewertet. Als Maß werden die verschiedenen Nutzungsarten der sanierten Fläche, oder die für bestimmte Nutzungen noch bestehenden Restriktionen bestehend aus dem Restschadstoffpotential oder aus der sonstigen Emissionssituationen angesetzt. Aus Investorensicht sind insbesondere die Flächen interessant, deren Nutzbarkeit keinen Beschränkungen unterliegen.

  Mit dem Indikator „Haftungssicherheit“ wird das Maß der uneingeschränkten resp. eingeschränkten Kreditierbarkeit und Haftungssicherheit bewertet, was bei sanierten Flächen ein ganz entscheidendes Hemmnis sein kann. Wegen der nicht auszuschließenden Risiken machen Potentielle Investoren ihre Entscheidungen nicht selten von diesem Indikator abhängig, wobei hierfür sowohl rationale als auch mehr irrationale Gründe (Image, Produktakzeptanz) maßgebend sind.

  In dem Indikator „Stadtstrukturelle Funktion“ werden die Nutzungs- und Funktionsmöglichkeiten der sanierten Fläche entsprechend den städtebaulichen Entwicklungszielen bewertet. Dementsprechend werden sanierte Flächen, die den Nutzungs- und Funktionszuweisungen voll genügen, hoch bewertet, weil hier der entsprechende Erhalt der Fläche anzustreben ist. Demgegenüber werden Flächen, die die städtebauliche Entwicklung blockieren bzw. einen städtebaulichen respektive funktionalen Missstand darstellen, mit der jeweils niedrigsten Bewertungsziffer versehen.

Wichtig ist, dass alle Komponenten eines Szenarios bezüglich der in Abbildung 8 aufgeführten Kriterien die jeweils relevanten Indikatoren bewertet werden. Das bedeutet jedoch, dass nur dann eine Bewertung durchzuführen ist, wenn der jeweiligen

Komponente des Szenarios, z. B. dem „Transport des Bodens“, eine Wirkung auf das Bewertungskriterium zugeordnet werden kann. Ist dies nicht der Fall, so ist der Indikator für die jeweilige Bewertung ohne Bedeutung. Beispielsweise hat der Indikator „Grundstücksqualität“ keine Bedeutung für den Transport und ist somit auch nicht bewertungsrelevant.

In Abbildung 8 ist die Zuordnungsmatrix allgemein dargestellt. Hieraus wird deutlich, dass im ersten Schritt festzulegen ist, welcher Indikator für welche Komponente bewertungsrelevant ist.

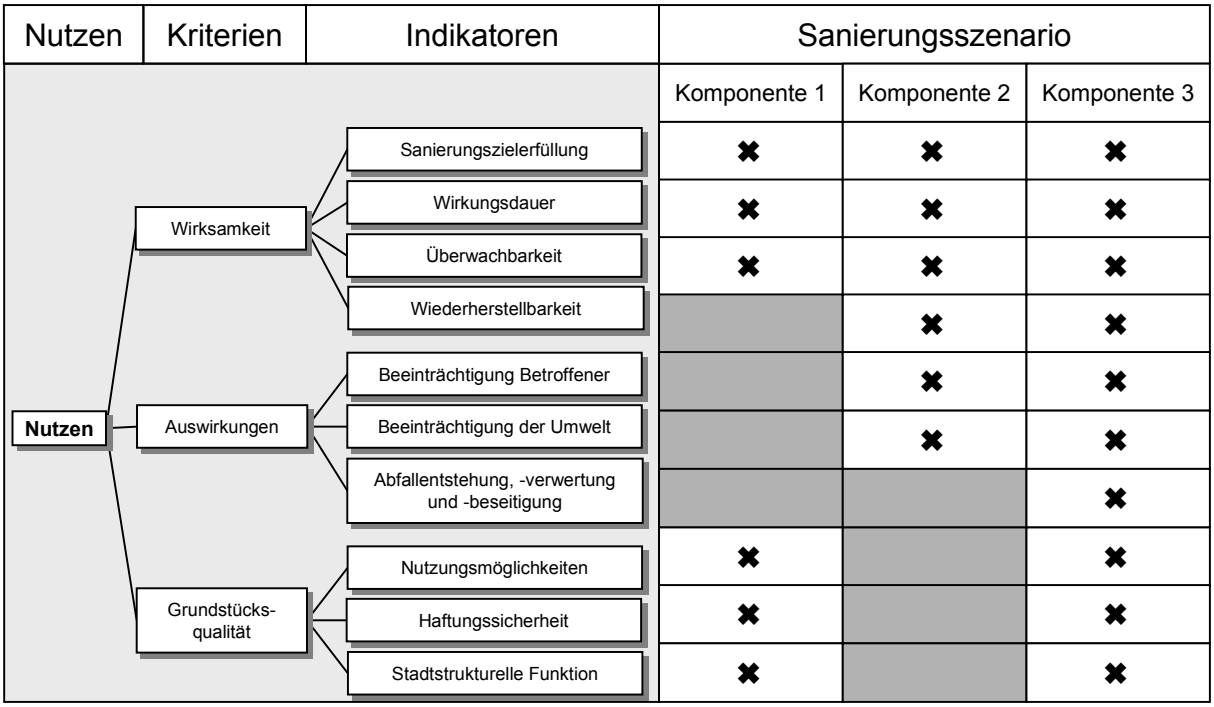


Abbildung 8 Systematische Darstellung zur Zuordnung von bewertungsrelevanten Indikatoren und Komponenten (theoretisch)

2.5.5.2 Durchführung der Bewertung

In Abhängigkeit vom Einzelfall ist mit dem Auftraggeber und der zuständigen Behörde abzustimmen, ob eine verbalargumentative Bewertung und/oder eine nutzwertanalytische Bewertung durchzuführen ist. Bei der verbalargumentativen Bewertung liegt der Schwerpunkt bei der detaillierten Diskussion von Vor- und Nachteilen sämtlicher Komponenten eines Sanierungsszenarios (Kern- und Nebenleistungen) bezogen auf die zuvor festgelegten Kriterien mit anschließender Bewertung des Sanierungsszenarios. Jedes Sanierungsszenario ist mit den gleichen Kriterien zu bewerten. Im nächsten Schritt sind die Szenarien vergleichend zu beurteilen. Der Übersichtlichkeit halber empfiehlt sich eine tabellarische Darstellung mit stichwortartiger Begründung sowie ggf. eine halbquantitative Bewertung mittels Symbolskala.

Kann mit einer verbalargumentativen Bewertung keine eindeutige Priorisierung der Sanierungsszenarien vorgenommen werden, empfiehlt sich die Durchführung einer nutzwertanalytischen Bewertung.

Ergänzend kann eine nutzwertanalytische Bewertung mit den gleichen Kriterien durchgeführt werden. Die Nutzwertanalyse (NWA) ist ein kostenneutrales Bewertungsverfahren zur vergleichenden Beurteilung mehrerer Sanierungsszenarien bezogen auf einzelfallspezifisch festgelegte Kriterien (siehe Kapitel 3.4.3). Auf der Grundlage von kriterienspezifischen Bewertungsskalen (Wertmaßstäben) wird der jeweilige Erfüllungsgrad mit Punkten bewertet und durch Multiplikation mit dem dazugehörigen Gewicht zum betreffenden Teilnutzen des Kriteriums (Teilnutzwert) berechnet. Der Gesamtnutzwert eines Szenarios ergibt sich i. d. R. durch die Addition der Teilnutzwerte (Aggregation) und liefert damit die Grundlage zur Festlegung einer Rangfolge der Sanierungsszenarien.

Soll im Rahmen der Nutzen-Kosten-Untersuchung eine Kostenwirksamkeitsanalyse durchgeführt werden (Kapitel 3.4), so ist zuvor eine nutzwertanalytische Bewertung der Sanierungsszenarien durch zu führen.

Die Art des Bewertungsansatzes ist mit dem Auftraggeber und der zuständigen Behörde vorher abzustimmen. Zur besseren Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit wird empfohlen, die Bewertung tabellarisch oder in Form einer Matrix vorzunehmen.

2.5.6 Kostenschätzung

Die Kostenschätzung ist auf der Grundlage von Erfahrungswerten, vergleichbaren Sanierungsmaßnahmen bzw. unverbindlichen Kostenanfragen sowie entsprechender Literatur für die zuvor fachlich bewerteten Sanierungsszenarien durchzuführen. Sie bildet die Grundlage zur Durchführung der Nutzen-Kosten-Rechnung (siehe Kapitel 3.2.3). Zur besseren Vergleichbarkeit sind hierbei die Kosten nach den Leistungsbereichen Vorleistungen, Kernleistungen, bau- und verfahrensbegleitende Leistungen sowie Folgeleistungen aufzugliedern. Die Kosten für Unvorhersehbares sind separat auszuweisen und nicht durch Kostenzuschläge zu integrieren. Jede Kostenposition ist mit den zugrunde gelegten Ansätzen so zu erläutern, dass sämtliche Leistungen des Sanierungsszenarios nachvollzogen werden können (siehe Kapitel 2.5.4).

Bei der Kostenschätzung sind sämtliche Kosten, z. B. Herstellungs-, Personal-, Betriebs-, Bauunterhaltungs-, Untersuchungs-, Analyse- sowie Entsorgungskosten zu berücksichtigen.

Im Rahmen der Vorleistungen sind u. a. Planungs-, Bauleitungs-, Gutachter-, Projektsteuerer- sowie Fremdüberwachungskosten zu berücksichtigen. Die Kernleistungen umfassen sämtliche bau- und verfahrenstechnischen Kosten für die jeweiligen

Dekontaminations- und/oder Sicherungsverfahren. Die Kosten für bau- und verfahrensbegleitende Leistungen umfassen beispielsweise den Arbeits- und Immissionsschutz, Erd- und Verbauarbeiten, Abbrucharbeiten, Wasserhaltungskosten, Verwertungs- bzw. Beseitigungskosten sowie die Kosten für begleitende Analytik und Messungen. Im Rahmen der Folgeleistungen sind die Nachsorgekosten für Langzeitbetrieb (Betriebsführung der kontinuierlich zu betreibenden maschinentechnischen Anlagen), Langzeiterhaltung (Unterhaltung als auch teilweise Erneuerung von Bauwerken Anlagen sowie Mess- und Überwachungseinrichtungen), Funktionskontrollen sowie Überwachung der Wirkungspfade und die Überwachungskosten für angemessene Zeiträume abzuschätzen. Die Kostenschätzung kann unter Verwendung des Leistungsbuches „Altlastensanierung und Flächenentwicklung“ durchgeführt werden (LUA 1998).

Da Eigenkontrollmaßnahmen auch nach der Durchführung von Dekontaminations-, Sicherungs- und Beschränkungsmaßnahmen von der zuständigen Behörde angeordnet werden können, sind vom Gutachter begründete Vorschläge für den Betrachtungszeitraum anzugeben. Dies ist erforderlich, da sich beispielsweise bei Grundwasserreinigungs-, Bodenluftreinigungs- und Sicherungsmaßnahmen die Kosten für Nachsorgemaßnahmen in Abhängigkeit von der Zeit ändern können.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber (siehe Kapitel 2.2.2) sind ggf. auch die Kosten für Kapitaldienste, Abschreibungen sowie die Wertschöpfung durch eine höherwertige Folgenutzung bei der Kostenschätzung zu berücksichtigen.

2.5.7 Nutzen-Kosten-Untersuchung

Nach Anhang 3 der BBodSchV ist im Rahmen der Sanierungsuntersuchung das Verhältnis von Kosten und Wirksamkeit zu prüfen.

Im Anschluss an die Kostenschätzung ist als Hilfsmittel des Planungs- und Entscheidungsprozesses eine Nutzen-Kosten-Untersuchung durchzuführen (ausführlich in Kapitel 3 dargestellt). Ziel ist die Ermittlung des technisch und ökologisch geeignetsten Szenarios bei gleichzeitig wirtschaftlichem und sparsamen Einsatz öffentlicher Mittel.

Im Rahmen der Sanierungsuntersuchung geht bei der Bewertung einer Gefahrenabwehrmaßnahme wie auch bei Maßnahmen zur Nutzungsänderung der Nutzen eines Szenarios über das Ergebnis der fachlichen Bewertung (siehe Kapitel 2.5.5.2) in die Nutzen-Kosten-Untersuchung ein.

Um entscheiden zu können, welches Sanierungsszenario für die Sanierung der Fläche bzw. einzelner Sanierungszonen am besten geeignet ist, wird der Nutzen eines Szenarios den entsprechenden Kosten gegenüber gestellt. Durch die abschließende

Interpretation und Beurteilung der Ergebnisse unter Berücksichtigung sämtlicher standortspezifischer Randbedingungen bzw. getroffener Annahmen in knapper und überschaubarer Form kann eine Rangfolge der Sanierungsszenarien abgeleitet werden.

Die Methodik der Nutzen-Kosten-Untersuchung mit Angaben zur Kostenvergleichsrechnung, Kostenwirksamkeitsanalyse und Kosten-Nutzen-Analyse ist im Kapitel 3 dieser Arbeitshilfe ausführlich dargestellt. Nachfolgend sind die einzelnen Verfahren nur kurz beschrieben.

Bei der Sanierungsuntersuchung können verschiedene Ansätze der Nutzen-Kosten-Untersuchung eingesetzt werden. Wurde die fachliche Bewertung verbalargumentativ durchgeführt, so bietet sich die Kostenvergleichsrechnung als einfachste Form der Nutzen-Kosten-Untersuchung an. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Kostenvergleichsrechnung für die zu bewertenden Sanierungsszenarien einen gleichen Nutzen voraussetzt – was in einer Vielzahl der Fälle nicht gegeben ist – und damit ein einseitig an die Kostenseite orientiertes Bewertungsverfahren darstellt. Sie ermittelt lediglich das kostengünstigste Sanierungsszenario, bzw. um welchen Betrag ein Sanierungsszenario kostengünstiger als ein anderes ist.

Ist es Ziel der Sanierungsuntersuchung, für eine Fläche unter Berücksichtigung verschiedener Nutzungsalternativen (flexible Wiedernutzung) die vorzugswürdige Sanierungsvariante zu ermitteln, darf hierfür nicht die Kostenvergleichsrechnung zum Einsatz kommen, da sich für unterschiedliche Nutzungsalternativen grundsätzlich auch ein unterschiedlicher Nutzen für die einzelnen Szenarien ergibt.

Da die Kosten (Herstellungs- und Betriebskosten) zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Kalkulationsperiode anfallen, müssen sie, um verglichen werden zu können, beispielsweise mit der Barwertmethode auf einen gemeinsamen Bezugspunkt wertmäßig umgerechnet werden. Hierbei werden Kosten, die in unterschiedlicher Höhe und zu unterschiedlichen Zeitpunkten wirksam werden, z. B. Investitionskosten, Behandlungskosten, kontinuierliche Betriebskosten etc., vergleichend betrachtet. Die vor dem Bezugszeitpunkt anfallenden Kosten (z. B. Planungskosten) werden aufgezinst und danach anfallende Kosten (z. B. Nachsorgekosten) abgezinst. Es empfiehlt sich, zum Schluss der Berechnungen das Ergebnis durch eine Sensitivitätsanalyse auf zwangsläufige Veränderungen der angenommenen Projektdaten zu überprüfen.

Wurde die fachliche Bewertung nutzwertanalytisch durchgeführt, so kann das erzielte Ergebnis mit den für die einzelnen Sanierungsszenarien ermittelten Kosten ins Verhältnis gesetzt und eine Kostenwirksamkeitsanalyse (Kosten-Nutzwert-Analyse) durchgeführt werden. Die Wirksamkeit, d. h. der Nutzen eines Sanierungsszenarios geht über das Ergebnis der fachlichen Bewertung ein, wobei gegenüber der Kostenvergleichsrechnung ein unterschiedlicher Nutzen für die einzelnen Szenarien sowie auch ein unterschiedlicher Teilnutzen für die einzelnen Bewertungskriterien eines

Szenarios berücksichtigt werden können. Die Kosten sind zuvor als Kostenbarwerte zu ermitteln.

Die Beurteilung des Kostenwirksamkeitsverhältnisses erfolgt durch die Division der gewichteten Gesamtpunktzahl eines Sanierungsszenarios durch die jeweiligen Gesamtkosten des Betrachtungszeitraumes. Damit ergibt sich die Ermittlung einer Szenarien-Rangfolge sowie die Möglichkeit zur graphischen Darstellung des Ergebnisses. Zur Verifizierung des Ergebnisses empfiehlt sich die Durchführung einer Sensitivitätsanalyse.

Da für die Kosten-Nutzen-Analyse bisher keine abgeleiteten Monetarisierungsbereiche vorliegen, welche die bestehenden altlastspezifischen Randbedingungen berücksichtigen kann die Kosten-Nutzen-Analyse zur Bewertung von Sanierungsszenarien noch nicht eingesetzt werden.

2.5.8 Vorgeschlagenes Maßnahmenkonzept

Auf der Basis sämtlicher im Rahmen der Sanierungsuntersuchung ermittelten Daten und Arbeitsergebnisse aus

- Grundlagenermittlung,
- ergänzenden Standortuntersuchungen,
- Schutz- und Sanierungszielen,
- Vorgaben und getroffenen Annahmen,
- geeigneten Sanierungsszenarien und deren Bewertungsergebnissen (ggf. nach Sanierungszonen differenziert),
- Kostenschätzung sowie
- Nutzen-Kosten-Untersuchung

wird vom Gutachter das aus seiner Sicht vorzugswürdige Sanierungsszenario als Maßnahmenkonzept (ggf. getrennt nach Sanierungszonen) vorgeschlagen. Mehrere Vorschläge sind insbesondere dann sinnvoll, wenn sie weitgehend gleichwertig sind oder der geeignetste Vorschlag von der Wahl der noch nicht feststehenden Vorgaben bzw. Annahmen abhängt (z. B. Art und Zeitpunkt der Wiedernutzung).

Dem vorgeschlagenen Maßnahmenkonzept sind alle relevanten Daten und Hinweise beizufügen, die die zuständige Behörde für ihre Entscheidung über das zur Ausführung vorgesehene abgestimmte Maßnahmenkonzept und die Festlegung der Sanierungsziele benötigt.

Weiterhin sollten im vorgeschlagenen Maßnahmenkonzept Empfehlungen für zusätzliche, notwendige Schritte vor der weiteren Sanierungsplanung bzw. -durchführung gegeben werden, z. B.:

- Überwachungsmaßnahmen bis zum Beginn der Sanierung, (z. B. Grundwasseruntersuchungen, Setzungsmessungen etc.),
- ggf. noch nicht durchgeführte Sofortmaßnahmen und Eignungsuntersuchungen,
- Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen bis zum Beginn der Sanierung (z. B. Nutzungseinschränkungen, Anbauempfehlungen),
- Beweissicherungsverfahren (z. B. Bestandsaufnahme von Gebäudeschäden oder Hausgärten),
- Vermessungsarbeiten (z. B. Grenzfeststellung) sowie
- Rodungsarbeiten in dafür zugelassenen Zeiträumen (Oktober bis Februar).

2.5.9 Dokumentation

Die Ergebnisse der Bearbeitungsschritte Grundlagenermittlung, ergänzende Standortuntersuchungen und Machbarkeitsstudie sind in Form eines Berichtes zu dokumentieren (siehe auch Kapitel 2.9). Bei umfangreichen Gutachten kann es sinnvoll sein, zusätzlich in beschränkter Stückzahl eine Kurzfassung zu erstellen. Diese soll umfassend über wichtige Tatbestände, Beurteilungen und die aus gutachterlicher Sicht erforderlichen weiteren Maßnahmen prägnant und nachvollziehbar informieren, so dass sich Betroffene, politische Gremien sowie Verwaltungsbehörden ein Bild von der Situation machen, Stellungnahmen abgeben und entsprechend erforderliche Beschlüsse fassen können.

Der Bericht dient der zuständigen Behörde als Entscheidungsgrundlage über die konkret von ihr festzulegenden Sanierungsziele sowie das endgültig umzusetzende abgestimmte Maßnahmenkonzept; dieses kann vom vorgeschlagenen Maßnahmenkonzept des Gutachters abweichen.

2.6 Präsentation des vorgeschlagenen Maßnahmenkonzeptes

Vor der behördlichen Entscheidung und damit der Ausarbeitung des endgültigen abgestimmten Maßnahmenkonzeptes sollten vom Gutachter sämtliche Ergebnisse von Grundlagenermittlung, ergänzenden Standortuntersuchungen und Machbarkeitsstudie

- dem Verpflichteten (bzw. Sanierungsträger) und der zuständigen Behörde,
- allen jetzt oder ggf. später zuständigen oder zu beteiligenden Behörden,
- sonstigen Beteiligten (z. B. zukünftige Grundstückseigentümer),
- ggf. einzuschaltenden Gutachtern für spezielle Fragestellungen (z. B. Verfahrenstechnik, Toxikologie) und
- ggf. politischen Gremien

ausführlich vorgestellt werden.

Die Präsentation dient, neben der Information der Eingeladenen, auch dazu, eine Rückmeldung aller Beteiligten zu erhalten, um deren Belange bei der Erarbeitung des abgestimmten Maßnahmenkonzeptes und auch der nachfolgenden Sanierungsplanung berücksichtigen zu können.

Sollte sich aus der Präsentation und Abstimmung ergeben, dass das vom Gutachter vorgeschlagene Maßnahmenkonzept nicht oder nur teilweise realisiert werden kann, da wesentliche Randbedingungen nicht ausreichend beachtet wurden oder sich zwischenzeitlich geändert haben, kann u. U. eine weitergehende Bearbeitung der Sanierungsuntersuchung erforderlich sein. Dies kann z. B. der Fall sein, wenn im Rahmen eines B-Plan-Entwurfes andere als bisher betrachtete Neunutzungen vorgesehen werden sollen oder vorgeschlagene Sicherungsmaßnahmen mit der beabsichtigten Folgenutzung nicht verträglich sind. Um die Akzeptanz aller Beteiligten möglichst frühzeitig sicherzustellen, empfiehlt es sich, diese frühzeitig in den Bearbeitungsprozess zu integrieren, wobei Art und Umfang der Einbindung möglichst zu Beginn der Sanierungsuntersuchung festgelegt werden sollten.

Sofern projektrelevant, sind auf einer weiteren, nachfolgenden Informationsveranstaltung die Betroffenen, die interessierten Bürger, die Presse etc. über das mit allen o. g. Beteiligten abgestimmte vorgeschlagene Maßnahmenkonzept zu informieren.

Die Information und Abstimmung mit den Betroffenen sollte im Rahmen einer Bürgerversammlung erfolgen. Insbesondere bei komplexen Projekten sollten aus Akzeptanzgründen neben den unmittelbar auch die mittelbar Betroffenen (z. B. Nachbarschaft) über das vorgeschlagene Maßnahmenkonzept informiert werden. Eine

frühe Akzeptanz des vorgeschlagenen Maßnahmenkonzeptes verhindert Mehrarbeit durch die Modifikation bzw. Neuerstellung des abgestimmten Maßnahmenkonzeptes.

Die Information der Öffentlichkeit kann durch eine Pressemitteilung erfolgen.

2.7 Behördliche Prüfung

Gemäß Bundes-Bodenschutzgesetz ist es die Aufgabe der zuständigen Behörde, das vom Gutachter vorgelegte vorgeschlagene Maßnahmenkonzept inklusive sämtlicher Bearbeitungsschritte (siehe Kapitel 2.5.9), insbesondere bezüglich der technischen Eignung, der langfristigen Wirksamkeit, standortspezifischen, planerischen und rechtlichen Randbedingungen sowie der Verhältnismäßigkeit, abschließend zu prüfen.

Es ist insbesondere Folgendes zu prüfen:

- Werden die Schutz- und Sanierungsziele erreicht?
- Ist die Eignung und langfristige Wirksamkeit ausreichend nachgewiesen?
- Sind die Sanierungsszenarien standortspezifisch realisierbar?
- Sind die Auswirkungen auf die Nachbarschaft, den Arbeitsschutz und die Umwelt tolerierbar?

Weiterhin sind u. a. zu berücksichtigen:

- planerische Anforderungen (z. B. B-Plan),
- genehmigungsrechtliche Anforderungen (z. B. erforderliche wasserrechtliche Erlaubnis, Baugenehmigung, Genehmigung nach LAbfG, ggf. BImSchG),
- Beiträge anderer fachlich an der Planung Beteiligter (z. B. untere Landschaftsbehörde),
- Rechte Dritte sowie
- Duldungen.

Bei einer Neunutzung ist insbesondere zu prüfen, ob die für die Neunutzung relevanten Wirkungspfade und Schutzgüter bei der Gefährdungsabschätzung und Sanierungsuntersuchung berücksichtigt wurden und entsprechende Auflagen und Bedingungen zur Gefahrenvorsorge im bestehenden oder neu aufzustellenden bzw. zu ändernden B-Plan enthalten sind.

Nach der abschließenden Prüfung legt die zuständige Behörde bzw. der Verpflichtete (Sanierungsträger) im Zusammenwirken mit der zuständigen Behörde ein mit allen Beteiligten abgestimmtes, zur Realisierung vorgesehenes, ggf. vom vorgeschlagenen Maßnahmenkonzept des Gutachters abweichendes Sanierungsszenario als abgestimmtes Maßnahmenkonzept fest. Dazu sind die Sanierungsziele abschließend von der Behörde festzulegen. Falls Kommunen sanierungspflichtig sind, kann die Entscheidung über ein abgestimmtes Maßnahmenkonzept auch durch einen Beschluss der politischen Gremien erfolgen.

2.8 Erarbeitung des abgestimmten Maßnahmenkonzeptes

Nachdem von der zuständigen Behörde das mit dem Verpflichteten (Sanierungsträger) sowie allen Beteiligten abgestimmte vorgeschlagene Maßnahmenkonzept – dieses kann vom vorgeschlagenen Maßnahmenkonzept des Gutachters abweichen – und auch die Sanierungsziele abschließend festgelegt sind, kann im letzten Schritt der Sanierungsuntersuchung das abgestimmte Maßnahmenkonzept erarbeitet werden. Dieses entspricht in Teilen der Vorplanung nach HOAI und dient damit als Grundlage für den ggf. zu erarbeitenden Sanierungsplan bzw. die Entwurfs-, Genehmigungs- und Ausführungsplanung.

Ziel ist die konzeptionelle Ausarbeitung der ausgewählten Maßnahmenkonzeption bezogen auf alle Vor-, Kern-, bau- und verfahrensbegleitenden sowie Folgeleistungen der Sanierungsmaßnahme, wobei sämtliche Beiträge anderer an der Planung Beteiligter einzuarbeiten sind. Die Ausarbeitungen vorangegangener Arbeitsschritte sind zu nutzen und auszuarbeiten. Das abgestimmte Maßnahmenkonzept soll insbesondere Informationen zu nachfolgenden Punkten enthalten:

- zusammenfassende textliche Darstellung der aktuellen Standortsituation mit Beschreibung der Verunreinigungen und Gefahrentatbestände,
- Darstellung der festgelegten Sanierungsziele für die betroffenen Medien, ggf. getrennt nach Sanierungszonen,
- Angaben zur bisherigen und künftigen Nutzung, ggf. mit Darstellung in Übersichtsplänen,
- Auflistung aller dem Ergebnis zugrundeliegenden Gutachten,
- festgelegte Sanierungsziele (ggf. Handlungswerte, Sanierungszielwerte, Wiedereinbauwerte etc.) für die betroffenen Medien, ggf. getrennt nach Sanierungszonen,

- Darstellung der unterschiedlichen Sanierungszonen in Übersichtslageplänen mit Angabe der Flächen und Massen,
- Erläuterung des Sanierungsablaufs (ggf. von Ausführungsphasen),
- ggf. Empfehlungen für zeitlich befristete Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen,
- zeichnerische Darstellung der wesentlichen Maßnahmen in Übersichtsplänen bzw. in -profilschnitten,
- Anforderungen an das Arbeitsschutz- und Sicherheitskonzept;
- Angaben zum Bodenmanagement (Auskofferung, Separierung, Wiedereinbau, Verwertung und Beseitigung),
- Mengen- bzw. Massenangaben für eine Boden-/Materialbehandlung, Grundwasser-/Bodenluftreinigung, Umlagerung, zu sichernde Flächen etc.,
- Darstellung aller anfallenden Abfallmengen mit Angaben zur Verwertung und Beseitigung,
- Darstellung notwendiger Überwachungen und sanierungsbegleitender Untersuchungen und Messungen,
- Darstellung des Nachsorgekonzeptes mit Angaben zu Langzeitbetrieb, -erhaltung, Funktionskontrollen, Überwachung der Wirkungspfade,
- Erläuterung der genehmigungsrechtlichen Erfordernisse,
- Erläuterung sonstiger Randbedingungen und Einschränkungen bei und nach Durchführung der Sanierungsmaßnahme,
- Vorschläge zur Berücksichtigung von Rechten Dritter oder Duldungen,
- Bauzeitenplanschätzung sowie
- aktuelle Kostenschätzung.

2.9 Gutachten zur Sanierungsuntersuchung

Im Gutachten zur Sanierungsuntersuchung sind die Grundlagenermittlung, die ergänzenden Standortuntersuchungen, die Machbarkeitsstudie und das abgestimmte Maßnahmenkonzept mit allen Vorgaben, Untersuchungen, Ergebnissen, Beurteilun-

gen, Empfehlungen und Plänen (siehe Kapitel 2.3, 2.4, 2.5, und 2.8) ausführlich, übersichtlich und auch für Nichtfachleute verständlich darzustellen.

Für das Gutachten zur Sanierungsuntersuchung wird nachfolgende Gliederung empfohlen:

I. Inhaltsverzeichnis

II. Anlagenverzeichnis

III. Zusammenfassung

IV. Gutachten – Langfassung –

Die Langfassung des Gutachtens sollte wie folgt gegliedert sein:

1 Einleitung
- 1.1 Veranlassung
- 1.2 Aufgabenstellung mit Benennung der Schutz- und Sanierungsziele
- 1.3 Verwendete Unterlagen

2 Standortbeschreibung

3 Wesentliche Ergebnisse der Gefährdungsabschätzung sowie sonstiger Gutachten

4 Ergänzende Standortuntersuchungen
- 4.1 Untersuchungsprogramm
- 4.2 Durchgeführte Untersuchungen
- 4.3 Untersuchungsmethoden
- 4.4 Untersuchungsergebnisse
- 4.5 Beurteilung

5 Ableitung und Vorschlag des Sanierungszieles

6 Machbarkeitsstudie
- 6.1 Festlegung von Sanierungszonen
- 6.2 Auswahl geeigneter Sanierungstechniken/-verfahren
- 6.3 Erarbeitung von Sanierungsszenarien
- 6.4 Fachliche Bewertung der Sanierungsszenarien
- 6.5 Kostenschätzung
- 6.6 Nutzen-Kosten-Untersuchung
- 6.7 Vorgeschlagenes Maßnahmenkonzept
- 6.8 Weitergehende Empfehlungen

7 Darstellung des abgestimmten Maßnahmenkonzeptes

8 Literaturverzeichnis

9 Anlagen

Auf die im Rahmen der Sanierungsuntersuchung bereits erstellten Teilgutachten und Zwischenberichte ist entsprechend zurückzugreifen.

2.10 Nachfolgende Schritte

2.10.1 Öffentlich-rechtlicher Vertrag

Nach § 13 Abs. 4 BBodSchG kann mit dem Sanierungsplan der Entwurf eines Sanierungsvertrages vorgelegt werden. In verschiedenen Fällen hat sich in der Praxis auch ein öffentlich-rechtlicher Vertrag auf fachlicher Grundlage einer Sanierungsuntersuchung als sinnvoll erwiesen.

Handelt es sich bei dem Verpflichteten um ein Unternehmen oder eine Privatperson, so kann der Abschluss eines öffentlich-rechtlichen Vertrages zwischen der öffentlichen Hand und dem Verpflichteten zur Regelung der Sanierungsmaßnahme sowie sämtlicher damit verbundener Umstände bereits nach der Sanierungsuntersuchung sinnvoll sein, insbesondere dann, wenn kein Sanierungsplan zu erstellen ist. Der Vertrag regelt sowohl die Rechte als auch die Pflichten der Beteiligten und macht eine behördliche Sanierungsverfügung entbehrlich.

Im öffentlich-rechtlichen Vertrag können u. a. die Art der Durchführung, der Zeitplan und die Dauer der Sanierungsmaßnahme, die festgelegten Sanierungsziele, das Restrisiko, das Haftungsrisiko des Verpflichteten, das Überwachungsprogramm, die gutachterliche Begleitung, die Vorgehensweise bei neu aufgetretenen Sachverhalten und die Nachsorge festgelegt werden.

Der öffentlich-rechtliche Vertrag ist im Verwaltungsverfahrensgesetz (VwVfG) geregelt. Nach § 54 VwVfG kann ein Rechtsverhältnis auf dem Gebiet des öffentlichen Rechts durch Vertrag geregelt, geändert oder aufgehoben werden, soweit Rechtsvorschriften dem nicht entgegen stehen. Wichtig ist eine einzelfallorientierte Vertragsgestaltung, bei der sämtliche sanierungstechnischen, rechtlichen und wasserwirtschaftlichen Fragestellungen vor dem Hintergrund einer möglichen Nichtigkeit des Vertrages gemäß § 59 VwVfG beachtet werden müssen. Haben sich die Verhältnisse, die für die Festsetzung des Vertragsinhalts maßgebend gewesen waren, nach Abschluss des Vertrages so wesentlich geändert, dass einer Vertragspartei das Festhalten an der ursprünglichen vertraglichen Regelung nicht zuzumuten ist, so kann nach § 60 VwVfG eine Vertragspartei eine Anpassung des Vertragsinhalts an die geänderten Verhältnisse verlangen oder, sofern eine Anpassung nicht möglich oder einer Vertragspartei nicht zuzumuten ist, den Vertrag kündigen. Da öffentlich-rechtliche Verträge langfristig angelegt sind, sollten in der Präambel die Gründe für den Vertragsabschluss auch für die Zukunft festgehalten werden, so dass klar ist, wann die Voraussetzungen für eine Vertragsanpassung gemäß § 60 VwVfG vorliegen.

Als Vorteile des öffentlich-rechtlichen Vertrages lassen sich u. a. nennen:

- Möglichkeit zur vertraglichen Einbindung mehrerer Verpflichteter,
- Regelungsmöglichkeit einer über die reine Gefahrenabwehr hinausgehenden Sanierung,
- Regelungsmöglichkeiten für weitere Maßnahmen bei einem Nichterreichen des festgelegten Sanierungsziels (z. B. Grundwasserreinigung),
- Festlegung der Sanierungsdauer,
- Absicherung einer langfristigen Nachsorge (Langzeitüberwachung, Langzeitbetrieb),
- Bewahrung von Eingriffsmöglichkeiten der zuständigen Behörde bei einer unvorhergesehenen und nicht im Vertrag geregelten Gefahrensituation und damit der Möglichkeit zur Durchsetzung einer Ordnungsverfügung für eine bestimmte Einzelmaßnahme außerhalb des öffentlich-rechtlichen Vertrages,
- Absicherung der Sanierungsfinanzierung in Verbindung mit einer Sicherstellung,
- Überschaubarkeit, Kalkulierbarkeit und ggf. imagefördernde Wirkung der durchzuführenden Sanierung für den Verpflichteten sowie
- Rechts- und Investitionssicherheit für den Sanierungspflichtigen, die Investoren und Banken durch eine hohe Bindungswirkung.

Wurde bereits vor der Sanierungsuntersuchung ein öffentlich-rechtlicher Vertrag abgeschlossen, kann dieser als Rahmenvereinbarung gestaltet werden, damit auch die Ergebnisse der Sanierungsuntersuchung später mit verankert werden können. Gleiches ist zu berücksichtigen, wenn ein Sanierungsplan zu erstellen ist.

Es ist bei jeder Vertragsgestaltung insbesondere sicherzustellen, dass der öffentlich-rechtliche Vertrag hinreichend bestimmt ist, damit keine unterschiedlichen Auffassungen über die Auslegung auftreten können.

2.10.2 Sanierungsplan

Nach § 13 BBodSchG soll die zuständige Behörde bei Altlasten, bei denen wegen der Verschiedenartigkeit der erforderlichen Maßnahmen ein abgestuftes Vorgehen notwendig ist oder von denen auf Grund von Art, Ausbreitung oder Menge der Schadstoffe in besonderem Maße schädliche Bodenveränderungen oder sonstige Gefahren für den Einzelnen oder die Allgemeinheit ausgehen, vom Verpflichteten die Vorlage eines Sanierungsplans verlangen. Sind diese Voraussetzungen erfüllt, ist die zuständige Behörde im Regelfall in ihrem Entschließungsermessen gebunden, wobei sie in Ausnahmefällen auch eine abweichende Entscheidung treffen kann.

Ein Sanierungsplan soll die gemäß Anhang 3 der Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV) geforderten Angaben und Unterlagen enthalten. Im Einzelnen betrifft dies:

- Darstellung der Ausgangslage,
- textliche und zeichnerische Darstellung der durchzuführenden Maßnahmen und Nachweis ihrer Eignung,
- Darstellung der Eigenkontrollmaßnahmen zur Überprüfung der sachgerechten Ausführung und Wirksamkeit der vorgesehenen Maßnahmen,
- Darstellung der Eigenkontrollmaßnahmen im Rahmen der Nachsorge einschließlich der Überwachung und
- Darstellung des Zeitplans und der Kosten.

Nach dem BBodSchG besitzt die Genehmigung des Sanierungsplans Konzentrationswirkung, d. h., alle anderen die Sanierung betreffenden behördlichen Entscheidungen werden eingeschlossen, soweit sie im Einvernehmen mit der jeweils zuständigen Behörde erlassen werden und in der Genehmigung die mit eingeschlossenen Entscheidungen aufgeführt werden.

Bezogen auf die Leistungsbilder der HOAI beinhaltet der Sanierungsplan die ggf. erforderliche ergänzende Vorplanung, die Entwurfs- und Genehmigungsplanung.

2.11 Begriffsbestimmungen

Zur Erläuterung sind nachfolgend einige Begriffe zusammengestellt:

Betroffene

Personen, die durch die durchzuführende Sanierungsmaßnahme oder den Zustand des Grundstückes nach Abschluss der Maßnahme berührt sein können. Hierzu zählen Personen oder Personengruppen, die im Bereich einer Altlast wohnen, sich dort regelmäßig aufhalten (z. B. Kleingärten, Wohngebiete) oder deren Belange sonst berührt sind, wie z. B. Grundstückseigentümer, regelmäßige Benutzer von Grundstücken, Nutzungsberechtigte wie Mieter und Pächter, sowie Personen, die bei der Durchführung einer Sanierungsmaßnahme vorübergehend zum Kreis der Betroffenen zu zählen sind (z. B. Nachbarschaft).

Eignung

Die Eignung ist die Voraussetzung für eine Sanierungsmaßnahme / eines Sanierungsverfahrens zur Erfüllung der Sanierungspflicht nach § 4 Abs. 3 oder 4 BBodSchG. Die Kriterien zur Beurteilung der Eignung sind die in der BBodSchV Anhang 3 aufgeführten Prüfkriterien.

Kostenschätzung

Überschlägige Ermittlung sämtlicher Kosten (z. B. Herstellungs-, Personal-, Betriebs-, Bauunterhaltung-, Untersuchungs-, Analyse- sowie Entsorgungskosten) auf der Grundlage von Erfahrungswerten. Die Kostenschätzung im Rahmen der Sanierungsuntersuchung dient dem Auftraggeber und der zuständigen Behörde als Entscheidungshilfe zur Abschätzung der Verhältnismäßigkeit sowie der Bewertung des möglichen Nutzen-Kosten-Verhältnisses. Die Kostenschätzung ist im Rahmen der → *Sanierungsuntersuchung* für jedes geeignete → *Sanierungsszenario* getrennt nach Kostengruppen für die jeweiligen Sanierungstechniken/-verfahren sowie die zugehörigen → *Nebenleistungen* durchzuführen.

Kostenwirksamkeitsanalyse

Die Kostenwirksamkeitsanalyse ist ein Verfahren zur Gegenüberstellung von nutzwertanalytisch bewerteten Sanierungsszenarien, wobei die geschätzten Sanierungskosten der Szenarien den Punkten als Kostenbarwerte gegenübergestellt werden. Damit ergibt sich für die Szenarien eine Rangfolge sowie die Möglichkeit zur graphischen Darstellung.

Machbarkeitsstudie

In der Machbarkeitsstudie – als Teil der Sanierungsuntersuchung – werden aus der Vielzahl möglicher Sanierungstechniken/-verfahren sowie deren Kombinationen für die sanierungsbedürftige Fläche bzw. einzelne Sanierungszonen technisch geeignete, rechtlich zulässige und verhältnismäßige Sanierungsszenarien zur Gefahrenabwehr bzw. zur Gefahrenvorsorge bezogen auf die bisherige und zukünftige Nutzung erarbeitet. Unter Berücksichtigung der standortspezifischen Verhältnisse sowie sämtlicher Randbedingungen werden diese bezüglich ihrer Eignung, Realisierbarkeit, Wirksamkeit sowie Auswirkungen auf Mensch und Umwelt fachlich bewertet und kostenmäßig abgeschätzt, so dass anschließend das abgestimmte Maßnahmenkonzept für die vorzugswürdige, geeignete und verhältnismäßige → *Sanierungsmaßnahme* ausgearbeitet werden kann.

Maßnahmenkonzept

Auf der Basis sämtlicher im Rahmen der Sanierungsuntersuchung ermittelten Daten und Arbeitsergebnisse wird vom Gutachter bzw. Sachverständigen ein aus seiner Sicht vorzugswürdiges Sanierungsszenario als Maßnahmenkonzept vorgeschlagen. Das von der zuständigen Behörde geprüfte und in Abstimmung mit dem → *Verpflichteten* sowie allen *Betroffenen* abschließend festgelegte und zur Realisierung vorgesehene genehmigte Maßnahmenkonzept wird als abgestimmtes Maßnahmenkonzept bezeichnet. Es ist bezogen auf die ausgewählten Sanierungstechniken/-verfahren bzw. deren Kombinationen inkl. sämtlicher → *Nebenleistungen* textlich sowie zeichnerisch unter Einarbeitung der Beiträge anderer an der Planung Beteiligter auszuarbeiten.

Das abgestimmte Maßnahmenkonzept entspricht dem von der Behörde festgelegten und zu realisierenden Maßnahmenkonzept nach BBodSchV Anhang 3 und bildet die Grundlage für den ggf. zu erarbeitenden Sanierungsplan.

Nebenleistungen

Sämtliche für die Durchführung einer Sanierungsmaßnahme neben dem Einsatz von → *Sanierungsverfahren* bzw. deren Kombinationen (Hauptleistungen) erforderlichen Vorleistungen, bau- und verfahrensbegleitende Leistungen sowie Folgeleistungen, planerischer, organisatorischer und technischer Art.

Nutzen

Grad der fachlichen → *Eignung* der Sanierungsszenarien bezogen auf die Prüfkriterien nach BBodSchV Anlage 3 ergänzt um das Prüfkriterium zur Beurteilung der Grundstücksqualität nach einer Sanierungsmaßnahme. Das Ergebnis wird über geeignete Indikatoren abgebildet, die als Messgrößen bzw. Messregeln dienen.

Nutzen-Kosten-Untersuchung

Sammelbegriff für verschiedene Verfahren der Wirtschaftlichkeitsberechnung, wie z. B. Kostenvergleichsrechnung, Kostenwirksamkeitsanalyse und Kosten-Nutzen-Analyse. Ziel einer Nutzen-Kosten-Untersuchung ist die Ermittlung des technisch und ökologisch geeignetsten Sanierungsszenarios bei gleichzeitig wirtschaftlichem und sparsamem Einsatz der Mittel. Sie schafft die Möglichkeit einer systematischen und transparenten Bewertung alternativer Sanierungsszenarien bez. Nutzen und Kosten, so dass eine Rangfolge geeigneter Sanierungsszenarien abgeleitet werden kann. Sie dient als Entscheidungshilfe bei der Auswahl des vorzugswürdigen Sanierungsszenarios.

Nutzwertanalyse

Bewertungsverfahren zur systematischen Beurteilung mehrerer Sanierungsszenarien bezogen auf einzelfallspezifisch festgelegte Kriterien. Auf der Grundlage von kriterienspezifischen Bewertungsskalen (Wertmaßstäbe) wird der jeweilige Erfüllungsgrad der Kriterien mit Punkten bewertet und durch Multiplikation mit dem dazugehörigen Gewicht zum betreffenden Teilnutzen des Kriteriums (Teilnutzwert) berechnet. Der Gesamtnutzwert eines Szenarios berechnet sich i. d. R. durch die Addition der Teilnutzwerte (Aggregation) und bildet die Grundlage zur Festlegung einer Rangfolge der Szenarien.

Sanierungsmaßnahme

Gesamtheit aller planerischen, organisatorischen und technischen Hauptleistungen und → *Nebenleistungen*, die insgesamt zur Erfüllung der Sanierungsziele und sonstiger Anforderungen im Einzelfall notwendig sind. Für die → *Sanierung* einer Altlast können grundsätzlich Maßnahmen zur Dekontamination (Beseitigung oder Verminderung der Schadstoffe), Sicherung (langfristige Verhinderung oder Verminderung einer Schadstoffausbreitung) sowie deren Kombinationen eingesetzt werden.

Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen sind keine Sanierungsmaßnahmen.

Die Sanierungsmaßnahme hat zu gewährleisten, dass von einer ggf. verbleibenden Restbelastung dauerhaft keine Gefahren, erheblichen Nachteile oder erheblichen Belästigungen für den Einzelnen oder die Allgemeinheit herbeigeführt werden.

Sanierungsplan

Nach der BBodSchV enthält der Sanierungsplan:

1. eine zusammenfassende Darstellung der Ausgangslage (Standortverhältnisse, Gefahrenlage, Sanierungsziel, behördliche Entscheidungen, öffentlich-rechtliche Verträge und die Ergebnisse der Sanierungsuntersuchungen),
2. eine textliche und zeichnerische Darstellung der durchzuführenden Maßnahmen und Nachweis ihrer Eignung,
3. eine Darstellung der Eigenkontrollmaßnahmen zur Überprüfung der sachgerechten Ausführung und Wirksamkeit der vorgesehenen Maßnahmen,
4. Darstellung der Eigenkontrollmaßnahmen im Rahmen der Nachsorge einschließlich der Überwachung und

5. Darstellung des Zeitplanes und der Kosten.

Nach dem BBodSchG bildet der Sanierungsplan die fachliche Grundlage für die behördliche Anordnung zur Altlastensanierung wie auch für die zur Durchführung der Sanierung notwendigen spezialgesetzlichen Zulassungen, etwa die immissionsschutzrechtliche Zulassung von Bodenbehandlungsanlagen. Die zuständige Behörde kann den Sanierungsplan auch mit Abänderungen oder Nebenbestimmungen für verbindlich erklären, wobei dieser andere, die Sanierung betreffende, behördliche Entscheidungen mit Ausnahme der Umweltverträglichkeitsprüfung mit einschließt.

Sanierungsszenario

Ein Sanierungsszenario beschreibt für die sanierungsbedürftige Fläche bzw. eine Sanierungszone eine geeignete Alternative zur Durchführung der Sanierung und beinhaltet sowohl die → *Sanierungsverfahren* bzw. deren Kombinationen sowie sämtliche → *Nebenleistungen*, wobei das Sanierungsziel, die bisherige und künftige Nutzung sowie alle sonstigen standortspezifischen Randbedingungen berücksichtigt werden. Jedes Sanierungsszenario muss sowohl die allgemeingültigen gesetzlichen Vorgaben als auch die von den Behörden für den Einzelfall festgelegten Anordnungen bzw. Auflagen und Bedingungen erfüllen.

Sanierungsträger

Sanierungsgesellschaften, wie beispielsweise der Abfallentsorgungs- und Altlastensanierungsverband (AAV), Landesentwicklungsgesellschaften (LEG), private Dritte (z. B. Investoren) sowie die Kommune als Verpflichteter oder in Ersatzvornahme für einen Verpflichteten.

Sanierungsuntersuchung

Einzelfallbezogene Ermittlung und Prüfung einer technisch geeigneten, rechtlich zulässigen und verhältnismäßigen Konzeption zur Beseitigung, Verhinderung oder Verminderung vorhandener Schadstoffe. Hierbei sind insbesondere die technischen Sanierungsmöglichkeiten, die Möglichkeiten einer Schadstoffverlagerung, verbleibende Bodenveränderungen, die bisherige und zukünftige Nutzung sowie die für die Durchführung der Sanierung entscheidungserheblichen rechtlichen, organisatorischen, sozialen und finanziellen Randbedingungen zu prüfen.

Die Sanierungsuntersuchung dient der zuständigen Behörde und dem Verpflichteten bzw. Sanierungsträger als Grundlage für die Entscheidung, welches der untersuchten → *Sanierungsszenarien* im Einzelfall zur Umsetzung kommen soll.

Die Sanierungsuntersuchung ist der Arbeitsschritt, der vor dem Sanierungsplan bzw. der Entwurfs-, Genehmigungs- sowie Ausführungsplanung einer Sanierungsmaßnahme durchzuführen ist.

Sanierungsverfahren

Sanierungsverfahren bewirken durch die Ausnutzung unterschiedlicher chemischer, physikalischer, biologischer sowie bau- und verfahrenstechnischer Grundvorgänge eine kontrollierte Schadstoffbeseitigung, -verminderung oder -umwandlung bzw. eine Verhinderung der Schadstoffausbreitung.

In der Praxis werden als Sanierungsverfahren

- übergeordnete Verfahrensgruppen (z. B. mikrobiologische Verfahren, thermische Verfahren, Verfahren der Oberflächensicherung),
- spezielle Verfahren innerhalb dieser Gruppen (z. B. mikrobiologische Mietenverfahren, Pyrolyseverfahren, mineralische Oberflächenabdichtung) oder
- spezielle Verfahren einzelner Anbieter

verstanden.

Sanierungsziel

Das Sanierungsziel ist die Summe aller einzelfallbezogen festgelegten sowie schutzgut- und nutzungsbezogene Kriterien bzw. Qualitätsanforderungen an das Ergebnis von → *Sanierungsmaßnahmen*, wobei neben technischen auch zeitliche und organisatorische Belange zu beachten sind.

Sanierungszone

Teilfläche einer sanierungsbedürftigen Fläche, für die in Abhängigkeit vom → *Sanierungsziel*, von den kontaminierten Medien, dem Schadstoffinventar, bodenspezifischen Faktoren sowie Baugrundeigenschaften eine Sanierung durchzuführen ist. Die erforderliche Sanierungsmaßnahme kann sich je nach Teilfläche unterscheiden. Für bestimmte Teilflächen der Gesamtfläche kann sich auch ergeben, dass kein Sanierungsbedarf erforderlich ist.

Standortspezifische Randbedingungen

Für die Sanierung einer sanierungsbedürftigen Fläche im Einzelfall relevante örtliche, planerische, technische, rechtliche, soziale und organisatorische Gegebenheiten.

Verpflichtete

Verpflichteten können sein:

- der Verursacher, dessen Gesamtrechtsnachfolger oder derjenige, der aufgrund gesetzlicher Vorschriften für das Verhalten der Ursachen einzustehen hat,
- der Grundstückseigentümer und der Inhaber der tatsächlichen Gewalt über ein Grundstück sowie
- ehemalige Grundstückseigentümer, es sei denn, dass sie die Bodenbelastungen während der Dauer ihres Eigentums weder kannten noch kennen mussten.

Sie sind nach § 4 BBodSchG verpflichtet, die sanierungsbedürftige Fläche sowie das Gewässer so zu sanieren, dass dauerhaft keine Gefährdung, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den Einzelnen oder die Allgemeinheit entstehen bzw. die bisherige Nutzung des Grundstücks (Gefahrenabwehr) möglich sind.

Vorgeschlagenes Maßnahmenkonzept

In der Sanierungsuntersuchung vorgeschlagenes Konzept für eine zweckmäßige und geeignete Sanierung der sanierungsbedürftigen Fläche.

3 Anforderungen an eine Nutzen-Kosten-Untersuchung im Rahmen einer Sanierungsuntersuchung

Im Anhang 3 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) ist u. a. festgelegt, dass bei der Sanierungsuntersuchung auch „das Verhältnis von Kosten und Wirksamkeit“ der einzelnen Sanierungsszenarien zu prüfen ist.

Entsprechend der Landeshaushaltsordnung NW sind nach § 7 für Maßnahmen von erheblicher finanzieller Bedeutung Nutzen-Kosten-Untersuchungen aufzustellen, damit die Grundsätze der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit beachtet werden. Auch gemäß Gemeindeordnung NW ist nach § 75 Abs. 2 die Haushaltswirtschaft sparsam und wirtschaftlich zu führen.
Hierbei steht der Nutzen eines Sanierungsszenarios für den Grad seiner Eignung und nicht für den aus der betriebswirtschaftlichen Investitionsrechnung bekannten Nutzen.

Da bisher für die Durchführung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen bei der Sanierungsuntersuchung keine Vorgaben existieren, sollen mit den nachfolgenden Ausführungen die hierfür geeigneten Verfahren vorgestellt und anhand eines Praxisbeispiels exemplarisch angewandt werden. Dies soll dazu beitragen, dass die an der Durchführung einer Sanierungsuntersuchung Beteiligten (i. d. R. der Verpflichtete bzw. der Sanierungsträger, die zuständige Behörde, der Gutachter sowie die unmittelbar Betroffenen) über die einzelnen Verfahren sowie deren Vor- und Nachteile informiert werden und das im Einzelfall jeweils geeignete Verfahren ausgewählt und durchgeführt werden kann.

3.1 Methodik der Nutzen-Kosten-Untersuchung

Im Rahmen der Sanierungsuntersuchung ist im Anschluss an die Kostenschätzung als Hilfsmittel des Planungs- und Entscheidungsprozesses eine Nutzen-Kosten-Untersuchung (Wirtschaftlichkeitsbetrachtung) durchzuführen. Hierbei ist es das Ziel, eine Antwort auf die Frage zu bekommen, welches Sanierungsszenario bezüglich des erzielbaren technischen, ökologischen und sozialen Nutzens sowie unter Berücksichtigung der anfallenden Kosten im jeweiligen Einzelfall am besten geeignet ist. Nur so ist eine geeignete, angemessene und verhältnismäßige Sanierung zu gewährleisten.

Wenn alle zu bewertenden Sanierungsszenarien die Sanierungsziele beispielsweise für eine Gefahrenabwehrmaßnahme erfüllen, ist mit der Nutzen-Kosten-Untersuchung zu ermitteln, welches Szenario hierbei den größten Nutzen mit gleichzeitig den geringsten Kosten erzielt. Das Ergebnis muss eindeutig und nachvollziehbar sein.

Betriebswirtschaftliche Aspekte sind nicht Gegenstand der hier dargestellten Nutzen-Kosten-Untersuchungen. Vielmehr erfolgt eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung, die bei allen öffentlichen Investitionsvorhaben und bei geförderten Projekten vorzunehmen ist. Bei letzteren ist nach den haushaltstechnischen Bestimmungen dafür Sorge zu tragen, dass nur die gesamtwirtschaftlich beste Sanierungsvariante zur Umsetzung kommt und nicht aus Fördergründen laufende Kosten bzw. Nachsorgekosten durch Investitionskosten substituiert werden, damit für den Verpflichteten eine wirtschaftlich günstigere Sanierungsmaßnahme zur Umsetzung kommt.

Die im Rahmen einer Sanierungsuntersuchung durchzuführenden Arbeitsschritte von der Problemanalyse über die Entwicklung von Sanierungsszenarien bis zur Nutzen-Kosten-Untersuchung sind auf das engste miteinander verknüpft, so dass sie sich i. d. R. nicht unabhängig voneinander, sondern nur iterativ bearbeiten lassen. In Abbildung 9 sind die einzelnen Arbeitsschritte der Sanierungsuntersuchung mit Ausrichtung auf die Nutzen-Kosten-Untersuchung dargestellt.

In Abhängigkeit von den jeweiligen Randbedingungen und den Anforderungen des Auftraggebers stehen die nachfolgenden drei Verfahren einer Nutzen-Kosten-Untersuchung (NKU) zur Verfügung:

- dynamische Kostenvergleichsrechnung (KVR),
- Kostenwirksamkeitsanalyse (KWA) und
- Kosten-Nutzen-Analyse (KNA).

In Abhängigkeit von der Vergleichbarkeit der Sanierungsszenarien und den jeweiligen Anforderungen ist zu entscheiden, welches Bewertungsverfahren im Einzelfall bedarfsgerecht ist.

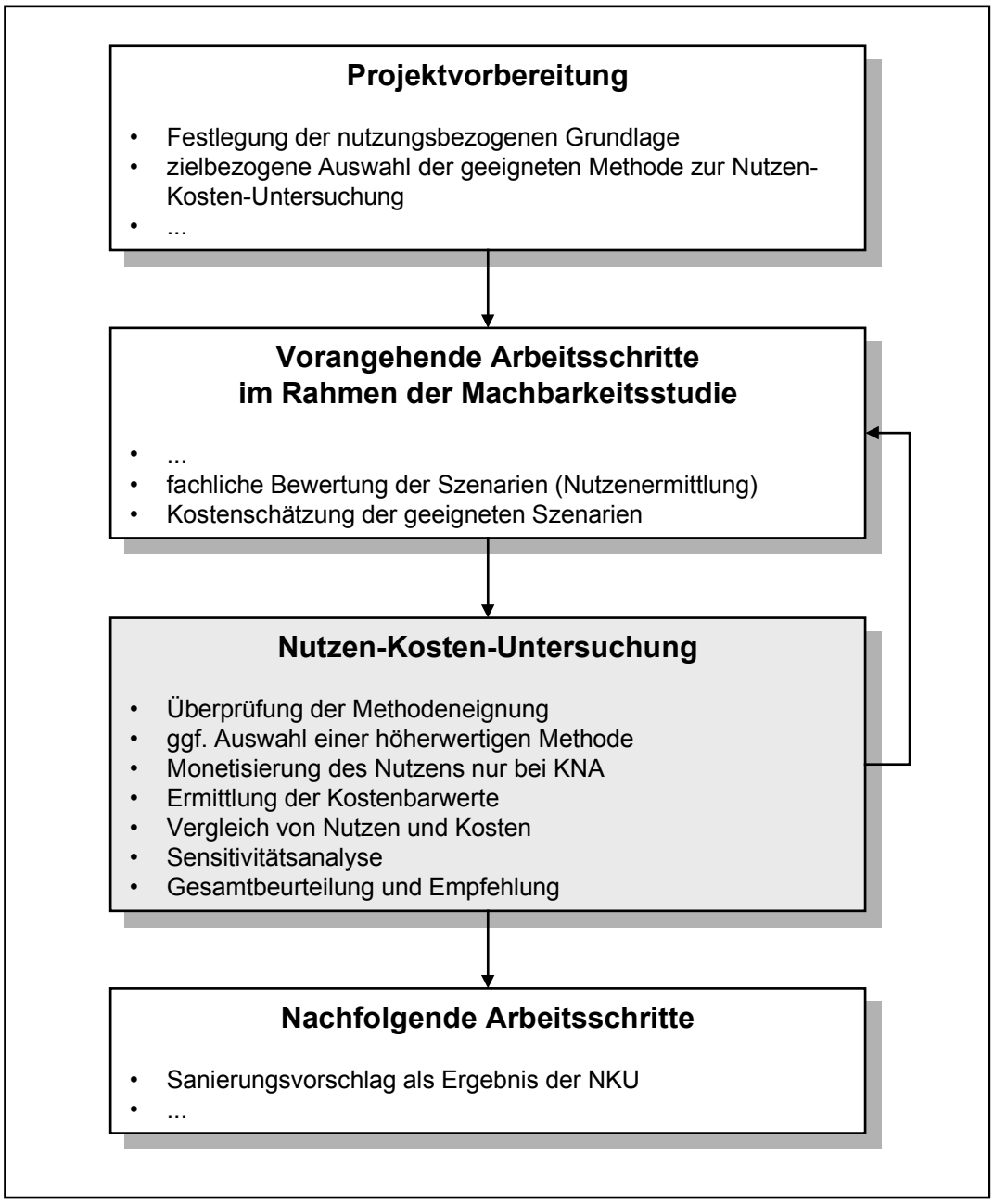


Abbildung 9 *Arbeitsschritte der Sanierungsuntersuchung mit Ausrichtung auf die bei der Nutzen-Kosten-Untersuchung (NKU) zu bearbeitenden Teilschritte*

Diese Entscheidung hat nicht vor dem Hintergrund des Bearbeitungsaufwandes zu erfolgen, sondern muss ausschließlich unter Abwägung der fachlichen Erfordernisse getroffen werden.

Die dynamische Kostenvergleichsrechnung, die als eigenständiges Verfahren ausschließlich eine Wertung der Kosten ohne Würdigung des Nutzens vorsieht, lässt in vielen Fällen die sachgerechte Aufstellung einer Rangfolge nicht zu. Die Kostenwirksamkeitsanalyse und die Kosten-Nutzen-Analyse berücksichtigen demgegenüber beide sowohl den Nutzen als auch die Kosten.

Zur Vermeidung unzulänglicher Schlussfolgerungen aus analytischen Projektbewertungen ist weiterhin darauf zu achten, dass die Prämissen der verwendeten Verfahren, die Genauigkeit der Daten, die daraus resultierenden Unsicherheiten und Risiken, die sonstigen einbezogenen Randbedingungen etc. klar zum Ausdruck kommen. Kein Bewertungsverfahren erhebt den Anspruch auf Vollständigkeit, folglich können die Ergebnisse auch nur einen mehr oder weniger gewichteten Informationsbeitrag zu Entscheidungsfindung liefern (LAWA 1981).

3.2 Voraussetzungen für die Anwendung

Wie bereits im Kapitel 2 ausgeführt, ist vor der Durchführung der Nutzen-Kosten-Untersuchung“ eine Bearbeitung sämtlicher vorgeschalteten Arbeitsschritte erforderlich (siehe Abbildung 2).
Insbesondere der Nutzen (siehe Kapitel 2.5.5) und die Kosten (siehe Kapitel 2.5.6) eines jeden Sanierungsszenarios sind vorab im Rahmen der Machbarkeitsstudie zu ermitteln.

3.2.1 Vorgaben des Auftraggebers

Für die Bearbeitung der Nutzen-Kosten-Untersuchung sind von Seiten des Auftraggebers vor der Vergabe einer Sanierungsuntersuchung nachfolgende Punkte festzulegen:

- Festlegung der nutzungsbezogenen Grundlage für die Durchführung der Sanierungsuntersuchung (siehe Kapitel 2.2.2). Für die Variante 4 (flexible Folgenutzung) sind die zu betrachtenden Folgenutzungen vorzugeben, da sich der Bearbeitungsaufwand der Nutzen-Kosten-Untersuchung für jede Nutzungsalternative verdoppelt.

- Das bei der Nutzen-Kosten-Untersuchung anzuwendende Verfahren ist festzulegen. Daraus ergibt sich auch gleichzeitig die Art der „Fachlichen Bewertung“ (qualitativ und/oder quantifizierend). Soll eine Kostenvergleichsrechnung durchgeführt werden, so kann dies vor Beginn der Arbeiten nur bedingt festgelegt werden, da diese erst zu einem repräsentativen Ergebnis führt, wenn die erarbeiteten Sanierungsszenarien gleichwertig sind, d. h. einen vergleichbaren Nutzen erwarten lassen. Die Kostenwirksamkeitsanalyse kann demgegenüber bereits vorher als durchzuführendes Verfahren festgelegt werden.

- Vorgaben, u. a. bezogen auf Untersuchungszeitraum, insbesondere im Hinblick auf die Ansätze für Langzeitbetrieb, Langzeiterhaltung, Funktionskontrolle und Überwachung der Wirkungspfade im Rahmen der Nachsorge.
- Vorgaben zu Art und Umfang der Sensitivitätsanalysen mit den zu betrachtenden Variablen.

3.2.2 Ermittlung des Nutzens

Der mehrdimensionale Nutzen eines Sanierungsszenarios wird sowohl durch objektive Kenngrößen als auch durch subjektive Einschätzungen geprägt. Er konzentriert sich auf den Standort und sein unmittelbares Umfeld. Seine Bewertung erfolgt im Rahmen der "Fachlichen Bewertung" getrennt für jedes Sanierungsszenario anhand der Kriterien "Wirksamkeit", "Auswirkungen" und "Grundstücksqualität", wobei die Ergebnisse über geeignete Indikatoren abgebildet werden. Aufgrund ihrer besonderen Empfindlichkeit als Messgrößen und Messregeln können Indikatoren zur Bestimmung der jeweiligen Zielerträge herangezogen werden (siehe Kapitel 2.5.5).

Wird die „Fachliche Bewertung" verbalargumentativ durchgeführt, so erfolgt eine qualitative Wertung der Sanierungsszenarien über die Vor- und Nachteile, während bei einer quantifizierenden Bewertung mittels Nutzwertanalyse der Nutzen eines Szenarios über Punkte abgebildet wird. Soll als Methode der Nutzen-Kosten-Untersuchung eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt werden, so ist zudem auch der Nutzen zu monetisieren.

Die in Abhängigkeit von der gewählten Methode erforderlichen Arbeitsschritte zur Bestimmung von Nutzen und Kosten sind in der nachfolgenden Tabelle 2 dargestellt.

Mit dem Ergebnis der Nutzenbewertung wird in Abhängigkeit von der jeweiligen Zielsetzung – Ausrichtung auf eine Maßnahme zur Abwehr bestehender Gefahren, eine neue Folgenutzung oder alternative Nutzungsalternativen – aufgezeigt, welchen Gesamtnutzen ein Sanierungsszenario bezüglich der Bewertungskriterien erzielt. Grundvoraussetzung ist hierbei, dass die jeweiligen Sanierungsziele erreicht werden.

Tabelle 2 *Durchzuführende Arbeiten in Abhängigkeit von der gewählten Methode zur Nutzen-Kosten-Untersuchung*

	Art der Nutzen-Kosten-Untersuchung		
	KVR	**KWA**	**KNA**
Ermittlung des Nutzens der Szenarien durch:	verbalargumentative Bewertung	verbalargumentative und quantifizierende Bewertung	verbalargumentative Bewertung mit Monetisierung
Ermittlung der Kosten der Szenarien durch:	Kostenschätzung für alle Positionen		

Legende: KVR : Kostenvergleichsrechnung
KWA : Kostenwirksamkeitsanalyse
KNA : Kosten-Nutzen-Analyse

3.2.3 Kostenschätzung

Grundvoraussetzung auf der Kostenseite ist eine umfassende, d. h. sämtliche Leistungsbereiche abdeckende Kostenschätzung nach DIN 276. Das bedeutet, dass für sämtliche technischen und organisatorischen Leistungen eines Sanierungsszenarios die Kosten für Vorleistungen, Kernleistungen, bau- und verfahrensbegleitende Leistungen sowie Folgeleistungen bezogen auf den Zeitpunkt und die Dauer des Kostenanfalls darzustellen sind.

Die Kenntnis aller Kostengruppen ist wichtig, damit vermieden wird, dass einzelne kostenverursachende Bereiche übersehen werden. Die Betriebskosten, wie auch die Überwachungs- und Nachsorgekosten, sind für unterschiedlich lange, zuvor festzulegende Zeiträume zu kalkulieren und darzustellen, so dass im Rahmen der Nutzen-Kosten-Untersuchung auch eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für unterschiedliche Zeiträume vorgenommen werden kann.

Die geschätzten Kosten sind nach der Häufigkeit ihres Auftretens in Investitionskosten und laufende Kosten zu unterscheiden. Darüber hinaus sind die Investitionskosten der einzelnen Kostengruppen zu jährlichen Kostenpaketen zusammenzufassen.

Da im Rahmen der Sanierungsuntersuchung noch große Kostenunsicherheiten gegeben sind, genügt es nicht, die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf der Grundlage von groben Ansätzen durchzuführen. Vielmehr sind zur Erzielung der notwendigen Genauigkeit die im einzelnen Szenario angesetzten Leistungen bestmöglich abzuschätzen. Dazu kann z. B. das Leistungsbuch „Altlastensanierung und Flächenentwicklung“ herangezogen werden (LUA 1998). Die für Unvorhergesehenes angesetzten Kosten sind für die einzelnen Kostengruppen separat auszuweisen und ihnen als prozentualer Zuschlag zuzuordnen, so dass ggf. im Rahmen der Sensitivitätsanalyse die Auswirkungen der Ansätze untersucht werden können.

Für die abschließende Bewertung im Rahmen der Nutzen-Kosten-Untersuchung ist es erforderlich, dass die relevanten Kosteneinflussfaktoren für Investitions-, Betriebs- und Nachsorgekosten aufgeführt werden, damit sie bei der Abwägung der Sanierungsszenarien mitberücksichtigt werden können.

3.3 Kostenvergleichsrechnung

3.3.1 Methodenbeschreibung

Bei der im nachfolgenden dargestellten und für die Sanierungsuntersuchung empfohlenen Kostenvergleichsrechnung handelt es sich um die dynamische Kostenvergleichsrechnung nach den Empfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), die der Arbeitskreis Nutzen-Kosten-Untersuchung in der Wasserwirtschaft mit seinen „Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen“ aufgestellt hat. Der Einfachheit halber wird im nachfolgenden Text anstatt der korrekten Bezeichnung „Dynamische Kostenvergleichsrechnung nach LAWA“ lediglich die Bezeichnung „Kostenvergleichsrechnung“ benutzt.

Die Kostenvergleichsrechnung (KVR) ist das einfachste Nutzen-Kosten-Verfahren für die Bewertung von Sanierungsszenarien. Sie liefert lediglich ein an die Kostenseite orientiertes Ergebnis und setzt voraus, dass die zu bewertenden Sanierungsszenarien, bei der fachlichen Bewertung alle den gleichen Nutzen erzielt haben. Diese Voraussetzung wird in der Praxis nahezu nie erfüllt. Da in Abhängigkeit von der Art des Sanierungsszenarios, beispielsweise bei einer Sicherung gegenüber einer Dekontamination, eine Einschränkung bei den Möglichkeiten der Folgenutzung besteht, ist für ein Szenario mit Sicherung i. d. R. ein geringerer Nutzen gegeben, auch wenn für die festgelegte Folgenutzung die Sanierungsziele erfüllt werden.

Da bei der Kostenvergleichsrechnung der Nutzen der einzelnen Szenarien nicht in die Bewertung eingeht, liefert sie lediglich eine relative Aussage über die kostenmäßige Vorteilhaftigkeit der verschiedenen Szenarien zur Erbringung des geforderten Sanierungsziels. Über die absolute Vorteilhaftigkeit, d. h., ob der Nutzen der Szenarien größer als die Kosten sind, wird keine Aussage getroffen.
Haben die Sanierungsszenarien einen unterschiedlichen Nutzen ist die Kostenvergleichsrechnung als eigenständiges Bewertungsverfahren nicht geeignet. Sie stellt in diesem Fall nur einen Teil der Bewertung dar und macht es erforderlich, dass sie in Kombination mit einem leistungsfähigeren Verfahren wie der Kostenwirksamkeitsanalyse oder der Kosten-Nutzen-Analyse angewandt wird.

Die Kostenvergleichsrechnung berücksichtigt Investitionskosten und laufende Kosten auf der Basis von Auszahlungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Dies erfordert eine finanzmathematische Aufbereitung der Kosten für jedes Sanierungsszenario, damit die Kosten wertmäßig vergleichbar sind. Die Schematisierung des Berechnungsablaufs soll dazu beitragen, Kostenvergleichsrechnungen zweckmäßig und einheitlich zu gestalten, damit deren Bearbeitung und Überprüfung erleichtert wird.

Ein gebräuchliches Verfahren zur zeitabhängigen Gewichtung der Kosten ist die Barwertmethode. Hierbei sind sämtliche Kosten eines Sanierungsszenarios, d. h. Sanierungs- und Nachsorgekosten, auf einen Bezugszeitpunkt auf- oder abzuzinsen. Der Bezugszeitpunkt ist frei wählbar und wirkt sich nicht auf das Ergebnis des Vergleichs der Sanierungsszenarien aus. Es empfiehlt sich, den Bezugszeitpunkt auf das Jahr der Sanierungsuntersuchung oder die Abnahme der Sanierungsmaßnahme zu legen.
Als Kalkulationsparameter werden bei der Barwertberechnung zum einen der Zinssatz (i), mit dem die Aufzinsung bzw. Abzinsung vergangener bzw. zukünftiger Kosten vorgenommen wird, und zum anderen der Zeitraum (n) zwischen dem tatsächlichen Kostenanfall und dem Bezugszeitpunkt berücksichtigt.
Der Untersuchungszeitraum wird durch den Beginn der Projektarbeiten und das Sanierungsszenario mit der längsten Nachsorgephase definiert. Die Dauer der Nachsorge wird im Einzelfall durch die am Standort verbliebene Restbelastung, die Einhaltung der festgelegten Sanierungsziele sowie die endliche Lebensdauer der Bauwerke, Anlagen, Mess- und Kontrollelemente bestimmt, so dass häufig erst nach einer Beseitigung des Schadstoffpotentials und damit der Entlassung der Fläche aus der Nachsorge der Untersuchungszeitraum endet.

Die Auswahl des technisch und wirtschaftlich am besten geeigneten Sanierungsszenario kann grundsätzlich auf zwei Arten erfolgen:

- Vergleich der Szenarienbarwerte und
- Vergleich der Jahreskosten.

Beim Vergleich der Szenarienbarwerte ergibt sich durch die jeweilige Differenz das kostengünstigste Sanierungsszenario. Die Barwertdifferenz steht somit für die „kapitalisierten Kostenersparnisse“, die in Abhängigkeit von den Leistungen der Sanierungsszenarien anfallen.
Will man für die Investitionskosten eines Sanierungsszenarios bzw. die Szenarienbarwerte die jährliche Kostenbelastung ermitteln, sind die Jahreskosten zu berechnen. Dementsprechend liefert die Differenz zwischen den Jahreskosten des kostengünstigsten Szenarios und eines anderen Szenarios die durchschnittlichen jährlichen Kostenersparnisse.
Beide Vorgehensweisen sind prinzipiell gleichwertig und in Abhängigkeit vom Einzelfall anzuwenden.

Kostenbegriffe wie Kapitaldienst, Abschreibungen, kalkulatorische Kosten, Zuwendungen Dritter oder zinsvergünstigte Darlehn spielen bei der Kostenvergleichsrechnung im Rahmen der Sanierungsuntersuchung keine Rolle. Sie kommen erst bei der Finanzierung einer Sanierungsmaßnahme zum tragen.

Bei der Kostenvergleichsrechnung interessiert die hinter dem Geld stehende Kaufkraft, d. h., die für die einzelnen Sanierungsszenarien ermittelten Kostengrößen repräsentieren nur dann einen vergleichbaren güterwirtschaftlichen Aufwand, wenn ihnen die gleichen Kaufkraftverhältnisse zugrunde liegen. Deshalb müssen alle zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Kosten (Nominalkosten) auf die Kaufkraft eines Basisjahres bezogen werden (siehe Kapitel 3.3.4). Damit die Kostenermittlung und Kostenbewertung bezogen auf einen einheitlichen Preisstand erfolgt (Prinzip der Realbewertung), sind die aus früheren Projekten herangezogenen Preise auf das zugrunde gelegte Bezugsjahr zu beziehen. Bei zukünftig anfallenden Kosten ist eine Preisentwicklung nur dann zu berücksichtigen, wenn Geldwertänderungen die künftigen Preiserwartungen beeinflussen (LAWA 1998).
Da bei Sicherungsmaßnahmen im Rahmen der Nachsorgephase über einen längeren Zeitraum laufende Kosten als auch Investitionskosten anfallen, sind die zukünftigen Preise mit den gleichen Preisen des Bezugsjahres anzusetzen. Damit wird bei zukünftigen Investitionen bzw. sonstigen Leistungen vom gleichen technischen Standard ausgegangen; andere Annahmen wären rein spekulativ und würden zu einer Verfälschung des Ergebnisses führen. Ist beispielsweise jedoch geplant, nach Abschluss der Sanierung die Oberflächenabdeckung zu bebauen, so ist für eine Reinvestition von einem höheren Aufwand auszugehen, und es müssen entsprechend höhere Kosten als bei der Erstinvestition angesetzt werden.
Der Berechnungsansatz zur Berücksichtigung zukünftiger realer Preisänderungen (r) ist den „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen“ (LAWA 1998) zu entnehmen. Hiernach wird empfohlen, ggf. Preissteigerungsraten bis maximal 2 % p. a. bei der Sensitivitätsanalyse zu untersuchen (siehe Kapitel 3.3.6).

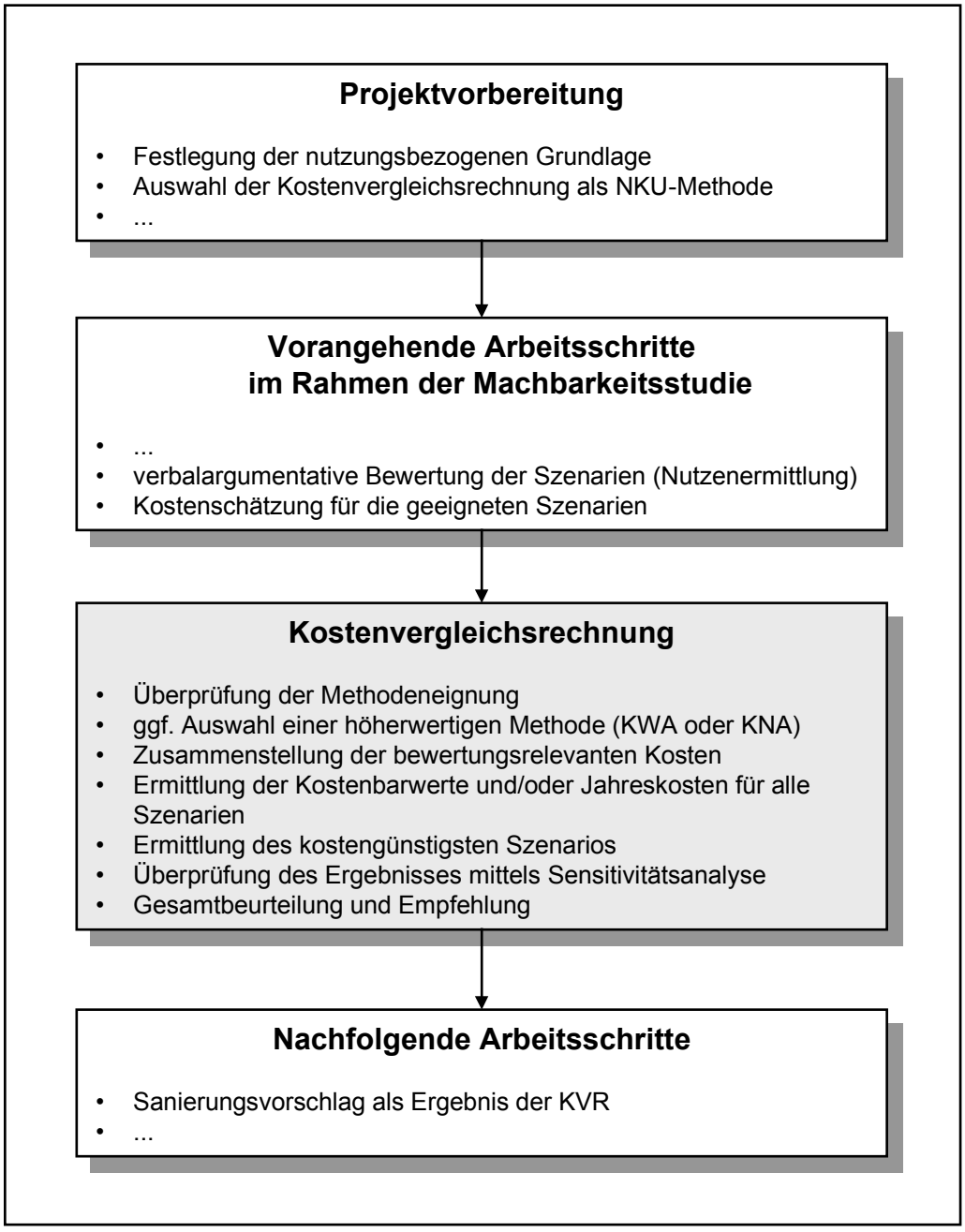


Abbildung 10 Arbeitsschritte zur Durchführung der Kostenvergleichsrechnung (KVR)

3.3.2 Anwendungsbereich

Definitionsgemäß müssen die zu bewertenden Sanierungsszenarien bei der „Fachlichen Bewertung“ ein gleichwertiges Ergebnis erzielt haben, d. h. den gleichen Nutzen aufweisen, damit eine Beurteilung mit der Kostenvergleichsrechnung möglich ist.

Wird diese Grundvoraussetzung für die Anwendung der Kostenvergleichsrechnung nicht erfüllt – was, wie die Praxis bestätigt, in den meisten Projekten der Fall sein wird –, so liefert die Kostenvergleichsrechnung zwar das kostengünstigste Sanierungsszenario bzw. eine Aussage darüber, um welchen Betrag sich die anderen Sanierungsszenarien davon unterscheiden, jedoch bleibt der unterschiedliche Nutzen der Szenarien unberücksichtigt. Dementsprechend ist mit dem Auftraggeber und der zuständigen Behörde abzustimmen, inwieweit die Kostenvergleichsrechnung nur bezogen auf den Kostenvergleich trotzdem angewandt werden soll bzw. ob statt dessen eine hochwertigere Methode, wie beispielsweise die Kostenwirksamkeitsanalyse oder die Kosten-Nutzen-Analyse, zu benutzen ist.

Soll in Abstimmung mit den Beteiligten eine Kostenvergleichsrechnung durchgeführt werden, so ist das hierbei ermittelte Ergebnis bezogen auf das Ergebnis der „Fachlichen Bewertung“ (d. h. den Nutzen der Szenarien) für jeden Indikator ausführlich zu diskutieren und zu beurteilen. Diese vom Gutachter durchzuführende Bewertung muss eindeutig und nachvollziehbar sein, so dass eine Priorisierung der Szenarien vorgenommen und ein qualifiziertes Maßnahmenkonzept abgeleitet werden kann. Damit die verbalargumentativ vorgenommene Bewertung der Nutzenseite mit den Kostenbarwerten der Sanierungsszenarien besser bewertet werden können, empfiehlt sich hierzu eine tabellarische Darstellung mit stichwortartiger Begründung des Nutzens bezogen auf die Kostenbarwerte. Ggf. kann auch eine halbquantitative Bewertung des Nutzens mittels Symbolskala (+; 0; –) zur Anwendung kommen.

3.3.3 Zusammenstellung der bewertungsrelevanten Kosten

Im Rahmen der Kostenschätzung (siehe Kapitel 2.5.6 und 3.2.3) sind für jedes Sanierungsszenario die entscheidungsrelevanten Kosten ermittelt worden. Damit eine Kostenvergleichsrechnung durchgeführt werden kann, sind diese für die einzelnen Jahre zu Kostengruppen (Planungs-, Sanierungs- und Nachsorgekosten) in Abhängigkeit von der Zeit übersichtlich darzustellen. Hierzu empfiehlt sich in jedem Fall eine graphische Darstellung der Kosten auf einer Zeitachse (Kostenreihe), damit zum einen die Zusammenhänge für die Berechnung der Kostenbarwerte deutlich werden und die Nachvollziehbarkeit der Berechnung mit abschließender Ergebnisinterpretation unterstützt wird (siehe Tabelle 19).

Um die Berechnung zu vereinfachen, wird vorgeschlagen, einzelne innerhalb eines Jahres anfallende Kosten zu Kostengruppen zusammenzufassen. Hierbei ist es wichtig, dass dies für die weitere Bearbeitung und auch zur Nachvollziehbarkeit der gesamten Berechnung erläutert wird. Insbesondere bei komplexen Sanierungsszenarien ist eine tabellarische Kostenzusammenstellung zweckmäßig, wobei die einzelnen Teilleistungen des Sanierungsszenarios aufzuführen sind.

3.3.4 Ermittlung der Kostenbarwerte und Jahreskosten

Um die Kosten einzelner Sanierungsszenarien, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen (Nominalkosten), vergleichen zu können, müssen sie finanzmathematisch auf einen gemeinsamen Bezugszeitpunkt wertmäßig umgerechnet werden. Das bedeutet, dass sowohl Investitionskosten als auch laufende Kosten, die in unterschiedlicher Höhe und zu unterschiedlichen Zeitpunkten des Untersuchungszeitraumes anfallen, z. B. Planungs-, Investitions-, Betriebs-, Überwachungs-, Reparaturkosten etc. einschließlich möglicher Preissteigerungen in Kostenbarwerte umzurechnen sind. Die vor dem Bezugszeitpunkt (z. B. Zeitpunkt der Abnahme einer Sanierungsmaßnahme) anfallenden Kosten sind aufzuzinsen, d. h. zu akkumulieren, und danach anfallende Kosten (z. B. Nachsorgekosten) sind abzuzinsen, d. h. zu diskontieren. Die im Bezugszeitpunkt anfallenden Kosten sind identisch mit dem Barwert.

In Abbildung 11 sind die Grundbegriffe der zeitlichen Gewichtung von Kostengrößen beispielhaft dargestellt.

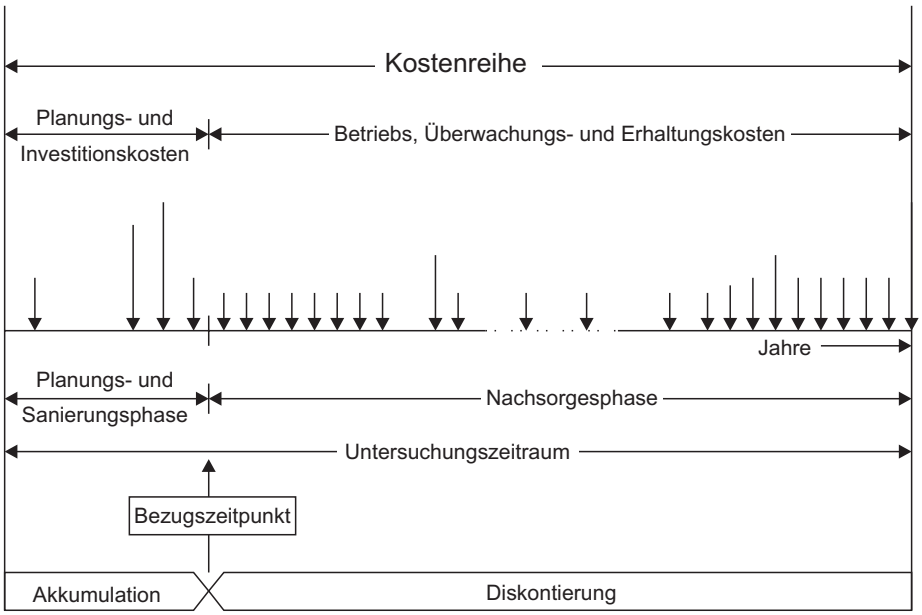


Abbildung 11 Veranschaulichung der zeitlichen Gewichtung von Kostengrößen bei der Kostenvergleichsrechnung (abgeändert nach LAWA)

Hierzu sind die innerhalb eines Jahres für die einzelnen Kostengruppen anfallenden Einzelkosten zu einer Summe zusammenzufassen und am Jahresende anzusetzen.

Die finanzmathematische Umrechnung der Nominalkosten berücksichtigt die Einschätzung zukünftiger bzw. vergangener Kostenentwicklungen gegenüber dem Bezugszeitpunkt über den Zinssatz. Der hierbei anzusetzende Zinszeitraum wird durch den Zeitraum vor und nach dem Bezugszeitraum definiert.

Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) empfiehlt in ihren „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen“ einen langfristigen Zinssatz von real 3 % p. a. als Standardwert zugrunde zu legen. In der Sensitivitätsanalyse sollten dann die Auswirkungen von Zinssätzen zwischen 2 % bis höchstens 5 % p. a. untersucht werden (siehe Kapitel 3.3.6).

In der Kostenvergleichsrechnung begünstigen niedrige Zinssätze investitionskostenintensive Sanierungsszenarien, wohingegen höhere Zinssätze vorteilhafter für Szenarien mit einem höheren Anteil an laufenden Kosten sind.

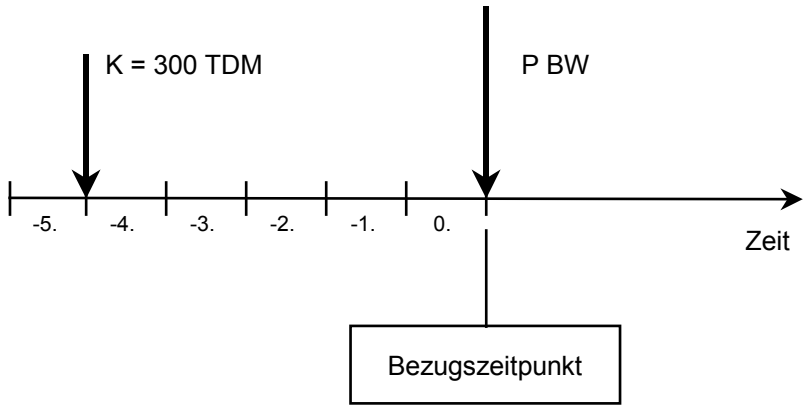
Für die Umrechnung von Einzelkosten (z. B. Investitionskosten) sowie laufenden Kosten (z. B. Überwachungskosten im Rahmen der Nachsorge) in Kostenbarwerte kann auf die entsprechenden finanzmathematischen Formeln in der Anlage aus der 6. Auflage des LAWA-Leitfadens zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen zurückgegriffen werden.

Sämtliche auf den Bezugszeitpunkt bezogenen Barwerte eines Sanierungsszenarios nennt man Szenarienbarwert.

Wie die Berechnung von Kostenbarwerten durchgeführt wird, soll nachfolgend exemplarisch dargestellt werden.

Beispiel 1:

Fallen beispielsweise 5 Jahre vor dem Bezugszeitpunkt einmalige Kosten in Höhe von 300.000 DM an (z. B. Planungskosten), so sind diese aufzuzinsen, d. h., der Nominalwert ist mit dem **A**kkumulations**FAK**tor für eine **E**inmalzahlung (AFAKE) zu multiplizieren (s. Anlage). Für die Berechnung wird ein Zinssatz von real 3 % p. a. angesetzt. Der Einfachheit halber wird die Auszahlung der Planungskosten als Einmalzahlung angesetzt.



P BW = K • AFAKE (i; n)

= 300.000 DM • AFAKE (i = 3 %; n = 5a)

= 300.000 DM • 1,1593 (s. Anlage)

= **347.790 DM**

mit:

P BW = Barwert der Planungskosten

K = Planungskosten

AFAKE = Akkumulationsfaktor für eine Einmalzahlung

Die Planungskosten vor dem Bezugszeitpunkt werden mit dem Akkumulationsfaktor für eine Einmalzahlung

$$AFAKE\ (1; n) = (1 + i)^n$$

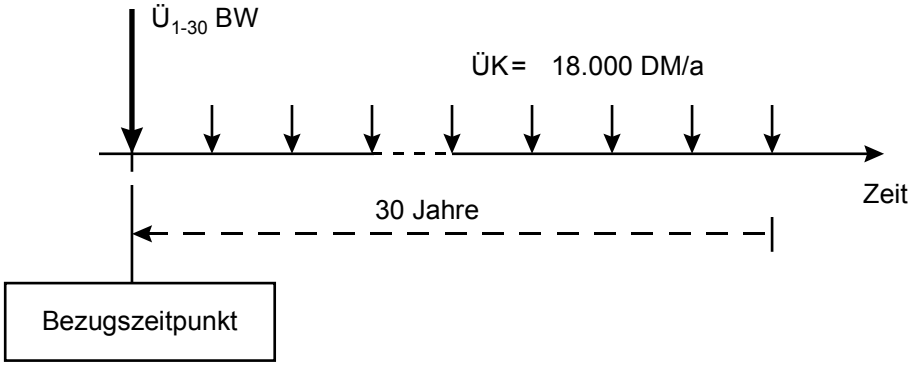
multipliziert, wobei i den Zinssatz (z. B. 3 %) und n die Zahl der Jahre zwischen Kostenanfall und Bezugszeitpunkt (Zinszeitraum) darstellt.

Für die Planungskosten von 300.000 DM berechnet sich somit ein Barwert von 347.790 DM.

Warum die Zählung der Jahre auf der Zeitachse mit Null beginnt, wird aus obiger Formel deutlich. Nur für n = 0 ergibt sich ein Akkumulationsfaktor von 1, d. h., eine im Bezugszeitpunkt anfallende Kostengröße entspricht auch dem Barwert.

Beispiel 2:

Fallen nach Abnahme der Sanierungsmaßnahme in den folgenden 30 Jahren kontinuierlich Überwachungskosten in Höhe von 18.000 DM p. a. an, so sind diese auf den Bezugszeitpunkt abzuzinsen, d. h., der Nominalwert ist mit dem **D**iskontierungs-**FAK**tor für eine gleichförmige jährliche Kosten**R**eihe (DFAKR) zu multiplizieren. Auch hier wird ein Zinssatz von 3 % angesetzt.



$Ü_{1-30}$ BW = ÜK • DFAKR (i; n)

= 18.000 DM/a • DFAKR (i = 3 %, n = 30a)

= 18.000 DM/a • 19,60 (s. Anlage)

= **352.800 DM**

mit:

$Ü_{1-30}$ BW = Barwert der Überwachungskosten für 30 Jahre

ÜK = Überwachungskosten

DFAKR = Diskontierungsfaktor für eine gleichförmige Kostenreihe

Die Überwachungskosten nach dem Bezugszeitpunkt werden mit dem Diskontierungsfaktor für eine gleichförmige Kostenreihe

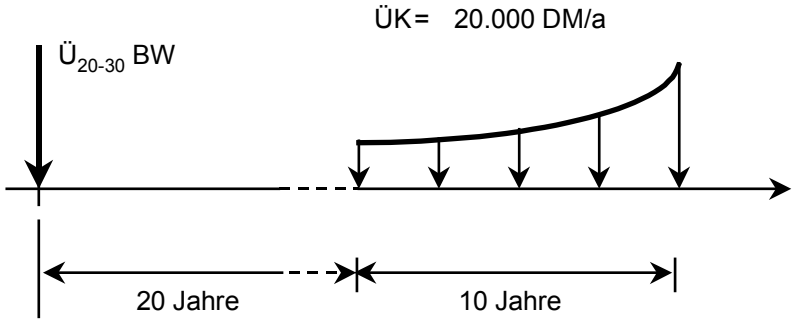
$$DFAKR\,(i;n) \quad = \quad \frac{(1+i)^n - 1}{i \bullet (1+i)^n}$$

multipliziert, wobei i den Zinssatz (z. B. 3 %) und n die Zahl der Jahre zwischen Kostenanfall und Bezugszeitpunkt (Zinszeitraum) darstellt.

Damit berechnet sich der Barwert für die laufenden Nachsorgekosten zu 352.800 DM. Hätte man die Nachsorgekosten für den Kostenvergleich lediglich aufsummiert, so hätten sich demgegenüber Kosten in Höhe von 540.000 DM ergeben.

Beispiel 3:

Ist es z. B. erforderlich, dass die für einen Zeitraum von 10 Jahren angesetzten Funktionskontrollen von 20.000 DM/a nach 20 Jahren um jährlich 2 % p. a. ansteigen, hat die Berechnung des Barwertes in zwei Schritten zu erfolgen. Zuerst werden die jährlich steigenden Überwachungskosten mit dem **D**iskontierungs**FAK**tor für **R**eihen**P**rogression bezogen auf 10 Jahre und einem realen Zinssatz von 3 % p. a. sowie eine Preissteigerungsrate von r = 2 % p. a. abgezinst. Im nächsten Schritt erfolgt dann die Transformation des Barwertes in den Bezugszeitpunkt durch Multiplikation mit dem **D**iskontierungs**FAK**tor für **E**inmalkosten bezogen auf einen Zinssatz von 3 % und einen Zeitraum von 20 Jahren.



$Ü_{20-30}$ BW = ÜK • DFAKRP (r; i; n) • DFAKE (i; n)

= 20.000 DM/a • DFAKRP (2; 3; 10) • (DFAKE (3; 20)

= 20.000 DM/a • 9,4813 • 0,5537

= **104.996 DM**

mit:

$Ü_{20-30}$ BW = Barwert der Überwachungskosten für 10 Jahre

ÜK = progressive Überwachungskosten mit 2 % p. a.

DFAKRP = Diskontierungsfaktor für progressiv jährlich steigende Kostenreihen

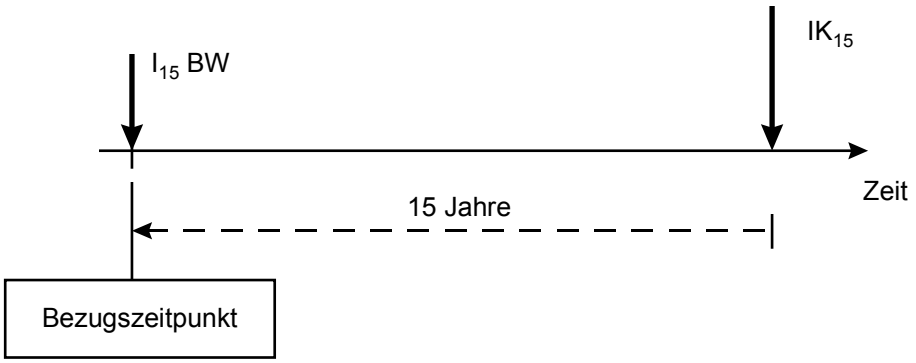
$$= (1+r) \bullet \frac{(1+i)^n - (1+r)^n}{(1+i)^n \bullet (1-r)}$$

DFAKE = Diskontierungsfaktor für einmalige Kosten

$$= \frac{1}{(1+i)^n}$$

Beispiel 4:

Betragen die Investitionskosten (IK_0) für eine Sickerwasserreinigungsanlage heute 4,5 Mio. DM, und muss für die Erneuerung der Anlage in 15 Jahren auf Grund der geplanten Folgenutzung auf dem Standort von erhöhten Baukosten ausgegangen werden, so sind im ersten Schritt die realen Reinvestitionskosten in 15 Jahren IK_{15} mit einer möglichen Preissteigerung von 1 % p. a. zu ermitteln.



IK_{15} = IK_o • AFAKE (1; 15)

= 4,5 • 1,1610

= **5,2 Mio. DM**

Im nächsten Schritt wird für die realen Investitionskosten in 15 Jahren der Barwert mit einem Zinssatz von 3 % berechnet.

I_{15} BW = IK_{15} • DFAKE (3; 15)

= 5,2 • 0,6419

= **3,3 Mio. DM**

mit:

IK_0 = Investitionskosten heute (Nominalwert zum Zeitpunkt 0)

IK_{15} = reale Investitionskosten in 15 Jahren

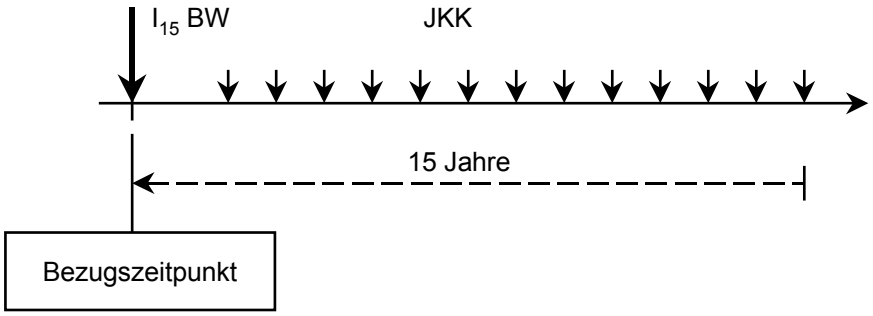
AFAKE = reale Preissteigerungsrate (berechnet über den realen Zinssatz r = 1 %; n = 15)

I_{15} BW = Barwert der Investitionskosten in 15 Jahren

DFAKE = Diskontierungsfaktor für einmalige Kosten (i = 3 %; n = 15a)

Soweit Ersatzinvestitionen den gleichen technischen Stand bzw. den gleichen Leistungsumfang aufweisen, sind die gleichen Kosten wie zum Bezugszeitpunkt anzusetzen; der Ansatz realer Preissteigerungsraten für Ersatzinvestitionen ist nicht begründbar (siehe Kapitel 3.3.1). Wird jedoch eine Preissteigerung zum Ansatz gebracht, so sind hierfür kleine Prozentsätze zwischen 0,5 % und 1,5 % p. a. zu wählen.

Will man im nächsten Schritt den Barwert (I_{15} BW) in jährliche Kapitalkosten (Jahreskosten) umrechnen, so ist dieses mit dem **K**apitalwiedergewinnungs**FAK**tor in eine Kapitalkostenreihe umzuwandeln; realer Zinssatz von i = 3 % p. a. und Untersuchungskosten von 15 a.



JKK = I_{15} BW • KFAKR (3; 15)

= 3,3 • 0,08377

= **0,276 Mio. DM/a**

mit:

JKK = jährliche Kapitalkosten

KFAKR = Kapitalwiedergewinnungsfaktor (i = 3 %; n = 15 a).

Der Untersuchungszeitraum wird durch die Art der gewählten Sanierungsmaßnahme (Dekontamination bzw. Sicherung), der durchschnittlichen Nutzungsdauer von Bauwerken und Anlagen sowie durch das im Falle einer Sicherung am Standort verbleibende Schadstoffpotential bestimmt, wobei letzteres nur schwer oder aber auch gar nicht abgeschätzt werden kann. Grundsätzlich gilt, dass die Länge des Untersuchungszeitraums mit wachsender Kalkulationsperiode und mit steigendem Zinssatz einen immer geringeren Einfluss auf die Barwerte hat.
Entsprechend den Empfehlungen des LAWA-Arbeitskreises „Nutzen-Kosten-Untersuchungen in der Wasserwirtschaft“ sollte der Untersuchungszeitraum im längsten Fall auf z. B. 80 Jahre begrenzt werden, da ab diesem Zeitraum eine Diskontierung der Kosten vernachlässigbar und damit ohne Einfluss auf eine Wirtschaftlichkeitsberechnung ist.

Damit bei der Berechnung festzulegen ist, wann für die einzelnen Anlagen und Bauwerke eine Reinvestition angesetzt werden muss, sind in der nachfolgenden Tabelle 3 die Spannen für durchschnittliche Nutzungsdauern angegeben. Die Daten basieren auf Erfahrungswerten, die in der „Leitlinie zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen“ der LAWA angegeben sind. Bis abgesicherte Daten aus der Altlastensanierungspraxis vorliegen, muss auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden (s. auch Leitfaden Nachsorge).

Wichtig ist, dass die Nutzungsdauer nicht mit den unter steuerlichen Gesichtspunkten festgelegten Angaben in AfA-Tabellen oder anderen Wertermittlungstabellen verwechselt wird.

Auch für Instandhaltung (Wartung und Pflege) und Instandsetzung (Reparaturen und teilweise Erneuerungen) sind bei der Berechnung Kosten anzusetzen. Da für diese Bereiche bisher kaum Erfahrungswerte für den möglichen Zeitpunkt ihrer Notwendigkeit und die voraussichtlichen Kosten vorliegen, muss auf die Erfahrung aus anderen Fachbereichen bzw. erste Forschungs-/Praxisergebnisse zurückgegriffen werden. Werden die Kosten für Instandsetzung und Instandhaltung auf Grund dieser Unsicherheit nicht angesetzt, kommt es zu einer größeren Verfälschung des Ergebnisses, als wenn die Höhe der Kosten und der Zeitpunkt nicht korrekt eingeschätzt werden. Da mit zunehmendem Untersuchungszeitraum der Einfluss des Diskontierungsfaktors immer geringer wird, relativiert sich auch gleichzeitig der Einfluss eines unterschiedlich hohen Barwertes, wodurch der Fehler einer „falschen“ Annahme letztendlich für das Gesamtergebnis vernachlässigbar klein wird.

Tabelle 3 Durchschnittliche Nutzungsdauer für Anlagen und Bauwerke (LAWA 1998)

Bauwerke und Anlagen			Durchschnittliche Nutzungsdauer (Jahre)
Betriebsgebäude einschließlich Werkstätten, Garagen und dgl.			33-50
Fahrbahnen, Einstellplätze, Gehwege, befestigte Flächen			(25) 33-50
Einfriedungen:			
	Zäune		10-12
	Mauerwerk		25-50
Gerinne aus:			
	Beton/Stahlbeton	in mildem Klima	50-75
in rauem Klima			20-30
	Stahl		25-35
	Holz	nicht imprägniert	15
		imprägniert	30
Leitungsrohre aus:			
	Stahl		50
	Stahlbeton		(40)-50
Tiefbrunnen mit Pumpenhaus			20-40 (50)
Elektromotorpumpengruppen			10-15
Dieselmotorpumpengruppen			8-12
Ortsfeste (unterirdische) Rohrleitungen			(20) 30-40 (60)
Freispiegelleitungen			33
Offene unbefestigte Gräben			10-20
Rohrdränung als Flächenentwässerung			(25) 30-40
Wegbefestigung			
	ohne Bindemittel		(2)-5
	mit Zementbeton		25
	mit bituminösen Bindemitteln im Heißeinbau		(8)-15
	mit Betonsteinen		20-30
Niederschlagsmessgeräte			20-(35)
Pegelanlagen			25
Funk- und Fernsprechanlagen			10-20
Laborgeräte			10-20
Pumpen (Kreisel- und Unterwasserpumpen niedrigere, Kolbenpumpen höhere Werte)			15-20
Elektrische Anlagen, Notstromaggregate, Steuergeräte, Maschinenanlagen			15-20

Bei der Auflistung der Investitionskosten sind die Jahre vom Zeitpunkt ihrer Ausgabe bezogen auf den Bezugszeitpunkt und bei den laufenden Kosten ihre Ausgabedauer anzugeben.

Weiterhin sind der Untersuchungszeitraum, der Zinssatz, die Akkumulations- bzw. Diskontierungsfaktoren und ggf. die Preissteigerungsfaktoren anzugeben. Die Berechnung muss übersichtlich und nachvollziehbar sein.

Die der Berechnung zugrunde zu legenden Kosten sind als Bruttopreise anzusetzen.

Als Ergebnis des Kostenvergleichs werden für die einzelnen Sanierungsszenarien die Szenarienbarwerte berechnet.

3.3.5 Kostengegenüberstellung

Zum kostenmäßigen Vergleich der untersuchten Sanierungsszenarien sind die jeweiligen Szenarienbarwerte gegenüberzustellen. Ausgehend vom kostengünstigsten Szenario ergibt die Differenz mit den übrigen Szenarienbarwerten die relative Kostenersparnis (Δ S BW), die bei einer Umsetzung des kostengünstigsten Sanierungsszenarios erzielt werden kann.

Werden für die Sanierungsszenarien die Jahreskosten ermittelt, so verdeutlicht die Differenz zwischen den Jahreskosten der Sanierungsszenarien die durchschnittliche jährliche Kostenersparnis (Δ JK).

Wurden bei der Berechnung sowohl der Kostenbarwert als auch die Jahreskosten ermittelt und damit auch für beide die Differenzwerte, so kann über eine Abzinsung der durchschnittlichen jährlichen Kostenersparnisse (Δ JK) die Differenz der Szenarienbarwerte (Δ S BW) ermittelt werden. Umgekehrt kann durch die Multiplikation des Kapitalwiedergewinnungsfaktors mit der Differenz der Szenarienbarwerte die durchschnittliche jährliche Kostenersparnis berechnet werden.

Für die Berechnung gilt nachfolgender Ansatz:

$$\Delta \text{ S BW} = \Delta \text{ JK} \bullet \text{DFAKR (i; n)}$$

$$\Delta \text{ JK} = \Delta \text{ S BW} \bullet \text{KFAKR (i; n)}$$

mit:

Δ S BW	=	Differenz zwischen zwei Szenarienbarwerten, d. h. kapitalisierte Kostenersparnis
Δ JK	=	Differenz zwischen den Jahreskosten zweier Szenarien, d. h. durchschnittliche jährliche Kostenersparnis
DFAKR (i; n)	=	Diskontierungsfaktor für eine gleichförmige Kostenreihe
KFAKR (i; n)	=	Kapitalwiedergewinnungsfaktor

Es ist anzugeben, für welchen Bezugszeitpunkt, Überwachungszeitraum, Zinssatz, Akkumulations- bzw. Diskontierungsfaktor und welche Preissteigerungsrate die ermittelten Ergebnisse gelten.

Auf der Grundlage der durchgeführten Kostenvergleiche kann eine erste Priorisierung der Sanierungsszenarien vorgenommen werden.
Unter Bezug auf die bei der Kostenschätzung und bei der Barwertberechnung vorgenommenen Annahmen, wie z. B. Zinssatz, Preissteigerungsrate oder den für die Nachsorgephase getroffenen Annahmen, ist zu prüfen, für welche Ansätze im nächsten Schritt eine Sensitivitätsanalyse durchzuführen ist. Die getroffene Auswahl ist zu begründen.

3.3.6 Sensitivitätsanalyse

Da mit den zum Zeitpunkt der Sanierungsuntersuchung getroffenen Annahmen für die Sanierungsdurchführung und die ggf. erforderliche Nachsorgephase zwangsläufig Unsicherheiten verbunden sind, sind im Rahmen der Sensitivitätsanalyse (Empfindlichkeitsprüfung) die hiermit verbundenen kostenmäßigen Auswirkungen auf das Ergebnis zu ermitteln. Durch die Berücksichtigung von planerischen Unsicherheiten sowie unterschiedlicher finanzmathematischer Ansätze wird mit der Sensitivitätsanalyse eine größere Transparenz bezüglich der Kostenentwicklung bei unterschiedlichen Ansätzen erzielt und damit zu einer Relativierung möglicher subjektiver Annahmen beigetragen.

Insbesondere beim Vergleich von Sanierungsszenarien mit einer Nachsorgephase sollte eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden.
Da bisher kaum Erfahrungswerte über die endliche Lebensdauer einzelner Sicherungsbauwerke und -elemente vorliegen und auch der Überwachungsaufwand nur geschätzt werden kann, sind die für die Nachsorgephase angesetzten Kosten für Langzeitbetrieb, Langzeiterhaltung, Funktionskontrolle sowie Überwachung der Wirkungspfade mit Unsicherheit behaftet. Deshalb empfiehlt es sich, Sensitivitätsanalysen für unterschiedliche Nachsorgeansätze durchzuführen. Insbesondere für die Langzeiterhaltung und hierbei die Positionen Instandsetzung (Reparaturen, Ausbesserungen) und Reinvestition von Sicherungselementen (z. B. Neuerstellung von Oberflächenabdichtung, Dichtwand etc.) sollten unterschiedliche Ansätze getroffen werden. Für die im Rahmen der Nachsorge betriebenen Anlagen (z. B. hydraulische und pneumatische Behandlungsanlagen) ist die durchschnittliche Nutzungsdauer weitestgehend bekannt, so dass hierfür abgesicherte Annahmen getroffen werden können.

Zur Absicherung des Berechnungsergebnisses sind zumindest Sensitivitätsanalysen für unterschiedliche Zinssätze (i) und unterschiedliche Untersuchungszeiträume mit veränderten Kostenansätzen durchzuführen.

Entsprechend dem Leitfaden der LAWA empfiehlt es sich, die Auswirkungen des Zinssatzes zwischen 2 % bis höchstens 5 % p. a. zu untersuchen. Bei Preisänderungen sind Werte zwischen 0 % und 2 % p. a. realistisch; der maximale Wert sollte 3 % p. a. nicht überschreiten. Bleiben die Kostenansätze für den Untersuchungszeitraum, Investitions- und laufende Kosten konstant, d. h. entsprechend der zuvor durchgeführten Barwertberechnung, so ändern sich hierbei nur die Umrechnungsfaktoren bezogen auf den Zinssatz (i) und die Preissteigerungsrate (r). Die Werte können aus der Anlage entnommen werden.

Weiterhin kann in Abhängigkeit vom Einzelfall eine Überprüfung bezüglich der sogenannten kritischen Werte der Berechnungsgrößen (Zinssatz, Preissteigerung, Planungsgrößen) vorgenommen werden. Kritische Werte, wie beispielsweise in Abbildung 12 für den Zinssatz dargestellt, ergeben sich immer dann, wenn für das ursprünglich kostengünstigste Szenario (II) durch Veränderung der Eingangsdaten – in diesem Fall der Zinssatz – derselbe Kostenbarwert berechnet wird, wie zuvor für das kostenungünstigere Szenario (I). Aus Abbildung 12 wird der starke Einfluss des Zinssatzes auf laufende Kosten deutlich.

Da kritische Werte für verschiedene Eingangsdaten der Berechnung ermittelt werden können, unterstützen sie den Bearbeiter insbesondere bei der Interpretation der Berechnungsergebnisse und seiner Entscheidung für das am besten geeignete Szenario.

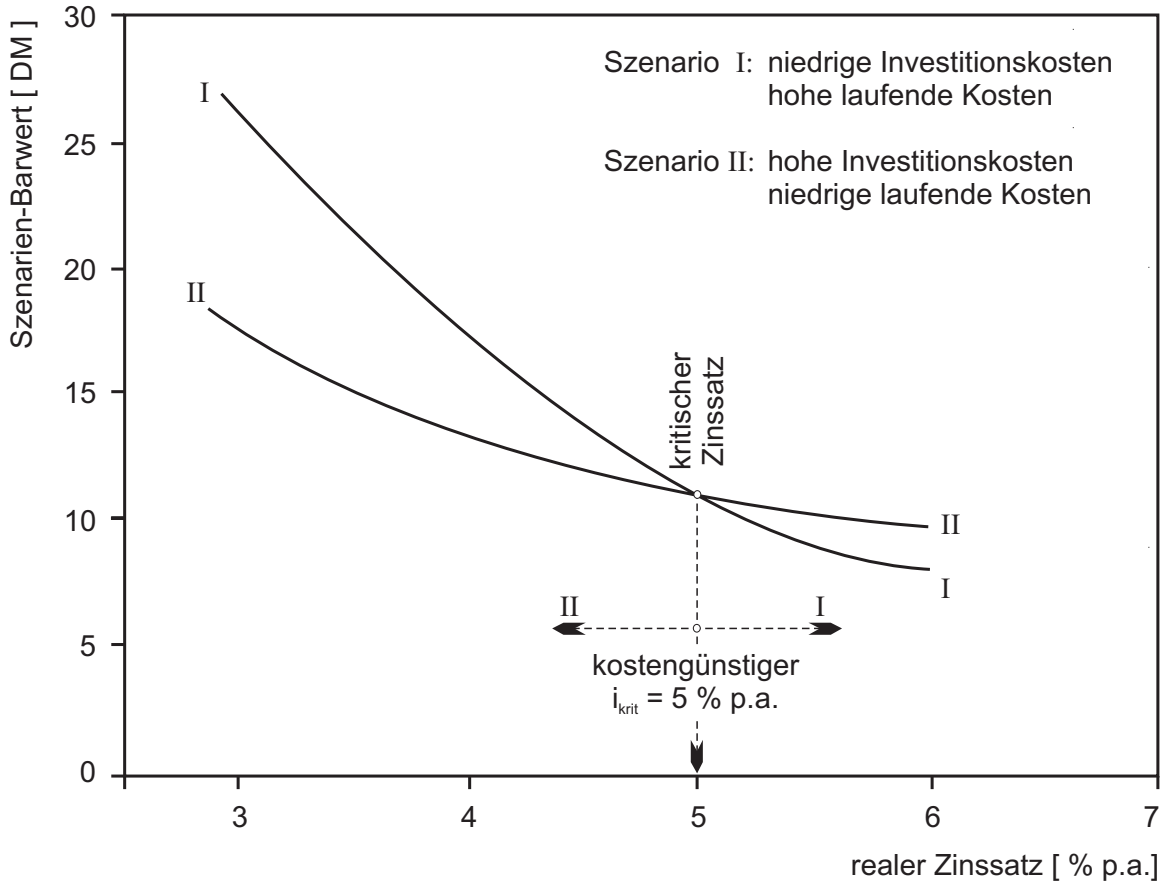


Abbildung 12 Sensitivitätsanalyse bezüglich des Zinssatzes (abgeändert nach LAWA)

3.3.7 Gesamtbeurteilung und Empfehlung

Im abschließenden Arbeitsschritt sind die für die einzelnen Sanierungsszenarien ermittelten Ergebnisse der Kostenvergleichsrechnung unter Berücksichtigung der fachtechnischen Beurteilung zu interpretieren, so dass vom Gutachter ein Vorschlag für das am besten geeignete Sanierungsszenario erfolgen kann. Darüber hinaus sollte eine Priorisierung der Sanierungsszenarien vorgenommen werden, damit insbesondere bei weitgehend gleichwertigen Szenarien oder einer späteren Änderung der Vorgaben von der zuständigen Behörde ein anderes Sanierungsszenario zur Umsetzung ausgewählt werden kann.

Wenn Sanierungsszenarien von der Kostenseite vergleichbar sind, verlagert sich die Entscheidungsfindung auf das Ergebnis der „Fachlichen Bewertung“, d. h. den für die Szenarien ermittelten Nutzen.

Da bei der Kostenvergleichsrechnung der Nutzen eigentlich konstant sein muss, ist noch einmal kritisch zu prüfen, ob diese Voraussetzung tatsächlich gegeben ist.

Weiterhin empfiehlt sich eine kritische Prüfung der getroffenen Kostenansätze und ggf. eine Bewertung mit der Kostenwirksamkeitsanalyse.

Das vom Gutachter zur Umsetzung empfohlene Szenario ist unter Berücksichtigung sämtlicher Randbedingungen und getroffenen Annahmen zu begründen.

Die der Entscheidung zugrunde gelegten Kalkulationsgrundlagen sind in knapper und leicht überschaubarer Form zusammenfassend darzustellen. Dies gilt insbesondere für:

- Zinssatz,
- Untersuchungszeitraum,
- Preisstand der Kostenschätzung,
- Annahmen über reale Preissteigerungen sowie
- Ansätze bei der Sensitivitätsanalyse.

Weiterhin sind für jedes Sanierungsszenario die Kostenbarwerte, Jahreskosten und die bei der Sensitivitätsanalyse ermittelten Kosten tabellarisch gegenüberzustellen.

Erst auf dieser Grundlage ist das Ergebnis für den Auftraggeber nachvollziehbar.

3.3.8 Anwendung des LAWA-Software-Paketes

Ergänzend zur 6. Auflage der Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen wird von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) ein Software-Paket (KVR-Software) zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen angeboten.

Für die Benutzung des Programms ist ein IBM-kompatibler PC mit den Betriebssystemen MS-Windows 3.1x, Windows 95 oder Windows NT 4.0 erforderlich. Weiterhin werden benötigt

- ca. 12 MByte Festplattenspeicherplatz für die Programminstallation,
- etwa 4 MByte freier Speicherplatz auf der Festplatte für den Programmstart,
- ein Farbdrucker für eine farbige Ausgabe der Grafiken,
- eine bereits installierte MS-Access-Version, wenn das Programm datenbankorientiert arbeiten soll.

Das Programm besteht im wesentlichen aus vier geschlossenen miteinander verbundenen Modulen (vgl. Abbildung 13). Obwohl das Programm grundsätzlich für die dynamische Kostenvergleichsrechnung in der Wasserwirtschaft erstellt worden ist, kann es durchaus auch für Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Bereich der Altlastensanierung bzw. des Flächenrecyclings genutzt werden. Wichtig ist, dass der Bearbeiter über fundierte Kenntnisse der Kostenvergleichsrechnung verfügt, bevor er die Berechnungen mit dem Software-Paket durchführt.

Der Einsatz des Software-Paketes bietet u. a. nachfolgende Vorteile:

- Schnelle Durchführung und Prüfung von Kostenvergleichsrechnungen.
- Während der Bearbeitung kann auf die „Leitlinie zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen“ zurückgegriffen werden.
- Über das Lernmodul erhält der ungeübte Bearbeiter eine Einführung in die dynamische Kostenvergleichsrechnung.
- Über das Datendienstmodul kann der Bearbeiter während der Bearbeitung auf von ihm gespeicherte Daten zurückgreifen.
- Die für die Berechnung erforderlichen Daten können für jedes Sanierungsszenario textlich und numerisch aufgeführt und darüber hinaus können sämtliche Leistungen eines Szenarios über eine Baumstruktur definiert werden.
  Die ermittelten Kosten werden für jedes Szenario tabellarisch und grafisch dargestellt. Auch die berechneten Szenarienbarwerte und Jahreskosten werden tabellarisch sowie bezüglich der zeitlichen Entwicklung grafisch dargestellt.
- Bei der Sensitivitätsanalyse wird die zeitliche Kostenentwicklung sämtlicher Szenarien zeitabhängig dargestellt, so dass eine Auswahl des wirtschaftlichsten Szenarios möglich ist.
- Sämtliche Arbeitsschritte und Ergebnisse können als Projektbericht ausgedruckt werden.

Diese orientierende Programminformation macht deutlich, dass für Nutzen-Kosten-Untersuchungen im Rahmen der Sanierungsuntersuchung das Software-Paket der LAWA durchaus geeignet und zeitsparend ist. Das Programm kann beim Kulturbuch Verlag in Berlin bezogen werden.

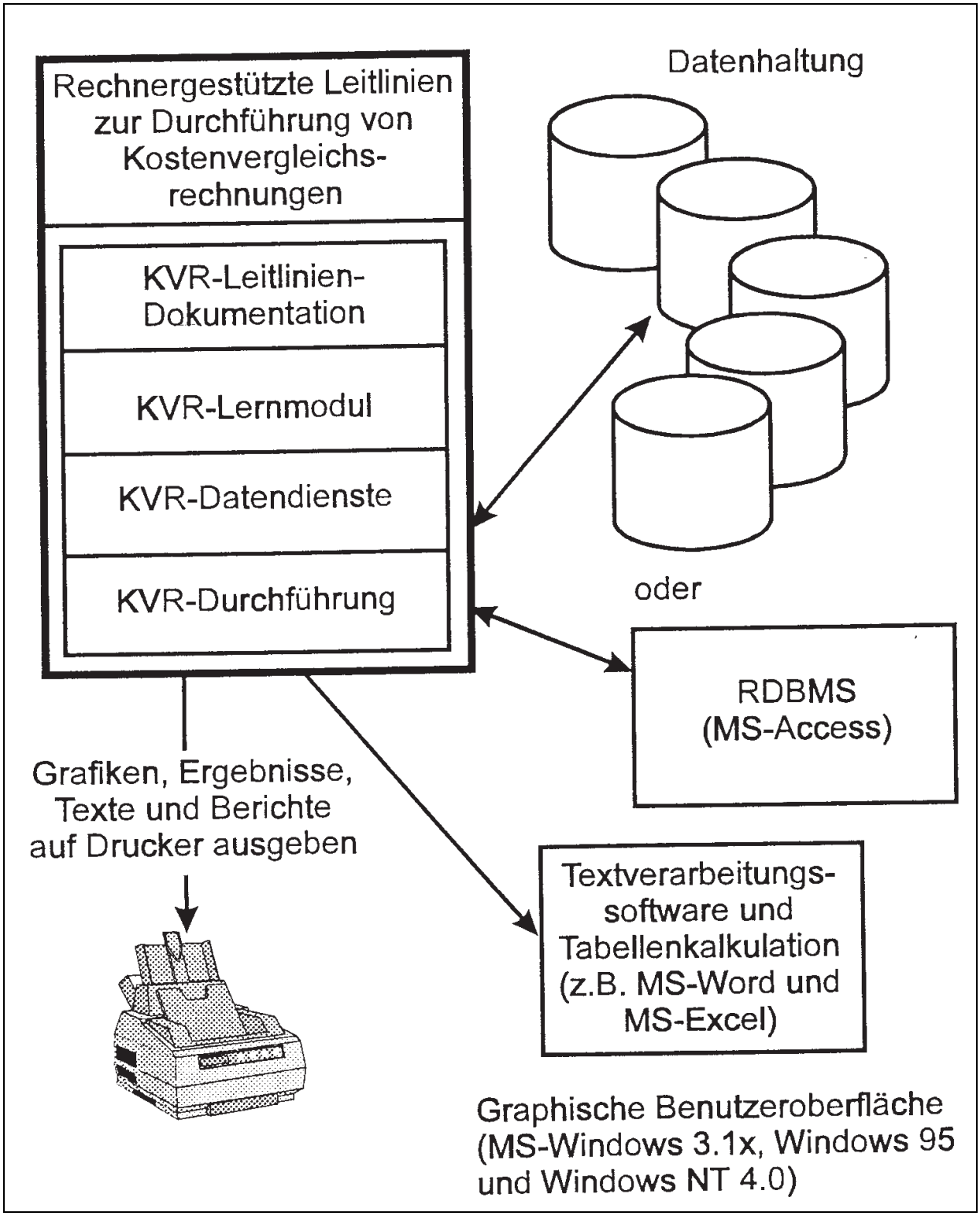


Abbildung 13 Grundkonzept des LAWA-Software-Paketes (abgeändert nach LAWA)

3.4 Kostenwirksamkeitsanalyse

3.4.1 Methodenbeschreibung

Die Kostenwirksamkeitsanalyse oder auch Kosten-Nutzwert-Analyse ist gegenüber der Kostenvergleichsrechnung ein hochwertigeres Bewertungsverfahren, da neben den Kosten der in den meisten Fällen unterschiedliche Nutzen der einzelnen Sanierungsszenarien unmittelbar Berücksichtigung findet.

Um den Nutzen eines Sanierungsszenarios bei der Entscheidungsfindung mit berücksichtigen zu können, ist dieser über einen nutzwertanalytischen Ansatz mit Hilfe von Punkten abzubilden und zu gewichten. Dies bedeutet, dass die im vorbereitenden Arbeitsschritt durchgeführte „Fachliche Bewertung“ mit Hilfe der Nutzwertanalyse zu bearbeiten ist.

Die Nutzwertanalyse bewertet die Szenarien mit Hilfe von Bewertungsvorschriften (Transformationsfunktionen).
Die Zielerträge der einzelnen Indikatoren werden i. d. R. in verschiedenen Dimensionen gemessen; so dass eine Transformation in einen einheitlichen Bewertungsmaßstab notwendig ist. Diese Transformation erfolgt durch die Bestimmung des jeweiligen Teilnutzens eines Indikators. Dieser drückt aus, in welchem Umfang die Wirkungen der Szenarienkomponente(n) den durch das Zielsystem gesetzten Bewertungsmaßstäben entsprechen, d. h., wie gut sie die Indikatoren, z. B. die Wirkungsdauer, erfüllen. In einem weiteren Bewertungsschritt werden die Einzelbewertungen durch Addition der Teilnutzen zu einem Gesamtnutzen aggregiert.
Die Nutzwertanalyse liefert noch keine Aussage darüber, ob die als bestes Szenario identifizierte Alternative auch tatsächlich durchführenswert ist, da ökonomische Gesichtspunkte hierbei nicht mit berücksichtigt werden.

Die Kosten der Sanierungsszenarien sind, wie im Kapitel 3.3 ausgeführt, mit der Kostenvergleichsrechnung als Kostenbarwerte zu ermitteln.

Damit ist die Kostenwirksamkeitsanalyse eine Kombination aus Nutzwertanalyse und Kostenvergleichsrechnung.

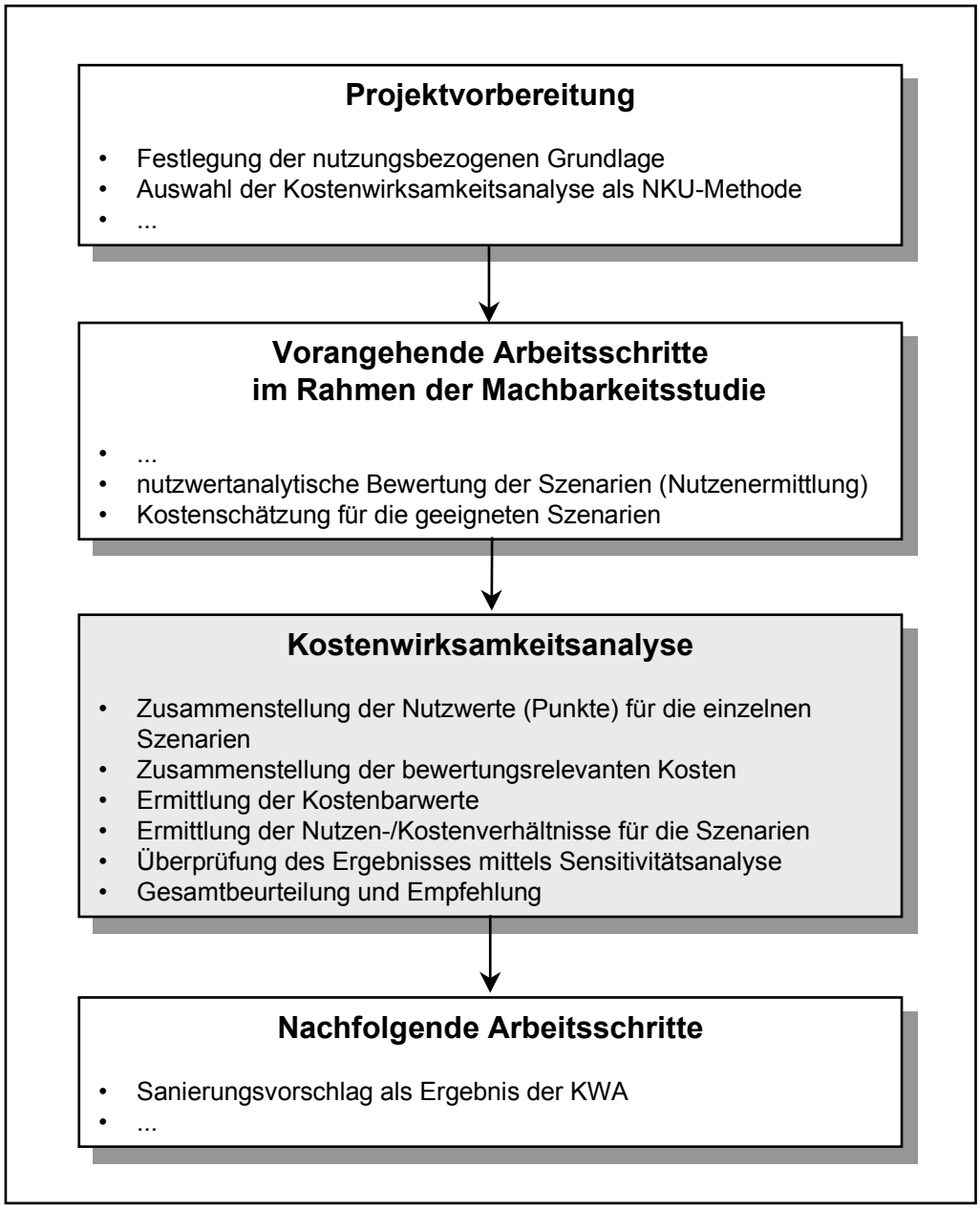


Abbildung 14 Arbeitsschritte zur Durchführung der Kostenwirksamkeitsanalyse (KWA)

3.4.2 Anwendungsbereich

Sind die Sanierungsszenarien in ihrer Wirksamkeit nicht gleichwertig, und soll neben den Kosten auch der Nutzen der einzelnen Szenarien bei der Bewertung Berücksichtigung finden, so ist es angeraten, anstatt der Kostenvergleichsrechnung, die ausschließlich eine kostenorientierte Bewertung vornimmt, eine Kostenwirksamkeitsanalyse durchzuführen. Das bedeutet, dass die fachliche Bewertung der Sanierungsszenarien zusätzlich nutzwertanalytisch durchzuführen ist.

Nachfolgende Gründe können für die Durchführung einer Kostenwirksamkeitsanalyse sprechen:

- Die Sanierungsszenarien sind nicht gleichwertig und haben damit einen unterschiedlichen Nutzen, so dass eine ausschließliche Bewertung über die Kostenbarwerte kein qualifiziertes Ergebnis liefert.
- Über eine Nutzwertanalyse wird die komplexe Bewertung verschiedenster Kriterien messbar und als Teilnutzen (Teilwirksamkeiten) zu einem Gesamtnutzen verknüpfbar.
- Diese Art der Entscheidungsfindung wird auch für den nicht fachkundigen Entscheidungsträger besser nachvollziehbar.
- Bei komplexen Sanierungsszenarien kann der Nutzen transparent und nachvollziehbar abgeleitet werden.

Da für jeden Indikator ein eigener Bewertungsbereich abgeleitet werden muss, und sowohl für die Altlastensanierung als auch für das Flächenrecycling hierzu bisher erst wenige Beispiele vorliegen, ist insbesondere dieser Arbeitsschritt für den Bearbeiter mit einem hohen Aufwand verbunden.

3.4.3 Nutzenermittlung

Mit einer nutzwertanalytischen Bewertung ist es möglich, den für die verschiedenen Bewertungskriterien ermittelten multidimensionalen Nutzen als Gesamtnutzen eines Szenarios (d. h. dessen Gesamtwirksamkeit oder Nutzwert) über eine Gesamtpunktzahl oder über ein Bewertungsprofil (siehe Abbildung 28) abzubilden. Diese ist bereits im Rahmen der „Fachlichen Bewertung“ einem der Nutzen-Kosten-Untersuchung vorgeschalteten Arbeitsschritt durchzuführen (siehe Kapitel 2.5.5). Zum besseren Verständnis der Kostenwirksamkeitsanalyse sind nachfolgend hierzu noch einige Grundlagen zusammengefasst.

Grundsätzlich sollte eine nutzwertanalytische Bewertung möglichst in Kombination mit einer verbalargumentativen Bewertung durchgeführt werden, damit der fachliche Hintergrund für die Quantifizierung der einzelnen Bewertungskriterien nachvollziehbar und inhaltlich begründbar zur Verfügung steht.

Im Rahmen einer nutzwertanalytischen Bewertung sind die nachfolgenden Schritte zu bearbeiten:

1. Formulierung der Zielsetzung für die Sanierungsuntersuchung,
2. Festlegung der für die Bewertung relevanten Komponenten eines Szenarios,
3. Festlegung der für die einzelnen Komponenten relevanten Indikatoren,
4. Ableitung der Bewertungsbereiche für jeden Indikator,
5. Festlegung der einzelfallspezifischen Gewichte,
6. Ermittlung von Teil- und Gesamtnutzen (Wirksamkeiten) für die einzelnen Sanierungsszenarien sowie
7. Ermittlung einer Rangordnung für die Szenarien.

Im ersten Schritt wird das Ziel der Sanierungsuntersuchung festgelegt. Dies erfolgt entsprechend den Anforderungen nach Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und wird ausgerichtet auf die Anforderungen des Standortes und der zuständigen Behörde. Ist die Sanierungsuntersuchung für eine Nutzungsänderung durchzuführen, sollte sie sich an den Anforderungen des BBodSchG orientieren (s. Kapitel 2.2.2).

Das Gesamtziel wird dann, ausgerichtet auf die Art der Folgenutzung und die Sanierungsziele, über die Kriterien

- Wirksamkeit,
- Auswirkungen und
- Grundstücksqualität.

abgebildet. Die Auffächerung der Kriterien in Indikatoren ist in Abbildung 15 dargestellt.

Sanierungsziel und Folgenutzung werden im Rahmen der Projektvorbereitung von der zuständigen Behörde vorgegeben. Damit alle Bewertungen auf der gleichen Grundlage durchgeführt und die Ergebnisse projektübergreifend vergleichbar sind, wird empfohlen, der Bewertung die o. g. Bewertungskriterien und Indikatoren zugrunde zu legen.

Im zweiten Schritt ist zu entscheiden, welche Komponenten eines Sanierungsszenarios (z. B. Baustelleneinrichtung, Rückbau, Aushub, Transport, Behandlung etc.) relevant und damit bei der nutzwertanalytischen Bewertung zu berücksichtigen sind. Es wird empfohlen, in sich geschlossene Komponenten festzulegen, die Teilleistungen bzw. baubegleitende Leistungen beinhalten.

Entsprechend der Bewertungsmatrix in Abbildung 15 ist im dritten Schritt zu prüfen, welche Komponente des Sanierungsszenarios über welchen Indikator bewertungsrelevant und damit für die Entscheidungsfindung bezogen auf den Nutzen der Gesamtmaßnahme von Bedeutung ist. Hierbei kann es durchaus möglich sein, dass mehrere Komponenten für den gleichen Indikator nutzenspezifisch von Bedeutung sind. In diesem Fall müssen über das Bewertungsergebnis mehrere Komponenten abgebildet werden.
In der nachfolgenden Abbildung 15 sind die Komponenten eines fiktiven Sanierungsszenarios, bestehend aus Rückbau, Aushub und Bodenmanagement sowie Transport zur Behandlung, den Indikatoren einmal beispielhaft zugeordnet worden. Da, wie in Kapitel 2.5.5 ausgeführt, eine standortspezifische Bewertung des Nutzens erfolgt, sind für den Aushub die meisten Indikatoren bewertungsrelevant. Wird davon ausgegangen, dass die Sanierung in einem Wohngebiet erfolgt und der gesamte Transport über eine Anwohnerstraße abgewickelt werden muss, so sind für den Transport die Indikatoren „Beeinträchtigung Betroffener“ und „Beeinträchtigung der Umwelt“ bewertungsrelevant. Für den Rückbau ist nur der Indikator „Abfallentstehung,
-verwertung und -beseitigung“ bewertungsrelevant.

Die Zuordnung der bewertungsrelevanten Indikatoren hat auf der Grundlage der in Kapitel 2.5.5.1 ausgeführten Erläuterungen für die einzelnen Indikatoren zu erfolgen.

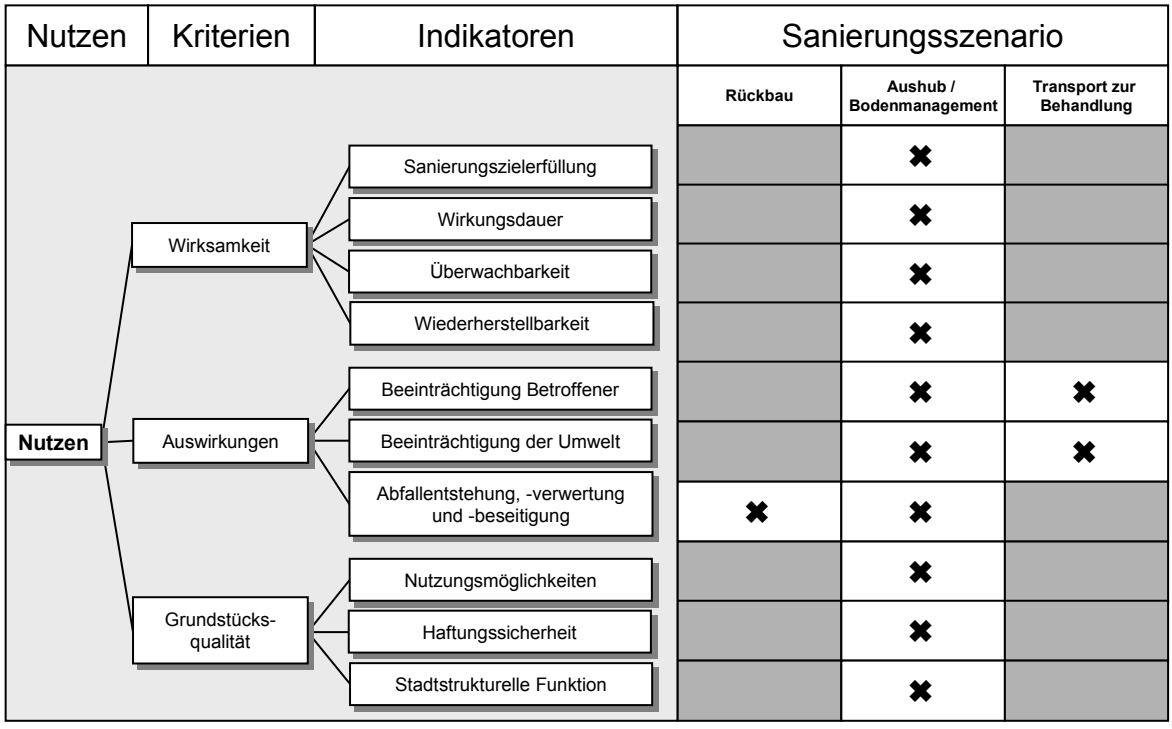


Abbildung 15 Beispielhafte Zuordnung der bewertungsrelevanten Indikatoren

Im vierten Schritt sind für jeden Indikator die zugehörigen Bewertungsbereiche zu bestimmen. Diese werden in der Fachliteratur auch als skalare Nutzenfunktionen bezeichnet.

Sind aus der verbalargumentativen Bewertung die Wirkungen der einzelnen Komponenten bezüglich der Indikatoren bekannt – Grundvoraussetzung ist hierbei, dass auch die verbalargumentative Bewertung für die gleichen Kriterien durchgeführt worden ist –, so werden diese dort in unterschiedlichen Größen/Einheiten qualitativ (verbale Bewertung der Vor- und Nachteile) oder quantitativ (über Zahlenangaben, z. B. Konzentrations-, Zeit-, Mengen-, Verbrauchsangaben) bewertet. Das Ziel der Nutzwertanalyse besteht darin, diese Ergebnisse mit einem einheitlichen Maßstab über eine Punkteskala zu beschreiben. Hierzu ist für alle Indikatoren eine einheitliche Punkteskala, z. B. von 1-5 zu verwenden. Erhält beispielsweise ein Szenario nur 1 Punkt, so wird damit aufgezeigt, dass der Indikator beispielsweise die „Sanierungszielerfüllung“ ausreichend – d. h. aufgrund gewisser Unsicherheiten noch mit einem gewissen Risiko – erfüllt wird, während 5 Punkte eine optimale Erfüllung – ohne jegliches Risiko – dokumentieren.

Das Bewertungsergebnis einzelner Indikatoren ist ein Teilnutzen und kann zu einem Gesamtnutzen über alle Kriterien aggregiert werden.

Der Bewertungsbereich muss festgelegt und begründet werden. Im einfachsten Fall hat die Nutzenfunktion einen linearen Verlauf. In Abhängigkeit vom Indikator sind aber auch durchaus andere Funktionen möglich. Erfolgt die Bewertung qualitativ, ist der Bewertungsbereich zu beschreiben, damit eine nachvollziehbare Punktverteilung vorgenommen werden kann.

Werden der Bewertung andere als in Abbildung 15 vorgegebene Indikatoren zugrunde gelegt, so sind diese bezüglich ihres Bewertungshintergrundes zu erläutern.

Nachfolgend sind die qualitativen Bewertungsbereiche für die empfohlenen Indikatoren dargestellt.

Der Indikator „Sanierungszielerfüllung“ wird über die Sicherheit und das Ausmaß zur Erfüllung des Sanierungsziels bewertet. Dies bedeutet eine Wertung bezogen auf die Zuverlässigkeit, die Flexibilität und den Entwicklungsstand des Sanierungsszenarios wie auch die Unsicherheit auf Grund eines unzureichenden Kenntnisstandes, beispielsweise über die Schadstoffkonzentrationen im Schutzgut. Damit wird das insgesamt bestehende Risiko zur Erfüllung des Sanierungsziels bewertet. Für den beispielhaften Bewertungsbereich in Abbildung 16 bedeutet dies, dass, wenn kein Risiko zur Gewährleistung des Sanierungsziels besteht, 5 Punkte vergeben werden und im ungünstigsten Fall bei einem erhöhten Risiko nur 1 Punkt.

Punkte P	Sanierungszielerfüllung
5	kein Risiko zur Erfüllung des Sanierungsziels
4	kaum ein Risiko zur Erfüllung des Sanierungsziels
3	geringfügiges Risiko zur Erfüllung des Sanierungsziels
2	mittleres Risiko zur Erfüllung des Sanierungsziels
1	erhöhtes Risiko zur Erfüllung des Sanierungsziels

Abbildung 16 Bewertungsbereich für den Indikator „Sanierungszielerfüllung“

Die generelle Durchführbarkeit der einzelnen Sanierungsszenarien wird bereits im Rahmen der Auswahl geeigneter Sanierungsverfahren geprüft.

Mit dem Indikator „Wirkungsdauer“ wird die Wirkungsdauer der im jeweiligen Szenarios eingesetzten Sanierungsverfahren (Dekontamination, Sicherung) bezogen auf eine langfristige Unterbrechung der Wirkungspfade zu den Schutzgütern bewertet. Hierbei ist bei Bauwerken (Dichtwänden, Oberflächenabdichtungen, reaktiven Wänden, Bodenverfestigungen usw.), Anlagen (Grund- und Sickerwasserbehandlungsanlagen, hydraulischen Sperren, Entgasungsanlagen usw.) sowie Mess- und Überwachungseinrichtungen von der durchschnittlichen Nutzungsdauer auszugehen. Besteht das Sanierungsszenario aus mehreren Bauwerken/Anlagen, so ist mit dem Ergebnis die Wirkungsdauer der Gesamtmaßnahme mit Bezug auf das für die Wirksamkeit maßgebliche Element zu bewerten. Bewertungsgrundlage für die Wirkungsdauer sind die Gewährleistung der Wirkungsdauer und der voraussichtliche Zeitraum (siehe Abbildung 17).

Punkte P	Wirkungsdauer
5	sichere und zuverlässige Gewährleistung einer zeitlich unbegrenzten Wirkungsdauer
4	Gewährleistung einer zeitlich unbegrenzten Wirkungsdauer
3	voraussichtlich zeitlich unbegrenzte Wirkungsdauer
2	zeitlich begrenzte Wirkungsdauer
1	zeitlich begrenzte Wirkungsdauer mit erhöhter Unsicherheit

Abbildung 17 Bewertungsbereich für den Indikator „Wirkungsdauer“

Über den Indikator „Überwachbarkeit“ wird die Möglichkeit der Überwachungsdurchführung und die Qualität der hierbei ermittelten Werte bewertet (siehe Abbildung 18). Die Bewertung erfolgt über einen qualitativen Bewertungsbereich.

Punkte P	Überwachbarkeit
5	keine Einschränkungen bei der Durchführung und abgesicherte Ergebnisse
4	kaum Einschränkungen bei der Durchführung und abgesicherte Ergebnisse
3	kaum Einschränkungen bei der Durchführung und gute Ergebnisse
2	geringfügige Einschränkungen bei der Durchführung und gute Ergebnisse
1	Einschränkungen bei der Durchführung und orientierende Ergebnisse

Abbildung 18 Bewertungsbereich für den Indikator „Überwachbarkeit“

Mit dem Indikator „Wiederherstellbarkeit“ wird die Möglichkeit und das Ausmaß zur Durchführung von Reparaturen, teilweisen Erneuerungen und des Ersatzes der gesamten Sanierungsmaßnahme im Rahmen der Nachsorge bewertet. Setzt sich das Sanierungsszenario aus mehreren Komponenten (Bauwerken/Anlagen) zusammen, ist mit dem Bewertungsergebnis die Möglichkeit und das Ausmaß zur Wiederherstellbarkeit bezogen auf die Wirksamkeit der Gesamtmaßnahme darzustellen. Sicherungsbauwerke unterliegen grundsätzlich zeitlich bedingten Veränderungsprozessen, die mit einem Nachlassen der Sicherungswirkung verbunden sein können, sodass die Sicherungswirkung auch nachträglich wiederherstellbar sein muss. Die Bewertung der Wiederherstellbarkeit erfolgt über den hierfür erforderlichen Aufwand (siehe Abbildung 19).

Punkte P	Wiederherstellbarkeit
5	keine nachträgliche Wiederherstellung erforderlich bzw. nur mit sehr geringem Aufwand für einzelne Komponenten
4	kaum Aufwand für eine nachträgliche Wiederherstellung
3	geringfügiger Aufwand für eine nachträgliche Wiederherstellung
2	mittlerer Aufwand mit eingeschränkten Möglichkeiten bei der nachträglichen Wiederherstellung
1	erhöhter Aufwand mit begrenzten Möglichkeiten bei der nachträglichen Wiederherstellung

Abbildung 19 Bewertungsbereich für den Indikator „Wiederherstellbarkeit“

Mit dem Indikator „Beeinträchtigung Betroffener“ wird das Ausmaß der durch die Durchführung des Sanierungsszenarios auf die Betroffenen (Eigentümer betroffener Grundstücke, Nutzungsberechtigte und betroffene Nachbarschaft) während der Baumaßnahme einwirkenden Umstände (Lärm, Erschütterungen, Einschränkungen,

Belästigungen etc.) und die nach Abschluss der Maßnahme verbleibenden Beschränkungen bewertet (siehe Abbildung 20).

Punkte P	**Beeinträchtigung Betroffener**
5	keine Beeinträchtigung Betroffener während und nach der Sanierungsmaßnahme
4	kaum eine Beeinträchtigung Betroffener während und nach der Sanierungsmaßnahme
3	geringfügige Beeinträchtigung Betroffener während und nach der Sanierungsmaßnahme
2	mittlere Beeinträchtigung Betroffener während und nach der Sanierungsmaßnahme
1	erhöhte Beeinträchtigung Betroffener während und nach der Sanierungsmaßnahme

Abbildung 20 Bewertungsbereich für den Indikator „Beeinträchtigung Betroffener“

Der Indikator „Beeinträchtigung der Umwelt“ bewertet die negativen Umweltauswirkungen der Sanierungsdurchführung am Standort und seinem Umfeld. Über den qualitativen Bewertungsbereich in Abbildung 21 werden die Auswirkungen auf die Umwelt in Form von Emissionen, Immissionen und Störungen bezogen auf Wasser, Boden, Flora und Fauna bewertet.

Punkte P	**Beeinträchtigung der Umwelt**
5	keine negativen Auswirkungen
4	kaum negativen Auswirkungen
3	geringfügige negative Auswirkungen
2	mittlere negativen Auswirkungen
1	erhöhte negative Auswirkungen

Abbildung 21 Qualitativer Bewertungsbereich für den Indikator „Beeinträchtigung der Umwelt“

Mit dem Indikator „Abfallentstehung, -verwertung und -beseitigung“ wird bewertet, in welchem Umfang durch die eingesetzten Sanierungsverfahren Abfallstoffe anfallen und diese verwertet werden können bzw. beseitigt werden müssen (siehe Abbildung 22).

Punkte P	Abfallentstehung, -verwertung, und -beseitigung
5	keine Anfall von Abfällen durch die eingesetzten Sanierungsverfahren
4	geringfügiger Anfall von Abfällen durch die eingesetzten Sanierungsverfahren, der jedoch komplett verwertet werden kann
3	kaum Anfall von Abfällen durch die eingesetzten Sanierungsverfahren, der größtenteils verwertet werden kann
2	mittlere Anfall von Abfällen durch die eingesetzten Sanierungsverfahren, der zum größten Teil beseitigt werden muss
1	erhöhter Anfall von Abfällen durch die eingesetzten Sanierungsverfahren, der komplett beseitigt werden muss

Abbildung 22 Bewertungsbereich für den Indikator „Abfallentstehung, -verwertung und -beseitigung“

Mit dem Indikator „Nutzungsmöglichkeiten“ wird die Verbesserung der Grundstücksnutzung durch den Abbau von Restriktionen bewertet. Als Maß werden die verschiedenen Nutzungsarten der sanierten Fläche, oder die für bestimmte Nutzungen noch bestehenden Restriktionen bestehend aus dem Restschadstoffpotential oder aus der sonstigen Emissionssituationen angesetzt. Aus Investorensicht sind insbesondere die Flächen interessant, deren Nutzbarkeit keinen Beschränkungen unterliegen (siehe Abbildung 23).

Punkte P	Nutzungsmöglichkeiten
5	ohne Einschränkung nutzbar (multifunktional nutzbar)
4	sensible Nutzung (z. B. Wohnnutzung) unter definierten Randbedingungen möglich; geringe Einschränkungen durch die Sanierung sind in Kauf zu nehmen
3	gewerbliche Nutzung ist ohne Einschränkung möglich
2	gewerbliche Nutzung ist unter definierten Randbedingungen möglich (gesichert), die Sicherung beschränkt die Art der Bebauung
1	Belastung schließen gewerbliche Nutzungsformen aus

Abbildung 23 Bewertungsbereich für den Indikator „Nutzungsmöglichkeiten“

Mit dem Indikator „Haftungssicherheit“ wird das Maß der uneingeschränkten resp. eingeschränkten Kreditierbarkeit und Haftungssicherheit bewertet, was bei sanierten

Flächen ein ganz entscheidendes Hemmnis sein kann. Wegen der nicht auszuschließenden Risiken machen Potentielle Investoren ihre Entscheidungen nicht selten von diesem Indikator abhängig, wobei hierfür sowohl rationale als auch mehr irrationale Gründe (Image, Produktakzeptanz) maßgebend sind (siehe Abbildung 24).

Punkte P	**Haftungssicherheit**
5	keine Haftungsrisiken, uneingeschränkte Kreditierbarkeit des Grundstücks (uneingeschränkte vertragsrechtliche Absicherung der Investoren zur Haftungsfreistellung, z. B. über öffentlich-rechtlichen Vertrag
4	Nutzung ist über die Aufstellung eines neuen Bebauungsplans planungsrechtlich gesichert („Verläßlichkeitsgrundsatz“)
3	Übernahme des sanierten Grundstücks mit unbefristeter Haftungsfreistellung über privatrechtlichen Vertrag
2	Kein Ausschluss von Haftungsrisiken; Kreditierbarkeit wird über Audits von Gutachtern sichergestellt, bzw. befristete Haftungsfreistellung von weniger als zehn Jahren
1	Übernahme aller Risiken mit dem Grundstückskauf

Abbildung 24 Bewertungsbereich für den Indikator „Haftungssicherheit“

Mit dem Indikator „Stadtstrukturelle Funktion“ werden die Nutzungs- und Funktionsmöglichkeiten der sanierten Fläche entsprechend den städtebaulichen Entwicklungszielen bewertet. Dementsprechend werden sanierte Flächen, die den Nutzungs- und Funktionszuweisungen voll genügen, hoch bewertet, weil hier der entsprechende Erhalt der Fläche erzielt wird. Demgegenüber werden Flächen, die die städtebauliche Entwicklung blockieren bzw. einen städtebaulichen respektive funktionalen Missstand darstellen, mit der jeweils niedrigsten Bewertungsziffer versehen (siehe Abbildung 25).

Punkte P	**Stadtstrukturelle Funktion**
5	Nutzung und Funktion der sanierten Fläche entspricht den städtebaulichen Entwicklungszielen optimal
4	sanierte Fläche, deren Nutzung und Funktion entsprechend den städtebaulichen Zielen aufgewertet werden kann
3	sanierte Fläche, deren Nutzung und Funktion den städtebaulichen Zielen nur bedingt entspricht bzw. auf der nur eine Teilnutzung stattfinden kann
2	sanierte Fläche, die für die städtebaulich vorgesehene Nutzung einen erhöhten Aufwand verursacht
1	sanierte Fläche mit blockierender Wirkung für die städtebaulich vorgesehene Nutzung

Abbildung 25 Bewertungsbereich für den Indikator „Stadtstrukturelle Funktion“

Im fünften Bearbeitungsschritt erfolgt die Gewichtung. Der in Abbildung 26 und Abbildung 27 dargestellte nutzwertanalytische Ansatz geht von einer zweistufigen Gewichtung bezogen auf die jeweilige relative Bedeutung der Indikatoren und Kriterien aus.

Im Einzelnen kommen zum Ansatz:

G_I : Gewicht des Indikators: Da die Indikatoren eines Bewertungskriteriums von unterschiedlicher Bedeutung sind, erfolgt zuerst auf dieser Ebene eine Gewichtung. Die angesetzten Gewichte sind immer für alle Sanierungsszenarien gleich (siehe Tabelle 4).

G_K : Gewicht des Kriteriums: Da die Bewertungskriterien sowohl untereinander als auch einzelfallspezifisch durch die Art der Sanierungsmaßnahme (Gefahrenabwehr oder Nutzungsänderung) von unterschiedlicher Bedeutung für das Sanierungsszenario sind, erfolgt auch hier eine Gewichtung. Die angesetzten Gewichte sind immer für alle Sanierungsszenarien gleich (siehe Tabelle 4).

Im sechsten Schritt werden die Teilbewertung der Indikatoren und die Gesamtbewertung des Sanierungsszenarios durchgeführt. Die zuerst durchzuführende Teilbewertung (s. Abbildung 26) wird in ihren einzelnen Schritten nachfolgend kurz erläutert.

Altlast/Sanierungszone: .....

Szenario: ..... **Nr.:** .....

Teilbewertung:

Kriterium K	Indikator I	Punkte P_I	Gewichte G_I	gew. Punkte P_{GI}
Wirksamkeit	• Sanierungszielerfüllung • Wirkungsdauer • Überwachbarkeit • Wiederherstellbarkeit, Nachbesserungsmöglichkeit			
			$\sum G_I$.....	$\sum P_{GI}$.....

$$P_{GI} = P_I \frac{G_I}{\sum G_I}$$

$$P_K = \sum P_{GI}$$

Punkte des Kriteriums: .....Wirksamkeit.....

P_K= .....

Legende: P_I : Punkte des Indikators
G_I : Gewicht des Indikators
P_{GI} : gewichtete Punkte des Indikators
P_K : Punkte des Bewertungskriteriums

Abbildung 26 Nutzwertanalytische Bewertung der Indikatoren, beispielhaft für das Kriterium „Wirkungsdauer"; Teilbewertung der Indikatoren

Werden mehrere Indikatoren eines Kriteriums zum Ansatz gebracht, so sind diese aufgrund ihrer unterschiedlichen Bedeutung zueinander zu gewichten (G_I). Die Gewichtung kann frei gewählt werden, da aufgrund der Normierung

$$\frac{G_I}{\Sigma G_I}$$

die Gesamtbeurteilung eines Kriteriums immer innerhalb der Bewertungsskala von 1 bis 5 Punkten liegt. Für die Gewichtung können die in Tabelle 4 vorgeschlagenen Gewichte genutzt werden. Wichtig ist, dass für alle Sanierungsszenarien immer die gleichen Gewichte (G_I) angesetzt werden. Die gewichteten Punkte des Indikators (P_{GI}) berechnen sich über die Formel

$$P_{GI} = P_I \bullet \frac{G_I}{\Sigma G_I}$$

Über die Summe der gewichteten Punkte (ΣP_{GI}) erhält man den Nutzen des Sanierungsszenarios bezogen auf ein Kriterium (P_K)

$$P_K = \Sigma P_{GI}$$

Im nächsten Schritt erfolgt die Gesamtbewertung des Sanierungsszenarios (siehe Tabelle 24)

Die für die einzelnen Bewertungskriterien bei der Teilbewertung (siehe Abbildung 26) berechneten Punkte (P_K) sind der Gesamtbewertung zugrunde zu legen. Da die Bewertungskriterien bezüglich ihres Nutzens von unterschiedlicher Bedeutung für das Sanierungsszenario sein können, ist eine Gewichtung der Kriterien (G_K) vorzunehmen. Auch durch die Zielsetzung der Sanierungsuntersuchung, Gefahrenabwehr bzw. Nutzungsänderung variiert die Gewichtung der Bewertungskriterien.
Wie bei den Indikatoren wird auch hier eine Normierung der Gewichte vorgenommen. Für jedes Bewertungskriterium berechnet sich die gewichtete Punktzahl (P_{GK}) über die Formel:

$$P_{GK} = P_K \bullet \frac{G_K}{\Sigma G_K}$$

Über die Summe der gewichteten Kriterienpunkte (P_{GK}) berechnet sich die Gesamtpunktzahl für das Sanierungsszenario (P_{SZ}).

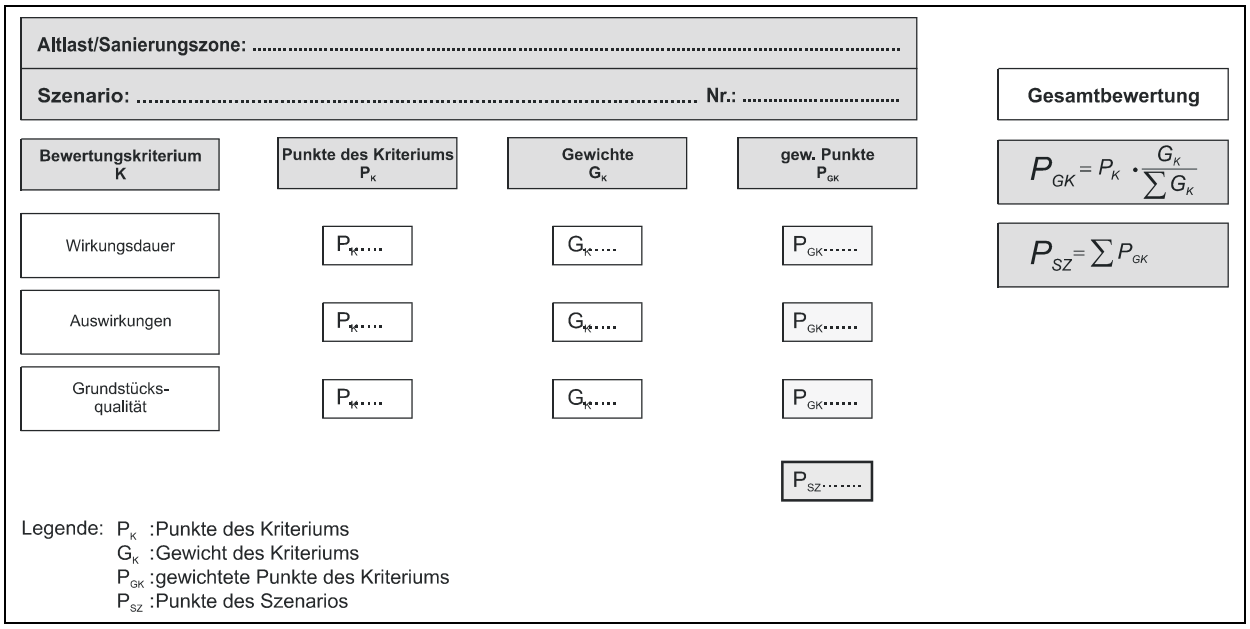


Abbildung 27 Nutzwertanalytische Bewertung der Kriterien; Gesamtbewertung eines Szenarios

Die oben dargestellten Bewertungsschritte sind für jedes Sanierungsszenario durchzuführen, so dass abschließend die berechneten Szenarienpunkte verglichen und im siebten und letzen Schritt eine Rangordnung der Szenarien vorgenommen werden kann.

Um den Bearbeiter bei der Gewichtung der Kriterien und Indikatoren zu unterstützen, werden in der nachfolgenden Tabelle 4 Gewichtungsbereiche vorgeschlagen. Diese haben orientierenden Charakter und können im Einzelfall entsprechend angepasst werden. Die Gewichtung muss nachvollziehbar und bezüglich der getroffenen Ansätze begründet werden.

Da in Abhängigkeit von der Zielsetzung der Sanierungsuntersuchung (Gefahrenabwehr oder Nutzungsänderung) den Bewertungskriterien eine unterschiedliche Bedeutung zukommt, ist eine entsprechend angepasste Gewichtung vorzunehmen.

Sowohl die Gewichtung für die Kriterien als auch die Gewichtung der Indikatoren geht jeweils von 100 % aus.

Tabelle 4 Gewichtungsbereiche für Kriterien und Indikatoren

Kriterien	Kriteriengewichte		Indikator	Indikator-gewicht
	Gefahren-abwehr	Flächen-recycling		
Wirksamkeit	60 - 90	50 - 85	Sanierungszielerfüllung	40 - 60
			Wirkungsdauer	15 - 25
			Überwachbarkeit	10 - 20
			Wiederherstellbarkeit, Nachbesserungsmöglich-keit	10 - 20
Auswirkungen	10 - 30	10 - 20	Beeinträchtigung Betroffener	20 - 40
			Beeinträchtigung der Umwelt	20 - 40
			Abfallentstehung, -verwertung und -beseitigung	20 - 40
Grundstücksqualität	0 - 10	5 - 30	Nutzungsmöglichkeiten	50 - 70
			Haftungssicherheit	10 - 30
			Stadtstrukturelle Funktionen	10 - 30

3.4.4 Ermittlung der Kostenbarwerte

Parallel zur Ermittlung des Nutzens sind für die einzelnen Sanierungsszenarien die Kostenbarwerte entsprechend der in Kapitel 3.3 dargestellten Vorgehensweise zu berechnen.

Im Einzelnen wird auf die Ausführungen in Kapitel 3.3.4 verwiesen.

3.4.5 Nutzen-Kosten-Vergleich

Auf der Grundlage der Ergebnisse von nutzwertanalytischer Bewertung und Barwertermittlung lässt sich eine eindeutige Empfehlung für ein Sanierungsszenario aussprechen, wenn sich herausstellt, dass dieses allen anderen Sanierungsszenarien hinsichtlich seines Nutzens und seinen Kosten überlegen ist.

Für die Darstellung des Ergebnisses bieten sich nachfolgende Varianten an:

- Kosten-Nutzenmatrix,
- graphische Gegenüberstellung von Nutzen und Kosten oder
- Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnises.

Gegen eine alleinige Zusammenfassung von nutzwertanalytischer und wirtschaftlicher Beurteilung in Form eines Nutzen-Kosten-Verhältnisses kann eingewandt werden, dass dabei die Wirksamkeit der Szenarien bezüglich der einzelnen Bewertungskriterien (Teilnutzen) vernachlässigt wird und hierdurch letztendlich ein Informationsverlust für das Entscheidungsergebnis entsteht. Deshalb bietet es sich an, dass Ergebnis der Kostenwirksamkeitsanalyse in einer Kosten-Wirksamkeitsmatrix darzustellen (siehe Tabelle 5). Hierzu sind die gewichteten Punktzahlen der einzelnen Kriterien (P_{GK}) und die Szenarienpunkte (P_{SZ}) in einer Matrix aufzulisten.

Tabelle 5 Allgemeines Beispiel einer Kosten-Nutzenmatrix

Sanierungs-varianten	**Kosten** (Barwerte)	**Wirksamkeit** (Teilnutzen)				**Gesamt-nutzen**
		Kriterium 1	Kriterium 2	Kriterium 3	Kriterium m	
Szenario 1	$S\ BW_1$	P_K 11	P_K 12	P_K 13	P_K 1m	P_{SZ} 1
Szenario 2	$S\ BW_2$	P_K 21	P_K 22	P_K 23	P_K 2m	P_{SZ} 2
Szenario 3	$S\ BW_3$	P_K 31	P_K 32	P_K 33	P_K 3m	P_{SZ} 3
Szenario 4	$S\ BW_4$	P_K 41	P_K 42	P_K 43	P_K 4m	P_{SZ} 4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Szenario n	$S\ BW_n$	P_K n1	P_K n2	P_K n3	P_K nm	P_{SZ} n

Legende S BW: Szenarien-Barwerte
P_K: Punkte des Bewertungskriteriums
P_{SZ}: Gesamtpunkte des Szenarios

Weist ein Szenario für alle Bewertungskriterien die höchste Punktzahl (P_{GK}) aus, und ist darüber hinaus der Kostenbarwert am geringsten, so handelt es sich eindeutig um ein vorzugswürdiges Szenario (s. Tabelle 6).

Tabelle 6 Beispiel für ein vorzugswürdiges Sanierungsszenario (Szenario 4)

Sanierungsszenarien	**Kosten-Barwerte** (Mio. DM)	**Teilnutzen**			**Gesamtnutzen**
		K 1	K 2	K 3	
SZ 1	15,8	1,95	0,95	0,35	1,49
SZ 2	17,5	1,1	0,85	0,35	0,95
SZ 3	23,2	1,7	1,0	0,3	1,35
SZ 4	12,4	2,8	1,3	0,4	2,11

Legende SZ: Sanierungsszenarien
K: Kriterien

Eine eindeutige Empfehlung mit Hilfe der Nutzen-Kostenmatrix ist jedoch nicht mehr gegeben, wenn das Szenario mit dem größten Gesamtnutzen bei einem oder mehreren Bewertungskriterien oder auf der Kostenseite schlechter abschneidet, als andere Szenarien. In diesem Fall können verschiedene Sanierungsszenarien geeignet sein, so dass zunächst nur eine Aussage bezüglich der ausscheidenden Szenarien getroffen werden kann.

Alternativ zur Nutzen-Kostenmatrix kann das Ergebnis auch in Form von Bewertungsprofilen dargestellt werden. Hierbei sind für jedes Sanierungsszenario sowohl die berechneten Kosten als auch die Teilwirksamkeiten in einem Bewertungsprofil abzubilden (siehe Abbildung 28).

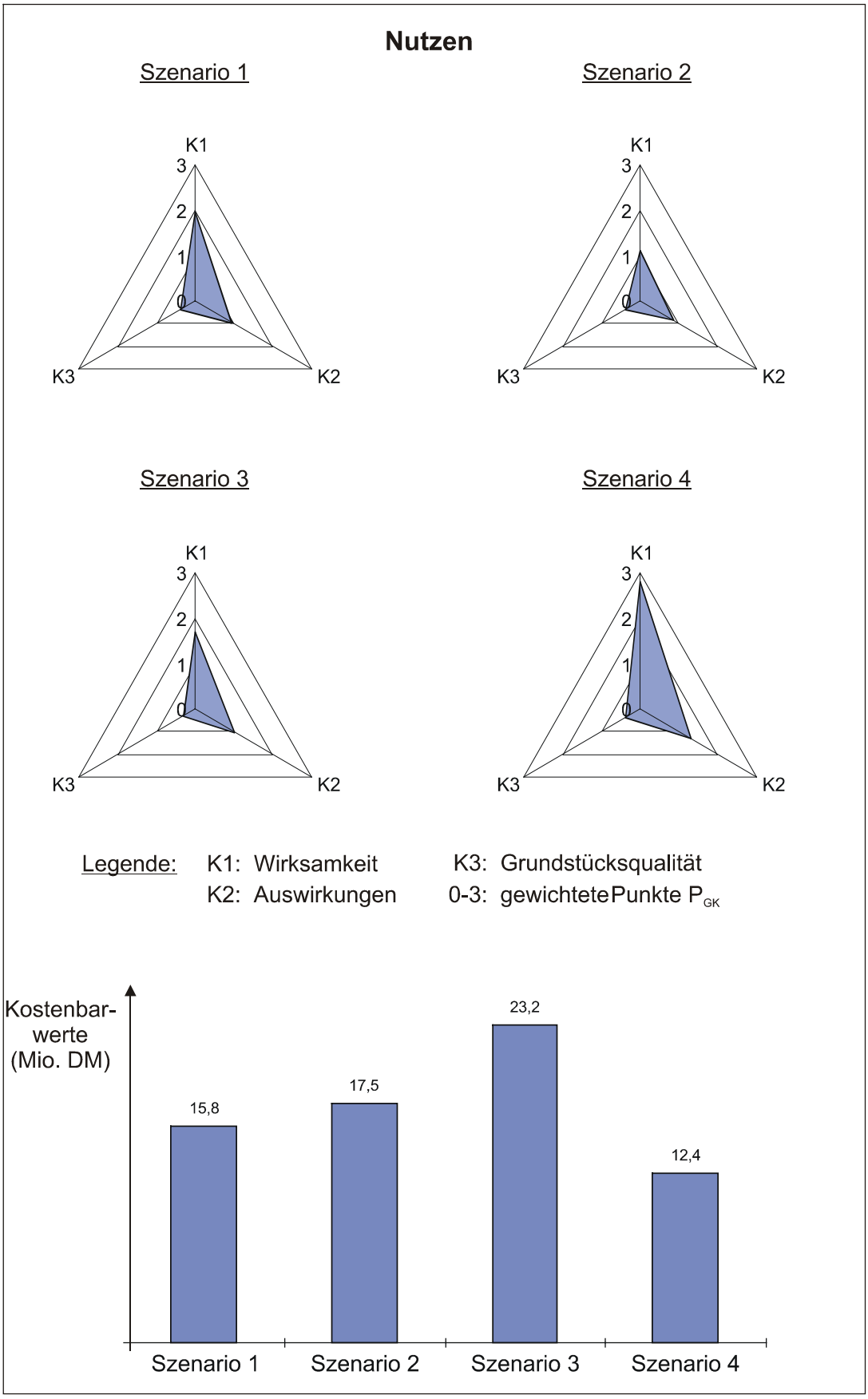
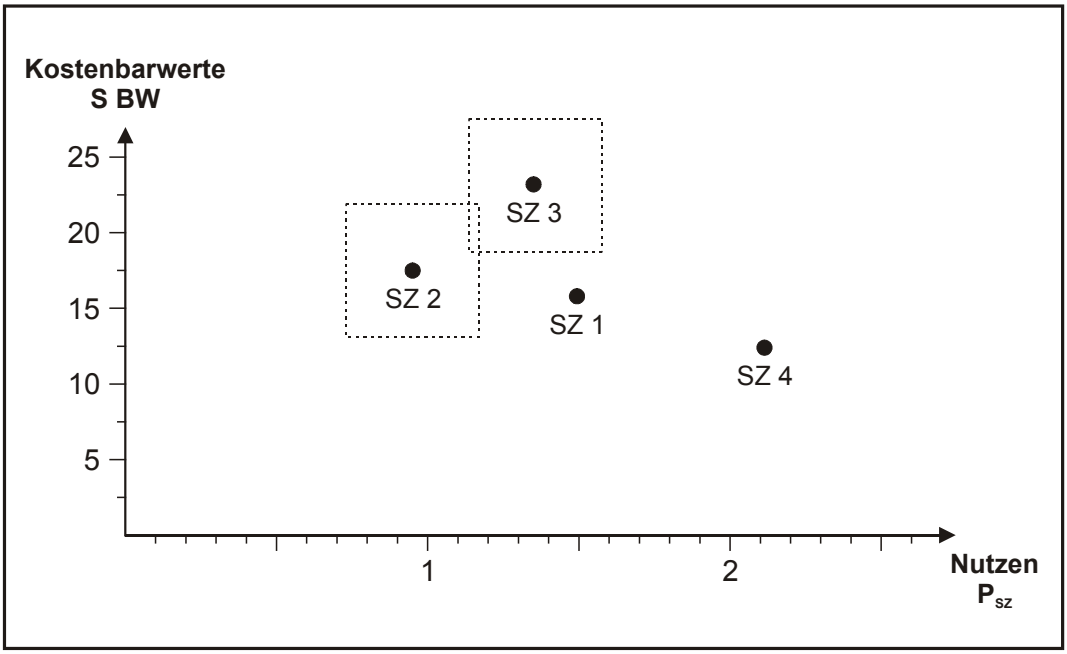


Abbildung 28 *Beispielhafte Darstellung von Bewertungsprofilen für eine Kostenwirksamkeitsbewertung*

Darüber hinaus bietet sich für eine vergleichende Bewertung der Sanierungsszenarien auch die graphische Gegenüberstellung von Nutzen (Gesamtpunktzahl des Sanierungsszenarios) und Kosten (Szenarienbarwerte) an, wobei auf der Abszisse der Nutzen und auf der Ordinate die Kosten dargestellt werden (siehe Abbildung 29).



Legende
SZ: Sanierungsszenario
S BW: Szenarien Barwert
P_{SZ}: Gesamtpunkte des Szenarios

Abbildung 29 Graphische Darstellung des Kosten-Nutzenverhältnis

Da es sich bei den Kosten im Rahmen der Sanierungsuntersuchung um Schätzwerte handelt, unterliegen die ermittelten Werte einer entsprechenden Unsicherheit, was auch für den Nutzen der Szenarien gilt, da deren Ermittlung durch die subjektive Einschätzung des Bearbeiters beeinflusst wird. Deshalb ist in Abbildung 29 beispielsweise für die Sanierungsszenarien 2 und 3 ein imaginärer Unsicherheitsbereich dargestellt.

Das Nutzen-Kosten-Verhältnis berechnet sich über den Quotienten aus der gewichteten Punktzahl des Szenarios (P_{SZ}) und dem Szenarienbarwert:

$$\text{Nutzen-Kosten-Verhältnis} = \frac{P_{SZ}}{\text{Szenarienbarwert}}$$

Es hat die Dimension Punkte/DM.
Es bietet sich an, diesen Verhältniswert zusätzlich in Tabelle 6 für jedes einzelne Sanierungsszenario anzugeben.

3.4.6 Sensitivitätsanalyse

Ergibt sich beim Nutzen-Kosten-Verhältnis kein eindeutiges Ergebnis zugunsten eines Sanierungsszenarios, so ist eine Sensitivitätsanalyse empfehlenswert. Hierzu sind auf der Kostenseite, wie im Kapitel 3.4.7 beschrieben, die getroffenen Annahmen insbesondere bezüglich Zinssatz, Untersuchungszeitraum und den zugrunde gelegten Kostenansätzen zu modifizieren, so dass eine erneute Bewertung mit den berechneten Punkten vorgenommen werden kann. Diese kann, wie im Kapitel 3.4.5 beschrieben, über eine Kosten-Nutzenmatrix, eine graphische Gegenüberstellung oder das Nutzen-Kosten-Verhältnis erfolgen.
Ggf. sind auch die Bewertungen der Teilnutzen durch eine Modifikation der Gewichtungen bei den Indikatoren und Kriterien zu prüfen.
Im Rahmen der internen Qualitätssicherung kann die Bewertung auch durch einen weiteren Bearbeiter erfolgen.

3.4.7 Gesamtbeurteilung und Empfehlung

Im letzten Arbeitsschritt sind die für die einzelnen Sanierungsszenarien ermittelten Ergebnisse unter Berücksichtigung der verbalargumentativen Beurteilung zu interpretieren, so dass vom Gutachter unter Würdigung der für das jeweilige Projekt relevanten Randbedingungen ein favorisierter Vorschlag für das am besten geeignete Sanierungsszenario erfolgen kann.

Das vom Gutachter zur Umsetzung empfohlene Sanierungsszenario ist unter Berücksichtigung sämtlicher Randbedingungen, getroffener Annahmen sowie noch bestehender Unsicherheiten zu begründen.

3.4.8 Anwendung des Softwarepaketes „Umweltbilanzierung von Altlastensanierungsverfahren“

Von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) wird ein Programm angeboten, mit dem im Rahmen der Sanierungsuntersuchung Umweltbilanzierungen durchgeführt werden können.

Das Programm ermöglicht dem Benutzer, den Indikator „Beeinträchtigung der Umwelt“ auf der Grundlage einer Umweltbilanzierung zu bewerten.

Für die Benutzung des EDV-Programmes ist ein PC mit dem Betriebssystem Microsoft Windows 95 oder Windows NT 4.0 erforderlich. Weiterhin werden benötigt:

- mind. 100 MB freier Speicherplatz,
- Pentium, Pentium II oder Pentium Pro-Prozessor mit 166 MHz und einem CD-ROM-Laufwerk sowie
- ein Windows-kompatibler Drucker.

Das EDV-Programm bietet die Möglichkeit, eine Umweltbilanz von geeigneten Sanierungsszenarien mit Hilfe eines rechnergestützten Verfahrens zu erarbeiten.

Für die Anwendung des Programms wird nach Angaben der LfU die Methode zur Umweltbilanzierung von Altlastensanierungsverfahren als bekannt vorausgesetzt. Sie ist im installierten Programm unter dem Stichwort "Handbuch" beschrieben. Eine komfortable Einarbeitung in die Methodik und das EDV-Programm ist über die Bedienungsanleitung – im Programm einsehbar – sowie anhand des gespeicherten Beispielstandortes Sinsheim möglich.

Betrachtet werden die Umweltauswirkungen eines Sanierungsszenarios, im Programm als „Sanierungsvariante“ bezeichnet, die durch die einzelnen Sanierungstechniken/-verfahren und die zugehörige bau- und verfahrenstechnischen Leistungen hervorgerufen werden. Die einzelnen Elemente eines Sanierungsszenarios werden im Programm als „Module“ bezeichnet. Die Umweltauswirkungen der sanierten Fläche werden mit dieser Methode nicht betrachtet.

Die von der LfU entwickelte Methode der Umweltbilanzierung von Altlastensanierungsverfahren gliedert sich in fünf Schritte (siehe Tabelle 7):

1. Die zu bewertenden Sanierungsszenarien werden mit Hilfe der 55 vom Programm bereitgestellten Module bestmöglich beschrieben. Für jedes Modul sind vom Anwender die entsprechenden Ausgangsdaten (Anwenderangaben) einzugeben. Für jede Komponente eines Sanierungsszenarios sind die spezifischen Angaben wie z. B. Volumen des Aushubes (m³), Fahrstrecke (km), Masse des zu behandelnden Bodens (t) etc. einzugeben. Hierfür werden automatisch über normierte, spezifische Leistungsdaten die Energie- und Stoffverbräuche berechnet.

2. Die bei den einzelnen Modulen „verbrauchten" Stoffe (z. B. Kraftstoff) oder Energie werden in andere Stoffe oder Energiearten (z. B. Lärm) umgewandelt und verändert in die Umwelt abgegeben. Dieser Output wird für das gesamte Sanierungsszenario automatisch berechnet und im Rahmen der Sachbilanz bezogen auf Energieaufwand, Abfall, Abwasser, Transporte, Ressourcen, Flächen und Emissionen (Luft, Wasser, Boden, Lärm) angegeben.

Tabelle 7 Gliederung der Methode zur Umweltbilanzierung von Altlastensanierungsverfahren (abgeändert nach LfU, 1998)

Schritt	Aufgabe	Berechnung
1	Eingabe der für die Berechnung notwendigen Ausgangsdaten für jede Komponente des Sanierungsszenarios; Ermittlung der Stoff- und Energieverbräuche für die Komponenten (Module) des Sanierungsszenarios	Sachbilanz
2	Ermittlung des daraus resultierenden Outputs bezogen auf Energieaufwand, Abfall-, Abwasser- und Transportaufkommen, Ressourcenverbrauch, Flächeninanspruchnahme sowie Emissionen (Luft, Wasser, Boden, Lärm) für das Sanierungsszenario	
3	Bewertung der Sachbilanz hinsichtlich verschiedener Problembereiche (Wirkungskategorien)	Wirkungsbilanz
4	Auswertung von Sach- und Wirkungsbilanz (sekundäre Umweltauswertungen)	Bilanzbewertung
5	Synopse primärer und sekundärer Umweltauswirkungen	

3. Alle Wirkungen auf die Umwelt (Output) werden zusammengefasst und ausgewählten Umweltproblembereichen, wie z. B. Humantoxizität, Treibhauseffekt, Lärm etc. zugeordnet. Diese Umweltproblembereiche heißen „Wirkungskategorien" und sind in Tabelle 8 aufgeführt.
   Da die Wirkungsintensität der Schadstoffe verschieden ist, werden die berechneten Massen normiert. Als Normierungsfaktor werden z. B. für die humantoxische Wirkung von Luftemissionen, die von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg entwickelten Prüfwerte verwendet. Dadurch ist es möglich, die Emissionen verschiedener Schadstoffe zu einer gemeinsamen Wirkungskategorie zusammenzufassen.

4. Die Sach- und Wirkungsbilanz wird mit dem Ziel einer Rangfolgenbildung für die Sanierungsszenarien ausgewertet. Die der Bewertung zugrunde gelegten Wirkungskategorien und Sachbilanzpositionen sind in Tabelle 8 aufgelistet. Zum Vergleich von zwei oder mehr Sanierungsszenarien wird als Vergleichszahl ein „Ungunstfaktor" eingeführt. Dieser gibt an, um wie viel ungünstiger die Auswirkungen der einzelnen Wirkungskategorien bei einem Sanierungsszenario im Vergleich zu einem anderen sind.

Die Schritte 1-4 können nach dem internationalen Standard ISO 14040 als Ökobilanz bezeichnet werden. Sie beschreiben nur die sekundären Umweltauswirkungen bedingt durch die Altlastensanierungsarbeiten.

Tabelle 8 *Datenstruktur der Schritte eins bis vier der Umweltbilanzierung (abgeändert nach LfU, 1998)*

Schritt	**1**	**2**	**3**	**4**
	Eingabe der Ausgangsdaten **Ermittlung der Verbräuche**	**Ermittlung Sachbilanz**	**Wirkungsbilanz**	**Auswertung sekundäre Umweltauswirkungen**
Energieverbräuche	•			
Stoffverbräuche	•			
Emissionen		•		
Einzelne fossile Ressourcen		•		
Energieaufwand		•		•
Abfallentstehung		•		•
Ressourcenverbrauch Wasser		•	•	•
Flächeninanspruchnahme		•	•	•
Ressourcenverbrauch fossil			•	•
Treibhauseffekt			•	•
Versauerung			•	•
Sommersmog			•	•
Humantoxizität Luft (nah/fern)			•	•
Humantoxizität Wasser			•	•
Humantoxizität Boden			•	•
Geruchsbelastungen (nah/fern)			•	•
Lärm (nah)			•	•

5. In einer Synopse werden die sekundären den primären Umweltauswirkungen (Standortdaten) gegenübergestellt. Zu den Standortdaten zählen: die Größe und die Qualität der dekontaminierten bzw. gesicherten Fläche sowie die von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg entwickelten Risiko-Kennzahlen. Dieser Schritt ist insbesondere für die Bewertung in Baden-Württemberg von Interesse.

Fazit und Empfehlung

In der BBodSchV wird vorgegeben, die Auswirkungen der Maßnahmen auf die Umwelt zu prüfen. Gesetzliche Vorgaben für die Ermittlung und Bewertung der Umweltauswirkungen existieren nicht.
Mit der Arbeitshilfe „Umweltbilanzierung von Altlastensanierungsverfahren“ liegt ein Werkzeug zur Ermittlung und relativen Bewertung der Umweltauswirkungen vor. Es ist eine geeignete Methode, um im Rahmen der „Fachlichen Bewertung“ die Auswirkungen eines Sanierungsszenarios über den Indikator „Beeinträchtigung der Umwelt“ abbilden zu können. Bezogen auf die ermittelten Ungunstfaktoren können den Sanierungsszenarien in Abhängigkeit vom gewählten Bewertungsbereich Punkte zwischen eins bis fünf zugeordnet werden (siehe Kapitel 2.5.5).

Die zuständige Behörde hat im Einzelfall zu prüfen, ob die Methode in der vorliegenden oder vereinfachten Form zur Beurteilung der Umweltauswirkungen herangezogen werden soll oder ob überschlägliche Betrachtungen ausreichen.

Für die vergleichende Beurteilung, welche Sanierungsvariante bez. ihrer Umweltauswirkungen am besten geeignet ist, gibt es keine speziellen gesetzlichen und sonstigen Vorgaben. Nach geltendem Recht sind bez. der Umweltauswirkungen insbesondere das KrW/AbfG, BImSchG, WHG und das BBodSchG zu erfüllen.

3.5 Kosten-Nutzen-Analyse

3.5.1 Methodenbeschreibung

Die Kosten-Nutzen-Analyse ist eine Weiterentwicklung der herkömmlichen Wirtschaftlichkeitsrechnung. Sie drückt sämtliche Ausgaben und Wirkungen eines Sanierungsszenarios, d. h. Kosten und Nutzen, in Geldeinheiten aus. Während die monetäre Bewertung bei den Kosten problemlos möglich ist, gibt es beim Nutzen Wirkungen und Effekte, die über die zugrunde gelegten Indikatoren monetär entweder überhaupt nicht oder aber nur mit besonders großen Schwierigkeiten zu bewerten sind. Da für die Indikatoren in den meisten Fällen keine direkte monetäre Bewertung durchgeführt werden kann, ist eine Monetisierung über generalisierende Analogieschlüsse bzw. die Kosten von Alternativen bzw. Ausgleichsmaßnahmen vorzunehmen.
Bei der Monetisierung sollte für die schlechteste Erfüllung des betrachteten Indikators im Minimum ein Wert von 0,00 DM angesetzt werden. Negative Werte, die als ökonomische Verluste oder aufzubringende Kosten interpretiert werden könnten, sind auszuschließen.

Zur Gruppe der nicht messbaren (intangiblen) Wirkungen gehören alle die Wirkungen eines Sanierungsszenarios, die aufgrund fehlender Ansätze über die Indikatoren nicht monetär beschrieben werden können. Um sie beim Gesamtergebnis mit berücksichtigen zu können, sind in jedem Fall nutzwertanalytisch oder verbalargumentativ zu bewerten.

Wird ein Teil des Nutzens nicht monetisiert, so liefert der Nutzen-Kosten-Vergleich, kein entscheidungsrelevantes Ergebnis.

Die Kosten der Sanierungsszenarien sind mit Hilfe der Kostenvergleichsrechnung (siehe Kapitel 3.3) als Kostenbarwerte zu berechnen, damit eine Gesamtbilanzierung vorgenommen werden kann. Die hierbei für die Sanierungsszenarien ermittelten resultierenden Geldwerte bilden die Entscheidungsgrundlage für die Auswahl des am besten geeigneten Sanierungsszenarios.

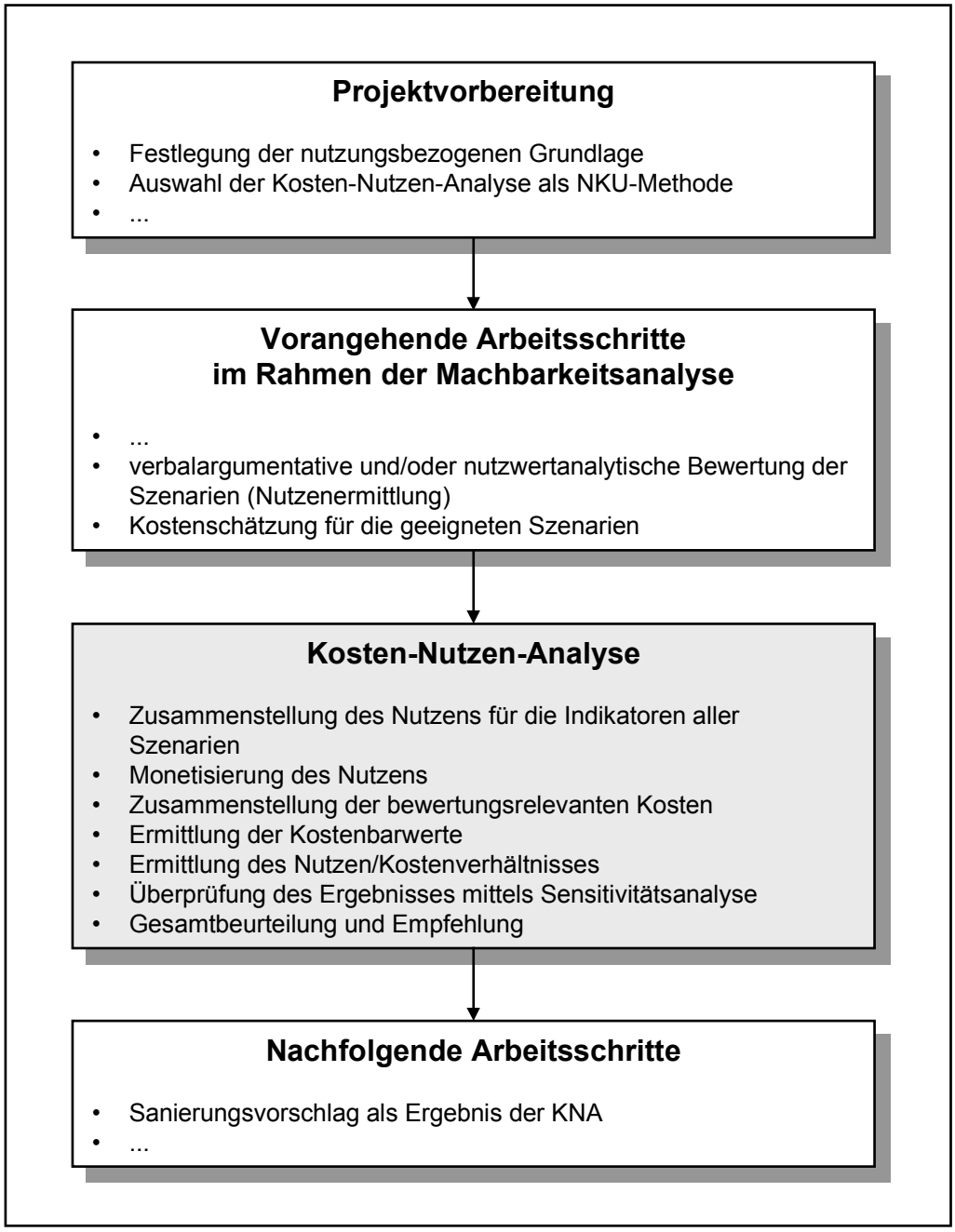


Abbildung 30 Arbeitsschritte zur Durchführung der Kosten-Nutzen-Analyse (KNA)

3.5.2 Anwendungsbereich

Die Kosten-Nutzen-Analyse kann sowohl den Nutzen als auch die Kosten der einzelnen Sanierungsszenarien bewerten. Als Ergebnis liefert sie im Prinzip für jedes Sanierungsszenario einen resultierenden Geldwert und damit die Möglichkeit, eine Bewertung ausschließlich über den resultierenden Geldwert vornehmen zu können.

Da bisher keine Monetisierungsbereiche vorliegen, bzw. diese aufgrund der bestehenden altlastspezifischen Randbedingungen nach derzeitigem Kenntnisstand nicht oder schwer begründbar abgeleitet werden können, kann mit diesem Leitfaden das erforderliche Werkzeug für die Durchführung von Kosten-Nutzen-Analysen (noch) nicht vorgelegt werden.

Damit zukünftig die Kosten-Nutzen-Analyse als Verfahren zur Nutzen-Kosten-Untersuchung eingesetzt werden kann, müssen zuvor für jeden Indikator die zugehörigen Monetisierungsbereiche so abgeleitet werden, dass sie plausibel und nachvollziehbar sind und von den zuständigen Behörden, den Sanierungspflichtigen und den Gutachtern akzeptiert werden.

Um näher zu beschreiben, wo die prinzipiellen Möglichkeiten und Schwierigkeiten bei der Monetisierung bestehen, wird im nachfolgenden Kapitel die Ableitung der Monetisierungsbereiche beispielhaft für die Indikatoren „Nutzungsmöglichkeit“ und „Haftungssicherheit“ dargestellt.

3.5.3 Nutzenermittlung

Um eine monetisierte Bewertung des Nutzens durchführen zu können, ist für jedes Sanierungsszenario der im vorangegangenen Arbeitsschritt ermittelte Nutzen (Ergebnis der „Fachlichen Bewertung“ der Sanierungsszenarien) mit Kosten zu hinterlegen. Bezogen auf die drei Bewertungskriterien „Wirksamkeit“, „Auswirkungen“ und „Grundstücksqualität“ bedeutet dies, dass die Indikatoren in der Dimension DM/m² zu bewerten sind.
Damit die vorgenommene Monetisierung transparent und nachvollziehbar ist, sollte sie in Anlehnung an die Ermittlung des Nutzens bei der Kostenwirksamkeitsanalyse durchgeführt werden.

Im Einzelnen sind nachfolgende Schritte zu bearbeiten:

1. Formulierung der Zielsetzung für die Sanierungsuntersuchung (siehe Kapitel 2.2.2).

2. Ableitung der Monetisierungsbereiche.
   Für eine plausible Abschätzung der Kostenansätze sind die im Einzelnen getroffenen Ansätze aufzuführen und zu begründen. Da eine direkte Monetisierung der Indikatoren schwierig und in den meisten Fällen nicht möglich ist, kann nur eine Ableitung der Kosten über Analogieschlüsse bzw. alternative Ansätze erfolgen.

3. Ermittlung der nutzenspezifischen Kosten, d. h. der für die einzelnen Sanierungsszenarien erzielbaren Erträge.
   Die für die Indikatoren ermittelten Erträge sind zu addieren und ergeben in ihrer Summe den für ein Sanierungsszenario auf der Nutzenseite anzusetzenden Betrag.

Wie eine Monetisierung beispielsweise durchgeführt werden kann, wird nachfolgend für die Indikatoren „Nutzungsmöglichkeiten“ und „Haftungssicherheit“ dargestellt (UBA, 1997):

Die grundsätzliche Nutzbarkeit eines Grundstücks wird dadurch beschrieben, für welche Nutzungsarten es geeignet ist, oder ob für bestimmte Nutzungen Restriktionen bestehen, die beispielsweise aus Restkontaminationen der Vorbelastung oder aus dem Sicherungssystem resultieren. Aus Investorensicht sind insbesondere die Grundstücke interessant, deren Nutzbarkeit keinen Beschränkungen unterliegt und die somit auch für höherwertige Nutzungen geeignet sind.

Der Wert der unterschiedlichen Nutzbarkeit spiegelt sich auch in den deutlich differierenden, durchschnittlichen Baupreisen wider. Geht man bei der Monetisierung des Indikators "Nutzungsmöglichkeiten" beispielsweise von den durchschnittlichen Baulandpreisen in Mittelstädten aus (Ring Deutscher Makler 1996), so zeigt sich das nachfolgende Preisspektrum:

Gemischte Nutzung:	250,00 DM/m²
Büro:	113,00 DM/m²
Handel:	90,00 DM/m²
Gewerbe:	68,00 DM/m²
Industrie:	64,00 DM/m²

Für eine gemischte Nutzung können im Durchschnitt 250,00 DM/m² angesetzt werden, während für die wenig sensible industrielle Nutzung lediglich 64,00 DM/m² auf dem Markt erzielt werden können. Mit dem Baulandpreisunterschied, d. h. 250,00 – 64,00 DM/m^2 = 186,00 DM/m^2, wird der Flächenwert des Grundstücks, d. h. die Flächennutzungsmöglichkeit bezogen auf den Kaufpreis, dokumentiert.
Da der Flächenwert eines Grundstücks aus verschiedenen Anteilen u. a. durch seine Lage, das Baupreisniveau, emotionale Gründe sowie Restriktionen bestimmt wird und unter der Voraussetzung, dass – wie durch viele Praxisbeispiele belegt – die nutzungseinschränkenden Restriktionen bei Industriebrachen ca. 10 - 20 % ausmachen, berechnet sich der spezifische Flächenwert bezogen auf den Anteil der Restriktionen i. M. zu rund 0,15 • 186,00 ≈ 28,00 DM/m².
Damit kann die Grundstücksqualität einer sanierten Fläche über den Anteil der Restriktionen am Flächenwert monetär bewertet werden. Ist die Fläche multifunktional nutzbar, kann der Wert der Nutzungsmöglichkeiten mit einem Betrag von 28,00 DM/m² bewertet werden.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sowohl die zugrunde gelegten durchschnittlichen Baulandpreise als auch die nutzungseinschränkenden Restriktionen im Einzelfall höher bzw. niedriger angesetzt werden können, womit sich auch ein anderer Monetisierungsbereich für den Indikator „Nutzungsmöglichkeiten“ ergeben kann.
Für ein Grundstück in Düsseldorf ergibt sich somit ein anderer Monetisierungsbereich als für ein Grundstück im Ruhrgebiet.

Entsprechend obiger Ableitung ergibt sich der monetäre Bewertungsbereich des Indikators Nutzungsmöglichkeiten, wie in Tabelle 9 dargestellt, entsprechend der bereits bei der Kosten-Wirksamkeitsanalyse vorgenommenen Einteilung in 5 Klassen.

Tabelle 9 Beispiel für den Monetisierungsbereich des Indikators „Nutzungsmöglichkeiten“

DM/m²	Nutzungsmöglichkeiten
28,00	ohne Einschränkungen nutzbar (multifunktional nutzbar)
21,00	sensible Nutzung (z. B. Wohnnutzung) unter definierten Randbedingungen möglich; geringe Einschränkungen durch die Sanierung sind in Kauf zu nehmen
14,00	gewerbliche Nutzung ist ohne Einschränkungen möglich
7,00	gewerbliche Nutzung ist unter definierten Randbedingungen möglich (gesichert), Einschränkung durch Emissionen (keine sensiblen Betriebsformen möglich), die Sicherung beschränkt die Art der Bebauung
0,00	Belastungen schließen gewerbliche Nutzungsformen aus

Wie beispielsweise eine Abschätzung des Monetisierungsbereiches für den Indikator „Haftungssicherheit“ erfolgen kann, wird im nachfolgenden Beispiel erläutert. Der Indikator Haftungssicherheit setzt sich aus dem Anteil Kreditierbarkeit und dem Anteil

Haftungssicherheit zusammen. Die Möglichkeit der uneingeschränkten bzw. eingeschränkten Kreditierbarkeit ist bei der Altlastensanierung sowie beim Brachflächenrecycling von ganz besonderer Bedeutung. Wegen der nicht auszuschließenden Risiken machen potentielle Investoren ihre Entscheidung von diesem Merkmal abhängig, wobei hierfür sowohl rationale (Restschadstoffpotential bzw. ausschließlich gesichertes Schadstoffpotential) als auch irrationale Gründe (Imagefragen, Produktakzeptanz) maßgebend sind.
Für die Monetisierung des Anteils Kreditierbarkeit wird auch hier vom durchschnittlichen Baulandpreis für Gewerbe in Höhe von 68,00 DM/m² ausgegangen und der entgangene Zinsertrag bzw. die entgangene Rendite für die nicht vorliegende Kreditierbarkeit überschläglich abgeschätzt. Es wird vorausgesetzt, dass die Finanzierung zu 50 % über Eigenkapital und zu 50 % über Bankkredite erfolgt, was bei einem Kreditzinssatz von 5 % und einer 25jährigen Laufzeit für den Quadratmeter Gewerbefläche einen Zinsaufwand in Höhe von $0,5 \bullet 68,00 \bullet (1 + 0,05)^{25} = 115,14$ DM/m² bedeutet. Setzt man diesem Zinsaufwand eine Kapitalrendite aus unternehmerischer Tätigkeit von 7 % entgegen, so berechnet sich ein Zinsertrag von $0,5 \bullet 68,00 \bullet (1 + 0,07)^{25} = 184,53$ DM/m². Damit könnte aus dem nicht für den Grunderwerb gebundenen Kapital im Vergleich zu den zu zahlenden Zinsen ein Überschuss von 69,39 DM/m² erwirtschaftet werden. Setzt man diesen Überschuss lediglich für 25 % des Grundstückes an, weil nicht auf der Gesamtfläche von Einschränkungen (Art der Sanierung, Rest- und Vorbelastungen) auszugehen ist, dann ergibt sich daraus der abgeschätzte monetäre Wert der Kreditierbarkeit zu rd. 17,35 DM/m².
Unter der Voraussetzung, dass der Wertansatz zur Abdeckung des Haftungsrisikos (Befristung des Haftungsrisikos, Freistellung, öffentlich rechtlicher Vertrag, etc.) ungefähr bei 5 bis 10 % des durchschnittlichen Baulandpreises für Gewerbeflächen (68,00 DM/m²) liegen kann (angesetzt werden 7 %), ermittelt sich der Anteil für die Haftungssicherheit zu $68,00 \bullet 0,07 = 4,76$ DM/m².
Der gesamte monetäre Wert für den Indikator "Haftungssicherheit" berechnet sich damit für die beiden Anteile Kreditierbarkeit und Haftungssicherheit zu 17,35 DM/m² + 4,76 DM/m² ≈ 22,00 DM/m².

Auch bei diesem Beispiel werden zur Ableitung des Monetisierungsbereiches eine Vielzahl von Annahmen getroffen, die aufgrund einer anderen Ausgangssituation zu veränderten Ansätzen und damit zu einem anderen Monetisierungsergebnis führen können.

Gemäß obiger Ableitung lässt sich die Grundstücksqualität einer sanierten Fläche beispielsweise im günstigsten Fall, d. h. keine Haftungsrisiken und uneingeschränkte Kreditierbarkeit, mit einem Betrag von 22,00 DM/m^2 bewerten. Der 5-stufige Monetisierungsbereich für den Indikator „Haftungssicherheit“ ist in der nachfolgenden Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10 Beispiel für den Monetisierungsbereich des Indikators „Haftungssicherheit“

DM/m²	Haftungssicherheit
22,00	keine Haftungsrisiken, uneingeschränkte Kreditierbarkeit des Grundstückes (uneingeschränkte vertragsrechtliche Absicherung der Investoren zur Haftungsfreistellung, z. B. über öffentlich-rechtlichen Vertrag
16,50	Die Nutzung ist über die Aufstellung eines neuen Bebauungsplans planungsrechtlich gesichert („Verläßlichkeitsgrundlage“)
11,00	Übernahme des sanierten Grundstücks mit unbefristeter Haftungsfreistellung über privatrechtlichen Vertrag
5,50	kein Ausschluß von Haftungsrisiken; Kreditierbarkeit wird über Audits von Gutachtern sichergestellt, bzw. befristete Haftungsfreistellung von weniger als zehn Jahren
0,00	Übernahme aller Risiken mit dem Grundstückskauf

Wenn die Monetisierung der Sanierungsszenarien mit der Dimension DM/m² vorgenommen worden ist, muss zur Ermittlung des Gesamtbetrages dieser Wert mit der Gesamtfläche des Grundstücks multipliziert werden.

Entscheidend für die Akzeptanz und die Repräsentativität des Ergebnisses einer Kosten-Nutzen-Analyse sind begründbar abgeleitete Monetisierungsansätze, welche die bestehenden altlastspezifischen Randbedingungen berücksichtigen. Aufgrund der derzeit noch existierenden Unsicherheiten bzw. Schwierigkeiten bei der Ableitung plausibler und nachvollziehbarer Monetisierungsbereiche kann die Kosten-Nutzen-Analyse zur Bewertung alternativer Sanierungsvarianten in der Praxis noch nicht eingesetzt werden.

3.5.4 Ermittlung der Kostenbarwerte

Für die im vorangegangenen Arbeitsschritt „Kostenschätzung“ für die einzelnen Sanierungsszenarien abgeschätzten Kosten sind die Kostenbarwerte zu berechnen. Hierbei ist entsprechend der in Kapitel 2.3 dargestellten Vorgehensweise zu verfahren.

3.5.5 Nutzen-Kosten-Vergleich

Eine Bewertung der Sanierungsszenarien ist über den für jedes Szenario ermittelten monetären Nutzen und die entsprechenden Szenarienbarwerte vorzunehmen. Hierbei bieten sich drei Möglichkeiten zur Darstellung des Ergebnisses an:

- Nutzen-Kosten-Differenz (Nutzen - Kosten),
- Nutzen-Kosten-Verhältnis (Nutzen / Kosten) und
- Nutzen-Kosten-Effektivität (Nutzen - Kosten / Nutzen).

Wurden alle Indikatoren monetisiert, so kann mit den für den Nutzen berechneten Kosten und den Szenarienbarwerten für jedes Sanierungsszenario entsprechend der gewünschten Darstellungsform eine Priorisierung und damit die Auswahl des am besten geeigneten Szenarios vorgenommen werden.

3.5.6 Sensitivitätsanalyse

Ergibt sich beim Nutzen-Kosten-Verhältnis kein eindeutiges Ergebnis zugunsten eines Sanierungsszenarios, so ist eine Sensitivitätsanalyse empfehlenswert. Hierzu sind auf der Kostenseite, wie im Kapitel 3.3.6 beschrieben, die getroffenen Annahmen, insbesondere bezüglich Zinssatz, Untersuchungszeitraum und den zugrunde gelegten Kostenansätzen, zu modifizieren. Auf der Nutzenseite ist in Abhängigkeit von den getroffenen Monetisierungsansätzen zu prüfen, inwieweit eine Modifikation möglich und sinnvoll ist, und damit ein anderer Wert für den Nutzen der sanierten Fläche ermittelt werden können. Im Rahmen der internen Qualitätssicherung kann dies durch einen weiteren Bearbeiter erfolgen.

3.5.7 Gesamtbeurteilung und Empfehlung

Im letzten Arbeitsschritt sind die für die einzelnen Sanierungsszenarien ermittelten Ergebnisse zu interpretieren und zu bewerten, so dass vom Gutachter unter Würdigung sämtlicher für das Projekt relevanten Randbedingungen ein Vorschlag für das am besten geeignete Sanierungsszenario erfolgen kann.

Das vom Gutachter zur Umsetzung empfohlene Sanierungsszenario ist unter Berücksichtigung sämtlicher Randbedingungen, getroffenen Annahmen sowie noch bestehende Unsicherheiten zu begründen.

3.6 Fallbeispiel für die exemplarische Durchführung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen

Um das Fallbeispiel kurz und nachvollziehbar darstellen zu können, wurde auf Darstellung und Begründung von technischen Details verzichtet, die in der Praxis für eine Sanierungsuntersuchung und damit eine Nutzen-Kosten-Untersuchung unumgänglich sind.

3.6.1 Zusammenfassende Darstellung der Randbedingungen des Fallbeispiels

3.6.1.1 Ausgangsdaten

Bei dem Musterstandort handelt es sich um eine ehemalige Kokerei mit einer weitgehend ebenen Oberfläche, die im Zuge des Abbruchs mit dem anfallenden Bauschutt eingeebnet worden ist. Die i. M. 3 m starken Auffüllungen bestehen aus Bauschutt, Asche, Schlacke und Schotter.
Unter den Auffüllungen steht eine schwach bis stark schluffige Mittelsandschicht mit einer Mächtigkeit von ca. 3 m an. Darunter folgt ein Mergel mit schluffig-toniger Verwitterungszone von ca. 2 m Mächtigkeit.

Die Hauptschadstoffbereiche sind die Wertstoffgewinnungsanlagen wie Benzolfabrik und Teerdestillation mit ihren Nebenbetrieben sowie ein Klärteich, dem das gesamte Abwasser von Kokerei und Wertstoffbetrieben zugeführt wurde.
Im Untergrund steht in ca. 3 m Tiefe ein Grundwasserleiter mit einer Mächtigkeit von ca. 5 m an. Seine Basis bildet die schluffig-tonige Verwitterungszone.

Der gesamte Untergrund inkl. Grundwasser sind im Bereich von Kokerei, Nebengewinnungsanlagen und Klärteich bis in eine Tiefe von ca. 8 m mit kokereispezifischen Schadstoffen kontaminiert. Über eine Schadstofffahne kann ein weiterer Austrag von Schadstoffen in Lösung und/oder in Phase mit dem Grundwasser in die angrenzende Umgebung (Wohnnutzung) nicht ausgeschlossen werden.

In Tabelle 11 sind die Standortdaten mit den Angaben zu den maximalen Kontaminationen auszugsweise zusammengestellt.

Tabelle 11 Daten des Musterstandortes (Auszug)

		Aufbereitungsfläche	
Fläche	m²	145.000	
Material	–	Auffüllungen, schluffiger Mittelsand, Mergel	
		Schadstoffzentrum	**Grundwasser**
Fläche	m²	9.100	–
Tiefe	m	8	–
Menge	m³	72.800	–
Schadstofffahne	m	–	ca. 200
Kontaminationsart		kokereispezifische Substanzen	kokereispezifische Substanzen
Konzentrationen			
• PAK (EPA)		max. 23.200 mg/kg	max. 2.260 µg/l
• BTX		max. 2.100 mg/kg	max. 4.120 µg/l
• KW (H18)		max. 2.300 mg/kg	max. 1.980 µg/l
• Phenol		max. 34 mg/kg	max. 1.235 µg/l
• Hg		max. 52 mg/kg	–

3.6.1.2 Zielsetzung der Sanierungsuntersuchung

Beim Fallbeispiel handelt es sich um eine Brachfläche, die z. Z. aufgrund der vorliegenden Altlastensituation in großen Teilen nicht nutzbar ist. Für die Brachfläche ist eine gewerblich-industrielle Folgenutzung geplant. Im Rahmen der Sanierungsuntersuchung ist ein Konzept zur nutzungsbezogenen Sanierung und bautechnischen Aufbereitung zu erarbeiten.

Die Nutzen-Kosten-Untersuchung ist für die vorgegebene Nutzung „Gewerbe/Industrie“ durchzuführen.

Als Sanierungsziele wurden festgelegt:

- Verhinderung der Schadstoffaufnahme durch Direktkontakt,
- Maßgebende Verminderung des Schadstoffeintrags ins Grundwasser,
- Maßgebende Verminderung des weiteren Schadstoffaustrags mit dem Grundwasser.

Für das Grundwasser wurden die in der nachfolgenden Tabelle 12 aufgeführten Handlungsschwellenwerte als Grundlage für die Beurteilung des Sanierungserfordernisses festgelegt.

Tabelle 12 Handlungsschwellenwerte für das Grundwasser

Parameter	Einheit	Handlungsschwellenwerte
PAK (EPA)	[µg/l]	10
BTX	[µg/l]	50
KW	[mg/l]	1
Phenole	[µg/l]	100
Quecksilber	[µg/l]	5

3.6.1.3 Geeignete Sanierungsszenarien

Als geeignete Sanierungsszenarien wurden drei Varianten ermittelt. Diese sind nachfolgend in ihren Grundzügen dargestellt:

Szenario 1: Umschließung der Baugrube und Aushub des kontaminierten Bodens im Hauptschadensbereich (9.100 m²) bis in eine Tiefe von 8 m; da ab einer Tiefe von 3 m Grundwasser ansteht, ist eine Wasserhaltung erforderlich. Abtransport und thermische Behandlung des ausgekofferten Materials (72.800 m³) in einer Off-site-Anlage. Aufgrund der erheblichen Gehalte an leichtflüchtigen kokereispezifischen Schadstoffen sind umfangreiche Maßnahmen zum Arbeitsschutz und zum Immissionsschutz erforderlich.

Wiederverfüllung der Baugrube mit dekontaminiertem Boden und Recyclingmaterial.

Bautechnische Aufbereitung der inhomogenen Auffüllungen im Bereich der Restfläche von 145.000 m² (Verdämmen von Hohlräumen, Einbau von Geotextil etc.) mit dem Ziel eines hindernisfreien, homogenen und tragfähigen Baugrundes; Kontrollbeprobungen der Bodenluft sowie Arbeits- und Umfeldschutzmessungen. Unter Beachtung eines Massenausgleiches wird die Geländeoberfläche so gestaltet, dass spätere Erdbewegungen auf ein Minimum reduziert werden. Der Aufbau für Verkehrs- und Lagerflächen sowie der Vegetationsboden für Grünbereiche wird unmittelbar auf die geschaffene Oberfläche aufgebracht.

Daneben soll eine hydraulische Sanierung der Grundwasserkontamination in der Fahne (ca. 200 m) im Abstrom mittels pump & treat durchgeführt werden.

Da alles ausgekoffert wird, verbleibt nur eine Restbelastung im Untergrund.

Szenario 2: Umschließung der Baugrube und Aushub des kontaminierten Bodens im Hauptschadensbereich (9.100 m²) bis in eine Tiefe von 8 m; da ab einer Tiefe von 3 m Grundwasser ansteht, ist eine Wasserhaltung vorzusehen. Der Aushub (72.800 m³) soll umgelagert werden, in großen Teilen auf einen baufähigen Zustand konditioniert und in einem Sicherungsbauwerk mit qualifizierter Oberflächenabdichtung gesichert und eingebaut werden. Aufgrund der erheblichen Gehalte an leichtflüchtigen kokereispezifischen Schadstoffen sind umfangreiche Maßnahmen zum Arbeitsschutz und zum Schutz der Umwelt erforderlich.
Wiederverfüllung der Baugrube mit Recyclingmaterial.
Für das Sicherungsbauwerk sind im Rahmen der Nachsorge Reparaturen und teilweise Erneuerungen vorgesehen. Weiterhin fallen Betriebskosten sowie Kosten für Funktionskontrollen und die Überwachung der Wirkungspfade an.
Im Bereich der Restfläche (ca. 145.000 m²) soll eine bautechnische Aufbereitung der inhomogenen Auffüllungen (Verdämmen von Hohlräumen, Einbau von Geotextil etc.) mit dem Ziel zur Herstellung eines hindernisfreien, homogenen und tragfähigen Baugrundes erfolgen. Daneben sollen Kontrollbeprobungen der Bodenluft sowie Arbeits- und Umfeldschutzmessungen durchgeführt werden. Unter Beachtung eines Massenausgleiches wird die Geländeoberfläche so gestaltet, dass spätere Erdbewegungen auf ein Minimum reduziert werden. Der Aufbau für Verkehrs- und Lagerflächen sowie der Vegetationsboden für Grünbereiche wird unmittelbar auf die geschaffene Oberfläche aufgebracht.
Daneben soll eine hydraulische Sanierung der Grundwasserkontamination in der Fahne im Abstrom mittels pump & treat durchgeführt werden.

Szenario 3: Bautechnische Sicherung der Hauptschadstoffbereiche mit einer ca. 9 m tiefen Zweimassen-Schlitzwand (Länge ca. 450 m) und Oberflächenabdichtung (ca. 9.100 m²). Bei Hindernissen im Untergrund ist vorzubohren und das kontaminierte Bohrgut im Bereich der Umschließung wieder einzubauen; Berücksichtigung erhöhter Arbeitsschutzmaßnahmen. Zur Wasserhaltung im umschlossenen Bereich in der Umschließung wird eine Sickerwasserbehandlungsanlage betrieben. Für die Schlitzwand und Oberflächenabdichtung sind im Rahmen der Nachsorge Reparaturen und teilweise Erneuerungen vorgesehen. Weiterhin fallen Betriebskosten sowie Kosten für Funktionskontrollen und die Überwachung der Wirkungspfade an.
Im Bereich der Restfläche soll eine bautechnische Aufbereitung der inhomogenen Auffüllungen (Verdämmen von Hohlräumen, Einbau

von Geotextil etc.) mit dem Ziel zur Herstellung eines hindernisfreien, homogenen und tragfähigen Baugrundes erfolgen. Daneben sollen Kontrollbeprobungen der Bodenluft sowie Arbeits- und Umfeldschutzmessungen durchgeführt werden. Unter Beachtung eines Massenausgleiches wird die Geländeoberfläche so gestaltet, dass spätere Erdbewegungen auf ein Minimum reduziert werden. Der Aufbau für Verkehrs- und Lagerflächen sowie der Vegetationsboden für Grünbereiche wird unmittelbar auf die geschaffene Oberfläche aufgebracht.
Daneben soll eine hydraulische Sanierung der Grundwasserkontamination im Abstrom mittels pump & treat durchgeführt werden.

3.6.1.4 Geschätzte Kosten der Sanierungsszenarien

Die Kosten der Sanierungsszenarien beziehen sich auf die jeweiligen Leistungen der einzelnen Szenarien und wurden in der Kostenschätzung geschätzt. Da mit dem Fallbeispiel die generelle Durchführung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen erläutert werden soll, sind die Kosten nicht – wie im Rahmen einer Sanierungsuntersuchung sonst üblich – weiter differenziert, sondern zu Kostengruppen zusammengefasst.

Da für die Sicherungsbauwerke in Sanierungsszenario 2 und 3 keine dauerhafte Wirksamkeit und Funktionsfähigkeit der Bauwerke und Anlagen gewährleistet werden kann, sind für die Nachsorge Kosten für Langzeiterhaltung (Instandsetzung und Erneuerung), Funktionskontrollen und die Überwachung der Wirkungspfade angesetzt worden. Art, Umfang und Zeitpunkt der einzelnen Nachsorgemaßnahmen sind in der Praxis in diesem Arbeitsschritt einzelfallspezifisch unter Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen zu beschreiben. Die getroffenen Ansätze sind zu begründen.

In diesem Arbeitsschritt sind nur die Ergebnisse der Kostenschätzung für die einzelnen Teilleistungen der Sanierungsszenarien aufzulisten. Für die Nachvollziehbarkeit der einzelnen Kosten müssen diese zuvor bei der Kostenschätzung abgeleitet worden sein.

Nachfolgend sind in Tabelle 13 bis Tabelle 15 die bei der Kostenschätzung für die einzelnen Sanierungsszenarien ermittelten Kosten zusammengestellt.

Beim Sanierungsszenario 2 (Sicherungsbauwerk) wird davon ausgegangen, dass für die Beseitigung von Schäden, z. B. durch Erosion, Rutschungen und ungleichmäßige Setzungen, nach 4 und 9 Jahren Reparaturen an der Oberflächenabdichtung notwendig sind. Weiterhin wird angenommen, dass nach 50 Jahren eine teilweise Erneuerung der Oberflächenabdichtung und nach 70 Jahren aufgrund einer unzureichenden Wirksamkeit des gesamten Bauwerkes eine Entfernung der alten Oberflächenabdichtung und die Herstellung eines neuen Planums mit einer neuen Oberflächenabdichtung erforderlich sind. Aufgrund einer gewerblichen Folgenutzung auf dem sanierten Standort ist hierbei von einem erhöhten Aufwand auszugehen. Die Planungskosten sind in die einzelnen Nachsorgekosten mit eingerechnet worden.

Beim Sanierungsszenario 3 (Schlitzwand, Oberflächenabdichtung) sind für die Beseitigung von möglichen Schäden, z. B. durch Erosion und ungleichmäßige Setzungen, nach 5 und 11 Jahren Reparaturen und wegen Schadstoffaustritten teilweise Erneuerungen nach 50 und 70 Jahren an der Oberflächenabdichtung und Schlitzwand angesetzt worden. Aufgrund der zukünftigen Bebauung ist ein zusätzlicher Aufwand berücksichtigt worden. Die Planungskosten sind in die einzelnen Nachsorgekosten mit eingerechnet worden.

Weiterhin sind bei den Sanierungsszenarien 2 und 3 für die vom Verpflichteten durchzuführenden Eigenkontrollmaßnahmen Kosten angesetzt worden. So z. B. für die Durchführung von Funktionskontrollen an den Sicherungsbauwerken (bezogen auf Setzungen, Verformungen, Dichtigkeit, Stabilität, Austrocknung etc.) sowie für die Überwachung des Grund- und Sickerwassers (Grundwasserstände, Menge, Qualität, Analytik etc.)

Tabelle 13 Leistungen und Kosten des Sanierungsszenarios 1 aus der Kostenschätzung

Szenario 1: Aushub, Entsorgung pump & treat, bautechnische Aufbereitung	
Investitionskosten	
Leistungen	**Gesamtpreis DM**
Sanierungsplan, Gutachten, Planung (ca. 4,5 % von 14.989.000 DM)	670.000,00
Umschließung der Baugrube mit einer Spundwand inkl. Wasserhaltung (3.600 m² • 200 DM/m² + 100.000 DM)	820.000,00
Aushub des Materials bis in eine Tiefe von 8 m inkl. sämtlicher Arbeitsschutzmaßnahmen (9.100 m² • 8 t/m³ • 56,90 DM/m³)	4.140.000,00
Thermische Behandlung des Boden/Materials inkl. Transport (72.800 m³ • 1,8 t/m³ • 250 DM/t)	32.760.000,00
Wiederverfüllung der Baugrube (72.800 m³ • 30 DM/m³)	2.184.000,00
Begleitende Analytik sowie Eignungsuntersuchungen (ca. 2,7 % von 7.144.000DM + 21.800 DM)	214.688,00
Verdämmen von Hohlräumen (1.000 m² • 150 DM/m²)	150.000,00
Einbau einer Trennschicht (145.000 m² • 10 DM/m²)	1.450.000,00
Einbau von Schüttmaterial, Vegetationsschicht und Oberboden (160.000 m³ • 25 DM/m³ + 75.000 m³ • 15 DM/m³ + 30.000 m³ • 25 DM/m³)	5.875.000,00
Grundwasserreinigung (pump & treat) (pauschal)	370.000,00
Begleitende Analytik sowie Eignungsuntersuchungen (ca. 5,5 % von 6.396.450 DM + 120.500 DM)	472.312,00
Summe netto	**49.106.000,00**
16 % MwSt.	**7.856.960,00**
Summe brutto	**56.962.960,00**
Laufende Kosten	
Leistungen	**Gesamtpreis DM/a**
Bauüberwachung, Dritte (2 Jahre)*	290.000,00
Betriebskosten für die Grundwasserreinigung, u. a. Energie, Analytik, A-Kohle, Reparaturen, Instandhaltung etc. (10 Jahre)**; pauschal	180.000,00
Überwachung des Wirkungspfades „Grundwasser“ (10 Jahre)**; pauschal	12.000,00

* Wird aus Darstellungsgründen unter laufenden Kosten aufgeführt, obwohl sie zu den Investitionskosten gehört.
** Annahmen zur Erläuterung der Berechnungssystematik.

Tabelle 14 Leistungen und Kosten des Sanierungsszenarios 2 aus der Kostenschätzung

Szenario 2: Aushub, Sicherungsbauwerk, pump & treat, bautechnische Aufbereitung, Nachsorge

Investitionskosten

Leistungen	Gesamtpreis DM
Sanierungsplan, Gutachten, Planung (ca. 4,4 % von 22.269.000 DM)	1.000.000,00
Umschließung der Baugrube mit einer Spundwand inkl. Wasserhaltung (3.600 m² • 200 DM/m² + 100.000 DM)	820.000,00
Aushub des Materials bis in eine Tiefe von 8 m inkl. sämtlicher Arbeitsschutzmaßnahmen (9.100 m² • 8 t/m³ • 56,90 DM/m³)	4.140.000,00
Wiederverfüllung der Baugrube (72.800 m³ • 30 DM/m³)	2.184.000,00
Begleitende Analytik (ca. 2,7 % von 7.144.000 DM)	195.000,00
Konditionierung des Materials und anschließender Einbau in ein Sicherungsbauwerk (72.800 m³ • 100 DM/m³)	7.280.000,00
Begleitende Analytik (ca. 1,5 % von 7.280.000 DM)	112.688,00
Verdämmen von Hohlräumen (1.000 m³ • 150 DM/m³)	150.000,00
Einbau einer Trennschicht (145.000 m² • 10 DM/m²)	1.450.000,00
Einbau von Schüttmaterial, Vegetationsschicht und Oberboden (160.000 m³ •25 DM/m³ + 75.000 m³ • 15 DM/m³ + 30.000 m³ • 25 DM/m³)	5.875.000,00
Grundwasserreinigung (pump & treat) (pauschal)	370.000,00
Begleitende Analytik sowie Eignungsuntersuchungen (ca. 5,5 % von 6.396.450 DM + 120.500 DM)	472.312,00
Nachsorge (für Sicherungsbauwerk):	
• Reparaturen; nach 4 Jahren**	42.500,00
• Reparaturen; nach 9 Jahren**	128.000,00
• teilweise Erneuerung; nach 50 Jahren**	520.000,00
• teilweise Erneuerung; nach 70 Jahren**	2.250.000,00
Summe netto	**26.989.500,00**
16 % MwSt.	**4.318.320,00**
Summe brutto	**31.307.820,00**

Laufende Kosten

Leistungen	Gesamtpreis DM/a
Bauüberwachung, Dritte (für 3 Jahre)*	300.000,00
Betriebskosten für die Grundwasserreinigung, u. a. Energie, Analytik, A-Kohle, Reparaturen, Instandhaltung etc. (10 Jahre)**	180.000,00
Eigenüberwachung (Funktionskontrollen am Sicherungsbauwerk und Überwachung des Wirkungspfades „Grundwasser“) für 80 Jahre**	55.000,00

* Wird aus Darstellungsgründen unter laufenden Kosten aufgeführt, obwohl sie zu den Investitionskosten gehört.
** Annahmen zur Erläuterung der Berechnungssystematik.

Tabelle 15 Leistungen und Kosten des Sanierungsszenarios 3 aus der Kostenschätzung

Szenario 3:	**Schlitzwand, Oberflächenabdichtung, pump & treat, bautechnische Aufbereitung, Nachsorge**

Investitionskosten	
Leistungen	**Gesamtpreis DM**
Sanierungsplan, Gutachten, Planung (ca. 5,8 % von 11.346.500 DM)	650.000,00
Herstellung einer Schlitzwand mit Erschwernissen bei der Herstellung inkl. Arbeitsschutz (3.600 m² • 300 DM/m² + 300.000 DM)	1.380.000,00
Umlagerung von Überschussmassen in den Umschließungsbereich (3.670 m³ • 43 DM/m³)	158.000,00
Oberflächenabdichtung (9.100 m² • 185 DM/m²)	1.683.500,00
Sickerwasserreinigung (pauschal)	280.000,00
Begleitende Analytik, Messungen und Eignungsuntersuchungen (ca. 4,5 % von 3.501.500 DM + 150.100 DM)	307.688,00
Grundwasserreinigung (pump & treat) (pauschal)	370.000,00
Verdämmen von Hohlräumen (1.000 m³ • 150 DM/m³)	150.000,00
Einbau einer Trennschicht (145.000 m² • 10 DM/m²)	1.450.000,00
Einbau von Schüttmaterial, Vegetationsschicht und Oberboden (160.000 m³ • 25 DM/m³ + 75.000 m³ • 15 DM/m³ + 30.000 m³ • 25 DM/m³)	5.875.000,00
Begleitende Analytik und Eignungsuntersuchungen (ca. 5,5 % von 6.396.450 DM + 120.500 DM)	472.312,00
Nachsorge (für Schlitzwand u. Oberflächenabdichtung):	
• Reparaturen; nach 15 Jahren**	80.000,00
• Reparaturen; nach 35 Jahren**	145.000,00
• teilweise Erneuerung; nach 50 Jahren**	650.000,00
• teilweise Erneuerung; nach 70 Jahren**	720.000,00
Summe netto	**14.371.500,00**
16 % MwSt.	**2.299.440,00**
Summe brutto	**16.670.940,00**

Laufende Kosten	
Leistungen	**Gesamtpreis DM/a**
Bauüberwachung, Dritte (für 2 Jahre)*	200.000,00
Betriebskosten für die Grundwasserreinigung, u. a. Energie, Analytik, A-Kohle, Reparaturen, Instandhaltung etc. (10 Jahre)**	180.000,00
Betriebskosten für die Wasserhaltung (Sickerwasserreinigungsanlage), u. a. Energie, Analytik, Reparaturen, Instandhaltung etc. (80 Jahre)**	150.000,00
Eigenüberwachung (Funktionskontrollen an Schlitzwand und Oberflächenabdichtung sowie Überwachung des Wirkungspfades „Grundwasser“ für 80 Jahre)**	60.000,00

* Wird aus Darstellungsgründen unter laufenden Kosten aufgeführt, obwohl sie zu den Investitionskosten gehört.
** Annahmen zur Erläuterung der Berechnungssystematik.

3.6.2 Kostenvergleichsrechnung

Die Kostenvergleichsrechnung wurde entsprechend den Vorgaben im Kapitel 3.3 durchgeführt.

Sie ist ein notwendiger Teilschritt, um die Szenarien auch mit einer Kostenwirksamkeitsanalyse bzw. Kosten-Nutzen-Analyse bewerten zu können.

Wie die „Fachliche Bewertung“ der drei Sanierungsszenarien im Kapitel 3.6.3.1 zeigt, ist der Nutzen der Szenarien unterschiedlich. Damit stellt die Kostenvergleichsrechnung in diesem Fall alleine keine ausreichende Entscheidungshilfe für oder gegen ein Sanierungsszenario dar (siehe Kapitel 3.3).

3.6.2.1 Berechnung der Kostenbarwerte

Grundlage für die Berechnung der Kostenbarwerte sind die im Rahmen der Kostenschätzung ermittelten Kosten (siehe Kapitel 3.6.1.4). Um einen Kostenvergleich durchführen zu können, sind diese entsprechend dem Zeitpunkt ihres Auftretens – getrennt nach Investitionskosten (Einmalkosten) und laufenden Kosten – zusammenzufassen. Deshalb werden die voraussichtlich innerhalb eines Jahres anfallenden Sanierungsleistungen sowie die zugehörigen baubegleitenden Leistungen, wie z. B. begleitende Analytik und Arbeitsschutz, zu einer Kostengruppe zusammengefasst. Laufende Kosten können nur dann als eine Kostengruppe dargestellt werden, wenn sie über die gleiche Anzahl von Jahren anfallen, wie z. B. beim Szenario 1 die Betriebskosten für die Grundwasserreinigung und die Überwachung des Wirkungspfades „Grundwasser“; beide sind für 10 Jahre nach dem Bezugszeitpunkt angesetzt. Ändern sich die laufenden Kosten über den Untersuchungszeitraum, so sind sie einzeln mit Nennung des jeweiligen Zeitraums anzugeben.

Die Kosten sind in Bruttopreisen angegeben. Mögliche zukünftige Mehrwertsteuerveränderungen bleiben unberücksichtigt.

In Tabelle 16 bis Tabelle 18 sind die Kostengruppen aufgeführt, die bei der Kostenvergleichsrechnung zugrunde gelegt werden.

Bezüglich der Nachvollziehbarkeit der Berechnungen wird darauf hingewiesen, dass die Kosten der Teilleistungen in Tabelle 13 bis Tabelle 15 Nettopreise sind.

Tabelle 16 Kostengruppen des Szenario 1 (Bruttoangaben)

Szenario 1: Aushub, Entsorgung, pump & treat, bautechnische Aufbereitung		
	Leistung	**Kosten DM**
Investitionskosten	Sanierungsplan und Gutachten	371.200,00
	Planung	406.000,00
	Aushub/Entsorgung • Umschließung inkl. Wasserhaltung • Aushub inkl. Arbeitsschutz • Wiederverfüllung • thermische Behandlung inkl. Transport • begleitende Analytik, Eignungsuntersuchungen	46.537.678,00
	Bautechnische Aufbereitung/Grundwasserreinigung • Analytik, Eignungsuntersuchungen • Verdämmen v. Hohlräumen • Einbau einer Trennschicht (Geotextil) • Einbau von Schüttmaterial, Vegetationsschicht und Oberboden • Grundwasserreinigung (pump & treat) • begleitende Analytik, Eignungsuntersuchungen	9.648.082,00
	Summe brutto	56.962.960,00
Laufende Kosten	**Leistung**	**Kosten DM/a**
	Bauüberwachung, Gutachter	336.400,00
	Betriebskosten für die Grundwasserreinigung und Überwachung des Wirkungspfades „Grundwasser“	222.720,00

Als Bezugszeitpunkt der finanzmathematischen Umrechnung wird die Abnahme der Sanierungsmaßnahme angesetzt, d. h., die vorher anfallenden Kosten sind auf diesen Zeitpunkt zu akkumulieren und die danach anfallenden zu diskontieren. Der Übersicht halber empfiehlt es sich, für jedes Sanierungsszenario den zeitlichen Verlauf der Kosten mit einer Kostenreihe darzustellen.

Tabelle 17 Kostengruppen des Szenarios 2 (Bruttoangaben)

Szenario 2:	**Aushub, Sicherungsbauwerk, pump & treat, bautechnische Aufbereitung, Nachsorge**	
	Leistungen	**Kosten DM**
Investitionskosten	Sanierungsplan und Gutachten	406.000,00
	Planung	754.000,00
	Aushub • Umschließung inkl. Wasserhaltung • Aushub inkl. Arbeitsschutz • Wiederverfüllung • Begleitende Analytik	8.513.240,00
	Sicherungsbauwerk • Begleitende Analytik	8.575.518,00
	Bautechn. Aufbereitung/Grundwasserreinigung • Verdämmen von Hohlräumen • Einbau einer Trennschicht • Einbau von Schüttmaterial, Vegetationsschicht und Oberboden • Grundwasserreinigung (pump & treat) • Begleitende Analytik und Eignungsuntersuchungen	9.648.082,00
	Nachsorge für Sicherungsbauwerk • Reparaturen (nach 4 a) • Reparaturen (nach 9 a) • teilweise Erneuerung (nach 50 a) • teilweise Erneuerung (nach 70 a)	49.300,00 148.480,00 603.200,00 2.610.000,00
	Summe brutto	31.307.820,00
Laufende Kosten	**Leistungen**	**Kosten DM/a**
	Bauüberwachung, Dritte (n = 3 a)	348.000,00
	Betriebskosten Grundwasserreinigung (n = 10 a)	208.800,00
	Eigenüberwachung • 1. bis 45. Jahr gleichförmig • 46. bis 50. Jahr mit 4 % progressiv* • 51. bis 70. Jahr mit 2 % progressiv* • 71. bis 80. Jahr linear	63.800,00

* Änderung des Umfanges der Eigenüberwachung aufgrund von Auffälligkeiten und Reparaturen

Tabelle 18 Kostengruppen des Szenarios 3 (Bruttoangaben)

Szenario 3:	**Schlitzwand, Oberflächenabdichtung, pump & treat, bautechnische Aufbereitung, Nachsorge**	
	Leistungen	**Kosten DM**
Investitionskosten	Sanierungsplan und Gutachten	263.900,00
	Planung	490.100,00
	• Schlitzwand/Oberflächenabdichtung • Schlitzwand • Umlagerung • Oberflächenabdichtung • Sickerwasserreinigung • Begleitende Analytik und Eignungsuntersuchungen	4.418.658,00
	Bautechnische Aufbereitung/Grundwasserreinigung • Verdämmen v. Hohlräumen • Einbau einer Trennschicht (Geotextil) • Einbau von Schüttmaterial, Vegetationsschicht und Oberboden • Grundwasserreinigung (pump & treat) • Begleitende Analytik und Eignungsuntersuchungen	9.648.082,00
	Nachsorge (Dichtwand u. Oberflächenabdichtung) • Reparaturen (nach 15 a) • Reparaturen (nach 35 a) • teilweise Erneuerung (nach 50 a) • teilweise Erneuerung (nach 70 a)	92.800,00 168.200,00 754.000,00 835.200,00
	Summe brutto	16.670.940,00

	Leistungen	**Kosten DM/a**
Laufende Kosten	Bauüberwachung, Dritte (n = 2 a)	232.000,00
	Betriebskosten Grundwasserreinigung (n = 10 a)	208.800,00
	Betriebskosten Wasserhaltung (n = 80 a)	174.000,00
	Eigenüberwachung • 1. bis 45. Jahr gleichförmig • 46. bis 50. Jahr mit 4 % progressiv* • 51. bis 70. Jahr mit 2 % progressiv* • 71. bis 80. Jahr linear	69.600,00

* Änderung des Umfanges der Eigenüberwachung aufgrund von Auffälligkeiten und Reparaturen

Allen drei Szenarien wird der gleiche Untersuchungszeitraum von 80 Jahren zugrunde gelegt. Da bisher keine abgesicherten Aussagen zur mittleren technischen Lebensdauer der betrachteten Sicherungsbauwerke vorliegt, wird mit diesem Ansatz dem Aspekt der Langzeitbetrachtung bei Sicherungsbauwerken Rechnung getragen. Es ist Aufgabe des Bearbeiters, den Untersuchungszeitraum unter Berücksichtigung der einzelfallspezifischen Randbedingungen sowie neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse festzulegen.
Mit der Größe des Untersuchungszeitraumes, z. B. 60 bis 100 Jahre wird der Barwert und damit das Ergebnis immer geringer beeinflusst.

Die finanzmathematische Umrechnung der Kosten erfolgt nach den Empfehlungen des LAWA-Arbeitskreises Nutzen-Kosten-Untersuchung mit einem Zinssatz von 3 %. Die Umrechnungsfaktoren sind der Anlage zu entnehmen.

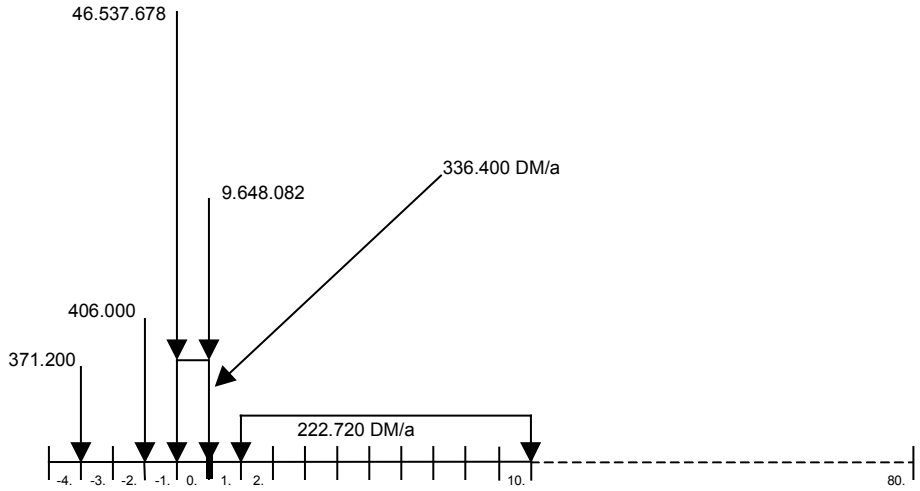
Die Akkumulation und Diskontierung der Kosten ist im Kapitel 3.3.4 ausführlich erläutert. Darüber hinausgehende Informationen sind der LAWA-Leitlinie zu entnehmen.

Den Szenarienbarwert (S BW) eines Sanierungsszenarios erhält man durch die Aufsummierung der für sämtliche Leistungen berechneten Barwerte. Die dazugehörigen Jahreskosten (JK) berechnen sich durch die Multiplikation des Szenarienbarwertes mit dem Kapitalwiedergewinnungsfaktor (KFAKR).

In Tabelle 19 bis Tabelle 21 sind die Kostenreihen der drei Sanierungsszenarien, die berechneten Barwerte mit den angesetzten Umrechnungsfaktoren sowie die Szenarienbarwerte und Jahreskosten tabellarisch aufgeführt.

Tabelle 19 Kostenreihe (nicht maßstabgerecht), Barwerte und Jahreskosten des Szenarios 1

Szenario 1 i = 3 % p. a.; Untersuchungszeitraum 80 a

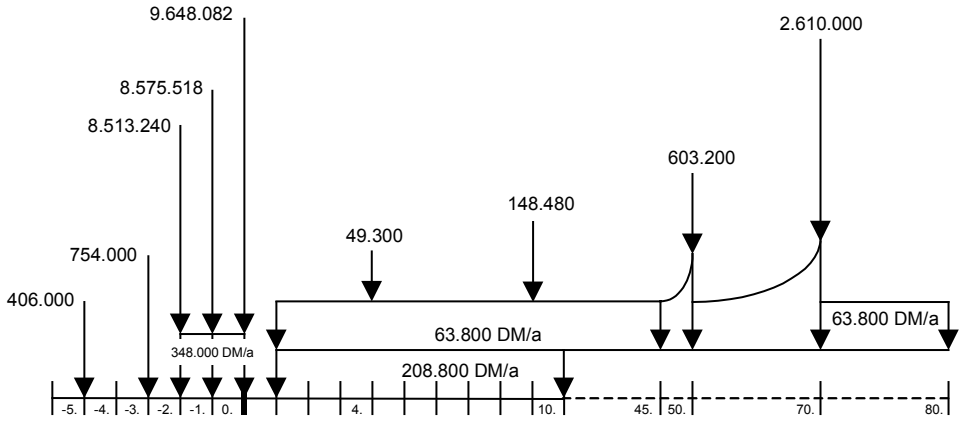


Investitionskosten	Kosten DM	Umrechnungsfaktor		Barwert
Sanierungsplan (n=4)	371.200,00	AFAKE=	1,12551	417.789 DM
Planung (n=2)	406.000,00	AFAKE=	1,06090	430.725 DM
Aushub und Entsorgung (n=1)	46.537.678,00	AFAKE=	1,03000	47.933.808 DM
Bautechn. Aufbereitung/ Grundwasserreinigung (n=0)	9.648.082,00		1,00000	9.648.082 DM
Laufende Kosten				
Bauüberwachung (n=2)	336.400,00	AFAKR=	2,03000	682.892 DM
Betriebskosten und Überwachung (n=10)	222.720,00	DFAKR=	8,53020	1.899.846 DM
		Szenarienbarwert S BW 1		**61.013.143 DM**

JK =	S BW 1	*	KFAKR	
=	61.013.143 DM	*	0,03311	
	Jahreskosten JK 1			**2.020.145,17 DM pro a**

Tabelle 20 Kostenreihe (nicht maßstabgerecht), Barwerte und Jahreskosten des Szenarios 2

Szenario 2 i = 3 % p. a.; Untersuchungszeitraum 80 a



Investitionskosten	Betrag DM	Umrechnungsfaktor		Barwert
Sanierungsplan (n=5)	406.000,00	AFAKE=	1,15927	470.664 DM
Planung (n=3)	754.000,00	AFAKE=	1,09273	823.918 DM
Aushub (n=2)	8.513.240,00	AFAKE=	1,06090	9.031.696 DM
Sicherungsbauwerk (n=1)	8.575.518,00	AFAKE=	1,03000	8.832.784 DM
Bautechn. Aufbereitung/ Grundwasserreinigung (n=0)	9.648.082,00		1,00000	9.648.082 DM
Reparaturen, Sicherungsbauwerk	49.300,00	DFAKE=	0,88849	43.803 DM
Reparaturen, Sicherungsbauwerke	148.480,00	DFAKE=	0,76642	113.798 DM
teilw. Erneuerung Sicherungsbauwerk (n=50)	603.200,00	DFAKE=	0,22811	137.596 DM
teilw. Erneuerung der Oberflächenabdichtung beim Sicherungsbauwerk (n=70)	2.610.000,00	DFAKE=	0,12630	329.643 DM
Laufende Kosten				
Bauüberwachung (n=3)	348.000,00	AFAKR=	3,09090	1.075.633 DM
Betrieb Grundwasserreinigung (n=10)	208.800,00	DFAKR=	8,53020	1.781.106 DM
Eigenüberwachung				
n=45	63.800,00	DFAKR=	24,51870	1.564.293 DM
n=5 (r=4%)	63.800,00	DFAKRP=	5,14753	
		DFAKE=	0,26444	86.845 DM
n=20 (r=2%)	63.800,00	DFAKRP=	18,08120	
		DFAKE=	0,22811	263.143 DM
n=10	63.800,00	DFAKR=	8,53020	
		DFAKE=	0,12630	68.736 DM
		Szenarienbarwert S BW 2		**34.271.740 DM**

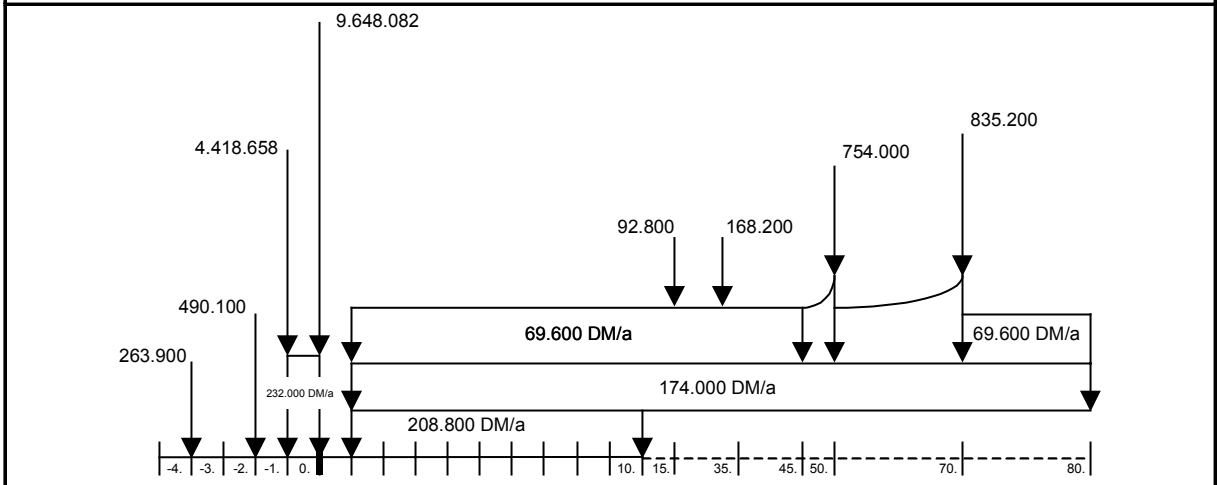
JK = S BW 2 * KFAKR

= 34.271.740 DM * 0,03311

Jahreskosten JK 2	**1.134.737 DM pro a**

Tabelle 21 Kostenreihe (nicht maßstabgerecht), Barwerte und Jahreskosten des Szenarios 3

Szenario 3 i = 3 % p. a.; Untersuchungszeitraum 80 a



Investitionskosten	Betrag DM	Umrechnungsfaktor		Barwert
Sanierungsplan (n=4)	263.900,00	AFAKE=	1,12551	297.022 DM
Planung (n=2)	490.100,00	AFAKE=	1,06090	519.947 DM
Schlitzwand/Oberflächenabdichtung (n=1)	4.418.658,00	AFAKE=	1,03000	4.551.218 DM
Bautechn. Aufbereitung/ Grundwasserreinigung (n=0)	9.648.082,00		1,00000	9.648.082 DM
Reparaturen (n=15)	92.800,00	DFAKE=	0,64186	59.565 DM
Reparaturen (n=35)	168.200,00	DFAKE=	0,35538	59.775 DM
teilw. Erneuerung Dichtwand (n=50)	754.000,00	DFAKE=	0,22811	171.995 DM
teilw. Erneuerung Oberfl. (n=70)	835.200,00	DFAKE=	0,12630	105.486 DM
Laufende Kosten				
Bauüberwachung (n=2)	232.000,00	AFAKR=	2,03000	470.960 DM
Betrieb Grundwasserreinigung (n=10)	208.800,00	DFAKR=	8,53020	1.781.106 DM
Betrieb Wasserhaltung (n=80)	174.000,00	DFAKR=	30,20080	5.254.939 DM
Eigenüberwachung				
n=45	69.600,00	DFAKR=	24,51870	1.706.502 DM
n=5 (r=4%)	69.600,00	DFAKRP=	5,14753	
		DFAKE=	0,26444	94.740 DM
n=20 (r=2%)	69.600,00	DFAKRP=	18,08120	
		DFAKE=	0,22811	287.065 DM
n=10	69.600,00	DFAKR=	8,53020	
		DFAKE=	0,12630	74.985 DM
		Szenarienbarwert S BW 3		**25.083.386 DM**
		JK = S BW 3 * KFAKR		
		= 25.083.386 DM * 0,03311		
		Jahreskosten JK 3		**830.511 DM pro a**

3.6.2.2 Gegenüberstellung der Kosten

Für die einzelnen Sanierungsszenarien wurden für einen Zinssatz von i = 3 % und einen Untersuchungszeitraum von n = 80 Jahren die nachfolgenden Szenarienbarwerte berechnet:

Szenario 1: S BW 1 = 61.013.143,00 DM

Szenario 2: S BW 2 = 34.271.740,00 DM

Szenario 3: S BW 3 = 25.083.386,00 DM

Aufgrund der deutlichen Differenz liefert das Sanierungsszenario 3 die größte relative Kostenersparnis. Dies bedeutet unter den getroffenen Annahmen, dass eine Sicherung des Schadstoffzentrums mittels Schlitzwand und Oberflächenabdichtung die kostengünstigste Sanierungsvariante darstellt.

Da die untersuchten Sanierungsszenarien jedoch nicht den gleichen Nutzen aufweisen (siehe Kapitel 3.6.3.1), handelt es sich hierbei lediglich um ein kostenorientiertes Ergebnis, das als alleinige Entscheidungsgrundlage für die Auswahl eines Szenarios nicht ausreicht.

3.6.2.3 Sensitivitätsanalyse

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse werden die Auswirkungen von Änderungen wichtiger Rechengrößen bei der Barwertberechnung und den zum Zeitpunkt der Sanierungsuntersuchung getroffenen Annahmen für die Sanierungsdurchführung und die ggf. erforderliche Nachsorgephase auf das Ergebnis ermittelt (siehe Kapitel 3.3.6)

Da bisher kaum Erfahrungswerte über die technische Lebensdauer von Sicherungsbauwerken (Szenario 2), Dichtwänden und Oberflächenabdichtungen (Szenario 3) vorliegen und auch der Aufwand der Nachsorge nur geschätzt werden kann, wird die Sensitivitätsanalyse u. a. auch für einen Untersuchungszeitraum von 100 Jahren durchgeführt.

Nachfolgende Ansätze werden bezüglich ihrer Auswirkungen auf das bisherige Ergebnis überprüft:

- Zinssätze von i = 2 % und 5 % p. a.
- Untersuchungszeitraum 100 Jahren mit Erneuerung der Sicherungsbauwerke.

Für das Sanierungsszenario 1 ergibt sich für einen Untersuchungszeitraum von 100 Jahren kein anderer Szenarienbarwert.

Bei den Szenarien 2 und 3 werden die getroffenen Annahmen mit nachfolgenden Änderungen beibehalten:

Szenario 2:

- Erneuerung der Grundwasserreinigungsanlage nach 10 Jahren;
- Ersetzen der irreparablen Oberflächenabdichtung durch eine neue Oberflächenabdichtung (Abtrag der alten Abdichtung, Erstellen eines neuen Planums, erhöhter Aufwand durch die Bebauung) nach 100 Jahren;
- Betrieb der Grundwasserreinigungsanlage über 15 Jahre konstant mit 208.800,00 DM/a;
- Eigenüberwachung vom 81. bis 100. Jahr konstant mit 63.800,00 DM/a;
- Alle anderen Annahmen bleiben konstant;

Szenario 3:

- Erneuerung der Grundwasserreinigungsanlage nach 10 Jahren;
- Erstellung einer neuen Dichtwand (erhöhter Aufwand durch die Bebauung) nach 100 Jahren;
- Betrieb der Grundwasserreinigungsanlage über 15 Jahre konstant mit 208.800,00 DM;
- Eigenüberwachung vom 81. bis 100. Jahr konstant mit 63.800,00 DM/a;
- Alle anderen Annahmen bleiben konstant.

Die Barwertberechnungen mit veränderten Zinssätzen ändern zwar die Kostendifferenzen zwischen den Sanierungsszenarien, führen aber nicht zu einer Veränderung in der Rangfolge. Aus der Ergebnisdarstellung in Tabelle 22 zeigt sich für das Sanierungsszenario 1 ein Anstieg des Barwertes mit Zunahme des Zinssatzes. Bei den Sanierungsszenarien 2 und 3 ergibt sich für einen geringeren Zinssatz eine geringere Diskontierung der laufenden Kosten und damit ein höherer Barwert.

Tabelle 22 Szenarienbarwerte für Zinssätze von 2, 3 und 5 % p. a. bei 80 a

	Szenarienbarwerte (DM)		
	Szenario 1	**Szenario 2**	**Szenario 3**
Zinssatz i = 2 %	60.620.844,00	35.125.343,00	27.729.802,00
Zinssatz i = 3 %	61.013.143,00	34.271.740,00	25.083.386,00
Zinssatz i = 5 %	61.812.326,00	33.681.178,00	22.197.972,00

Die für den Untersuchungszeitraum von 100 Jahren berechneten Barwerte sind nachfolgend in Tabelle 23 und Tabelle 24 dargestellt.

Trotz des längeren Untersuchungszeitraums und den höheren Aufwendungen in der Nachsorge, erhöhen sich die Kosten gegenüber dem Untersuchungszeitraum von 80 Jahren nur unwesentlich:

Für Szenario 2: $S\ BW_{100\ a} - S\ BW_{80\ a}$

35.072.472,00 DM – 34.271.740,00 DM = 800.732,00 DM

Für Szenario 3: $S\ BW_{100\ a} - S\ BW_{80\ a}$

26.545.393,00 DM – 25.083.386,00 DM = 1.462.007,00 DM

Beispielsweise geht beim Sanierungsszenario 2 (Sicherungsbauwerk) die Erneuerung der Oberflächenabdichtung (4.408.000,00 DM) nach 100 Jahren nur mit einem Barwert von 229.348,00 DM in die Rechnung ein. Auch beim Sanierungsszenario 3 berechnet sich für die Erneuerung der Schlitzwand (1.740.000,00 DM) nach 100 Jahren nur ein Barwert von 90.532,00 DM.

Dies zeigt deutlich, dass auch ein längerer Untersuchungszeitraum in diesem Fall zu keinem anderen Ergebnis in der Rangordnung der Sanierungsszenarien führt.

Tabelle 23 *Sensitivitätsanalyse des Sanierungsszenarios 2 für einen Untersuchungszeitraum von 100 Jahren*

Szenario 2:	Sensitivitätsanalyse (i=3% p.a. und Untersuchungszeitraum=100a)			
Investitionskosten	**Betrag DM**	**Umrechnungsfaktor**		**Barwert**
Sanierungsplan (n=5)	406.000,00	AFAKE=	1,15927	470.664 DM
Planung (n=2)	754.000,00	AFAKE=	1,09273	823.918 DM
Aushub (n=2)	8.513.240,00	AFAKE=	1,06090	9.031.696 DM
Sicherungsbauwerk (n=1)	8.575.518,00	AFAKE=	1,03000	8.832.784 DM
Bautechn. Aufbereitung/ Grundwasserreinigung (n=0)	9.648.082,00		1,00000	9.648.082 DM
Reparaturen, Sicherungsbauwerk (n=4)	49.300,00	DFAKE=	0,88849	43.803 DM
Reparaturen, Sicherungsbauwerk (n=9)	148.480,00	DFAKE=	0,76642	113.798 DM
teilw. Erneuerung Sicherungsbauwerk (n=50)	603.200,00	DFAKE=	0,22811	137.596 DM
teilw. Erneuerung der Oberflächenabd.Sicherungsbauwerk (n=70)	2.610.000,00	DFAKE=	0,12630	329.643 DM
Erneuerung Grundwasserreinigung (n=10)	429.200,00	DFAKE=	0,74409	319.363 DM
Erneuerung der Oberflächenabdichtung Sicherungsbauwerk (n=100)	4.408.000,00	DFAKE=	0,05203	229.348 DM
Laufende Kosten				
Bauüberwachung (n=3)	348.000,00	AFAKR=	3,09090	1.075.633 DM
Betrieb Grundwasserreinigung (n=15)	208.800,00	DFAKR=	11,93790	2.492.634 DM
Eigenüberwachung				
n=45	63.800,00	DFAKR=	24,51870	1.564.293 DM
n=5 (r=4%)	63.800,00	DFAKRP=	5,14753	
		DFAKE=	0,26444	86.845 DM
n=20 (r=2%)	63.800,00	DFAKRP=	18,08120	
		DFAKE=	0,22811	263.143 DM
n=10	63.800,00	DFAKR=	8,53020	
		DFAKE=	0,12630	68.736 DM
n=20	63.800,00	DFAKR=	14,87750	
		DFAKE=	0,09398	89.204 DM
		Szenarienbarwert S BW 2		**35.072.472 DM**
	JK =	S BW 2	*	KFAKR
	=	35.072.472 DM	*	0,03165
		Jahreskosten JK 2		**1.110.044 DM pro a**

Tabelle 24 *Sensitivitätsanalyse des Sanierungsszenarios 3 für einen Untersuchungszeitraum von 100 Jahren*

Szenario 3:	Sensitivitätsanalyse (i=3% p.a. und Untersuchungszeitraum=100a)			
Investitionskosten	**Betrag DM**	**Umrechnungsfaktor**		**Barwert**
Sanierungsplan (n=4)	263.900,00	AFAKE=	1,12551	297.022 DM
Planung (n=2)	490.100,00	AFAKE=	1,06090	519.947 DM
Schlitzwand/Oberflächenabdichtung (n=1)	4.418.658,00	AFAKE=	1,03000	4.551.218 DM
Bautechn. Aufbereitung/ Grundwasserreinigung (n=0)	9.648.082,00		1,00000	9.648.082 DM
Reparaturen (n=15)	92.800,00	DFAKE=	0,64186	59.565 DM
Reparaturen, Sicherungsbauwerk (n=4)	168.200,00	DFAKE=	0,35538	59.775 DM
Reparaturen, Sicherungsbauwerk (n=9)	754.000,00	DFAKE=	0,22811	171.995 DM
teilw. Erneuerung Oberfl. (n=70)	835.200,00	DFAKE=	0,12630	105.486 DM
teilw. Erneuerung der Oberflächenabd.Sicherungsbauwerk (n=70)	429.200,00	DFAKE=	0,74409	319.363 DM
Erneuerung Schlitzwand (n=100)	1.740.000,00	DFAKE=	0,05203	90.532 DM
Laufende Kosten				
Bauüberwachung (n=2)	232.000,00	AFAKR=	2,03000	470.960 DM
Betrieb Grundwasserreinigung (n=15)	208.800,00	DFAKR=	11,93790	2.492.634 DM
Betrieb Wasserhaltung (n=100)	174.000,00	DFAKR=	31,59890	5.498.209 DM
Eigenüberwachung				
n=45	69.600,00	DFAKR=	24,51870	1.706.502 DM
n=5 (r=4%)	69.600,00	DFAKRP=	5,14753	
		DFAKE=	0,26444	94.740 DM
n=20 (r=2%)	69.600,00	DFAKRP=	18,08120	
		DFAKE=	0,22811	287.065 DM
n=10	69.600,00	DFAKR=	8,53020	
		DFAKE=	0,12630	74.985 DM
n=20	69.600,00	DFAKR=	14,87750	
		DFAKE=	0,09398	97.314 DM
		Szenarienbarwert S BW 3		**26.545.393 DM**
	JK =	S BW 3	*	KFAKR
	=	26.545.393 DM	*	0,03165
		Jahreskosten JK 3		**840.162 DM pro a**

3.6.2.4 Gesamtbeurteilung

Aufgrund der ausschließlich kostenorientierten Bewertungsart der Kostenvergleichsrechnung bleibt der über die Kriterien „Wirksamkeit“, „Auswirkungen“ und „Grundstücksqualität“ generierbare Nutzen der Sanierungsszenarien unberücksichtigt. Da dieser für die drei Szenarien unterschiedlich groß ist (siehe Kapitel 3.6.3.1), reicht die Kostenvergleichsrechnung als alleinige Entscheidungsgrundlage für die Auswahl eines geeigneten und verhältnismäßigen Szenarios nicht aus. Vielmehr ist es notwendig, eine Bewertung mit der Kostenwirksamkeitsanalyse oder Kosten-Nutzen-Analyse durchzuführen.

Der deutliche Kostenunterschied zwischen drei Sanierungsszenarien ändert sich nicht durch die bei der Sensitivitätsanalyse für unterschiedliche Zinssätze und einen längeren Untersuchungszeitraum durchgeführten Berechnungen, so dass die Rangfolge gleich bleibt (Szenario 3, 2 und 1).

3.6.3 Kostenwirksamkeitsanalyse

Die Kostenwirksamkeitsanalyse wird entsprechend den Ausführungen zur Ermittlung des Nutzens (siehe Kapitel 2.5.5) sowie den Vorgaben zu den einzelnen Arbeitsschritten (siehe Kapitel 3.4) durchgeführt.

3.6.3.1 Nutzwertanalytische Bewertung des Nutzens

Die Bewertung des Nutzens erfolgt über die drei Kriterien „Wirksamkeit“, „Auswirkungen“ und „Grundstücksqualität“ und deren zugehörige Indikatoren (siehe Kapitel 2.5.5).

Die bei der Bewertung berücksichtigten Komponenten der Szenarien sowie die Festlegung, welche Komponente bei dem jeweiligen Sanierungsszenario über welchen Indikator zusammenfassend bewertet wird, ist in Tabelle 25 bis Tabelle 27 für alle drei Szenarien dargestellt. Hierbei sind die für den Nutzen der Gesamtmaßnahme bewertungsrelevanten Komponenten mit „x“ gekennzeichnet und die nicht relevanten Komponenten durch ein graues Feld.

Die Zuordnung erfolgte in Abhängigkeit von der Zielsetzung der Sanierungsuntersuchung, den örtlichen Verhältnissen am Standort und im Umfeld, dem Schadstoffpotential, den betroffenen Schutzgütern und Wirkungspfaden sowie dem Sanierungsszenario.

Tabelle 25 Übersicht über die bewertungsrelevanten Indikatoren des Sanierungsszenarios 1

Indikatoren	Sanierungsszenario 1			
	Aushub / Boden-management	Transport zur thermischen Behandlung	Bautechnische Aufbereitung	Grundwasser-reinigung
Sanierungszielerfüllung	✖		✖	✖
Wirkungsdauer	✖		✖	✖
Überwachbarkeit	✖		✖	✖
Wiederherstellbarkeit	✖		✖	✖
Beeinträchtigung Betroffener	✖	✖	✖	
Beeinträchtigung der Umwelt	✖	✖	✖	✖
Abfallentstehung, -verwertung u. -beseitigung	✖		✖	✖
Nutzungsmöglichkeiten	✖		✖	✖
Haftungssicherheit	✖		✖	✖
Stadtstrukturelle Funktion	✖		✖	

Legende: ✖: Für den Nutzen der Gesamtmaßnahme bewertungsrelevante Komponente.

■: Für den Nutzen des Szenarios nicht relevante Komponente.

Tabelle 26 Übersicht über die bewertungsrelevanten Indikatoren des Sanierungsszenarios 2

Indikatoren	Sanierungsszenario 2			
	Aushub / Boden-management	Sicherungs-bauwerk	Bautechnische Aufbereitung	Grundwasser-reinigung
Sanierungszielerfüllung	✖	✖	✖	✖
Wirkungsdauer	✖	✖	✖	✖
Überwachbarkeit	✖	✖	✖	✖
Wiederherstellbarkeit	✖	✖	✖	✖
Beeinträchtigung Betroffener	✖	✖	✖	
Beeinträchtigung der Umwelt	✖	✖	✖	✖
Abfallentstehung, -verwertung u. -beseitigung	✖	✖	✖	✖
Nutzungsmöglichkeiten	✖	✖	✖	✖
Haftungssicherheit	✖	✖	✖	✖
Stadtstrukturelle Funktion	✖	✖	✖	

Legende: ✖: Für den Nutzen der Gesamtmaßnahme bewertungsrelevante Komponente.

■: Für den Nutzen des Szenarios nicht relevante Komponente.

Tabelle 27 Übersicht über die bewertungsrelevanten Indikatoren des Sanierungsszenarios 3

Indikatoren	Sanierungsszenario 3		
	Schlitzwand, Oberflächen-abdichtung	Bautechnische Aufbereitung	Grundwasser-reinigung
Sanierungszielerfüllung	✖	✖	✖
Wirkungsdauer	✖	✖	✖
Überwachbarkeit	✖	✖	✖
Wiederherstellbarkeit	✖	✖	✖
Beeinträchtigung Betroffener	✖	✖	
Beeinträchtigung der Umwelt	✖	✖	✖
Abfallentstehung, -verwertung u. -beseitigung	✖	✖	✖
Nutzungsmöglichkeiten	✖	✖	✖
Haftungssicherheit	✖	✖	✖
Stadtstrukturelle Funktion	✖	✖	

Legende: ✖: Für den Nutzen der Gesamtmaßnahme bewertungsrelevante Komponente.
■: Für den Nutzen des Szenarios nicht relevante Komponente.

Anschließend erfolgt die „Fachliche Bewertung“ der Indikatoren. Das bedeutet, jeder Indikator eines Sanierungsszenarios wird mit einer Punktzahl bewertet. Diese wertet den Nutzen der Komponente(n) in bezug auf den in Kapitel 2.5.5 für die einzelnen Indikatoren festgelegten Bewertungsgrundlagen. Hierbei werden die Standortverhältnisse, die individuellen Randbedingungen und Vorgaben sowie die Ergebnisse der verbalargumentativen Bewertung berücksichtigt. Das Bewertungsergebnis, d. h. die vergebene Punktzahl, steht repräsentativ für die als bewertungsrelevant eingestuften Komponenten, wie z. B. der Aushub, das Sicherungsbauwerk und die bautechnische Aufbereitung für den Indikator „Beeinträchtigung Betroffener“ beim Sanierungsszenario 2 (siehe Tabelle 26).

Im vorliegenden Fallbeispiel wird auf die ausführliche Ableitung sämtlicher Bewertungsbereiche verzichtet und statt dessen nur das Ergebnis für die drei Sanierungsszenarien in Tabelle 28 dargestellt. In der Praxis sind die vergebenen Punkte im Einzelnen ausführlich zu begründen.
Beispielsweise die für den Indikator „Sanierungszielerfüllung“ vorgegebenen Punkte dokumentieren, dass durch den Aushub des kontaminierten Bodens mit anschließender thermischer Behandlung beim Szenario 1 (5 Punkte) die Sanierungsziele mit einer höheren Sicherheit erfüllt werden als beim Szenario 2 (4 Punkte), welches den Aushub mit Einbau in einem Sicherungsbauwerk vorsieht. Für das Szenario 3 (Schlitzwand und Oberflächenabdichtung) werden nur 3 Punkte vergeben, da bei

dieser Sanierungsvariante ein geringfügiges Risiko zur Erfüllung des Sanierungsziels besteht.

Für die ökobilanzielle Bewertung der Indikatoren „Beeinträchtigung der Umwelt“ und „Abfallentstehung, -verwertung und -beseitigung“ kann die CD-ROM Umweltbilanzierung der LfU Baden-Württemberg genutzt werden. Die zuständige Behörde prüft, ob die Methode im Einzelfall eingesetzt werden soll oder ob überschläglich Betrachtungen ausreichen.

Tabelle 28 Bewertungspunkte für die Sanierungsszenarien 1, 2 und 3

Kriterien	Indikatoren	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Wirksamkeit	Sanierungszielerfüllung	5	4	3
	Wirkungsdauer	5	3	2
	Überwachbarkeit	4	2	2
	Wiederherstellung	5	3	2
Summe		**19**	**12**	**9**
Auswirkungen	Beeinträchtigung Betroffener	4	4	4
	Beeinträchtigung der Umwelt	2	3	3
	Abfallentstehung	4	2	2
Summe		**10**	**9**	**9**
Grundstücksqualität	Nutzungsmöglichkeiten	4	3	2
	Haftungssicherheit	4	3	2
	Stadtstrukturelle Funktion	5	4	2
Summe		**13**	**10**	**6**
quantifizierter Nutzen		**42**	**31**	**24**

Aufgrund der unterschiedlichen Bedeutung von Indikatoren und Kriterien sind die Punkte im nächsten Schritt zu gewichten.

Die Gewichte der Kriterien werden gemäß den Empfehlungen in Tabelle 4 vergeben. Da es sich bei dem Fallbeispiel um eine Flächenrecycling-Maßnahme handelt, werden für die Gewichtung folgende Prozentanteile angesetzt:

Wirksamkeit	50 %
Auswirkungen	20 %
Grundstücksqualität	30 %

Mit der starken Gewichtung der Grundstücksqualität wird dem Umstand Rechnung getragen, dass eine Revitalisierung der stadtnahen Fläche als Gewerbe-/Industriegebiet für Klein- und Mittelbetriebe geplant ist.

Von den in Tabelle 4 empfohlenen Gewichtsbereichen für die Indikatoren werden mittlere Gewichte angesetzt.

In Tabelle 29 bis Tabelle 31 sind die nutzwertanalytischen Bewertungen für die drei Sanierungsszenarien ausführlich dargestellt.

Tabelle 29 Nutzwertanalytische Bewertung des Sanierungsszenarios 1

Szenario:	**1**			
Teilbewertung				
Kriterium K1	Indikatoren	Punkte P_I	Gewichte G_I	gew. Punkte P_{GI}
Wirksamkeit	Sanierungszielerfüllung	5	50	2,5
	Wirkungsdauer	5	20	1
	Überwachbarkeit	4	15	0,6
	Wiederherstellbarkeit, Nachbesserungsmöglichkeit	5	15	0,75
			100	4,85
			P_K =	4,85
Kriterium K2	Indikatoren	Punkte P_I	Gewichte G_I	gew. Punkte P_{GI}
Auswirkungen	Beeinträchtigung Betroffener	4	35	1,4
	Beeinträchtigung der Umwelt	2	35	0,7
	Abfallentstehung, -verwertung und -beseitigung	4	30	1,2
			100	3,3
			P_K =	3,3
Kriterium K3	Indikatoren	Punkte P_I	Gewichte G_I	gew. Punkte P_{GI}
Grundstücksqualität	Nutzungsmöglichkeiten	4	60	2,4
	Haftungssicherheit	4	20	0,8
	Stadtstrukturelle Funktionen	5	20	1
			100	4,2
			P_K =	4,2
Gesamtbewertung				
Bewertungskriterien	Punkte des Kriteriums P_K		Gewichte G_K	gew. Punkte P_{GK}
K1 Wirksamkeit	4,85		50	2,425
K2 Auswirkungen	3,3		20	0,66
K3 Grundstücksqualität	4,2		30	1,26
			100	4,345
	gewichtete Punkte des Szenarios:		**P_{SZ} =**	**4,345**

Tabelle 30 Nutzwertanalytische Bewertung des Sanierungsszenarios 2

Szenario:	**2**			
Teilbewertung				
Kriterium K1	Indikatoren	Punkte P_I	Gewichte G_I	gew. Punkte P_{GI}
Wirksamkeit	Sanierungszielerfüllung	4	50	2
	Wirkungsdauer	3	20	0,6
	Überwachbarkeit	2	15	0,3
	Wiederherstellbarkeit, Nachbesserungsmöglichkeit	3	15	0,45
			100	3,35
			P_K =	3,35
Kriterium K2	Indikatoren	Punkte P_I	Gewichte G_I	gew. Punkte P_{GI}
Auswirkungen	Beeinträchtigung Betroffener	4	35	1,4
	Beeinträchtigung der Umwelt	3	35	1,05
	Abfallentstehung, -verwertung und -beseitigung	2	30	0,6
			100	3,05
			P_K =	3,05
Kriterium K3	Indikatoren	Punkte P_I	Gewichte G_I	gew. Punkte P_{GI}
Grundstücksqualität	Nutzungsmöglichkeiten	3	60	1,8
	Haftungssicherheit	3	20	0,6
	Stadtstrukturelle Funktionen	4	20	0,8
			100	3,2
			P_K =	3,2
Gesamtbewertung				
Bewertungskriterien	Punkte des Kriteriums P_K		Gewichte G_K	gew. Punkte P_{GK}
K1 Wirksamkeit	3,35		50	1,675
K2 Auswirkungen	3,05		20	0,61
K3 Grundstücksqualität	3,2		30	0,96
			100	3,245
	gewichtete Punkte des Szenarios:		**P_{SZ} =**	**3,245**

Tabelle 31 Nutzwertanalytische Bewertung des Sanierungsszenarios 3

Szenario:	**3**			
		Teilbewertung		
Kriterium K1	Indikatoren	Punkte P_I	Gewichte G_I	gew. Punkte P_{GI}
Wirksamkeit	Sanierungszielerfüllung	3	50	1,5
	Wirkungsdauer	2	20	0,4
	Überwachbarkeit	2	15	0,3
	Wiederherstellbarkeit, Nachbesserungsmöglichkeit	2	15	0,3
			100	2,5
			P_K =	2,5
Kriterium K2	Indikatoren	Punkte P_I	Gewichte G_I	gew. Punkte P_{GI}
Auswirkungen	Beeinträchtigung Betroffener	4	35	1,4
	Beeinträchtigung der Umwelt	3	35	1,05
	Abfallentstehung, -verwertung und -beseitigung	2	30	0,6
			100	3,05
			P_K =	3,05
Kriterium K3	Indikatoren	Punkte P_I	Gewichte G_I	gew. Punkte P_{GI}
Grundstücksqualität	Nutzungsmöglichkeiten	2	60	1,2
	Haftungssicherheit	2	20	0,4
	Stadtstrukturelle Funktionen	2	20	0,4
			100	2
			P_K =	2
		Gesamtbewertung		
Bewertungskriterien	Punkte des Kriteriums P_K		Gewichte G_K	gew. Punkte P_{GK}
K1 Wirksamkeit	2,5		50	1,25
K2 Auswirkungen	3,05		20	0,61
K3 Grundstücksqualität	2		30	0,6
			100	2,46
	gewichtete Punkte des Szenarios:		**P_{SZ} =**	**2,46**

Die gewichteten Punktzahlen der Sanierungsszenarien (P_{SZ}) bez. des Nutzens berechnen sich zu:

$$P_{SZ}\ 1 = 4{,}345$$

$$P_{SZ}\ 2 = 3{,}245$$

$$P_{SZ}\ 3 = 2{,}460.$$

Da beim Sanierungsszenario 1 das Schadstoffzentrum komplett vom Standort beseitigt wird, ist für diese Variante ein höherer Nutzen ermittelt worden als bei beim Szenario 2, wo das ausgehobene Material auf dem Standort in einem Sicherungsbauwerk verbleibt. Dieser Unterschied wird sowohl bei den Kriterien „Wirksamkeit“ und „Grundstücksqualität“ über den Teilnutzen der Indikatoren als auch beim Gesamtnutzen deutlich. Beim Sanierungsszenario 3 berechnen sich aufgrund der vorgesehenen Schadstoffsicherung für die Kriterien „Wirksamkeit“ und „Grundstücksqualität“ deutlich geringere Teilnutzen, was insgesamt trotz einer vergleichbaren Punktzahl für die Kriterien „Beeinträchtigungen Betroffener“, „Beeinträchtigung der Umwelt“ und „Abfallentstehung, -verwertung und -beseitigung“ zu einem geringeren Gesamtnutzen führt.

Die Behandlung des Grundwassers und die bautechnische Aufbereitung der Restfläche ist bei allen drei Sanierungsszenarien gleich und hat damit keinen Einfluss auf die Nutzendifferenz.

3.6.3.2 Berechnung der Kostenbarwerte

Die Szenarienbarwerte (S BW) der drei Sanierungsszenarien wurden bereits im Rahmen der Kostenvergleichsrechnung im Kapitel 3.6.2.1 errechnet (siehe Tabelle 19 bis Tabelle 21) und ergeben für die Sanierungsszenarien bezogen auf i = 3 % p. a. und 80 Jahre folgende Barwerte:

Szenario 1:	S BW 1	=	61.013.143,00 DM,
Szenario 2:	S BW 2	=	34.271.740,00 DM,
Szenario 3:	S BW 3	=	25.083.386,00 DM.

3.6.3.3 Nutzen-Kosten-Verhältnis der Sanierungsszenarien

In Abbildung 31 sind die Kosten und der Nutzen der Sanierungsszenarien in Form von Bewertungsprofilen dargestellt.

Für das Sanierungsszenario 1 zeigt sich deutlich die größte Nutzenfläche gefolgt von den Sanierungsszenarien 2 und 3. Da die Kosten beider Szenarien deutlich über den des Szenarios 3 liegen, kann über diese Darstellungsform allein nicht das am besten geeignete Szenario bestimmt werden.

Ein aussagefähiges Ergebnis liefert erst das Nutzen-Kosten-Verhältnis. Es berechnet sich über den Quotienten aus der gewichteten Punktzahl des Szenarios (P_{SZ}) und dem Szenarienbarwert:

$$\text{Nutzen-Kosten-Verhältnis} = \frac{P_{SZ}}{\text{Szenarienbarwert}}$$

Zur besseren Lesbarkeit wird der Szenarienbarwert mit dem Faktor 10^{-7} multipliziert.

Für die nutzwertanalytische Bewertung der Kriterien „Wirksamkeit", „Auswirkungen" und „Grundstücksqualität" ist das Nutzen-Kosten-Verhältnis der drei Sanierungsszenarien in Tabelle 32 zusammengestellt.

Es zeigt sich, dass auch unter Berücksichtigung des Gesamtnutzens das Sanierungsszenario 3 – wie bereits bei der Kostenvergleichsrechnung – die vorzugswürdige Variante ist.
Weiterhin wird deutlich, dass durch den größeren Nutzen des Szenario 2 dieses insgesamt besser bewertet wird als bei der Kostenvergleichsrechnung.

Tabelle 32 *Nutzen-Kosten-Verhältnisse bezogen auf die Szenarienbarwerte (i = 3 % p. a. und 80 a)*

	Szenario 1	**Szenario 2**	**Szenario 3**
quantifizierter Nutzen	4,345	3,245	2,46
Kosten	61.013.143,00	34.271.740,00	25.083.386,00
Nutzen-Kosten-Verhältnis	0,712	0,947	0,981

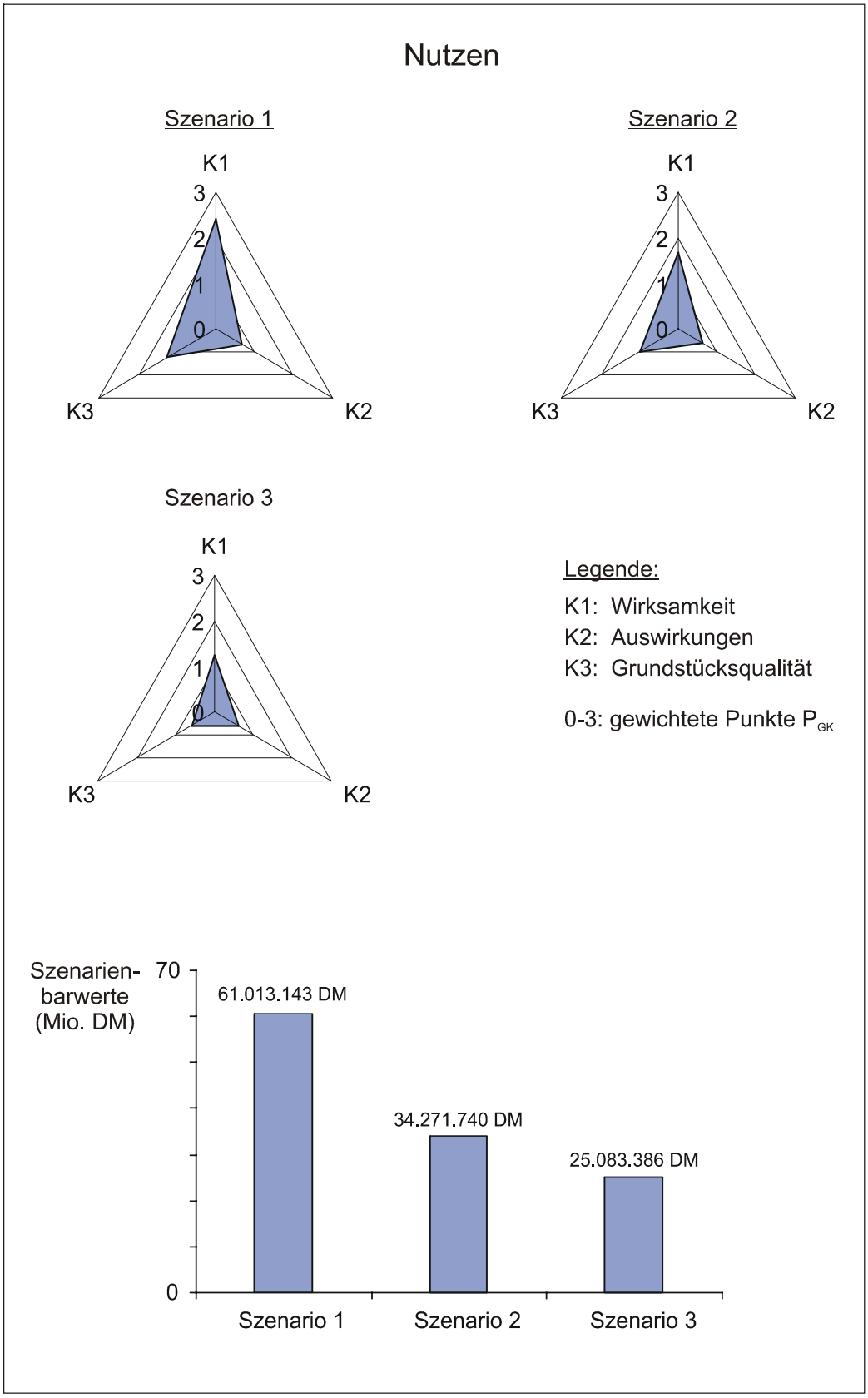


Abbildung 31 *Nutzenprofile der Bewertungskriterien „Wirksamkeit“ (K1), „Auswirkungen“ (K2) und „Grundstücksqualität“ (K3)*

3.6.3.4 Sensitivitätsanalyse

Zur Überprüfung, inwieweit der Nutzenvorteil für das Sanierungsszenario 3 auch bei veränderten Annahmen erhalten bleibt, werden die Nutzen-Kosten-Verhältnisse für nachfolgende Ansätze ermittelt:

- Zinssätze von i = 2 % und 5 % p. a.,
- Untersuchungszeitraum 100 Jahren mit Erneuerung der Sicherungsbauwerke.

Das Sanierungsszenario 1 ist von einem Untersuchungszeitraum von 100 Jahren nicht betroffen, da die Maßnahme nach 10 Jahren abgeschlossen ist und der Szenarienbarwert konstant bleibt.

Die zugrunde gelegten Barwerte wurden im Rahmen der Sensitivitätsanalyse der Kostenvergleichsrechnung ermittelt (siehe Kapitel 3.6.2.3).

In Tabelle 33 bis Tabelle 35 sind die Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen dargestellt.

Tabelle 33 *Nutzen-Kosten-Verhältnisse der Sensitivitätsanalyse bezogen auf einen Zinssatz von i = 2 % p. a. bei einem Untersuchungszeitraum von 80 Jahren*

	Sensitivitätsanalyse (i = 2 % p. a., 80 a)		
	Szenario 1	**Szenario 2**	**Szenario 3**
quantifizierter Nutzen	4,345	3,245	2,46
Kosten	60.620.844,00	35.125.343,00	27.729.802,00
Nutzen-Kosten-Verhältnis	0,717	0,924	0,887

Tabelle 34 *Nutzen-Kosten-Verhältnisse der Sensitivitätsanalyse bezogen auf einen Zinssatz von i = 5 % p. a. bei einem Untersuchungszeitraum von 80 Jahren*

	Sensitivitätsanalyse (i = 5 % p. a., 80 a)		
	Szenario 1	**Szenario 2**	**Szenario 3**
quantifizierter Nutzen	4,345	3,245	2,46
Kosten	61.812.326,00	33.681.178,00	22.197.972,00
Nutzen-Kosten-Verhältnis	0,703	0,963	1,108

Tabelle 35 *Nutzen-Kosten-Verhältnisse der Sensitivitätsanalyse bezogen auf einen Untersuchungszeitraum von 100 Jahren bei einem Zinssatz von i = 3 % p. a.*

	Sensitivitätsanalyse (100 a; i = 3 % p. a.)	
	Szenario 2	**Szenario 3**
quantifizierter Nutzen	3,245	2,46
Kosten	35.072.472,00	26.545.343,00
Nutzen-Kosten-Verhältnis	0,925	0,927

Die Ergebnisse zeigen, dass das investitionsintensive Szenario 1 (Aushub und Thermische Behandlung) trotz des hohen Nutzens von P_{SZ} = 4,345 gegenüber den Szenarien 2 und 3 für einen Zinssatz von 2 % p. a. und 5 % p. a. ein deutlich niedrigeres Nutzen-Kosten-Verhältnis aufweist.

Für das Sanierungsszenario 2 ergeben sich für einen Zinssatz von 2 % p. a. und 5 % p. a. bezogen auf einen Untersuchungszeitraum von 80 Jahren sowie für einen Zinssatz von 3 % p. a. und einen Untersuchungszeitraum von 100 Jahren nahezu vergleichbare Nutzen-Kosten-Verhältnisse:

0,924 (i = 2 % p. a., 80 Jahre)

0,963 (i = 5 % p. a., 80 Jahre)

0,925 (i = 3 % p. a., 100 Jahre).

Beim Sanierungsszenario 3 wird das beste Nutzen-Kosten-Verhältnis für einen Zinssatz von 5 % p. a. berechnet:

0,887 (i = 2 % p. a., 80 Jahre)

1,108 (i = 5 % p. a., 80 Jahre)

0,927 (n = 100 Jahre, i = 3 %).

Es erhöht sich proportional mit dem Zinssatz, was auf die stärkere Diskontierung insbesondere der laufenden Kosten und damit auf einen geringeren Szenarienbarwert zurückzuführen ist.

3.6.3.5 Gesamtbewertung

Für die anstehende Entscheidung welches Sanierungsszenario eine technisch geeignete, ökologische und auch verhältnismäßige Lösung zur Sanierung des Musterstandortes darstellt, liefert erst die Kostenwirksamkeitsanalyse eine ausreichende Beurteilungsbasis, da auch der über die Kriterien „Wirksamkeit", „Auswirkungen" und „Grundstücksqualität" beschriebene Nutzen bei der Berechnung berücksichtigt wird.

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass eine Sicherung des Schadstoffzentrums mittels Dichtwand und Oberflächenabdichtung inkl. Wasserhaltung (Szenario 3) in dem betrachteten Beispiel die am besten geeignete Sanierungslösung darstellt. Dieses Ergebnis wird auch durch die Sensitivitätsanalyse u. a. für einen Untersuchungszeitraum von 100 Jahren (i = 3 % p. a.) mit einer kompletten Erneuerung von Dichtwand und Grundwasserreinigungsanlage bestätigt.

Da für das Sanierungsszenario 2 (Aushub und Sicherungsbauwerk) bei allen Nutzen-Kosten-Verhältnissen vergleichbare Werte ermittelt werden, kann das Szenario 2 als gleichwertig eingestuft werden. Somit empfiehlt es sich, unter Abwägung sämtlicher Randbedingungen zu prüfen, ob durch die Möglichkeit einer sensiblen Folgenutzung im ausgehobenen Bereich mit diesem Szenario eine auf die Interessen der Investoren besser abgestimmte Nutzung der sanierten Fläche möglich ist.

Aus Sicht des Gutachters können die Sanierungsszenarien 2 und 3 unter Nutzen-Kosten-Aspekten als vorzugswürdig vorgeschlagen werden.

3.7 Empfehlungen für die Anwendung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen

Damit gemäß Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) bei den einzelnen Sanierungsszenarien „das Verhältnis von Kosten und Wirksamkeit" geprüft und damit, entsprechend den Grundzügen von Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit, die richtige Entscheidung für eine geeignete, angemessene und verhältnismäßige Sanierungslösung getroffen werden kann, ist es notwendig, eine Nutzen-Kosten-Untersuchung durchzuführen.

Hierbei ist es das Ziel, eine Antwort auf die Frage zu bekommen, welches Sanierungsszenario neben der einfachen Sanierungszielerfüllung bezüglich des erzielbaren technischen, ökologischen und sozialen Nutzens sowie unter Berücksichtigung der anfallenden Kosten im jeweiligen Einzelfall am besten geeignet ist.

Um in Abhängigkeit von den jeweiligen Randbedingungen und Anforderungen des Auftraggebers eine Bewertung von Nutzen und Kosten vornehmen zu können, bieten

sich die Kostenvergleichsrechnung und Kostenwirksamkeitsanalyse an. In Tabelle 36 sind die einzelnen Verfahren mit den jeweiligen Bearbeitungsschritten zusammengefasst.

Die **Kostenvergleichsrechnung** (KVR) ist das einfachste Verfahren und liefert lediglich ein an den Kosten orientiertes Ergebnis. Sie setzt voraus, dass die zu bewertenden Sanierungsszenarien bei der fachlichen Bewertung alle den gleichen Nutzen erzielt haben. Diese Voraussetzung wird in der Praxis nahezu nie erfüllt. Da in Abhängigkeit von der Art des Sanierungsszenarios, beispielsweise bei einer Sicherung gegenüber einer Dekontamination, eine Einschränkung bei den Möglichkeiten der Folgenutzung besteht, ist bei diesem Szenario i. d. R. ein geringerer Nutzen gegeben, auch wenn für die festgelegte Folgenutzung die Sanierungsziele erfüllt werden.

Da bei der Kostenvergleichsrechnung der Nutzen der einzelnen Szenarien nicht mit in die Bewertung eingeht, liefert sie lediglich eine relative Aussage über die kostenmäßige Vorteilhaftigkeit der verschiedenen Szenarien untereinander zur Erbringung des geforderten Sanierungsziels. Über die absolute Vorteilhaftigkeit, d. h., ob der Nutzen eines Sanierungsszenarios größer ist als die Kosten bzw. in welchem Verhältnis diese zu einander stehen, wird keine Aussage getroffen.

Tabelle 36 *Gegenüberstellung der Bewertungsverfahren zur Durchführung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen bei der Sanierungsuntersuchung*

	Kostenvergleichsrechnung KVR	**Kostenwirksamkeitsanalyse KWA**
Zielsetzung	Vorgaben durch den Auftraggeber: Maßnahme zur Gefahrenabwehr bzw. Nutzungsänderung, Sanierungsziel, betroffene Schutzgüter, Folgenutzung	
Ermittlung des Nutzens (fachliche Bewertung)	verbalargumentative Bewertung für Standort und Umfeld	verbalargumentative Bewertung und quantifizierende Bewertung für Standort und Umfeld
	Festlegung der für die Bewertung relevanten Komponenten des Sanierungsszenarios Festlegung der für die einzelnen Komponenten relevanten Indikatoren	
		Ableitung der Bewertungsbereiche und Festlegung der Punkteskala (z. B. 1 – 5)
		Festlegung der Gewichte für Indikatoren und Kriterien
		Ermittlung von Teil- und Gesamtnutzen für die Sanierungsszenarien
Kostenschätzung	Ermittlung der Ausgaben für Vor-, Kern-, bau- und verfahrensbegleitende Leistungen sowie Folgeleistungen bezogen auf Zeitpunkt und Dauer (Darstellung in Kostengruppen) für jedes Sanierungsszenario	
Barwertmethode	Berechnung der Kostenbarwerte und Jahreskosten durch Akkumulation und Diskontierung auf einen Bezugszeitpunkt	
Nutzen-Kosten-Vergleich		Vergleich von quantifiziertem Nutzen mit dem Szenarienbarwert
Sensitivitätsanalyse	Abschätzung der Unsicherheiten bei den getroffenen Ansätzen und Eingangsdaten bei Sanierung, Nachsorge, Kostenschätzung und Barwertmethode und deren Auswirkungen auf die Ergebnisse des Nutzen-Kosten-Vergleichs	
Gesamtbeurteilung	verbalargumentative Aussage zur Eignung der Sanierungsszenarien mit relativer Aussage zum kostengünstigsten Sanierungsszenario (Teilaussage)	absolute Aussage zum insgesamt am besten geeigneten Sanierungsszenario (Gesamtaussage)

Über die Sensitivitätsanalyse kann der Einfluss von Unsicherheiten bei getroffenen Annahmen, insbesondere bezüglich Zinssatz, Untersuchungszeitraum, Preissteigerungen und zugrunde gelegten Leistungs- (Sanierung und Nachsorge) und Kostenansätzen, überprüft und eingegrenzt werden.

Als eigenständiges Bewertungsverfahren reicht die Kostenvergleichsrechnung i. d. R. bei komplexen Fällen mit unterschiedlichem Nutzen der einzelnen Sanierungsszenarien nicht aus. Sie deckt nur einen Teil der Bewertung ab und macht es somit erforderlich, sie in Kombination mit der Kostenwirksamkeitsanalyse anzuwenden.

Die **Kostenwirksamkeitsanalyse** (KWA) ist eine Kombination aus Nutzwertanalyse und Kostenvergleichsrechnung.
Mit der Nutzwertanalyse ist es möglich, auch bezüglich des Nutzens nicht vergleichbare Sanierungsszenarien zu bewerten. Sie ermöglicht es, für die verschiedenen Kriterien und Indikatoren jeweils die entsprechenden Teilnutzen zu berechnen und diese zu einem Gesamtnutzen des Szenarios (d. h. dessen Gesamtwirksamkeit oder Nutzwert) über eine Punktzahl abzubilden. Die nutzwertanalytische Bewertung ist bereits im Rahmen der „Fachlichen Bewertung“, einem der Nutzen-Kosten-Untersuchung vorgeschalteten Arbeitsschritt, durchzuführen.
Grundsätzlich sollte die nutzwertanalytische Bewertung in Kombination mit einer verbalargumentativen Bewertung durchgeführt werden, damit der fachliche Hintergrund für die Quantifizierung der einzelnen Bewertungskriterien nachvollziehbar und inhaltlich begründbar zur Verfügung steht.

Über die Sensitivitätsanalyse kann der Einfluss von Unsicherheiten bei getroffenen Annahmen, insbesondere bezüglich Zinssatz, Untersuchungszeitraum, Preissteigerungen und zugrunde gelegten Leistungs- und Kostenansätzen für die Sanierung und Nachsorge, überprüft und eingegrenzt werden.

Durch die transparente und nachvollziehbare Darstellung von Nutzen und Kosten wird bei der Kostenwirksamkeitsanalyse die getroffene Entscheidung auch für den nichtfachkundigen Entscheidungsträger besser nachvollziehbar.

Der Bearbeitungsaufwand bei einer Kostenwirksamkeitsanalyse ist zwar höher, als wenn nur eine verbalargumentative Bewertung in Kombination mit einer Kostenvergleichsrechnung durchgeführt wird, jedoch kann nur mit ihr eine Bewertung von Nutzen und Kosten vorgenommen werden. Durch die Flexibilität des Verfahrens bietet sich die Möglichkeit, bei der Bewertung des Nutzens auch weitergehende Kriterien, wie z. B. Lage, Attraktivität, Erreichbarkeit der sanierten Fläche oder gesamtwirtschaftlicher Nutzen der Sanierung, zu berücksichtigen.

In Tabelle 37 sind die Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren zusammengefasst.

Besondere Bedeutung gewinnt die Kostenwirksamkeitsanalyse beim Vergleich von Sanierungsszenarien, die kostenmäßig nicht weit auseinander liegen, da hierbei ein unterschiedlicher Nutzen für die Auswahl letztendlich entscheidend ist.

Auch bei öffentlichen Investitionsvorhaben und bei geförderten Projekten ist nur über eine Nutzen-Kosten-Untersuchung eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung möglich. Bei öffentlich geförderten Projekten ist nach den haushaltstechnischen Bestimmungen dafür Sorge zu tragen, dass nur die gesamtwirtschaftlich beste Sanierungsvariante zur Umsetzung kommt und nicht z. B. Varianten mit hohen Investitionskosten anderen Varianten mit hohen laufenden Kosten bzw. Nachsorgekosten gegenüber bevorzugt werden.

Da für die **Kosten-Nutzen-Analyse** (KNA) bisher keine begründbar abgeleiteten Monetisierungsansätze vorliegen, welche die bestehenden altlastspezifischen Randbedingungen berücksichtigen, kann die Kosten-Nutzen-Analyse zur Bewertung alternativer Sanierungsvarianten noch nicht eingesetzt werden.

Tabelle 37 *Vor- und Nachteile der für die Sanierungsuntersuchung empfohlenen Verfahren zur Nutzen-Kosten-Untersuchung*

	Kostenvergleichsrechnung KVR	**Kostenwirksamkeitsanalyse KWA**
Vorteile	• wertmäßiger Vergleich der zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Kosten • Möglichkeit zur Bewertung getroffener Annahmen • transparent und nachvollziehbar	• auch bei nicht gleichwertigen Sanierungsszenarien anwendbar • Bewertbarkeit des Teilnutzens von Bewertungskriterien und Indikatoren mit der Möglichkeit zur Verknüpfung zum Gesamtnutzen • auch für den nicht fachkundigen Entscheidungsträger transparent und nachvollziehbar • über die Sensitivitätsanalyse kann der Einfluss von Unsicherheiten bezüglich getroffener Annahmen eingegrenzt werden
		• die Bewertung besteht auf den Sanierungsrandbedingungen
Nachteile	• nur für vom Nutzen her gleichwertige Sanierungsszenarien geeignet • keine gemeinsame Bewertungsmöglichkeit von Nutzen und Kosten möglich	

Mit dem vorliegenden Leitfaden wird ein Werkzeug vorgelegt, dass es ermöglicht, alle Anforderungen aus der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung nach einer Prüfung „des Verhältnisses von Kosten und Wirksamkeit“ im Einzelfall zu erfüllen und damit die unter Nutzen-Kosten-Gesichtspunkten am besten geeignete Sanierungsvariante ermitteln zu können.

4 Weiterführende Literatur

BBodSchV (Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung)
vom 12. Juli 1999, BGBl I S. 1554

DRESCHMANN, P. 1997:
Studie zur Sanierungsuntersuchung, Forschungsvorhaben des Landesamtes für Umwelt und Geologie. Radebeul: LfUG Sa. 1997.

DRESCHMANN, P., DENKER, M. 1996:
Entwicklung und Validierung eines länderübergreifenden Handlungsrasters bei der Altlastensanierung auf der Grundlage abgeschlossener Sanierungsmaßnahmen, Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes Nr. 103 40 109/04. Berlin: Umweltbundesamt 1996.

GEHRKE, D. 1993:
Die Entwicklung von Sanierungskonzepten für Altstandorte. VDI-Forschungsberichte, Reihe 4 Bauingenieurwesen Nr. 122, Düsseldorf: VDI-Verlag 1993.

Hauptausschuss zur Erarbeitung der Verdingungsordnung für freiberufliche Leistungen (VOF) 1997:
Verdingungsordnung für freiberufliche Leistungen (VOF) mit Zweitem Gesetz zur Änderung des Haushaltsgrundsätzegesetzes, Vergabeverordnung (VgV), Nachprüfungsverordnung (NpV). Köln: Bundesanzeiger Verlag 1997.

ILS (Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen) 1994:
Gewerbegebiete auf Flächen mit Bodenbelastungsverdacht – Arbeitshilfe für die Bauleitplanung. Bausteine für die Planungspraxis in Nordrhein-Westfalen 15. Dortmund: ILS 1994.

ITVA (Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e. V.) 1994:
Arbeitshilfe H1-1 Schadstoffeinbindung durch Verfestigung als Möglichkeit der Immobilisierung. Berlin: ITVA 1994.

ITVA (Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e. V.) 1994:
Arbeitshilfe H1-2 Dekontamination durch Bodenwaschverfahren. Berlin: ITVA 1994.

ITVA (Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e. V.) 1994:
Arbeitshilfe H1-3 Mikrobiologische Verfahren zur Bodendekontamination. Berlin: ITVA 1994.

ITVA (Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e. V.) 1995:
Arbeitshilfe H1-4 Sicherung durch vertikale Abdichtung. Berlin: ITVA 1995.

ITVA (Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e. V.) 1995:
Arbeitshilfe F2-1 Aufschlussverfahren zur Feststoffprobengewinnung für die Untersuchung von Verdachtsflächen und Altlasten. Berlin: ITVA 1995.

ITVA (Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e. V.) 1997:
Arbeitshilfe H1-5 Sanierungsuntersuchung. Berlin: ITVA 1997.

ITVA (Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e. V.) 1997:
Arbeitshilfe H1-6 Thermische Verfahren zur Bodendekontamination. Berlin: ITVA 1997.

ITVA (Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e. V.) 1997:
Arbeitshilfe H1-7 Bodenluftsanierung. Berlin: ITVA 1997.

ITVA (Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e. V.) 1998:
Arbeitshilfe H1-8 Oberflächensicherung. Berlin: ITVA 1998.

ITVA (Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e. V.) 1998:
Arbeitshilfe C5-1 Flächenrecycling. Berlin: ITVA 1998.

ITVA (Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e. V.) 1999:
Arbeitshilfe K1-1 Technisch-organisatorische Anforderungen an die qualitätsgesicherte Altlastensanierung. Berlin: ITVA 1999.

ITVA (Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e. V.) 1999:
Arbeitshilfe H1-10 Hydraulische Maßnahmen. Berlin: ITVA 1999.

ITVA (Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e. V.) 1999:
Arbeitshilfe E1-1 Mindestanforderungen zur Durchführung einer Gefährdungsabschätzung. Berlin: ITVA 1999.

JESSBERGER, H. L., NETELER, T. 1993:
Entwicklung und Beurteilung von Sanierungskonzepten für Altlastenstandorte und Altablagerungen, Bd. 2, Leitfaden zur Bewertung und Auswahl geeigneter Sanierungsverfahren (BESAL). Bochum: Ruhr Universität 1993, (unveröffentlicht).

LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) 1981:
Grundzüge der Nutzen-Kosten-Untersuchungen, Bremen

LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) 1998:
Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien), 6. Auflage, Bayerisches Staatsministerium des Innern, München 1998

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1989:
Emissionen und Umweltauswirkungen von Altlastensanierungsverfahren – hier: Bodenwaschverfahren. Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 1/93. Karlsruhe: LfU BW 1/1989.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1990:
Handbuch für die Einkapselung von Altablagerungen. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 4. Karlsruhe: LfU BW 11/1990.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1990:
Praxisbezogene Grundlagen und Kriterien für eine schadensfallgerechte Anwendung der Bodenluftabsaugung. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 5. Karlsruhe: LfU BW 11/1990.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1991:
Handbuch Mikrobiologische Bodenreinigung. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 7. Karlsruhe: LfU BW 4/1991.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1991:
Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 8. Karlsruhe: LfU BW 7/1991.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1992:
Der Deponiegashaushalt in Altablagerungen – Vorgehensweise und Technik zu seiner Erkundung und Bewertung – (Leitfaden Deponiegas). Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 10. Karlsruhe: LfU BW 10/1992.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1994:
Eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen / Sanierungsvorplanung (E3-4). Materialien zur Altlastensanierung, Bd. 7. Karlsruhe: LfU BW 5/1994.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1994:
Immobilisierung von Schadstoffen in Altablagerungen. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 15. Karlsruhe: LfU BW 11/1994.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1994:
Derzeitige Anwendung und Entwicklungen von Elutionsverfahren. Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 11/94. Karlsruhe: LfU BW 4/1994.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1994:
Literaturstudie – Elutionsverfahren für schwer lösliche organische Schadstoffe in Boden- und Abfallproben. Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 12/94. Karlsruhe: LfU BW 4/1994.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1994:
UV-Oxidation in der Gasphase – Verfahrensprinzip und Einsatzbereiche der UV-Oxidation zur Abreinigung kontaminierter Luft. Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 13/94. Karlsruhe: LfU BW 11/1994.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1994:
Kompendium Stoffdatenblätter – Zusammenstellung spezifischer Kenndaten (phys.-chem. Daten, Toxizität, Umweltrelevanz, Richtwerte) zu altlastentypischen Substanzen. Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 14/94. Karlsruhe: LfU BW 11/1994.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1995:
Hydraulische und pneumatische in-situ-Verfahren. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 16. Karlsruhe: LfU BW 10/1995.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1995:
Grundwasserreinigung bei der Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 17. Karlsruhe: LfU BW 11/1995.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1995:
Leitfaden Recht. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 18. Karlsruhe: LfU BW 11/1995.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1995:
Methodensammlung – Teil 1: Methoden zur Grundwassererkundung. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 20. Karlsruhe: LfU BW 11/1995.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1995:
Sicherung von bestehenden Bauten gegen Gefahren durch Deponiegas – Objektschutz. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 21. Karlsruhe: LfU BW 11/1995.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1995:
Sicherung von Altlasten mit Schlitz- und Schmalwänden. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 23. Karlsruhe: LfU BW 11/1995.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1995:
Sanierung von bestehenden Bauten gegen Gefahren durch Deponiegas-Objektschutz. Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle/Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 21. Karlsruhe: LfU BW 1995.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1996:
Leitfaden Erkundungsstrategie Grundwasser. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 19. Karlsruhe: LfU BW 1/1996.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1996:
Altablagerungen in der Flächennutzung. Materialien zur Altlastenbearbeitung, Band 22. Karlsruhe: LfU BW 8/1996.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1996:
Umweltverträglichkeit von Oberflächenabdichtungen – zur Sicherung von Altablagerungen mit überwiegendem Hausmüllanteil. Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 19/95. Karlsruhe: LfU BW 7/1995.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1996:
Umweltverträglichkeit von Oberflächenabdichtungen – zur Sicherung von Altablagerungen – Workshop bei der LfU am 22.11.1994. Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 20/95. Karlsruhe: LfU BW 7/1995.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1996:
Vorgehensweise bei Verdacht auf Untergrundkontaminationen durch Holzschutzmittelanwendung. Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 21/95. Karlsruhe: LfU BW 12/1995.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1996:
Katalytische Oxidation in der Gasphase. Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 22/96. Karlsruhe: LfU BW 1/1996.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1996:
Literaturstudie Reaktive Wände – pH-Redox-reaktive Wände. Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 24/96. Karlsruhe: LfU BW 5/1996.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1996:
Mikrobiologische Verfahren bei der Altlastenbearbeitung. Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 29/96. Karlsruhe: LfU BW 1996.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1997:
Technologien zur Abluftreinigung bei Bodenluftsanierungen – Verfahrensvorauswahl. Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 30/96. Karlsruhe: LfU BW 1997.

LfU BW (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) 1997:
Bodenbehandlungsanlagen in der Bundesrepublik Deutschland – Erhebung, Stand November/Dezember 1996. Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 31/96. Karlsruhe: LfU BW 1997.

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

LfUG Sachsen (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie) 1996:
Immobilisierung von Schadstoffen in Altlasten. Materialien zur Altlastenbehandlung, Heft 1/96. Radebeul: LfUG Sa. 1996.

LfUG Sachen (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie) 1996:
Simulation von Strömungs- und Transportprozessen im Rahmen der Altlastenbehandlung. Materialien zur Altlastenbehandlung, Heft 6/96. Radebeul: LfUG Sa. 1996.

LfUG Sachsen (Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie) 1999:
Laborative Vorversuche im Rahmen der Sanierungsuntersuchung und Sanierung (Batch- und Säulentests). Materialien zur Altlastenbehandlung, 1999.

LUA NW (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen) 1995:
Anforderungen an Gutachter, Untersuchungsstellen und Gutachten bei der Altlastenbearbeitung. Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, Band 11. Essen: LUA NW 1995.

LUA NW (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen) 1997:
Sachverständige bei der Bearbeitung von Altlasten, Merkblatt Nr. 9. Essen: LUA NW Juli 1997.

LUA NW (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen) 1997:
Auswertung der Erfahrungen aus durchgeführten Sicherungsmaßnahmen bei Altlasten. Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Bd. 3. Essen: LUA NW 1997.

LUA NW (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen) 1997:
Gefäßversuche zum mikrobiellen Abbau von PAK. Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz. Bd. 4. Essen: LUA NW 1997.

LUA NW (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen) 1998:
Leistungsbuch Altlastensanierung und Flächenentwicklung. Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz, Bd. 5. Essen: LUA NW 1998.

LWA (Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen) 1993:
Oberflächenabdichtung für Deponien Nr. 4/93. Essen: LWA 1993.

LWA (Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen) 1994:
Feldversuche zur mikrobiologischen Sanierung eines PAK-belasteten Bodens (ehemaliger Gaswerkstandort in Solingen-Ohligs). Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, Band 10. Essen: LWA 1994.

MURL NW (Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen) 1995:
Sanierungsplan nach § 31 Abs. 4 LAbfG Erlass vom 03.08.1995, AZ IV A4-503.2. Düsseldorf: MURL NW 1995.

MURL NW (Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen) 1994:
Altlasten-ABC, 3. Ausgabe. Düsseldorf: MURL NW 1994.

MURL NW (Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen) 1994:
Hinweise zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, 2. Auflage, 2. und 3. Lieferung. Düsseldorf: MURL NW 1994.

NETELER, T. 1995:
Bewertungsmodell für die nutzungsbezogene Auswahl von Verfahren zur Altlastensanierung. Schriftenreihe des Instituts für Grundbau, Heft 23. Bochum: Ruhr-Universität Bochum 1995.

SELKE, W., HOFFMANN, B. 1992:
Kommunales Altlastenmanagement – Regionale Inventur kontaminationsverdächtiger Flächen, Vorsorgekonsequenzen, Nachsorgeprioritäten, Untersuchungskonzepte am Einzelstandort. Praxis der Altlastensanierung, Band 3. Bonn: Economica Verlag 1992.

SRU (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) 1989:
Sondergutachten Altlasten. Bonn: Metzler-Poeschel Verlag 1989.

SRU (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) 1995:
Altlasten II - Sondergutachten. Stuttgart: Metzler-Poeschel Verlag 1995.

UBA (Umweltbundesamt) 1994:
UBA-Berichte 3/94 Handbuch – Kommunales Altlastenmanagement – Ein praktischer Leitfaden – Orientierungshilfe zum verträglichen Umgang mit Altlasten. Forschungsbericht 120302122 des BMU, Berlin: Erich Schmidt Verlag 1994.

UBA (Umweltbundesamt) 1997:
Revitalisierung von Altstandorten versus Inanspruchnahme von Naturflächen, Gegenüberstellung der Flächenalternativen zur gewerblichen Nutzung durch qualitative, quantitative und monetäre Bewertung der gesellschaftlichen Potentiale und Effekte, Forschungsvorhaben Nr. 103 40 119, erstellt von der Arbeitsgemeinschaft focon/WCI

5 Anhang 1

Schadstoffmatrizes

1. Vorbemerkungen

Bei Durchführung einer Sanierungsuntersuchung sind im Rahmen der Vorauswahl und der fachlichen Bewertung innerhalb der Machbarkeitsstudie die Dekontaminationsverfahren auf die jeweilige schadstoffspezifische Eignung zu überprüfen. Zur Unterstützung bei der Eignungsprüfung ist nachfolgend für jede der dargestellten Schadstoffgruppen eine Schadstoffmatrix abgebildet (Matrix 1 - 19). Als Einzelschadstoffe wurden die Stoffe der LAGA-Liste (LAGA-Informationsschrift Altablagerungen und Altlasten, Erich Schmidt Verlag, 1991) ergänzt um einige weitere Stoffe ausgewählt und dargestellt. Die Schadstoffmatrizes enthalten Eignungsaussagen für die Einzelstoffe der jeweiligen Schadstoffgruppe bezüglich thermischer Verfahren, biologischer Verfahren, Waschverfahren, aktiver pneumatischer Verfahren und aktiver hydraulischer Verfahren.

Weitergehende Stoffdaten zu den jeweiligen Einzelstoffen sind dem Anhang 3 zu entnehmen.

Die Aussagen über die schadstoffspezifische Eignung der Dekontaminationsverfahren basieren weitgehend auf der Festlegung derjenigen physikalischen Parameter, welche für die Abtrennung des Schadstoffes aus der Bodenmatrix ursächlich verantwortlich sind. Bei der Ableitung der Eignungsaussagen wurde davon ausgegangen, dass sich ein Stoff umso besser aus dem Boden entfernen lässt, je größer die für den Stofftransport maßgebende Größe ist (z.B. das Verhältnis der Siedetemperatur eines Schadstoffes zur Behandlungstemperatur bei thermischen Verfahren). Die Eignungsaussagen wurden durch Aussagen der fachspezifischen Literatur, sowie durch Ergebnisse einer Umfrage bei den Anbietern von Verfahren und deren Selbstbeurteilung überprüft und ggf. sinnvoll ergänzt.

Technisch sind die Verfahrensgrenzen oft nicht in dem Maße präzisierbar, wie es die Festlegung von abgrenzenden Eignungsaussagen fordert. Dies gilt insbesondere deshalb, da bei einer Behandlung meist unterschiedliche chemische, physikalische

und mineralogische Eigenschaften zusammenwirken und somit die Begrenzung der Betrachtung auf nur eine Stoffgröße eine starke Vereinfachung darstellt.

Eine notwendige Vereinfachung ergab sich z.B. bezüglich des Temperaturbereiches von thermischen Behandlungsanlagen. Pyrolyseanlagen erreichen i.d.R. eine maximale Behandlungstemperatur von ca. 550°C, andere thermische Behandlungsanlagen (Verbrennungsanlagen) werden bei Temperaturen > 1200°C betrieben. Bei der Beurteilung thermischer Verfahren wurde eine Temperatur von 1200°C zugrundegelegt.

Bei der Beurteilung von Waschverfahren ist zu beachten, dass der Aufschluss schwerpunktmäßig von der Bodenzusammensetzung und weniger von den chemisch-physikalischen Stoffeigenschaften der Schadstoffe abhängt.

In-situ-Reinigungswände (durchströmte Wände, funnel-and-gate) sowie monitored natural-attenuation sind explizit nicht Gegenstand der nachfolgenden Betrachtung, da für diese noch keine ausreichenden Praxiserfahrungen vorliegen, um Eignungsgrenzen angeben zu können.

Tabelle: Schadstoffmatrizes 1 - 19 für die Schadstoffgruppen (siehe auch Anhang 3)

Matrix 1 :	Metalle und Metallverbindungen
Matrix 2 :	Schwermetalle und Schwermetallverbindungen
Matrix 3 :	Cyanide und Cyanverbindungen
Matrix 4 :	Phophor- und Schwefelverbindungen
Matrix 5 :	Stickstoff- und Stickstoffverbindungen
Matrix 6 :	Sonstige anorganische Verbindungen
Matrix 7 :	Aliphatische Kohlenwasserstoffe und Derivate
Matrix 8 :	Aliphatische halogenierte Kohlenwasserstoffe und Derivate
Matrix 9 :	Zyklische Kohlenwasserstoffverbindungen
Matrix 10 :	Aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen
Matrix 11 :	Aromatische halogenierte Kohlenwasserstoffe
Matrix 12 :	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen
Matrix 13 :	Polycyclische aromatische chlorierte Kohlenwasserstoffverbindungen
Matrix 14 :	Polychlorierte Biphenyle
Matrix 15 :	Hydroxylbenzole
Matrix 16 :	Aromatische Alkohole
Matrix 17 :	Aromatische Nitroverbindungen
Matrix 18 :	Aromatische Amine
Matrix 19 :	Heterozyklische und heterozyklisch halogenierte Verbindungen

2. Schadstoffmatrizes

MATRIX 1	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Metalle und Metallverbindungen () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1. Beryllium (14)	☐	☐	■	☐

Legende:

☐ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 1 : Metalle und Metallverbindungen

MATRIX 2	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Schwermetalle und Schwermetallverbindungen () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1. Antimon (7)	☐	☐	■	☐
2. Blei (15)	☐	☐	■	☐
3. Cadmium (16)	◯	☐	■	☐
4. Kupfer (46)	☐	☐	■	☐
5. Nickel (52)	☐	☐	■	☐
6. Thallium (72)	☐	☐	■	☐
7. Vanadium (82)	☐	☐	■	☐
8. Zink (85)	◯	☐	■	☐
9. Quecksilber (58)	◯	☐	■	☐
10. Chrom (21)	☐	☐	■	☐

Legende:

☐ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 2 : Schwermetalle und Schwermetallverbindungen

MATRIX 3	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Cyanide und Verbindungen () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1. Cyanide (22)	◯	☐	■	?
2. Thlocyanat (73)	?	☐	■	?
3. Rhodanwasserstoff (Thiocyansäure) (59)	■	☐	■	?

Legende:

☐ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 3 : Cyanide und Cyanverbindungen

MATRIX 4	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Phosphor- und Schwefelverbindungen () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1. Schwefel (61)	■	☐	■	☐

Legende:

☐ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 4 : Phosphor- und Schwefelverbindungen

MATRIX 5	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Stickstoff und Verbindungen () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
Keine Einzelstoffe in der LAGA-Liste enthalten.				

Legende:

☐ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 5 : Stickstoff und Stickstoffverbindungen

MATRIX 6	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: sonstige anorganische Verbindungen () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1. Ammoniumfluorid (4)	?	☐	■	☐
2. Arsen (8)	■	☐	■	☐
3. Asbest (9)	☐	☐	■	☐
4. Fluoride (39)	☐	☐	■	?
5. Siliciumtetrafluorid (63)	■	☐	■	?
6. Kohlendioxid (44)	■	☐	◯	■
7. Magnesiumchlorid (47)	☐	☐	■	☐
8. Säuren/Basen (60)	◯	☐	■	?
9. Selen (62)	■	☐	■	☐
10. Fluorwasserstoff (40)	■	☐	◯	◯

Legende:

☐ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 6 : Sonstige anorganische Verbindungen

MATRIX 7	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Aliphatische Kohlenwasserstoffe () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1. Acrylnitril (2)	■	■	■	■
2. Mineralöl (50)	■	■	■	□
3. Methan (49)	■	◯	◯	■
4. Benzin (10)	■	■	■	E

Legende:

□ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt
E hängt von der Flüchtigkeit der Einzelsubstanzen und vom Dampfdruck ab

Matrix 7 : Aliphatische Kohlenwasserstoffe und Derivate

MATRIX 8	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Aliphatische halogenierte Kohlenwasserstoffe () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1. 1,1,,2,2-Tetrachlorethan (68)	■	□	■	◯
2. Dichlorethan (26/27)	■	◯	■	■
3. 1,2-Dibromethan (24)	■	□	■	■
4. 1,2-Dichlorpropan (32)	■	◯	■	■
5. Trichlorethan (76/77)	■	◯	■	■
6. Trichlormethan (79)	■	◯	■	■
7. Epichlorhydrin (35)	■	□	■	■
8. Tetrachlorethen (69)	■	□	■	■
9. Tetrachlormethan (70)	■	□	■	■
10. Tetraethylblei (71)	■	□	■	□
11. Trichlorethen (78)	■	◯	■	■
12. Vinylchlorid (83)	■	◯	■	■
13. Dichlorethen (28/29)	■	◯	■	■
14. Dichlormethan (30)	■	◯	■	■

Legende:

□ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 8 : Aliphatische halogenierte Kohlenwasserstoffe

MATRIX 9	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Zyclische halogenierte Kohlenwasserstoff-verbindungen () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1. 1,2,3,4,5,6-Hexachlorcyclohexan (43)	■	□	■	□

Legende:

□ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 9 : Zyclische halogenierte Kohlenwasserstoffverbindungen

MATRIX 10	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1. Benzol (11)	■	■	■	■
2. Ethylbenzol (36)	■	■	■	◯
3. Mesitylen (48)	■	■	■	◯
4. o-Xylol (84)	■	◯	■	◯
5. Teeröle (67)	■	◯	■	□
6. Toluol (74)	■	■	■	■
7. m-, p-Xylol (86/87)	■	◯	■	■

Legende:

□ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 10 : Aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen

MATRIX 11	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Aromatische halogenierte Kohlenwasserstoff-verbindungen () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1. Adrin (3)	■	□	■	□
2. 1,2,4-Trichlorbenzol (75)	■	□	■	□
3. Chlorbenzol (17)	■	◯	■	■
4. DDT (23)	■	□	■	□
5. Dichlorbenzole (25)	■	□	■	□
6. Hexachlorbenzol (42)	■	□	■	□
7. Pentachlorphenol (54)	■	□	■	□
8. 2-Chlorphenol (20)	■	◯	■	◯
9. 2,4-Dichlorphenol (31)	■	◯	■	□
10. 2,4,6-Trichlorphenol (80)	■	□	■	□

Legende:

□ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 11 : Aromatische halogenierte Kohlenwasserstoffverbindungen

MATRIX 12	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoff-verbindungen () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1. Acenaphthen (1)	■	◯	■	☐
2. Anthrazen (6)	■	◯	■	☐
3. Benzo(a)pyren (12)	■	☐	■	☐
4. Fluoranthen (37)	■	◯	■	☐
5. Fluoren (38)	■	◯	■	☐
6. Phenanthren (55)	■	◯	■	☐
7. Steinkohlenteer (64)	?	☐	■	☐
8. Acenaphthylen (88)	■	◯	■	☐
9. Pyren (89)	■	◯	■	☐
10. Benzo(a)anthracen (90)	■	◯	■	☐
11. Chrysen (91)	■	◯	■	☐
12. Benzo(b)fluoranthen (92)	■	☐	■	☐
13. Benzo(k)fluoranthen (93)	■	◯	■	☐
14. Indeno(1,2,3-cd)pyren (94)	?	☐	■	☐
15. Dibenzo(a,h)anthracen (95)	■	☐	■	☐
16. Benzo(ghi)perylen (96)	■	☐	■	☐
17. Naphtalin (51)	■	◯	■	☐

Legende:

☐ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 12 : Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen

MATRIX 13	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Polycyclische aromatische chlorierte Kohlenwasserstoffverbindungen () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1-Chlornaphthalin (19)	■	□	■	□

Legende:

□ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 13 : Polycyclische aromatische chlorierte Kohlenwasserstoffverbindungen

MATRIX 14	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Polychlorierte Biphenyle () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
4-Chlorbiphenyl (18)	■	□	■	□

Legende:

□ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 14 : Polychlorierte Biphenyle

MATRIX 15	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Hydroxylbenzole () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1. Phenol (56)	■	■	■	☐
2. Phenolphthalein (57)	?	■	■	☐
3. o-Kresol (45)	■	■	■	☐

Legende:

☐ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 15 : Hydroxylbenzole

MATRIX 16	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Aromatische Alkohole () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1. Benzylalkohol (13)	■	■	■	☐

Legende:

☐ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 16 : Aromatische Alkohole

MATRIX 17	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Aromatische Nitroverbindungen () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1. 2,4 Dinitrophenol (33)	?	☐	■	☐
2. 2,4 Dinitrotoluol (34)	■	☐	■	☐
3. Nitrobenzol (53)	■	☐	■	☐
4. Trinitrotoluol (81)	■	☐	■	?

Legende:

☐ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 17 : Aromatische Nitroverbindungen

MATRIX 18	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Aromatische Amine () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1. Anilin (5)	■	☐	■	☐

Legende:

☐ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 18 : Aromatische Amine

MATRIX 19	Dekontaminationsverfahren			
Schadstoffgruppe: Heterozyclische Verbindungen () = Nummer gemäß Stoffdatensammlung, Anhang 3	thermische Verfahren	biologische Verfahren	Waschverfahren	aktive pneumatische Verfahren
1. Furan (41)	■	□	■	■
2. 2,3,7,8-TCDD (66)	■	□	■	□

Legende:

□ i.d.R. nicht geeignet
◯ bedingt geeignet
■ i.d.R. geeignet
? unbekannt bzw. großtechnisch noch nicht erprobt

Matrix 19 : Heterozyclische Verbindungen

Anhang 2

Einsatzmöglichkeiten von aktiven Grundwasser-Sanierungsverfahren

1. Vorbemerkungen

Welches Grundwasserreinigungsverfahren bei einem konkreten Sanierungsfall eingesetzt werden kann, wird von Art und Konzentration der im Grundwasser enthaltenen Schadstoffe und vorhandener Begleitstoffe bestimmt. Anhand des Schadstoffinventars kann eine erste Abschätzung vorgenommen werden, welche Reinigungsverfahren generell zur Sanierung der vorliegenden Grundwasserverunreinigung geeignet sind. In Tabelle 1 sind die am häufigsten auftretenden Grundwasserverunreinigungen den gängigsten Reinigungsverfahren gegenübergestellt.

Für die Entfernung der meisten Schadstoffgruppen kommen verschiedene Verfahren in Frage, die jedoch unterschiedlich gut geeignet sind. Daher wurde in der Tabelle eine Bewertung mit ‘gut', ‘mäßig' und ‘schlecht' geeignet vorgenommen. Ein ‘-' bedeutet, dass das betreffende Verfahren zur Entfernung dieses Schadstoffes nicht einsetzbar ist.

In-situ-Reinigungswände (durchströmte Wände, funnel-and-gate) sowie monitored natural-attenuation sind nicht explizit Gegenstand der nachfolgenden Betrachtung, da für diese Maßnahmen noch keine ausreichend abgesicherten Praxiserfahrungen vorliegen und daher zuverlässig noch keine Einsatzgrenzen angegeben werden können.

Tabelle 1: Generelle Eignung von Grundwasserreinigungsverfahren für die Entfernung von bestimmten Schadstoffen

	Nass-aktivkohle	Strippen	Mikro-biologie	Oxidation	Ionen-austausch	Membran
LHKW	gut	gut	im Labor möglich	gut	-	im Labor möglich
schwerflüchtige CKW	gut	schlecht	im Labor möglich	gut	-	im Labor möglich
BTEX	gut	gut	gut	gut	-	im Labor möglich
Mineralöl (H18)	gut	mäßig (nur leichtfl. Anteile)	gut	gut	-	gut
PAK	gut	-	mäßig	mäßig	-	mäßig
Phenole	gut	-	gut	-	-	gut
Cyanide (komplex)	-	-	-	gut (mit UV)	schlecht	mäßig
Cyanide (frei)	-	-	mäßig	gut	gut	schlecht
Schwermetalle	-	-	-	-	gut	mäßig

Die Angaben in der Tabelle beziehen sich immer auf gesamte Stoffgruppen, so dass Ausnahmen von den angegebenen Einsatzbereichen möglich sind. Das relativ leichtflüchtige PAK Naphthalin kann z. B. durch Strippen entfernt werden, obwohl das Verfahren für PAK als Gesamtstoffgruppe nicht einsetzbar ist. Die Anwendbarkeit mikrobieller Verfahren ist stark von den Einzelsubstanzen einer Stoffgruppe abhängig. Während Naphthalin relativ gut abbaubar ist, werden hochsiedende PAK teilweise nur sehr schwer abgebaut. Da die Bewertungen in der Tabelle pauschalisiert sind, muss der ersten Einschätzung eine genauere Prüfung folgen.

Ist die Verunreinigungssituation vor Ort bekannt, können mit Hilfe der nachfolgenden Tabellen detailliertere Informationen für eine schadstoffspezifische Verfahrensauswahl gewonnen werden. In den Tabellen 2 bis 10 sind für die Schadstoffe BTEX, LHKW, Cyanide, Schwermetalle, Mineralölkohlenwasserstoffe, PAK, schwerflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe sowie Pestizide, Phenole und Ammonium die einsetzbaren Reinigungsverfahren zusammengestellt und nach ihrer Bedeutung in der Praxis (‘Häufigkeit des Einsatzes') beurteilt. Mit Hilfe der Informationen über den Einsatzbereich und den Angaben zu den typischen Reinigungsendwerten, die für einen Schadstoff i.d.R. durch das betreffende Reinigungsverfahren erreicht werden, kann für einen konkreten Sanierungsfall die in Frage kommende Technik zusammengestellt werden. In der Spalte ‘Verfahrenstechnisch wichtige Begleitstoffe/Parameter' werden Hinweise zu einzuhaltenden Störstoffkonzentrationen bzw. Größenordnungen für verfahrenstechnisch bedeutsame Parameter gegeben.

Stör- und Trübstoffe haben je nach eingesetztem Verfahren einen mehr oder weniger großen Einfluss auf den Verlauf einer Grundwassersanierung. Um eine unnötige Belastung der Anlagen und eine damit verbundene Kostenerhöhung (z. B. erhöhter Oxidationsmittelverbrauch durch die Mitoxidation von Eisen und Mangan) zu vermeiden, empfiehlt es sich in den meisten Fällen, diese Stoffe vor der eigentlichen Reinigung zu entfernen. In den Tabellen 11 und 12 sind die gängigsten Vorbehandlungsverfahren für die am häufigsten auftretenden Störstoffe Eisen, Mangan und Trübstoffe zusammengestellt. Ob eine Vorbehandlung tatsächlich notwendig ist, hängt vor allem von Art und Konzentration der im Grundwasser enthaltenen Störstoffe ab. Der Spalte ‘Verfahrenstechnisch wichtige Begleitstoffe oder Parameter' der Tabellen 2 - 10 kann entnommen werden, ab welcher Konzentration eine Entfernung der Störstoffe dem Behandlungsverfahren vorgeschaltet werden sollte. Die definitive Auswahl des Haupt- und Vorbehandlungsverfahrens sowie die Zusammenstellung von mehrstufigen Reinigungsanlagen sollte jedoch auf der Grundlage einer gutachterlichen Empfehlung mit detaillierter Einzelfallprüfung getroffen werden.

2. Stoffspezifische Einsatzgrenzen für Grundwasser-Behandlungsverfahren (Tab. 2-10)

Tabelle 2: Reinigungsverfahren bei Kontaminationen durch BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol)

Reinigungs-verfahren	Verfahrenstechnisch wichtige Begleitstoffe/ Parameter	Einsatz-bereich	typische Reinigungs-endwerte	Häufigkeit des Einsatzes
Luft-Strippen	Schwebstoffgehalt klein Fe < ca. 5 mg/l	unbegrenzt für gelöste Komponenten	1 - 10 µg/l	häufig
Nassaktivkohle-Adsorption	Schwebstoffgehalt klein Fe < ca. 1 mg/l	unbegrenzt für gelöste Komponenten	1 - 20 µg/l	häufig
Biologische Verfahren	pH 6 - 9 Temperatur > 5°C Fe < 5 mg/l genügend Nährstoffe und Spurenelemente	bis ca. 50 - 100 mg/l	20 - 50 µg/l	zunehmend
Chemische Oxidation (UV-Oxidation)	Schwebstoffgehalt klein Fe < ca. 1 mg/l Mn < ca. 1 mg/l Radikalfänger z. B. Carbonate und Bicarbonate weitgehend entfernen (< 100 mg/l)	< 10 mg/l	1 - 10 µg/l	selten

Tabelle 3: Reinigungsverfahren bei Kontaminationen durch LHKW (leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe, z. B. Trichlorethen (TRI), Tetrachlorethen (PER), Chlorethen (Vinylchlorid))

Reinigungs-verfahren	Verfahrenstechnisch wichtige Begleitstoffe/Parameter	Einsatz-bereich	typische Reinigungs-endwerte	Häufigkeit des Einsatzes
Luft-Strippen	Schwebstoffgehalt klein Fe < 5 mg/l	unbegrenzt für gelöste Komponenten	< 1 - 10 µg/l	häufig
Nassaktivkohle-Adsorption	Schwebstoffgehalt klein Fe < ca. 1 mg/l	unbegrenzt für gelöste Komponenten	10 - 20 µg/l	häufig
Chemische Oxidation (UV-Oxidation)	Schwebstoffgehalt klein Fe < 1 mg/l Radikalfänger z. B. Carbonate und Bicarbonate weitgehend entfernen (< 100 mg/l)	< 10 mg/l	< 1 - 10 µg/l	selten
Biologische Verfahren	anaerob und methanothroph	noch unbekannt	noch unbekannt	noch nicht (in der Entwicklung)

Tabelle 4: Reinigungsverfahren bei Kontaminationen durch Cyanide (freie Cyanide (CN^-), Thiocyanat (SCN^-), komplex gebundene Cyanide ($[M_n^{x+}(CN)_m^-]^{y+}$)

Reinigungs-verfahren	Verfahrenstechnisch wichtige Begleitstoffe/Parameter	Einsatz-bereich	typische Reinigungs-endwerte	Häufigkeit des Einsatzes
Chemische Oxidation (UV-Oxidation)	Schwebstoffgehalt klein Fe < ca. 1 mg/l Radikalfänger wie z. B. Carbonate und Bicarbonate (< 100 mg/l) entfernen	unbegrenzt	10 µg/l	häufig
Ionenaustausch	Schwebstoffgehalt klein Fe < ca. 2 mg/l Mn < ca. 2 mg/l	bis ca. 500 mg/l nicht alle komplex gebundenen Cyanide behandelbar	3 - 10 µg/l	häufig
Biologische Verfahren	Schwebstoffgehalt klein Temperatur > 5 °C Fe < 5 mg/l Genügend Nährstoffe und Spuren-elemente	begrenzt auf freies Cyanid (CN^-) und Thiocyanat (SCN^-)	1 - 10 µg/l möglich	selten
Umkehrosmose	Schwebstoff- und Störstoffgehalte klein	unbegrenzt	ca. 10 µg/l (bei Deponie-sickerwasser-reinigung)	selten

Tabelle 5: Reinigungsverfahren bei Kontaminationen durch Schwermetalle (z. B. As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)

Reinigungs-verfahren	Verfahrenstechnisch wichtige Begleitstoffe/Parameter	Einsatzbereich	typische Reinigungsendwerte	Häufigkeit des Einsatzes
Fällung	optimaler pH-Wert keine oder nur schwache Kom-plexbildner	unbegrenzt	100 - 500 µg/l	häufig
Ionenaustausch	Schwebstoffgehalt klein Fe < ca. 2 mg/l Mn < ca. 2 mg/l keine starken Komplexbildner	bis ca. 500 mg/l	2 - 10 µg/l	mittel
Umkehrosmose	Schwebstoff- und Störstoffgehalte klein		1 - 10 µg/l möglich	selten

Tabelle 6: Reinigungsverfahren bei Kontaminationen durch Mineralölkohlenwasserstoffe (Aliphate)

Reinigungs-verfahren	Verfahrenstechnisch wichtige Stoffe/Parameter	Einsatz-bereich	typische Reinigungs-endwerte	Häufigkeit des Einsatzes
Nassaktivkohle-Adsorption	Schwebstoffgehalt klein Fe < ca. 1 mg/l	unbegrenzt für gelöste Stoffe (< 50 mg/l)	ca. 50 µg/l	häufig
Biologische Verfahren	Schwebstoffgehalt klein Temperatur > 5 °C Fe < 5 mg/l genügend Nährstoffe und Spurenelemente	begrenzt auf gelöste leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe	< 50 - 100 µg/l	häufig
Luft-Strippen	Schwebstoffgehalt klein Fe < 5 mg/l	sehr begrenzt auf leichtflüchtige Kohlen-wasserstoffe	1 - 10 µg/l für leicht-flüchtige	selten
Chemische Oxidation (UV-Oxidation)	Schwebstoffgehalt klein Fe < 1 mg/l Radikalfänger z. B. Carbonate und Bicarbonate weitge-hend entfernen (< 100 mg/l)	bis ca. 10 mg/l	100 - 500 µg/l	selten
Ölabscheidung, Skimmer		nur für dispergierte bzw. Kohlenwasser-stoffe in Phase	< 20 mg/l < 5 mg/l (Koaleszenzabschei-der)	häufig

Tabelle 7: Reinigungsverfahren bei Kontaminationen durch PAK (Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe)

Reinigungs-verfahren	Verfahrenstechnisch wichtige Begleitstoffe/Parameter	Einsatz-bereich	typische Reinigungs-endwerte	Häufigkeit des Einsatzes
Nassaktivkohle-Adsorption	Schwebstoffgehalt klein Fe < ca. 1 mg/l	bis Sättigung	0,5 - 5 µg/l	häufig
Chemische Oxidation (UV-Oxidation)	Schwebstoffgehalt klein Fe < ca. 1 mg/l Mn < ca. 1 mg/l Radikalfänger z. B. Carbonate und Bicarbonate weitge-hend entfernen (< 100 mg/l)	bis Sättigung	5 - 10 µg/l	selten
Biologische Verfahren	pH 6 - 9 Temperatur > 5 °C Fe < 10 - 25 mg/l Genügend Nährstoffe und Spurenelemente	begrenzt auf PAK mit niedrigem Siedepunkt	10 - 100 µg/l Naphthalin: 5 - 10 µg/l	zunehmend

Tabelle 8: Reinigungsverfahren bei Kontaminationen durch schwerflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe und Pestizide (z. B. HCH, PCP, Atrazin, PCB)

Reinigungs-verfahren	Verfahrenstechnisch wichtige Begleitstoffe/Parameter	Einsatz-bereich	typische Reinigungs-endwerte	Häufigkeit des Einsatzes
Nassaktivkohle-Adsorption	Schwebstoffgehalt klein Fe < ca. 1 mg/l	unbegrenzt für Stoffe in Lösung	HCH: 0,3 - 5 µg/l PCP: 0,005 µg/l	häufig
Chemische Oxidation (UV-Oxidation)	Schwebstoffgehalt klein Fe < ca. 1 mg/l Mn < ca. 1 mg/l Radikalfänger z. B. Carbonate und Bicarbonate weitgehend entfernen (< 100 mg/l)	noch unbekannt	unbekannt, abhängig von Einzelsubstanz	selten
Biologische Verfahren	pH 6 - 9 Temperatur > 5 °C Fe < 10-25 mg/l genügend Nährstoffe und Spurenelemente	1 - 5 mg/l abhängig von Einzelsubstanz	unbekannt, abhängig von Einzelsubstanz	klein (in der Erprobung)

Tabelle 9: Reinigungsverfahren bei Kontaminationen durch Phenole (z. B. Phenol, o-/m-/p-Kresol, Dimethylphenol)

Reinigungs-verfahren	Verfahrenstechnisch wichtige Begleitstoffe/Parameter	Einsatz-bereich	typische Reinigungs-endwerte	Häufigkeit des Einsatzes
Nassaktivkohle-Adsorption	Schwebstoffgehalt klein Fe < ca. 1 mg/l	unbegrenzt bei gelösten Substanzen	< 10 µg/l	häufig
Biologische Verfahren	pH 6 - 9 Temperatur > 5°C	unbegrenzt bei gelösten Substanzen	10 µg/l	mittel
Chemische Oxidation (UV-Oxidation)	Schwebstoffgehalt klein Fe < ca. 1 mg/l Mn < ca. 1 mg/l Radikalfänger z. B. Carbonate und Bicarbonate weitgehend entfernen (< 100 mg/l)	< 10 mg/l	1 - 10 µg/l	selten

Tabelle 10: Reinigungsverfahren bei Kontaminationen durch Ammonium (NH_4^+)

Reinigungs-verfahren	Verfahrenstechnisch wichtige Begleitstoffe/Parameter	Einsatz-bereich	typische Reinigungs-endwerte	Häufigkeit des Einsatzes
Luft-Strippen	Dosierung von Lauge bis pH 10-11 für Reaktion $NH_4^+ \rightarrow NH_3$	ab 100 mg/l	20 - 100 mg/l	häufig
Ionenaustausch	Schwebstoffgehalt klein	< 100 mg/l	< 1 mg/l	mittel
Biologische Verfahren	Kohlenstoffquelle und evtl. Phosphate für die Mikroorganismen notwendig	10 - 1000 mg/l	ca. 5 mg/l	selten

3. Verfahren zum Abtrennen von Stör- und Trübstoffen aus dem Grundwasser (Tab. 11 und 12)

Tabelle 11: Trennverfahren für die Störstoffe Eisen und Mangan

Trennverfahren	Verfahrenstechnisch wichtige Begleitstoffe/Parameter	Einsatz-bereich	typische Reini-gungs-endwerte	Häufigkeit des Einsatzes
Fällung mit Kies/Sandfiltration	Belüftung des Grundwassers zur Oxidation von Eisen, evtl. pH-Wert-Änderung	bis ca. 20 mg/l	0,1 - 0,5 mg/l	häufig
Fällung mit Sedimentation	Belüftung des Grundwassers zur Oxidation von Eisen, evtl. pH-Wert-Änderung	unbegrenzt für nicht gelö-ste Fe- und Mn-Verbindungen	< 1 mg/l	häufig
Mikrobielle Enteisenung	anschließend Filtration oder Sedi-mentation notwendig pH 6 - 7 Redoxpotential niedrig (40 - 200 mV)	unbegrenzt für gelöste Fe-Verbindungen	abhängig von Nachbehandlung	selten

Tabelle 12: Trennverfahren zur Abtrennung von Trübstoffen (Ton-, Sandpartikel)

Trennverfahren	Verfahrenstechnisch wichtige Begleitstoffe/Parameter	Einsatz-bereich	typische Reinigungs-endwerte	Häufigkeit des Einsatzes
Kies/Sandfiltration		unbegrenzt für nicht gelöste Feststoffe	für Feststoffe bis ca. 25 Tm Korngröße Trübstoffgehalt ca. 1 - 5 mg/l	häufig
Sedimentation		unbegrenzt für nicht gelöste Feststoffe	Trübstoffgehalt ca. 10 - 50 mg/l	häufig

Anhang 3

Stoffdatensammlung zu altlastenrelevanten Stoffen (stoffspezifische physikalische Kenndaten)

Inhalt

1. Vorbemerkungen
2. Übersicht über altlastenrelevante Stoffe
3. Einleitung der Schadstoffe in Stoffgruppen
4. Glossar
5. Stoffdatensammlung
6. Literatur zu Anhang 3

1. Vorbemerkungen

Die nachfolgende Stoffdatensammlung dient zur Beurteilung der schadstoffspezifischen Eignung der Sanierungsverfahren. Die angegebenen Stoffe basieren auf einer Liste der LAGA (LAGA-Informationsschrift Altablagerungen und Altlasten, Erich Schmidt Verlag, 1991). In die nachfolgende Liste sind darüber hinaus weitere altlastenrelevante Stoffe aufgenommen worden.

Die Stoffe wurden gemäß ihrer chemischen Grundstruktur gegliedert, da chemisch ähnlich aufgebaute Stoffe i.d.R. ein chemisch ähnliches Verhalten zeigen. Dies bedeutet nicht, dass sich chemisches und physikalisches Verhalten nicht auch unter chemisch ähnlich strukturierten Stoffen deutlich ändern kann. Daher ist eine Beurteilung des Verhaltens meist auch nur für einzelne Schadstoffe möglich. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass das Zusammenwirken mehrerer Schadstoffe auch das physikalische Verhalten des Einzelschadstoffes beeinflussen kann.

2. Übersicht über altlastenrelevante Stoffe

Lfd. Nr.	Stoff
1	Acenaphthen
2	Acrylnitril (Acrylsäurenitril)
3	Aldrin
4	Ammoniumfluorid
5	Anilin (Aminobenzol)
6	Anthracen
7	Antimon
8	Arsen
9	Asbest
10	Benzin
11	Benzol (Benzene)
12	Benzo(a)pyren (1,2-Benzpyren)
13	Benzylalkohol (Phenylmethanol)
14	Beryllium
15	Blei
16	Cadmium
17	Chlorbenzol

Lfd. Nr.	Stoff
18	Chlorbiphenyl (4-)
19	Chlornaphthalin (1-)
20	Chlorphenol (2-)
21	Chrom
22	Cyanide
23	DDT (P,p'-DDT)
24	Dibromethan (1,2-) (Ethylendibromid)
25	Dichlorbenzole
26	Dichlorethan (1,1-) (Ethylidenchlorid)
27	Dichlorethan (1,2-) (Ethylendichlorid)
28	Dichlorethen (1,1- (Vinylidenchlorid)
29	Dichlorethen (1,2-cis-) (Acetylendichlorid)
30	Dichlormethan (Methylenchlorid)
31	Dichlorphenol (2,4-) (2,4-DCP)
32	Dichlorpropan (1,2-) (Propylendichlorid)
33	Dinitrophenol (2,4-)
34	Dinitrotoluol (2,4-) (Dinitromethylbenzol)
35	Epichlorhydrin (1-Chlor-2,3-epoxypropan)
36	Ethylbenzol (Phenylethan)
37	Fluoranthen
38	Fluoren (Diphenylenmethan)
39	Fluoride
40	Fluorwasserstoff (Flusssäure)
41	Furan
42	Hexachlorbenzol (Perchlorbenzol)
43	Hexachlorcyclohexan(1,2,3,4,5,6-) (Lindan)
44	Kohlendioxid
45	Kresol (o-) (2-Methylphenol)
46	Kupfer
47	Magnesiumchlorid
48	Mesitylen (1,3,5-Trimethylbenzol)
49	Methan (Grubengas)
50	Mineralöl
51	Naphthalin
52	Nickel

Lfd. Nr.	Stoff
53	Nitrobenzol (Benzalin; Mirbanöl)
54	Pentachlorphenol (PCP)
55	Phenanthren
56	Phenol (Hydroxybenzol)
57	Phenolphthalein
58	Quecksilber
59	Rhodanwaserstoffsäure (Thiocyansäure)
60	Säuren/Basen
61	Schwefel
62	Selen
63	Siliciumtetrafluorid (Fluorsilicate)
64	Steinkohlenteer
65	Stickstoff
66	TCDD (2,,7,8-)
67	Teeröle
68	Tetrachlorethan (1,1,2,2-) (Acetylentetrachlorid)
69	Tetrachlorethen (Perchlorethylen;Per)
70	Tetrachlormethan (Tetrachlorkohlenstoff)
71	Tetraethylblei
72	Thallium
73	Thiocyanat (Rhodanid)
74	Toluol (Methylbenzol)
75	Trichlorbenzol (1,2,4)
76	Trichlorethan (1,1,1-) (Methylchloroform)
77	Trichlorethan (1,1,2-) (Vinyltrichlorid)
78	Trichlorethen (Trichlorethylen; Tri)
79	Trichlormethan (Chloroform)
80	Trichlorphenol (2,4,6-)
81	Trinitrotoluol (TNT)
82	Vanadium (Vanadin)
83	Vinylchlorid (Chlorethen, VC)
84	Xylol (o-) (1,2-Dimethylbenzol)
85	Zink
86	Xylol (m-) (1,3-Dimethylbenzol)
87	Xylol (p-) (1,4-Dimethylbenzol)

Lfd. Nr.	Stoff
88	Acenaphthylen
89	Pyren
90	Benzo(a)anthracen (Tetraphen)
91	Chrysen (1,2-Benzphenanthren)
92	Benzo(b)fluoranthen (Benz[e]acephenanthrylen)
93	Benzo(k)fluoranthen
94	Indeno-(1,2,3-cd)-pyren
95	Dibenzo(a,h)anthracen
96	Benzo-(ghi)-perylen (1,12-Benzoperylen)

3. Einteilung der Schadstoffe in Stoffgruppen

Nachfolgend werden die in der Stoffdatensammlung enthaltenen Stoffe in 19 Stoffgruppen unterteilt. Diese entsprechen den in Anlage 1 enthaltenen Schadstoffmatrizes. Dabei umfassen die Gruppen 1-6 die anorganischen Schadstoffe und die Gruppen 7-19 die organischen Schadstoffe. Im Rahmen einer Schadstoffgruppe sind die Schadstoffe nach ihrer chemischen Grundstruktur zusammengefasst. Da Stoffe, welche auf die gleiche chemische Grundstruktur zurückgreifen, auch ein ähnliches chemisches und physikalisches Verhalten zeigen, ergibt sich somit eine Möglichkeit, auch Stoffe, für welche die Stoffdaten nur in unzureichendem Maße vorliegen, im Rahmen einer Einzelfallentscheidung zu beurteilen.

Schadstoffgruppe:		**Stoffnummer (lfd. Nr.):**
1	Metalle und Metallverbindungen	
	1. Beryllium	14
2	Schwermetalle und Schwermetallverbindungen	
	1. Antimon	72
	2. Blei	15
	3. Cadmium	16
	4. Kupfer	46
	5. Nickel	52
	6. Thallium	72
	7. Vanadium	82
	8. Zink	85
	9. Quecksilber	58
	10. Chrom	21
3	Cyanide und Cyanverbindungen	
	1. Cyanide	22
	2. Thiocyanate	73
	3. Rhodanwasserstoff	59
4	Phosphor- und Schwefelverbindungen	
	1. Schwefel	61
5	Stickstoff und Stickstoffverbindungen (Derzeit kein Eintrag)	
6	Sonstige anorganische Verbindungen	
	1. Ammoniumfluorid	4
	2. Arsen	8
	3. Asbest	9
	4. Fluoride	39
	5. Siliciumtetrafluorid	63
	6. Kohlendioxid	44
	7. Magnesiumchlorid	47
	8. Säuren/Basen	60
	9. Selen	62
	10. Fluorwasserstof	40

Schadstoffgruppe:		**Stoffnummer (lfd. Nr.):**
7	Aliphatische Kohlenwasserstoffe und Derivate	
	1. Acrylnitril	2
	2. Mineralöl	50
	3. Methan	49
	4. Benzin (mehrfache Zuordnung möglich s. Gr.10)	10
8	Aliphatische halogenierte Kohlenwasserstoffe und Derivate	
	1. 1.1.2.2-Tetrachlorethan	68
	2. 1,1-Dichlorethan	26
	3. 1.2-Dibromethan	24
	4. 1-Dichlorpropan	32
	5. 1.1.2-Trichlorethan	77
	6. Trichlormethan	79
	7. Epichlorhydrin	35
	8. Tetrachlorethen	69
	9. Tetrachlormethan	70
	10. Tetraethylblei	71
	11. Trichlorethen	78
	12. Vinylchlorid	83
	13. 1.1-Dichlorethen	28
	14. Dichlormethan	30
9	Zyklische Kohlenwasserstoffverbindungen	
	1. 1.2.3.4.5.6-Hexachlorcyclohexan	43
10	Aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen	
	1. Benzol	11
	2. Ethylbenzol	36
	3. Mesitylen	48
	4. o-Xylol	84
	5. Teeröle (mehrfache Zuordnung möglich s. Gr.12)	67
	6. Toluol	74
	7. m-; p-Xylol	86/87

Schadstoffgruppe:		**Stoffnummer (lfd. Nr.):**
11	Aromatische halogenierte Kohlenwasserstoffe	
	1. Aldrin	3
	2. 1.2.4-Trichlorbenzol	75
	3. Chlorbenzol	17
	4. DDT	23
	5. Dichlorbenzole	25
	6. Hexachlorbenzol	42
	7. Pentachlorphenol	54
	8. 2-Chlorphenol	20
	9. 2.4-Dichlorphenol	31
	10. 2.4.6-Trichlorphenol	80
12	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen	
	1. Acenaphthen	1
	2. Anthracen	6
	3. Benzo(a)pyren	12
	4. Fluorathen	37
	5. Fluoren	38
	6. Phenanthren	55
	7. Steinkohleteere/öle	64
	8. Acenaphthylen	88
	9. Pyren	89
	10. Benzo(a)anthracen	90
	11. Chrysen	91
	12. Benzo(b)fluoranthen	92
	13. Benzo(k)fluoranthen	93
	14. Indeno(1,2,3-cd)pyren	94
	15. Dibenzo(a,h)anthracen	95
	16. Benzo(ghi)perylen	96
	17. Naphthalin	51
13	Polyzyklische aromatische chlorierte Kohlenwasserstoffverbindungen	
	1. 1-Chlornaphthalin	19
14	Polychlorierte Biphenyle	
	1. 4-Chlorbiphenyl	18
15	Hydroxylbenzole	
	1. Phenol	56
	2. Phenolphthalein	57
	3. o-Kresol	45

Schadstoffgruppe:		**Stoffnummer (lfd. Nr.):**
16	Aromatische Alkohole	
	1. Benzylalkohol	13
17	Aromatische Nitroverbindungen	
	1. 2.4-Dinitrophenol	33
	2. 2.4-Dinitrotuluol	34
	3. Nitrobenzol	53
	4. Trinitrotoluol	81
18	Aromatische Amine	
	1. Anilin	5
19	Heterozyklische und heterozyklisch halogenierte Verbindungen	
	1. Furan	41
	2. 2.3.7.8-TCDD	66

4. Glossar

Zeile 1 : Inventarisierungsnummer

Zeile 1 : Stoffgruppenzuordnung

Zeile 2 : Stoffname
Zusätzlich ist bei einigen Stoffen die Trivialbezeichnung zur besseren Identifizierung mit angegeben worden.

Zeile 3 : Summenformel

Zeile 3 : Molare Masse in [g/mol]

Zeile 4 : Festpunkt in [K]
Es gilt: T[K] = T[°C] + 273,15

Zeile 5 : Siedepunkt in [K]
Es gilt: T[K] = T[°C] + 273,15

Zeile 6 : Löslichkeit in Wasser in [g/m3] bei T = 293,15 K
(bei sehr geringer Löslichkeit: [g/l])

Zeile 6 : Dichte in [kg/m^3] bei T = 293,15 K
Bei Gasen ist das Litergewicht unter Normalbedingungen, T = 293,15 K; p = 1013,25 mbar, angegeben.

Zeile 7 : Dampfdruck in [mbar] bei T = 293,15 K

Zeile 7 : Relative Gasdichte gemäß DIN 1871, Bezugsstoff : Luft

Zeile 8 : Sättigungskonzentration in Luft in [g/m^3] bei T = 293,15 K

Zeile 9 : Bemerkungen

Für die in der LAGA-Liste 1991 aufgeführten Stoffgruppen:
- PAK (Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe)
- PCB (Polychlorierte Biphenyle)
- PCN (Polychlorierte Naphthaline)
- Phthalate

sind Beispielstoffe angegeben worden, da die Stoffdatenliste eine Hilfe bei der Beurteilung einzelner Schadstoffe darstellen soll. Dazu sind konkrete Stoffdaten notwendig, welche bei komplexen Stoffzusammensetzungen nicht angegeben werden können.
Als Beispielstoffe wurden angegeben:
- EPA-PAK (PAK)
- 4-Chlorbiphenyl; einfach chloriert (PCB)
- 1-Chlornaphthalin; einfach chloriert (PCN)
- Phenolphthalein (Phthalate)

5. Stoffdatensammlung

LFDNR: **1**
STOFFNAME: Acenaphthen
STOFFGRUPPE: 12
SUMMENFORMEL: $C_{12}H_{10}$ MOLMASSE: 154.21 [g/mol]
FESTPUNKT: 366.2 [K]
SIEDEPUNKT: 552.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 3.88 [g/m3] DICHTE: 1.0690 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0307 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: **2**
STOFFNAME: Acrylnitril (Acrylsäurenitril)
STOFFGRUPPE: 7
SUMMENFORMEL: C_3H_3N MOLMASSE: 53.06 [g/mol]
FESTPUNKT: 189.6 [K]
SIEDEPUNKT: 350.5 [K]
LÖSLICHKEIT: 50000.0 [g/m3] DICHTE: 0.8060 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 116.0 [mbar] GASDICHTE: 1.83
SÄTT.KONZENTR.: 253.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: **3**
STOFFNAME: Aldrin
STOFFGRUPPE: 11
SUMMENFORMEL: $C_{12}H_8C_{l6}$ MOLMASSE: 364.91 [g/mol]
FESTPUNKT: 377.7 [K]
SIEDEPUNKT: 418.2 (2.7 mbar) [K]
LÖSLICHKEIT: 0.05 [g/m3] DICHTE: 0.9676 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.000031 [mbar] GASDICHTE: 12.6
SÄTT.KONZENTR.: 0.00045 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: **4**
STOFFNAME: Ammoniumfluorid
STOFFGRUPPE: 6
SUMMENFORMEL: NH_4F MOLMASSE: 37.04 [g/mol]
FESTPUNKT: . Subl. [K]
SIEDEPUNKT: . [K]
LÖSLICHKEIT: 1000.0 [g/m3] DICHTE: 1.0090 (25°C) [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Stoffwerte z.T. nicht verfügbar; Einzelfallentscheidung

LFDNR: 5
STOFFNAME: Anilin (Aminobenzol)
STOFFGRUPPE: 18
SUMMENFORMEL: C_6H_7N MOLMASSE: 93.13 [g/mol]
FESTPUNKT: 267.2 [K]
SIEDEPUNKT: 457.6 [K]
LÖSLICHKEIT: 34000.0 [g/m3] DICHTE: 1.0217 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.821 [mbar] GASDICHTE: 3.22
SÄTT.KONZENTR.: 3.14 [g/m3]
BEMERKUNG: nicht nach LAGA-Liste 1991

LFDNR: 6
STOFFNAME: Anthracen
STOFFGRUPPE: 12
SUMMENFORMEL: $C_{14}H_{10}$ MOLMASSE: 178.23 [g/mol]
FESTPUNKT: 491.2 [K]
SIEDEPUNKT: 615.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 0.075 [g/m3] DICHTE: 1.2830 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.00144 [mbar] GASDICHTE: 6.16
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 7
STOFFNAME: Antimon
STOFFGRUPPE: 2
SUMMENFORMEL: Sb MOLMASSE: 121.75 [g/mol]
FESTPUNKT: 903.9 [K]
SIEDEPUNKT: 2223.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 6000.0 [g/l] DICHTE: 6.6910 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Löslichkeit für SbCl3; Sb rein unlöslich in H2O

LFDNR: 8
STOFFNAME: Arsen
STOFFGRUPPE: 6
SUMMENFORMEL: As MOLMASSE: 74.92 [g/mol]
FESTPUNKT: 1088.2 (36 bar) [K]
SIEDEPUNKT: Subl. > 886.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 1500.0 [g/l] DICHTE: 5.7270 (14°C) [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Löslichkeit für As2O5; As rein unlöslich in H2O

LFDNR: 9
STOFFNAME: Asbest
STOFFGRUPPE: 6
SUMMENFORMEL: . MOLMASSE: . [g/mol]
FESTPUNKT: ca. 1373.2 [K]
SIEDEPUNKT: . [K]
LÖSLICHKEIT: . [g/m3] DICHTE: 2.3600 - 3.0000 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: 0.0 [g/m3]
BEMERKUNG: Stoffwerte z.T. nicht verfügbar; Einzelfallentscheidung

LFDNR: 10
STOFFNAME: Benzin
STOFFGRUPPE: 7
SUMMENFORMEL: . MOLMASSE: . [g/mol]
FESTPUNKT: . [K]
SIEDEPUNKT: 341.0 (Hexan) [K]
LÖSLICHKEIT: 0.0 [g/m3] DICHTE: . [kg/m3]
DAMPFDRUCK: . [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Gemische!; Einzelfallentscheidung!

LFDNR: 11
STOFFNAME: Benzol (Benzene)
STOFFGRUPPE: 10
SUMMENFORMEL: C_6H_6 MOLMASSE: 78.11 [g/mol]
FESTPUNKT: 278.7 [K]
SIEDEPUNKT: 353.3 [K]
LÖSLICHKEIT: 1780.0 [g/m3] DICHTE: 0.8788 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 100.0 [mbar] GASDICHTE: 2.7
SÄTT.KONZENTR.: 320.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 12
STOFFNAME: Benzo(a)pyren (1,2-Benzpyren)
STOFFGRUPPE: 12
SUMMENFORMEL: $C_{20}H_{12}$ MOLMASSE: 252.32 [g/mol]
FESTPUNKT: 449.7 - 450.7 [K]
SIEDEPUNKT: 583.2-585.2(13.3 mbar) [K]
LÖSLICHKEIT: 4.0 [g/m3] DICHTE: 1.2830 - 1.3510 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.00000000000667 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: TVO-PAK

LFDNR: 13
STOFFNAME: Benzylalkohol (Phenylmethanol)
STOFFGRUPPE: 16
SUMMENFORMEL: C_7H_8O MOLMASSE: 108.14 [g/mol]
FESTPUNKT: 257.9 [K]
SIEDEPUNKT: 478.6 [K]
LÖSLICHKEIT: 39000.0 [g/m3] DICHTE: 1.0450 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.03 [mbar] GASDICHTE: 3.74
SÄTT.KONZENTR.: 0.13 [g/m3]
BEMERKUNG: nicht nach LAGA-Liste 1991

LFDNR: 14
STOFFNAME: Beryllium
STOFFGRUPPE: 1
SUMMENFORMEL: Be MOLMASSE: 9.01 [g/mol]
FESTPUNKT: 1551.2 [K]
SIEDEPUNKT: 3243.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 0.0 [g/m3] DICHTE: 1.8480 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: **15**
STOFFNAME: Blei
STOFFGRUPPE: 2
SUMMENFORMEL: Pb MOLMASSE: 207.19 [g/mol]
FESTPUNKT: 00.7 [K]
SIEDEPUNKT: 2013.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 600.0 [g/l] DICHTE: 11.3410 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Löslichkeit für Pb(NO3)2; Pb unlöslich in H2O

LFDNR: **16**
STOFFNAME: Cadmium
STOFFGRUPPE: 2
SUMMENFORMEL: Cd MOLMASSE: 112.41 [g/mol]
FESTPUNKT: 594.1 [K]
SIEDEPUNKT: 1038.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 1700.0 [g/l] DICHTE: 8.6500 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Löslichk. f. CdCl2;Cd rein gering löslich in H2O

LFDNR: **17**
STOFFNAME: Chlorbenzol
STOFFGRUPPE: 11
SUMMENFORMEL: C_6H_5Cl MOLMASSE: 112.56 [g/mol]
FESTPUNKT: 228.1 [K]
SIEDEPUNKT: 404.6 [K]
LÖSLICHKEIT: 471.7 [g/m3] DICHTE: 1.1058 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 11.7 [mbar] GASDICHTE: 3.89
SÄTT.KONZENTR.: 54.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: **18**
STOFFNAME: Chlorbiphenyl (4-)
STOFFGRUPPE: 14
SUMMENFORMEL: $C_{12}H_9Cl$ MOLMASSE: 188.66 [g/mol]
FESTPUNKT: 349.2 [K]
SIEDEPUNKT: 555.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 1.17 [g/m3] DICHTE: 1.4400 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.00133 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: nicht nach LAGA-Liste 1991

LFDNR: **19**
STOFFNAME: Chlornaphthalin (1-)
STOFFGRUPPE: 13
SUMMENFORMEL: $C_{10}H_7Cl$ MOLMASSE: 162.62 [g/mol]
FESTPUNKT: 270.9 [K]
SIEDEPUNKT: 532.0 [K]
LÖSLICHKEIT: 22.4 [g/m3] DICHTE: 1.1938 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 2.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: 7.2 (80.6°C) [g/m3]
BEMERKUNG: nicht nach LAGA-Liste 1991

LFDNR: 20
STOFFNAME: Chlorphenol (2-)
STOFFGRUPPE: 11
SUMMENFORMEL: C_6H_5ClO MOLMASSE: 128.56 [g/mol]
FESTPUNKT: 282.2 [K]
SIEDEPUNKT: 448.1 [K]
LÖSLICHKEIT: . [g/m3] DICHTE: 1.2634 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 2.3 [mbar] GASDICHTE: 4.44
SÄTT.KONZENTR.: 12.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 21
STOFFNAME: Chrom
STOFFGRUPPE: 2
SUMMENFORMEL: Cr MOLMASSE: 52.00 [g/mol]
FESTPUNKT: 2130.2 [K]
SIEDEPUNKT: 2945.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 1200.0 [g/l] DICHTE: 7.1800 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Löslichk. für Cr2(SO4)3*8H2O;Cr unlöslich in H2O

LFDNR: 22
STOFFNAME: Cyanide
STOFFGRUPPE: 3
SUMMENFORMEL: NaCN; KCN; etc. MOLMASSE: 49.0/65.1 [g/mol]
FESTPUNKT: 835.2 / 908.2 [K]
SIEDEPUNKT: 1770.2 / [K]
LÖSLICHKEIT: 583.0 / 630.0 [g/l] DICHTE: 1.8600 / 1.5200 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: . [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Reihenfolge NaCN / KCN

LFDNR: 23
STOFFNAME: DDT (P,p'-DDT)
STOFFGRUPPE: 11
SUMMENFORMEL: $C_{14}H_9Cl_7$ MOLMASSE: 354.49 [g/mol]
FESTPUNKT: 381.7 [K]
SIEDEPUNKT: 381.7 (0.07 mbar) Zers. [K]
LÖSLICHKEIT: 0.0012 [g/m3] DICHTE: 1.5400 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.00000017 [mbar] GASDICHTE: 12.2
SÄTT.KONZENTR.: 0.0000025 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 24
STOFFNAME: Dibromethan (1,2-) (Ethylendibromid)
STOFFGRUPPE: 8
SUMMENFORMEL: $C_2H_4Br_2$ MOLMASSE: 187.86 [g/mol]
FESTPUNKT: 283.0 [K]
SIEDEPUNKT: 404.5 [K]
LÖSLICHKEIT: 4000.0 [g/m3] DICHTE: 2.1804 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 15.0 [mbar] GASDICHTE: 6.49
SÄTT.KONZENTR.: 116.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 25
STOFFNAME: Dichlorbenzole
STOFFGRUPPE: 11
SUMMENFORMEL: $C_6H_4Cl_2$ MOLMASSE: 147.00 [g/mol]
FESTPUNKT: 246.9 - 327.2 [K]
SIEDEPUNKT: 446.2 - 453.7 [K]
LÖSLICHKEIT: 145.2 [g/m3] DICHTE: 1.3050 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 1.3 - 2.4 [mbar] GASDICHTE: 5.08
SÄTT.KONZENTR.: 7.8 [g/m3]
BEMERKUNG: Stoffwerte für o-Dichlorbenzol

LFDNR: 26
STOFFNAME: Dichlorethan (1,1-) (Ethylidenchlorid)
STOFFGRUPPE: 8
SUMMENFORMEL: $C_2H_4Cl_2$ MOLMASSE: 98.96 [g/mol]
FESTPUNKT: 175.6 [K]
SIEDEPUNKT: 330.4 [K]
LÖSLICHKEIT: 6000.0 [g/m3] DICHTE: 1.1757 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 242.7 [mbar] GASDICHTE: 3.42
SÄTT.KONZENTR.: 985.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 27
STOFFNAME: Dichlorethan (1,2-) (Ethylendichlorid)
STOFFGRUPPE: 8
SUMMENFORMEL: $C_2H_4Cl_2$ MOLMASSE: 98.96 [g/mol]
FESTPUNKT: 237.7 [K]
SIEDEPUNKT: 357.3 [K]
LÖSLICHKEIT: 8690.0 [g/m3] DICHTE: 1.2529 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 87.0 [mbar] GASDICHTE: 3.42
SÄTT.KONZENTR.: 353.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 28
STOFFNAME: Dichlorethen (1,1-) (Vinylidenchlorid)
STOFFGRUPPE: 8
SUMMENFORMEL: $C_2H_2Cl_2$ MOLMASSE: 96.94 [g/mol]
FESTPUNKT: 151.1 [K]
SIEDEPUNKT: 310.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 400.0 [g/m3] DICHTE: 1.2180 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 667.0 [mbar] GASDICHTE: 3.35
SÄTT.KONZENTR.: 2655.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 29
STOFFNAME: Dichlorethen (1,2-cis-) (Acetylendichlorid)
STOFFGRUPPE: 8
SUMMENFORMEL: $C_2H_2Cl_2$ MOLMASSE: 96.94 [g/mol]
FESTPUNKT: 192.7 [K]
SIEDEPUNKT: 333.4 [K]
LÖSLICHKEIT: 3500.0 [g/m3] DICHTE: 1.2837 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 215.0 [mbar] GASDICHTE: 3.35
SÄTT.KONZENTR.: 855.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 30
STOFFNAME: Dichlormethan (Methylenchlorid)
STOFFGRUPPE: 8
SUMMENFORMEL: CH_2Cl_2 MOLMASSE: 84.93 [g/mol]
FESTPUNKT: 178.1 [K]
SIEDEPUNKT: 313.8 [K]
LÖSLICHKEIT: 20000.0 [g/m3] DICHTE: 1.3360 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 440.0 [mbar] GASDICHTE: 2.93
SÄTT.KONZENTR.: 1535.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 31
STOFFNAME: Dichlorphenol (2,4-) (2,4-DCP)
STOFFGRUPPE: 11
SUMMENFORMEL: $C_6H_4Cl_2O$ MOLMASSE: 163.00 [g/mol]
FESTPUNKT: 318.2 [K]
SIEDEPUNKT: 483.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 4500.0 [g/m3] DICHTE: 1.3830 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.1 [mbar] GASDICHTE: 5.63
SÄTT.KONZENTR.: 0.67 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 32
STOFFNAME: Dichlorpropan (1,2-) (Propylendichlorid)
STOFFGRUPPE: 8
SUMMENFORMEL: $C_3H_6Cl_2$ MOLMASSE: 112.99 [g/mol]
FESTPUNKT: 172.8 [K]
SIEDEPUNKT: 370.0 [K]
LÖSLICHKEIT: 3000.0 [g/m3] DICHTE: 1.1560 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 56.0 [mbar] GASDICHTE: 3.90
SÄTT.KONZENTR.: 260.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 33
STOFFNAME: Dinitrophenol (2,4-)
STOFFGRUPPE: 17
SUMMENFORMEL: $C_6H_4N_2O_5$ MOLMASSE: 184.11 [g/mol]
FESTPUNKT: 380.2 [K]
SIEDEPUNKT: . Subl. [K]
LÖSLICHKEIT: 0.0 [g/m3] DICHTE: 1.6830 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 (Feststoff) [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Stoffwerte z.T.nicht gesichert;Einzelfallentsch.

LFDNR: 34
STOFFNAME: Dinitrotoluol (2,4-) (Dinitromethylbenzol)
STOFFGRUPPE: 17
SUMMENFORMEL: $C_7H_6N_2O_4$ MOLMASSE: 182.14 [g/mol]
FESTPUNKT: 344.2 [K]
SIEDEPUNKT: 573.2 Zers. [K]
LÖSLICHKEIT: 3000.0 [g/m3] DICHTE: 1.3208 (70°C) [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 55.0 (200°C) [mbar] GASDICHTE: 6.29
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 35
STOFFNAME: Epichlorhydrin (1-Chlor-2,3-epoxypropan)
STOFFGRUPPE: 8
SUMMENFORMEL: C_3H_5ClO MOLMASSE: 92.53 [g/mol]
FESTPUNKT: 225.2 [K]
SIEDEPUNKT: 389.7 [K]
LÖSLICHKEIT: 60000.0 [g/m3] DICHTE: 1.1801 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 16.0 [mbar] GASDICHTE: 3.20
SÄTT.KONZENTR.: 61.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 36
STOFFNAME: Ethylbenzol (Phenylethan)
STOFFGRUPPE: 10
SUMMENFORMEL: C_8H_{10} MOLMASSE: 106.17 [g/mol]
FESTPUNKT: 179.2 [K]
SIEDEPUNKT: 409.3 [K]
LÖSLICHKEIT: 140.0 [g/m3] DICHTE: 0.8672 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 9.3 [mbar] GASDICHTE: 3.66
SÄTT.KONZENTR.: 41.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 37
STOFFNAME: Fluoranthen
STOFFGRUPPE: 12
SUMMENFORMEL: $C_{16}H_{10}$ MOLMASSE: 202.26 [g/mol]
FESTPUNKT: 380.2 [K]
SIEDEPUNKT: 657.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 0.26 [g/m3] DICHTE: . [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0179 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: TVO-PAK

LFDNR: 38
STOFFNAME: Fluoren (Diphenylenmethan)
STOFFGRUPPE: 12
SUMMENFORMEL: $C_{13}H_{10}$ MOLMASSE: 166.22 [g/mol]
FESTPUNKT: 385.2 [K]
SIEDEPUNKT: 571.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 1.9 [g/m3] DICHTE: . [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0113 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 39
STOFFNAME: Fluoride
STOFFGRUPPE: 6
SUMMENFORMEL: NaF; CaF_2; Na_2AlF_2 MOLMASSE: . [g/mol]
FESTPUNKT: 1265 - 1770 [K]
SIEDEPUNKT: 1973 - [K]
LÖSLICHKEIT: 16.0 [g/m3] DICHTE: 2.5580 - 3.1800 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Gemische! Einzelfallentscheidung!

LFDNR: 40
STOFFNAME: Fluorwasserstoff (Flusssäure)
STOFFGRUPPE: 6
SUMMENFORMEL: HF MOLMASSE: 20.01 [g/mol]
FESTPUNKT: 190.1 [K]
SIEDEPUNKT: 292.7 [K]
LÖSLICHKEIT: 719800.0 [g/m3] DICHTE: 0.9010 [g/l] [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 1.0 [mbar] GASDICHTE: 0.69
SÄTT.KONZENTR.: Gas [g/m3]
BEMERKUNG: nicht nach LAGA-Liste 1991; HF wasserfrei

LFDNR: 41
STOFFNAME: Furan
STOFFGRUPPE: 19
SUMMENFORMEL: C_4H_4O MOLMASSE: 68.08 [g/mol]
FESTPUNKT: 187.6 [K]
SIEDEPUNKT: 305.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 10000.0 [g/m3] DICHTE: 0.9514 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 670.0 [mbar] GASDICHTE: 2.35
SÄTT.KONZENTR.: 1870.0 [g/m3]
BEMERKUNG: nicht nach LAGA-Liste 1991

LFDNR: 42
STOFFNAME: Hexachlorbenzol (Perchlorbenzol)
STOFFGRUPPE: 11
SUMMENFORMEL: C_6Cl_6 MOLMASSE: 284.78 [g/mol]
FESTPUNKT: 502.7 [K]
SIEDEPUNKT: 595.4 Subl. [K]
LÖSLICHKEIT: 0.005 [g/m3] DICHTE: 2.0440 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0000134 [mbar] GASDICHTE: 9.84
SÄTT.KONZENTR.: 0.00018 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 43
STOFFNAME: Hexachlorcyclohexan(1,2,3,4,5,6-) (Lindan)
STOFFGRUPPE: 9
SUMMENFORMEL: $C_6H_6Cl_6$ MOLMASSE: 290.83 [g/mol]
FESTPUNKT: 385.7 [K]
SIEDEPUNKT: 596.6 Zers. [K]
LÖSLICHKEIT: 7.0 [g/m3] DICHTE: 1.9000 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.000012 [mbar] GASDICHTE: 10.0
SÄTT.KONZENTR.: 0.00016 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 44
STOFFNAME: Kohlendioxid
STOFFGRUPPE: 6
SUMMENFORMEL: CO_2 MOLMASSE: 44.01 [g/mol]
FESTPUNKT: 216.6 (5.3 bar) [K]
SIEDEPUNKT: 194.7 Subl. [K]
LÖSLICHKEIT: 0.145 [g/m3] DICHTE: 1.9770 [g/l] [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 57.3 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: Gas [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 45
STOFFNAME: Kresol (o-) (2-Methylphenol)
STOFFGRUPPE: 15
SUMMENFORMEL: C_7H_8O MOLMASSE: 108.14 [g/mol]
FESTPUNKT: 305.2 [K]
SIEDEPUNKT: 464.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 24000.0 [g/m3] DICHTE: 1.0465 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.27 [mbar] GASDICHTE: 3.73
SÄTT.KONZENTR.: 1.2 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 46
STOFFNAME: Kupfer
STOFFGRUPPE: 2
SUMMENFORMEL: Cu MOLMASSE: 63.55 [g/mol]
FESTPUNKT: 1356.6 [K]
SIEDEPUNKT: 2840.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 2400.0 [g/l] DICHTE: 8.9600 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Löslichk. für Cu2(NO3)*6H2O; Cu unlöslich in H2O

LFDNR: 47
STOFFNAME: Magnesiumchlorid
STOFFGRUPPE: 6
SUMMENFORMEL: $MgCl_2$ MOLMASSE: 95.21 [g/mol]
FESTPUNKT: 987.2 [K]
SIEDEPUNKT: 1685.0 [K]
LÖSLICHKEIT: 0.0 [g/m3] DICHTE: 2.3200 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: nicht nach LAGA-Liste 1991

LFDNR: 48
STOFFNAME: Mesitylen (1,3,5-Trimethylbenzol)
STOFFGRUPPE: 10
SUMMENFORMEL: C_9H_{12} MOLMASSE: 120.19 [g/mol]
FESTPUNKT: 228.2 [K]
SIEDEPUNKT: 438.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 20.0 [g/m3] DICHTE: 0.8652 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 2.8 [mbar] GASDICHTE: 4.15
SÄTT.KONZENTR.: 14.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 49
STOFFNAME: Methan (Grubengas)
STOFFGRUPPE: 7
SUMMENFORMEL: CH_4 MOLMASSE: 16.04 [g/mol]
FESTPUNKT: 91.2 [K]
SIEDEPUNKT: 111.7 [K]
LÖSLICHKEIT: 0.0 [g/m3] DICHTE: 0.7175 [g/l] [kg/m3]
DAMPFDRUCK: Tk: - 82.5 °C [mbar] GASDICHTE: 0.55
SÄTT.KONZENTR.: Gas [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 50
STOFFNAME: Mineralöl
STOFFGRUPPE: 7
SUMMENFORMEL: . MOLMASSE: . [g/mol]
FESTPUNKT: 143.2 - 153.2 [K]
SIEDEPUNKT: 333.2 - 413.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 20000.0 [g/m3] DICHTE: 0.8380 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Gemische!; Einzelfallentscheidung!

LFDNR: 51
STOFFNAME: Naphthalin
STOFFGRUPPE: 11
SUMMENFORMEL: $C_{10}H_8$ MOLMASSE: 128.17 [g/mol]
FESTPUNKT: 353.4 [K]
SIEDEPUNKT: 491.1 [K]
LÖSLICHKEIT: 34.4 [g/m3] DICHTE: 1.1620 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.04 [mbar] GASDICHTE: 4.43
SÄTT.KONZENTR.: 0.21 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 52
STOFFNAME: Nickel
STOFFGRUPPE: 2
SUMMENFORMEL: Ni MOLMASSE: 58.69 [g/mol]
FESTPUNKT: 1726.2 [K]
SIEDEPUNKT: 3005.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 2500.0 [g/l] DICHTE: 8.9020 (25°C) [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Löslichk. für NiCl2*6H2O; Ni unlöslich in H2O

LFDNR: 53
STOFFNAME: Nitrobenzol (Benzalin; Mirbanöl)
STOFFGRUPPE: 17
SUMMENFORMEL: $C_6H_5NO_2$ MOLMASSE: 123.11 [g/mol]
FESTPUNKT: 279.2 [K]
SIEDEPUNKT: 484.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 1900.0 [g/m3] DICHTE: 1.2037 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.3 [mbar] GASDICHTE: 4.25
SÄTT.KONZENTR.: 1.3 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 54
STOFFNAME: Pentachlorphenol (PCP)
STOFFGRUPPE: 11
SUMMENFORMEL: C_6Cl_5OH MOLMASSE: 266.35 [g/mol]
FESTPUNKT: 461.2 [K]
SIEDEPUNKT: 583.2 Zers. [K]
LÖSLICHKEIT: 14.0 [g/m3] DICHTE: 1.9780 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.00015 [mbar] GASDICHTE: 9.20
SÄTT.KONZENTR.: 0.0009 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 55
STOFFNAME: Phenanthren
STOFFGRUPPE: 12
SUMMENFORMEL: $C_{14}H_{10}$ MOLMASSE: 178.23 [g/mol]
FESTPUNKT: 374.2 [K]
SIEDEPUNKT: 605.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 1.18 [g/m3] DICHTE: 0.9800 (4°C) [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.00012 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: 0.0009 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 56
STOFFNAME: Phenol (Hydroxybenzol)
STOFFGRUPPE: 15
SUMMENFORMEL: C_6H_6O MOLMASSE: 94.11 [g/mol]
FESTPUNKT: 316.2 [K]
SIEDEPUNKT: 455.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 82000.0 [g/m3] DICHTE: 1.0576 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.2 [mbar] GASDICHTE: 3.24
SÄTT.KONZENTR.: 0.89 [g/m3]
BEMERKUNG: Gefahrenklasse A III nach Wasseraufnahme

LFDNR: 57
STOFFNAME: Phenolphthalein
STOFFGRUPPE: 15
SUMMENFORMEL: $C_{20}H_{14}O_4$ MOLMASSE: 318.33 [g/mol]
FESTPUNKT: 534.2 [K]
SIEDEPUNKT: . [K]
LÖSLICHKEIT: 0.0 [g/m3] DICHTE: . [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 (Feststoff) [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Stoffwerte z.T. nicht verfügbar; Einzelfallentscheidung

LFDNR: 58
STOFFNAME: Quecksilber
STOFFGRUPPE: 2
SUMMENFORMEL: Hg MOLMASSE: 200.59 [g/mol]
FESTPUNKT: 234.3 [K]
SIEDEPUNKT: 629.7 [K]
LÖSLICHKEIT: 300.0 [g/l] DICHTE: 13.5459 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.00163 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Löslichk. für Hg(C2H8O2)2; Hg unlöslich in H2O

LFDNR: 59
STOFFNAME: Rhodanwasserstoffsäure (Thiocyansäure)
STOFFGRUPPE: 3
SUMMENFORMEL: HSCN MOLMASSE: 59.09 [g/mol]
FESTPUNKT: 278.2 (> -110°C) [K]
SIEDEPUNKT: 183.2 Polym. [K]
LÖSLICHKEIT: Hoch [g/m3] DICHTE: . [kg/m3]
DAMPFDRUCK: . [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: nicht nach LAGA-Liste 1991;Einzelfallentscheid.

LFDNR: 60
STOFFNAME: Säuren/Basen
STOFFGRUPPE: 6
SUMMENFORMEL: . MOLMASSE: . [g/mol]
FESTPUNKT: . [K]
SIEDEPUNKT: . [K]
LÖSLICHKEIT: mit Wasser mischbar [g/m3] DICHTE: . [kg/m3]
DAMPFDRUCK: . [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Gemische!; Einzelfallentscheidung!

LFDNR: 61
STOFFNAME: Schwefel
STOFFGRUPPE: 4
SUMMENFORMEL: S MOLMASSE: 32.07 [g/mol]
FESTPUNKT: 386.0 - 392.2 [K]
SIEDEPUNKT: 717.8 [K]
LÖSLICHKEIT: 0.0 [g/m3] DICHTE: 1.9570 / 2.0700 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.000002 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: nicht nach LAGA-Liste 1991

LFDNR: 62
STOFFNAME: Selen
STOFFGRUPPE: 6
SUMMENFORMEL: Se MOLMASSE: 78.96 [g/mol]
FESTPUNKT: 490.2 [K]
SIEDEPUNKT: 958.1 [K]
LÖSLICHKEIT: 0.0 [g/m3] DICHTE: 4.2800 / 4.7900 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 63
STOFFNAME: Siliciumtetrafluorid (Fluorsilicate)
STOFFGRUPPE: 6
SUMMENFORMEL: SiF_4 MOLMASSE: 104.08 [g/mol]
FESTPUNKT: 183.0 [K]
SIEDEPUNKT: 187.2 [K]
LÖSLICHKEIT: Zersetzung [g/m3] DICHTE: 4.6900 [g/l] [kg/m3]
DAMPFDRUCK: Gas [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Fluorsilikate nach LAGA-Liste 1991

LFDNR: 64
STOFFNAME: Steinkohlenteer
STOFFGRUPPE: 12
SUMMENFORMEL: . MOLMASSE: . [g/mol]
FESTPUNKT: . [K]
SIEDEPUNKT: bei 1200-1400 gasförmig [K]
LÖSLICHKEIT: . [g/m3] DICHTE: . [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 (Feststoff) [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: nicht nach LAGA-Liste 1991;Einzelfallentscheid.

LFDNR: 65
STOFFNAME: Stickstoff
STOFFGRUPPE: 5
SUMMENFORMEL: N_2 MOLMASSE: 28.01 [g/mol]
FESTPUNKT: 63.3 [K]
SIEDEPUNKT: 77.3 [K]
LÖSLICHKEIT: . [g/m3] DICHTE: 1.2505 [g/l] [kg/m3]
DAMPFDRUCK: Tk: -146.9 °C [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: Gas [g/m3]
BEMERKUNG: icht nach LAGA-Liste 1991

LFDNR: 66
STOFFNAME: TCDD (2,3,7,8-)
STOFFGRUPPE: 19
SUMMENFORMEL: $C_{12}H_4Cl_4O_2$ MOLMASSE: 321.97 [g/mol]
FESTPUNKT: 578.2 [K]
SIEDEPUNKT: Zers. > 973.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 0.0000193 [g/m3] DICHTE: . [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0000023 (25°C) [mbar] GASDICHTE: 11.2
SÄTT.KONZENTR.: 0.00003 (298K) [g/m3]
BEMERKUNG: Dioxin

LFDNR: 67
STOFFNAME: Teeröle
STOFFGRUPPE: 10
SUMMENFORMEL: C_6 - C_{10} - Gemisch MOLMASSE: 80 - 150 [g/mol]
FESTPUNKT: ca. 140 bis 150 [K]
SIEDEPUNKT: 333 bis 410 [K]
LÖSLICHKEIT: ca. 20.0 [g/m3] DICHTE: 0.68 - 0.72 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 2.0 [mbar] GASDICHTE: 3.2-3.5
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Gemische!; Einzelfallentscheidung!

LFDNR: 68
STOFFNAME: Tetrachlorethan (1,1,2,2-) (Acetylentetrachlorid)
STOFFGRUPPE: 8
SUMMENFORMEL: $C_2H_2Cl_4$ MOLMASSE: 167.85 [g/mol]
FESTPUNKT: 229.2 [K]
SIEDEPUNKT: 419.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 3200.0 [g/m3] DICHTE: 1.6026 (15°C) [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 6.4 [mbar] GASDICHTE: 5.8
SÄTT.KONZENTR.: 46.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 69
STOFFNAME: Tetrachlorethen (Perchlorethylen;Per)
STOFFGRUPPE: 8
SUMMENFORMEL: C_2Cl_4 MOLMASSE: 165.83 [g/mol]
FESTPUNKT: 249.7 [K]
SIEDEPUNKT: 394.3 [K]
LÖSLICHKEIT: 160.0 [g/m3] DICHTE: 1.6240 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 18.6 [mbar] GASDICHTE: 5.73
SÄTT.KONZENTR.: 127.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 70
STOFFNAME: Tetrachlormethan (Tetrachlorkohlenstoff)
STOFFGRUPPE: 8
SUMMENFORMEL: CCl_4 MOLMASSE: 153.82 [g/mol]
FESTPUNKT: 250.3 [K]
SIEDEPUNKT: 349.9 [K]
LÖSLICHKEIT: 800.0 [g/m3] DICHTE: 1.5924 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 116.0 [mbar] GASDICHTE: 5.31
SÄTT.KONZENTR.: 732.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 71
STOFFNAME: Tetrethylblei)
STOFFGRUPPE: 8
SUMMENFORMEL: $C_8H_2OP_6$ MOLMASSE: 323.4 [g/mol]
FESTPUNKT: 136.4 [K]
SIEDEPUNKT: 473.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 300.0 [g/m3] DICHTE: 1.7 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: . [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 72
STOFFNAME: Thallium
STOFFGRUPPE: 2
SUMMENFORMEL: Tl MOLMASSE: 204.38 [g/mol]
FESTPUNKT: 576.7 [K]
SIEDEPUNKT: 1730.2 [K]
LÖSLICHKEIT: . [g/m3] DICHTE: 11.8500 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 73
STOFFNAME: Thiocyanat (Rhodanid)
STOFFGRUPPE: 3
SUMMENFORMEL: $(SCN)_2$ MOLMASSE: 82.53 [g/mol]
FESTPUNKT: . [K]
SIEDEPUNKT: . [K]
LÖSLICHKEIT: Zersetzung [g/m3] DICHTE: . [kg/m3]
DAMPFDRUCK: . [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Gemische!; Einzelfallentscheidung!

LFDNR: 74
STOFFNAME: Toluol (Methylbenzol)
STOFFGRUPPE: 10
SUMMENFORMEL: C_7H_8 MOLMASSE: 92.14 [g/mol]
FESTPUNKT: 178.2 [K]
SIEDEPUNKT: 383.8 [K]
LÖSLICHKEIT: 470.0 [g/m3] DICHTE: 0.8630 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 27.8 [mbar] GASDICHTE: 3.18
SÄTT.KONZENTR.: 105.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 75
STOFFNAME: Trichlorbenzol (1,2,4)
STOFFGRUPPE: 11
SUMMENFORMEL: $C_6H_3Cl_3$ MOLMASSE: 181.45 [g/mol]
FESTPUNKT: 290.2 [K]
SIEDEPUNKT: 486.7 [K]
LÖSLICHKEIT: 25.03 [g/m3] DICHTE: 1.4542 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.36 [mbar] GASDICHTE: 6.27
SÄTT.KONZENTR.: 2.7 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 76
STOFFNAME: Trichlorethan (1,1,1-) (Methylchloroform)
STOFFGRUPPE: 8
SUMMENFORMEL: $C_2H_3Cl_3$ MOLMASSE: 133.40 [g/mol]
FESTPUNKT: 242.8 [K]
SIEDEPUNKT: 347.3 [K]
LÖSLICHKEIT: 1300.0 [g/m3] DICHTE: 1.3390 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 133.0 [mbar] GASDICHTE: 4.61
SÄTT.KONZENTR.: 728.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 77
STOFFNAME: Trichlorethan (1,1,2-) (Vinyltrichlorid)
STOFFGRUPPE: 8
SUMMENFORMEL: $C_2H_3Cl_3$ MOLMASSE: 133.40 [g/mol]
FESTPUNKT: 236.5 [K]
SIEDEPUNKT: 386.8 [K]
LÖSLICHKEIT: 4500.0 [g/m3] DICHTE: 1.4411 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 29.0 [mbar] GASDICHTE: 4.61
SÄTT.KONZENTR.: 159.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 78
STOFFNAME: Trichlorethen (Trichlorethylen; Tri)
STOFFGRUPPE: 8
SUMMENFORMEL: C_2HCl_3 MOLMASSE: 131.39 [g/mol]
FESTPUNKT: 200.2 [K]
SIEDEPUNKT: 360.1 [K]
LÖSLICHKEIT: 1100.0 [g/m3] DICHTE: 1.4642 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 77.3 [mbar] GASDICHTE: 4.54
SÄTT.KONZENTR.: 417.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 79
STOFFNAME: Trichlormethan (Chloroform)
STOFFGRUPPE: 8
SUMMENFORMEL: $CHCl_3$ MOLMASSE: 119.38 [g/mol]
FESTPUNKT: 210.0 [K]
SIEDEPUNKT: 334.5 [K]
LÖSLICHKEIT: 8200.0 [g/m3] DICHTE: 1.4832 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 213.0 [mbar] GASDICHTE: 4.12
SÄTT.KONZENTR.: 1045.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 80
STOFFNAME: Trichlorphenol(2,4,6-)
STOFFGRUPPE: 11
SUMMENFORMEL: $C_6H_3Cl_3O$ MOLMASSE: 197.45 [g/mol]
FESTPUNKT: 342.7 [K]
SIEDEPUNKT: 519.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 0.0 [g/m3] DICHTE: 1.6750 (25°C) [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.035 [mbar] GASDICHTE: 6.82
SÄTT.KONZENTR.: 0.28 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 81
STOFFNAME: Trinitrotoluol (TNT)
STOFFGRUPPE: 17
SUMMENFORMEL: $C_7H_5N3O_6$ MOLMASSE: 227.13 [g/mol]
FESTPUNKT: 353.5 [K]
SIEDEPUNKT: 554.2 Exp. Zers. [K]
LÖSLICHKEIT: . [g/m3] DICHTE: 1.6540 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: . [mbar] GASDICHTE: 7.85
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: nicht nach LAGA-Liste 1991;Einzelfallentscheid.

LFDNR: 82
STOFFNAME: Vanadium (Vanadin)
STOFFGRUPPE: 2
SUMMENFORMEL: V MOLMASSE: 50.94 [g/mol]
FESTPUNKT: 2163.2 [K]
SIEDEPUNKT: 3653.2 [K]
LÖSLICHKEIT: . [g/m3] DICHTE: 6.1100 (18.7°C) [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 83
STOFFNAME: Vinylchlorid (Chlorethen, VC)
STOFFGRUPPE: 8
SUMMENFORMEL: C_2H_3Cl MOLMASSE: 62.50 [g/mol]
FESTPUNKT: 113.5 [K]
SIEDEPUNKT: 259.5 [K]
LÖSLICHKEIT: 1100.0 (25°C) [g/m3] DICHTE: 0.9121 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 3400.0 [mbar] GASDICHTE: 2.16
SÄTT.KONZENTR.: Gas [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 84
STOFFNAME: Xylol (o-) (1,2-Dimethylbenzol)
STOFFGRUPPE: 10
SUMMENFORMEL: C_8H_{10} MOLMASSE: 106.17 [g/mol]
FESTPUNKT: 248.0 [K]
SIEDEPUNKT: 417.6 [K]
LÖSLICHKEIT: 200.0 [g/m3] DICHTE: 0.8811 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 6.7 [mbar] GASDICHTE: 3.67
SÄTT.KONZENTR.: 29.0 [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 85
STOFFNAME: Zink
STOFFGRUPPE: 2
SUMMENFORMEL: Zn MOLMASSE: 65.39 [g/mol]
FESTPUNKT: 692.7 [K]
SIEDEPUNKT: 1180.2 [K]
LÖSLICHKEIT: . [g/m3] DICHTE: 7.1330 (25°C) [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 86
STOFFNAME: Xylol (m-) (1,3-Dimethylbenzol)
STOFFGRUPPE: 10
SUMMENFORMEL: C_8H_{10} MOLMASSE: 106.17 [g/mol]
FESTPUNKT: 225.3 [K]
SIEDEPUNKT: 412.3 [K]
LÖSLICHKEIT: 200.0 [g/m3] DICHTE: 0.8656 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 8.0 [mbar] GASDICHTE: 3.67
SÄTT.KONZENTR.: 35.0 [g/m3]
BEMERKUNG: nicht nach LAGA-Liste

LFDNR: 87
STOFFNAME: Xylol (p-) (1,4-Dimethylbenzol)
STOFFGRUPPE: 10
SUMMENFORMEL: C_8H_{10} MOLMASSE: 106.17 [g/mol]
FESTPUNKT: 286.5 [K]
SIEDEPUNKT: 411.6 [K]
LÖSLICHKEIT: 140.0 [g/m3] DICHTE: 0.8611 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 8.2 [mbar] GASDICHTE: 3.67
SÄTT.KONZENTR.: 36.0 [g/m3]
BEMERKUNG: nicht nach LAGA-Liste

LFDNR: 88
STOFFNAME: Acenaphthylen
STOFFGRUPPE: 12
SUMMENFORMEL: $C_{12}H_8$ MOLMASSE: 152.20 [g/mol]
FESTPUNKT: 361.2 - 364.2 [K]
SIEDEPUNKT: 553.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 0.0 [g/m3] DICHTE: 0.8990 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 (Feststoff) [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Stoffwerte z.T. nicht verfügbar; Einzelfallentscheidung

LFDNR: 89
STOFFNAME: Pyren
STOFFGRUPPE: 12
SUMMENFORMEL: $C_{16}H_{10}$ MOLMASSE: 202.26 [g/mol]
FESTPUNKT: 422.2 - 424.2 [K]
SIEDEPUNKT: 677.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 0.148 [g/m3] DICHTE: . [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0000086 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 90
STOFFNAME: Benzo(a)anthracen (Tetraphen)
STOFFGRUPPE: 12
SUMMENFORMEL: $C_{18}H_{12}$ MOLMASSE: 228.29 [g/mol]
FESTPUNKT: 430.2 - 432.2 [K]
SIEDEPUNKT: 710.8 [K]
LÖSLICHKEIT: 0.014 [g/m3] DICHTE: . [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.00000000000667 [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: .

LFDNR: 91
STOFFNAME: Chrysen (1,2-Benzphenanthren)
STOFFGRUPPE: 12
SUMMENFORMEL: $C_{18}H_{12}$ MOLMASSE: 228.29 [g/mol]
FESTPUNKT: 523.2 - 526.2 [K]
SIEDEPUNKT: 721.2 [K]
LÖSLICHKEIT: . [g/m3] DICHTE: 1.2740 [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 (Feststoff) [mbar] GASDICHTE: 7.89
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: Stoffwerte z.T. nicht verfügbar; Einzelfallentscheidung

LFDNR: 92
STOFFNAME: Benzo(b)fluoranthen (Benz[e]acephenanthrylen)
STOFFGRUPPE: 12
SUMMENFORMEL: $C_{20}H_{12}$ MOLMASSE: 252.32 [g/mol]
FESTPUNKT: 436.2 - 438.2 [K]
SIEDEPUNKT: 753.0 [K]
LÖSLICHKEIT: . [g/m3] DICHTE: . [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 (Feststoff) [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: TVO-PAK; Einzelfallentscheidung!

LFDNR: 93
STOFFNAME: Benzo(k)fluoranthen
STOFFGRUPPE: 12
SUMMENFORMEL: C20H12 MOLMASSE: 252.32 [g/mol]
FESTPUNKT: . [K]
SIEDEPUNKT: 753.0 [K]
LÖSLICHKEIT: . [g/m3] DICHTE: . [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 (Feststoff) [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: TVO-PAK; Einzelfallentscheidung!

LFDNR: 94
STOFFNAME: Indeno-(1,2,3-cd)-pyren
STOFFGRUPPE: 12
SUMMENFORMEL: . MOLMASSE: . [g/mol]
FESTPUNKT: . [K]
SIEDEPUNKT: . [K]
LÖSLICHKEIT: . [g/m3] DICHTE: . [kg/m3]
DAMPFDRUCK: . [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: TVO-PAK; Einzelfallentscheidung!

LFDNR: **95**
STOFFNAME: Dibenzo(a,h)anthracen
STOFFGRUPPE: 12
SUMMENFORMEL: $C_{22}H_{14}$ MOLMASSE: 278.35 [g/mol]
FESTPUNKT: 539.2 - 540.2 [K]
SIEDEPUNKT: 797.2 [K]
LÖSLICHKEIT: 0.0 [g/m3] DICHTE: . [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 (Feststoff) [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: TVO-PAK; Einzelfallentscheidung!

LFDNR: **96**
STOFFNAME: Benzo-(ghi)-perylen (1,12-Benzoperylen)
STOFFGRUPPE: 12
SUMMENFORMEL: $C_{22}H_{12}$ MOLMASSE: 278.34 [g/mol]
FESTPUNKT: 550.2 - 552.2 [K]
SIEDEPUNKT: >774.2 [K]
LÖSLICHKEIT: . [g/m3] DICHTE: . [kg/m3]
DAMPFDRUCK: 0.0 (Feststoff) [mbar] GASDICHTE: .
SÄTT.KONZENTR.: . [g/m3]
BEMERKUNG: TVO-PAK; Einzelfallentscheidung!

6. Literatur zu Anhang 3

[1] Auer Technikum. Auergesellschaft mbH, 11. Ausgabe, 1985

[2] Beisteins Handbuch der organischen Chemie. Springer Verlag, Berlin

[3] Schneider, Göttner: Ermittlung von Basisdaten. BMU Forschungsbericht, UFO PLMN 10302228

[4] CRC Handbook of Chemistry and Physics. 66th Edition, CRC Press. Inc., Boca Raton, Florida, USA 1985

[5] Gefahrstoffe 1989. Universum Verlagsanstalt, Wiesbaden 1989

[6] Hampe, M.J.: Lösungsmittelauswahl bei der Flüssig/Flüssig-Extraktion unter physikalisch-chemischen Aspekten. Chem.Ing.Tech. 67, Nr. 8, 1985

[7] Mackay, D.; Shiu, W.Y.: A Critical Review of Henry's Law Constants for Chemicals of Environmental Interest. J.Phys.Chem.Ref.Data, Vol. 10, Nr. 4, 1981

[8] Welzbacher, U.: Neue Datenblätter für gefährliche Arbeitsstoffe nach der Gefahrstoffverordnung. Weka Fachverlage, Augsburg 1991

Anhang 4

Finanzmathematische Umrechnungsfaktoren der LAWA

„Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen“

6. Auflage

Akkumulationsfaktor für einmalige Kosten AFAKE(i;n)

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent								
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
1	1,00500	1,01000	1,01500	1,02000	1,02500	1,03000	1,03500	1,04000	1,04500
2	1,01003	1,02010	1,03023	1,04040	1,05063	1,06090	1,07123	1,08160	1,09203
3	1,01508	1,03030	1,04568	1,06121	1,07689	1,09273	1,10872	1,12486	1,14117
4	1,02015	1,04060	1,06136	1,08243	1,10381	1,12551	1,14752	1,16986	1,19252
5	1,02525	1,05101	1,07728	1,10408	1,13141	1,15927	1,18769	1,21665	1,24618
6	1,03038	1,06152	1,09344	1,12616	1,15969	1,19405	1,22926	1,26532	1,30226
7	1,03553	1,07214	1,10984	1,14869	1,18869	1,22987	1,27228	1,31593	1,36086
8	1,04071	1,08286	1,12649	1,17166	1,21840	1,26677	1,31681	1,36857	1,42210
9	1,04591	1,09369	1,14339	1,19509	1,24886	1,30477	1,36290	1,42331	1,48610
10	1,05114	1,10462	1,16054	1,21899	1,28008	1,34392	1,41060	1,48024	1,55297
11	1,05640	1,11567	1,17795	1,24337	1,31209	1,38423	1,45997	1,53945	1,62285
12	1,06168	1,12683	1,19562	1,26824	1,34489	1,42576	1,51107	1,60103	1,69588
13	1,06699	1,13809	1,21355	1,29361	1,37851	1,46853	1,56396	1,66507	1,77220
14	1,07232	1,14947	1,23176	1,31948	1,41297	1,51259	1,61869	1,73168	1,85194
15	1,07768	1,16097	1,25023	1,34587	1,44830	1,55797	1,67535	1,80094	1,93528
16	1,08307	1,17258	1,26899	1,37279	1,48451	1,60471	1,73399	1,87298	2,02237
17	1,08849	1,18430	1,28802	1,40024	1,52162	1,65285	1,79468	1,94790	2,11338
18	1,09393	1,19615	1,30734	1,42825	1,55966	1,70243	1,85749	2,02582	2,20848
19	1,09940	1,20811	1,32695	1,45681	1,59865	1,75351	1,92250	2,10685	2,30786
20	1,10490	1,22019	1,34686	1,48595	1,63862	1,80611	1,98979	2,19112	2,41171
21	1,11042	1,23239	1,36706	1,51567	1,67958	1,86029	2,05943	2,27877	2,52024
22	1,11597	1,24472	1,38756	1,54598	1,72157	1,91610	2,13151	2,36992	2,63365
23	1,12155	1,25716	1,40838	1,57690	1,76461	1,97359	2,20611	2,46472	2,75217
24	1,12716	1,26973	1,42950	1,60844	1,80873	2,03279	2,28333	2,56330	2,87601
25	1,13280	1,28243	1,45095	1,64061	1,85394	2,09378	2,36324	2,66584	3,00543
26	1,13846	1,29526	1,47271	1,67342	1,90029	2,15659	2,44596	2,77247	3,14068
27	1,14415	1,30821	1,49480	1,70689	1,94780	2,22129	2,53157	2,88337	3,28201
28	1,14987	1,32129	1,51722	1,74102	1,99650	2,28793	2,62017	2,99870	3,42970
29	1,15562	1,33450	1,53998	1,77584	2,04641	2,35657	2,71188	3,11865	3,58404
30	1,16140	1,34785	1,56308	1,81136	2,09757	2,42726	2,80679	3,24340	3,74532
31	1,16721	1,36133	1,58653	1,84759	2,15001	2,50008	2,90503	3,37313	3,91386
32	1,17304	1,37494	1,61032	1,88454	2,20376	2,57508	3,00671	3,50806	4,08998
33	1,17891	1,38869	1,63448	1,92223	2,25885	2,65234	3,11194	3,64838	4,27403
34	1,18480	1,40258	1,65900	1,96068	2,31532	2,73191	3,22086	3,79432	4,46636
35	1,19073	1,41660	1,68388	1,99989	2,37321	2,81386	3,33359	3,94609	4,66735
36	1,19668	1,43077	1,70914	2,03989	2,43254	2,89828	3,45027	4,10393	4,87738
37	1,20266	1,44508	1,73478	2,08069	2,49335	2,98523	3,57103	4,26809	5,09686
38	1,20868	1,45953	1,76080	2,12230	2,55568	3,07478	3,69601	4,43881	5,32622
39	1,21472	1,47412	1,78721	2,16474	2,61957	3,16703	3,82537	4,61637	5,56590
40	1,22079	1,48886	1,81402	2,20804	2,68506	3,26204	3,95926	4,80102	5,81636
41	1,22690	1,50375	1,84123	2,25220	2,75219	3,35990	4,09783	4,99306	6,07810
42	1,23303	1,51879	1,86885	2,29724	2,82100	3,46070	4,24126	5,19278	6,35162
43	1,23920	1,53398	1,89688	2,34319	2,89152	3,56452	4,38970	5,40050	6,63744
44	1,24539	1,54932	1,92533	2,39005	2,96381	3,67145	4,54334	5,61652	6,93612
45	1,25162	1,56481	1,95421	2,43785	3,03790	3,78160	4,70236	5,84118	7,24825
46	1,25788	1,58046	1,98353	2,48661	3,11385	3,89504	4,86694	6,07482	7,57442
47	1,26417	1,59626	2,01328	2,53634	3,19170	4,01190	5,03728	6,31782	7,91527
48	1,27049	1,61223	2,04348	2,58707	3,27149	4,13225	5,21359	6,57053	8,27146
49	1,27684	1,62835	2,07413	2,63881	3,35328	4,25622	5,39606	6,83335	8,64367
50	1,28323	1,64463	2,10524	2,69159	3,43711	4,38391	5,58493	7,10668	9,03264
55	1,31563	1,72852	2,26794	2,97173	3,88877	5,08215	6,63314	8,64637	11,2563
60	1,34885	1,81670	2,44322	3,28103	4,39979	5,89160	7,87809	10,5196	14,0274
65	1,38291	1,90937	2,63204	3,62252	4,97796	6,82998	9,35670	12,7987	17,4807
70	1,41783	2,00676	2,83546	3,99956	5,63210	7,91782	11,1128	15,5716	21,7841
75	1,45363	2,10913	3,05459	4,41584	6,37221	9,17893	13,1986	18,9453	27,1470
80	1,49034	2,21672	3,29066	4,87544	7,20957	10,6409	15,6757	23,0498	33,8301
85	1,52797	2,32979	3,54498	5,38288	8,15696	12,3357	18,6179	28,0436	42,1585
90	1,56655	2,44863	3,81895	5,94313	9,22886	14,3005	22,1122	34,1193	52,5371
95	1,60611	2,57354	4,11409	6,56170	10,4416	16,5782	26,2623	41,5114	65,4708
100	1,64667	2,70481	4,43205	7,24465	11,8137	19,2186	31,1914	50,5049	81,5885

Akkumulationsfaktor für einmalige Kosten AFAKE(i;n)

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent							
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10,0
1	1,05000	1,05500	1,06000	1,06500	1,07000	1,08000	1,09000	1,10000
2	1,10250	1,11303	1,12360	1,13423	1,14490	1,16640	1,18810	1,21000
3	1,15763	1,17424	1,19102	1,20795	1,22504	1,25971	1,29503	1,33100
4	1,21551	1,23882	1,26248	1,28647	1,31080	1,36049	1,41158	1,46410
5	1,27628	1,30696	1,33823	1,37009	1,40255	1,46933	1,53862	1,61051
6	1,34010	1,37884	1,41852	1,45914	1,50073	1,58687	1,67710	1,77156
7	1,40710	1,45468	1,50363	1,55399	1,60578	1,71382	1,82804	1,94872
8	1,47746	1,53469	1,59385	1,65500	1,71819	1,85093	1,99256	2,14359
9	1,55133	1,61909	1,68948	1,76257	1,83846	1,99900	2,17189	2,35795
10	1,62889	1,70814	1,79085	1,87714	1,96715	2,15892	2,36736	2,59374
11	1,71034	1,80209	1,89830	1,99915	2,10485	2,33164	2,58043	2,85312
12	1,79586	1,90121	2,01220	2,12910	2,25219	2,51817	2,81266	3,13843
13	1,88565	2,00577	2,13293	2,26749	2,40985	2,71962	3,06580	3,45227
14	1,97993	2,11609	2,26090	2,41487	2,57853	2,93719	3,34173	3,79750
15	2,07893	2,23248	2,39656	2,57184	2,75903	3,17217	3,64248	4,17725
16	2,18287	2,35526	2,54035	2,73901	2,95216	3,42594	3,97031	4,59597
17	2,29202	2,48480	2,69277	2,91705	3,15882	3,70002	4,32763	5,05447
18	2,40662	2,62147	2,85434	3,10665	3,37993	3,99602	4,71712	5,55992
19	2,52695	2,76565	3,02560	3,30859	3,61653	4,31570	5,14166	6,11591
20	2,65330	2,91776	3,20714	3,52365	3,86968	4,66096	5,60441	6,72750
21	2,78596	3,07823	3,39956	3,75268	4,14056	5,03383	6,10881	7,40025
22	2,92526	3,24754	3,60354	3,99661	4,43040	5,43654	6,65860	8,14027
23	3,07152	3,42615	3,81975	4,25639	4,74053	5,87146	7,25787	8,95430
24	3,22510	3,61459	4,04893	4,53305	5,07237	6,34118	7,91108	9,84973
25	3,38635	3,81339	4,29187	4,82770	5,42743	6,84848	8,62308	10,8347
26	3,55567	4,02313	4,54938	5,14150	5,80735	7,39635	9,39916	11,9182
27	3,73346	4,24440	4,82235	5,47570	6,21387	7,98806	10,2451	13,1100
28	3,92013	4,47784	5,11169	5,83162	6,64884	8,62711	11,1671	14,4210
29	4,11614	4,72412	5,41839	6,21067	7,11426	9,31727	12,1722	15,8631
30	4,32194	4,98395	5,74349	6,61437	7,61226	10,0627	13,2677	17,4494
31	4,53804	5,25807	6,08810	7,04430	8,14511	10,8677	14,4618	19,1943
32	4,76494	5,54726	6,45339	7,50218	8,71527	11,7371	15,7633	21,1138
33	5,00319	5,85236	6,84059	7,98982	9,32534	12,6761	17,1820	23,2252
34	5,25335	6,17424	7,25103	8,50916	9,97811	13,6901	18,7284	25,5477
35	5,51602	6,51383	7,68609	9,06225	10,6766	14,7853	20,4140	28,1024
36	5,79182	6,87209	8,14725	9,65130	11,4239	15,9682	22,2512	30,9127
37	6,08141	7,25005	8,63609	10,2786	12,2236	17,2456	24,2538	34,0040
38	6,38548	7,64880	9,15425	10,9468	13,0793	18,6253	26,4367	37,4043
39	6,70475	8,06949	9,70351	11,6583	13,9948	20,1153	28,8160	41,1448
40	7,03999	8,51331	10,2857	12,4161	14,9745	21,7245	31,4094	45,2593
41	7,39199	8,98154	10,9029	13,2231	16,0227	23,4625	34,2363	49,7852
42	7,76159	9,47553	11,5570	14,0826	17,1443	25,3395	37,3175	54,7637
43	8,14967	9,99668	12,2505	14,9980	18,3444	27,3666	40,6761	60,2401
44	8,55715	10,5465	12,9855	15,9729	19,6285	29,5560	44,3370	66,2641
45	8,98501	11,1266	13,7646	17,0111	21,0025	31,9205	48,3273	72,8905
46	9,43426	11,7385	14,5905	18,1168	22,4726	34,4741	52,6767	80,1795
47	9,90597	12,3841	15,4659	19,2944	24,0457	37,2320	57,4177	88,1975
48	10,4013	13,0653	16,3939	20,5486	25,7289	40,2106	62,5852	97,0172
49	10,9213	13,7838	17,3775	21,8842	27,5299	43,4274	68,2179	106,719
50	11,4674	14,5420	18,4202	23,3067	29,4570	46,9016	74,3575	117,391
55	14,6356	19,0058	24,6503	31,9322	41,3150	68,9139	114,408	189,059
60	18,6792	24,8398	32,9877	43,7498	57,9464	101,257	176,031	304,482
65	23,8399	32,4646	44,1450	59,9411	81,2729	148,780	270,846	490,371
70	30,4264	42,4299	59,0759	82,1245	113,989	218,606	416,730	789,747
75	38,8327	55,4542	79,0569	112,518	159,876	321,205	641,191	1271,90
80	49,5614	72,4764	105,796	154,159	224,234	471,955	986,552	2048,40
85	63,2544	94,7238	141,579	211,211	314,500	693,456	1517,93	3298,97
90	80,7304	123,800	189,465	289,377	441,103	1018,92	2335,53	5313,02
95	103,035	161,802	253,546	396,472	618,670	1497,12	3593,50	8556,68
100	131,501	211,469	339,302	543,201	867,716	2199,76	5529,04	13780,6

Diskontierungsfaktor für einmalige Kosten DFAKE(i;n)

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1	0,98039	0,97561	0,97087	0,96618	0,96154	0,95694	0,95238
2	0,96117	0,95181	0,94260	0,93351	0,92456	0,91573	0,90703
3	0,94232	0,92860	0,91514	0,90194	0,88900	0,87630	0,86384
4	0,92385	0,90595	0,88849	0,87144	0,85480	0,83856	0,82270
5	0,90573	0,88385	0,86261	0,84197	0,82193	0,80245	0,78353
6	0,88797	0,86230	0,83748	0,81350	0,79031	0,76790	0,74622
7	0,87056	0,84127	0,81309	0,78599	0,75992	0,73483	0,71068
8	0,85349	0,82075	0,78941	0,75941	0,73069	0,70319	0,67684
9	0,83676	0,80073	0,76642	0,73373	0,70259	0,67290	0,64461
10	0,82035	0,78120	0,74409	0,70892	0,67556	0,64393	0,61391
11	0,80426	0,76214	0,72242	0,68495	0,64958	0,61620	0,58468
12	0,78849	0,74356	0,70138	0,66178	0,62460	0,58966	0,55684
13	0,77303	0,72542	0,68095	0,63940	0,60057	0,56427	0,53032
14	0,75788	0,70773	0,66112	0,61778	0,57748	0,53997	0,50507
15	0,74301	0,69047	0,64186	0,59689	0,55526	0,51672	0,48102
16	0,72845	0,67362	0,62317	0,57671	0,53391	0,49447	0,45811
17	0,71416	0,65720	0,60502	0,55720	0,51337	0,47318	0,43630
18	0,70016	0,64117	0,58739	0,53836	0,49363	0,45280	0,41552
19	0,68643	0,62553	0,57029	0,52016	0,47464	0,43330	0,39573
20	0,67297	0,61027	0,55368	0,50257	0,45639	0,41464	0,37689
21	0,65978	0,59539	0,53755	0,48557	0,43883	0,39679	0,35894
22	0,64684	0,58086	0,52189	0,46915	0,42196	0,37970	0,34185
23	0,63416	0,56670	0,50669	0,45329	0,40573	0,36335	0,32557
24	0,62172	0,55288	0,49193	0,43796	0,39012	0,34770	0,31007
25	0,60953	0,53939	0,47761	0,42315	0,37512	0,33273	0,29530
26	0,59758	0,52623	0,46369	0,40884	0,36069	0,31840	0,28124
27	0,58586	0,51340	0,45019	0,39501	0,34682	0,30469	0,26785
28	0,57437	0,50088	0,43708	0,38165	0,33348	0,29157	0,25509
29	0,56311	0,48866	0,42435	0,36875	0,32065	0,27902	0,24295
30	0,55207	0,47674	0,41199	0,35628	0,30832	0,26700	0,23138
31	0,54125	0,46511	0,39999	0,34423	0,29646	0,25550	0,22036
32	0,53063	0,45377	0,38834	0,33259	0,28506	0,24450	0,20987
33	0,52023	0,44270	0,37703	0,32134	0,27409	0,23397	0,19987
34	0,51003	0,43191	0,36604	0,31048	0,26355	0,22390	0,19035
35	0,50003	0,42137	0,35538	0,29998	0,25342	0,21425	0,18129
36	0,49022	0,41109	0,34503	0,28983	0,24367	0,20503	0,17266
37	0,48061	0,40107	0,33498	0,28003	0,23430	0,19620	0,16444
38	0,47119	0,39128	0,32523	0,27056	0,22529	0,18775	0,15661
39	0,46195	0,38174	0,31575	0,26141	0,21662	0,17967	0,14915
40	0,45289	0,37243	0,30656	0,25257	0,20829	0,17193	0,14205
41	0,44401	0,36335	0,29763	0,24403	0,20028	0,16453	0,13528
42	0,43530	0,35448	0,28896	0,23578	0,19257	0,15744	0,12884
43	0,42677	0,34584	0,28054	0,22781	0,18517	0,15066	0,12270
44	0,41840	0,33740	0,27237	0,22010	0,17805	0,14417	0,11686
45	0,41020	0,32917	0,26444	0,21266	0,17120	0,13796	0,11130
46	0,40215	0,32115	0,25674	0,20547	0,16461	0,13202	0,10600
47	0,39427	0,31331	0,24926	0,19852	0,15828	0,12634	0,10095
48	0,38654	0,30567	0,24200	0,19181	0,15219	0,12090	0,09614
49	0,37896	0,29822	0,23495	0,18532	0,14634	0,11569	0,09156
50	0,37153	0,29094	0,22811	0,17905	0,14071	0,11071	0,08720
55	0,33650	0,25715	0,19677	0,15076	0,11566	0,08884	0,06833
60	0,30478	0,22728	0,16973	0,12693	0,09506	0,07129	0,05354
65	0,27605	0,20089	0,14641	0,10688	0,07813	0,05721	0,04195
70	0,25003	0,17755	0,12630	0,08999	0,06422	0,04590	0,03287
75	0,22646	0,15693	0,10895	0,07577	0,05278	0,03684	0,02575
80	0,20511	0,13870	0,09398	0,06379	0,04338	0,02956	0,02018
85	0,18577	0,12259	0,08107	0,05371	0,03566	0,02372	0,01581
90	0,16826	0,10836	0,06993	0,04522	0,02931	0,01903	0,01239
95	0,15240	0,09577	0,06032	0,03808	0,02409	0,01527	0,00971
100	0,13803	0,08465	0,05203	0,03206	0,01980	0,01226	0,00760

Diskontierungsfaktor für einmalige Kosten DFAKE(i;n)

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10,0
1	0,94787	0,94340	0,93897	0,93458	0,92593	0,91743	0,90909
2	0,89845	0,89000	0,88166	0,87344	0,85734	0,84168	0,82645
3	0,85161	0,83962	0,82785	0,81630	0,79383	0,77218	0,75131
4	0,80722	0,79209	0,77732	0,76290	0,73503	0,70843	0,68301
5	0,76513	0,74726	0,72988	0,71299	0,68058	0,64993	0,62092
6	0,72525	0,70496	0,68533	0,66634	0,63017	0,59627	0,56447
7	0,68744	0,66506	0,64351	0,62275	0,58349	0,54703	0,51316
8	0,65160	0,62741	0,60423	0,58201	0,54027	0,50187	0,46651
9	0,61763	0,59190	0,56735	0,54393	0,50025	0,46043	0,42410
10	0,58543	0,55839	0,53273	0,50835	0,46319	0,42241	0,38554
11	0,55491	0,52679	0,50021	0,47509	0,42888	0,38753	0,35049
12	0,52598	0,49697	0,46968	0,44401	0,39711	0,35553	0,31863
13	0,49856	0,46884	0,44102	0,41496	0,36770	0,32618	0,28966
14	0,47257	0,44230	0,41410	0,38782	0,34046	0,29925	0,26333
15	0,44793	0,41727	0,38883	0,36245	0,31524	0,27454	0,23939
16	0,42458	0,39365	0,36510	0,33873	0,29189	0,25187	0,21763
17	0,40245	0,37136	0,34281	0,31657	0,27027	0,23107	0,19784
18	0,38147	0,35034	0,32189	0,29586	0,25025	0,21199	0,17986
19	0,36158	0,33051	0,30224	0,27651	0,23171	0,19449	0,16351
20	0,34273	0,31180	0,28380	0,25842	0,21455	0,17843	0,14864
21	0,32486	0,29416	0,26648	0,24151	0,19866	0,16370	0,13513
22	0,30793	0,27751	0,25021	0,22571	0,18394	0,15018	0,12285
23	0,29187	0,26180	0,23494	0,21095	0,17032	0,13778	0,11168
24	0,27666	0,24698	0,22060	0,19715	0,15770	0,12640	0,10153
25	0,26223	0,23300	0,20714	0,18425	0,14602	0,11597	0,09230
26	0,24856	0,21981	0,19450	0,17220	0,13520	0,10639	0,08391
27	0,23560	0,20737	0,18263	0,16093	0,12519	0,09761	0,07628
28	0,22332	0,19563	0,17148	0,15040	0,11591	0,08955	0,06934
29	0,21168	0,18456	0,16101	0,14056	0,10733	0,08215	0,06304
30	0,20064	0,17411	0,15119	0,13137	0,09938	0,07537	0,05731
31	0,19018	0,16425	0,14196	0,12277	0,09202	0,06915	0,05210
32	0,18027	0,15496	0,13329	0,11474	0,08520	0,06344	0,04736
33	0,17087	0,14619	0,12516	0,10723	0,07889	0,05820	0,04306
34	0,16196	0,13791	0,11752	0,10022	0,07305	0,05339	0,03914
35	0,15352	0,13011	0,11035	0,09366	0,06763	0,04899	0,03558
36	0,14552	0,12274	0,10361	0,08754	0,06262	0,04494	0,03235
37	0,13793	0,11579	0,09729	0,08181	0,05799	0,04123	0,02941
38	0,13074	0,10924	0,09135	0,07646	0,05369	0,03783	0,02673
39	0,12392	0,10306	0,08578	0,07146	0,04971	0,03470	0,02430
40	0,11746	0,09722	0,08054	0,06678	0,04603	0,03184	0,02209
41	0,11134	0,09172	0,07563	0,06241	0,04262	0,02921	0,02009
42	0,10554	0,08653	0,07101	0,05833	0,03946	0,02680	0,01826
43	0,10003	0,08163	0,06668	0,05451	0,03654	0,02458	0,01660
44	0,09482	0,07701	0,06261	0,05095	0,03383	0,02255	0,01509
45	0,08988	0,07265	0,05879	0,04761	0,03133	0,02069	0,01372
46	0,08519	0,06854	0,05520	0,04450	0,02901	0,01898	0,01247
47	0,08075	0,06466	0,05183	0,04159	0,02686	0,01742	0,01134
48	0,07654	0,06100	0,04867	0,03887	0,02487	0,01598	0,01031
49	0,07255	0,05755	0,04570	0,03632	0,02303	0,01466	0,00937
50	0,06877	0,05429	0,04291	0,03395	0,02132	0,01345	0,00852
55	0,05262	0,04057	0,03132	0,02420	0,01451	0,00874	0,00529
60	0,04026	0,03031	0,02286	0,01726	0,00988	0,00568	0,00328
65	0,03080	0,02265	0,01668	0,01230	0,00672	0,00369	0,00204
70	0,02357	0,01693	0,01218	0,00877	0,00457	0,00240	0,00127
75	0,01803	0,01265	0,00889	0,00625	0,00311	0,00156	0,00079
80	0,01380	0,00945	0,00649	0,00446	0,00212	0,00101	0,00049
85	0,01056	0,00706	0,00473	0,00318	0,00144	0,00066	0,00030
90	0,00808	0,00528	0,00346	0,00227	0,00098	0,00043	0,00019
95	0,00618	0,00394	0,00252	0,00162	0,00067	0,00028	0,00012
100	0,00473	0,00295	0,00184	0,00115	0,00045	0,00018	0,00007

Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR(i;n)

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1	1,02000	1,02500	1,03000	1,03500	1,04000	1,04500	1,05000
2	0,51505	0,51883	0,52261	0,52640	0,53020	0,53400	0,53780
3	0,34675	0,35014	0,35353	0,35693	0,36035	0,36377	0,36721
4	0,26262	0,26582	0,26903	0,27225	0,27549	0,27874	0,28201
5	0,21216	0,21525	0,21835	0,22148	0,22463	0,22779	0,23097
6	0,17853	0,18155	0,18460	0,18767	0,19076	0,19388	0,19702
7	0,15451	0,15750	0,16051	0,16354	0,16661	0,16970	0,17282
8	0,13651	0,13947	0,14246	0,14548	0,14853	0,15161	0,15472
9	0,12252	0,12546	0,12843	0,13145	0,13449	0,13757	0,14069
10	0,11133	0,11426	0,11723	0,12024	0,12329	0,12638	0,12950
11	0,10218	0,10511	0,10808	0,11109	0,11415	0,11725	0,12039
12	0,09456	0,09749	0,10046	0,10348	0,10655	0,10967	0,11283
13	0,08812	0,09105	0,09403	0,09706	0,10014	0,10328	0,10646
14	0,08260	0,08554	0,08853	0,09157	0,09467	0,09782	0,10102
15	0,07783	0,08077	0,08377	0,08683	0,08994	0,09311	0,09634
16	0,07365	0,07660	0,07961	0,08268	0,08582	0,08902	0,09227
17	0,06997	0,07293	0,07595	0,07904	0,08220	0,08542	0,08870
18	0,06670	0,06967	0,07271	0,07582	0,07899	0,08224	0,08555
19	0,06378	0,06676	0,06981	0,07294	0,07614	0,07941	0,08275
20	0,06116	0,06415	0,06722	0,07036	0,07358	0,07688	0,08024
21	0,05878	0,06179	0,06487	0,06804	0,07128	0,07460	0,07800
22	0,05663	0,05965	0,06275	0,06593	0,06920	0,07255	0,07597
23	0,05467	0,05770	0,06081	0,06402	0,06731	0,07068	0,07414
24	0,05287	0,05591	0,05905	0,06227	0,06559	0,06899	0,07247
25	0,05122	0,05428	0,05743	0,06067	0,06401	0,06744	0,07095
26	0,04970	0,05277	0,05594	0,05921	0,06257	0,06602	0,06956
27	0,04829	0,05138	0,05456	0,05785	0,06124	0,06472	0,06829
28	0,04699	0,05009	0,05329	0,05660	0,06001	0,06352	0,06712
29	0,04578	0,04889	0,05211	0,05545	0,05888	0,06241	0,06605
30	0,04465	0,04778	0,05102	0,05437	0,05783	0,06139	0,06505
31	0,04360	0,04674	0,05000	0,05337	0,05686	0,06044	0,06413
32	0,04261	0,04577	0,04905	0,05244	0,05595	0,05956	0,06328
33	0,04169	0,04486	0,04816	0,05157	0,05510	0,05874	0,06249
34	0,04082	0,04401	0,04732	0,05076	0,05431	0,05798	0,06176
35	0,04000	0,04321	0,04654	0,05000	0,05358	0,05727	0,06107
36	0,03923	0,04245	0,04580	0,04928	0,05289	0,05661	0,06043
37	0,03851	0,04174	0,04511	0,04861	0,05224	0,05598	0,05984
38	0,03782	0,04107	0,04446	0,04798	0,05163	0,05540	0,05928
39	0,03717	0,04044	0,04384	0,04739	0,05106	0,05486	0,05876
40	0,03656	0,03984	0,04326	0,04683	0,05052	0,05434	0,05828
41	0,03597	0,03927	0,04271	0,04630	0,05002	0,05386	0,05782
42	0,03542	0,03873	0,04219	0,04580	0,04954	0,05341	0,05739
43	0,03489	0,03822	0,04170	0,04533	0,04909	0,05298	0,05699
44	0,03439	0,03773	0,04123	0,04488	0,04866	0,05258	0,05662
45	0,03391	0,03727	0,04079	0,04445	0,04826	0,05220	0,05626
46	0,03345	0,03683	0,04036	0,04405	0,04788	0,05184	0,05593
47	0,03302	0,03641	0,03996	0,04367	0,04752	0,05151	0,05561
48	0,03260	0,03601	0,03958	0,04331	0,04718	0,05119	0,05532
49	0,03220	0,03562	0,03921	0,04296	0,04686	0,05089	0,05504
50	0,03182	0,03526	0,03887	0,04263	0,04655	0,05060	0,05478
55	0,03014	0,03365	0,03735	0,04121	0,04523	0,04939	0,05367
60	0,02877	0,03235	0,03613	0,04009	0,04420	0,04845	0,05283
65	0,02763	0,03128	0,03515	0,03919	0,04339	0,04773	0,05219
70	0,02667	0,03040	0,03434	0,03846	0,04275	0,04717	0,05170
75	0,02586	0,02965	0,03367	0,03787	0,04223	0,04672	0,05132
80	0,02516	0,02903	0,03311	0,03738	0,04181	0,04637	0,05103
85	0,02456	0,02849	0,03265	0,03699	0,04148	0,04609	0,05080
90	0,02405	0,02804	0,03226	0,03666	0,04121	0,04587	0,05063
95	0,02360	0,02765	0,03193	0,03639	0,04099	0,04570	0,05049
100	0,02320	0,02731	0,03165	0,03616	0,04081	0,04556	0,05038
unendlich	0,02000	0,02500	0,03000	0,03500	0,04000	0,04500	0,05000

Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR(i;n)

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10,0
1	1,05500	1,06000	1,06500	1,07000	1,08000	1,09000	1,10000
2	0,54162	0,54544	0,54926	0,55309	0,56077	0,56847	0,57619
3	0,37065	0,37411	0,37758	0,38105	0,38803	0,39505	0,40211
4	0,28529	0,28859	0,29190	0,29523	0,30192	0,30867	0,31547
5	0,23418	0,23740	0,24063	0,24389	0,25046	0,25709	0,26380
6	0,20018	0,20336	0,20657	0,20980	0,21632	0,22292	0,22961
7	0,17596	0,17914	0,18233	0,18555	0,19207	0,19869	0,20541
8	0,15786	0,16104Hpp	0,16424	0,16747	0,17401	0,18067	0,18744
9	0,14384	0,14702	0,15024	0,15349	0,16008	0,16680	0,17364
10	0,13267	0,13587	0,13910	0,14238	0,14903	0,15582	0,16275
11	0,12357	0,12679	0,13006	0,13336	0,14008	0,14695	0,15396
12	0,11603	0,11928	0,12257	0,12590	0,13270	0,13965	0,14676
13	0,10968	0,11296	0,11628	0,11965	0,12652	0,13357	0,14078
14	0,10428	0,10758	0,11094	0,11434	0,12130	0,12843	0,13575
15	0,09963	0,10296	0,10635	0,10979	0,11683	0,12406	0,13147
16	0,09558	0,09895	0,10238	0,10586	0,11298	0,12030	0,12782
17	0,09204	0,09544	0,09891	0,10243	0,10963	0,11705	0,12466
18	0,08892	0,09236	0,09585	0,09941	0,10670	0,11421	0,12193
19	0,08615	0,08962	0,09316	0,09675	0,10413	0,11173	0,11955
20	0,08368	0,08718	0,09076	0,09439	0,10185	0,10955	0,11746
21	0,08146	0,08500	0,08861	0,09229	0,09983	0,10762	0,11562
22	0,07947	0,08305	0,08669	0,09041	0,09803	0,10590	0,11401
23	0,07767	0,08128	0,08496	0,08871	0,09642	0,10438	0,11257
24	0,07604	0,07968	0,08340	0,08719	0,09498	0,10302	0,11130
25	0,07455	0,07823	0,08198	0,08581	0,09368	0,10181	0,11017
26	0,07319	0,07690	0,08069	0,08456	0,09251	0,10072	0,10916
27	0,07195	0,07570	0,07952	0,08343	0,09145	0,09973	0,10826
28	0,07081	0,07459	0,07845	0,08239	0,09049	0,09885	0,10745
29	0,06977	0,07358	0,07747	0,08145	0,08962	0,09806	0,10673
30	0,06881	0,07265	0,07658	0,08059	0,08883	0,09734	0,10608
31	0,06792	0,07179	0,07575	0,07980	0,08811	0,09669	0,10550
32	0,06710	0,07100	0,07500	0,07907	0,08745	0,09610	0,10497
33	0,06633	0,07027	0,07430	0,07841	0,08685	0,09556	0,10450
34	0,06563	0,06960	0,07366	0,07780	0,08630	0,09508	0,10407
35	0,06497	0,06897	0,07306	0,07723	0,08580	0,09464	0,10369
36	0,06437	0,06839	0,07251	0,07672	0,08534	0,09424	0,10334
37	0,06380	0,06786	0,07201	0,07624	0,08492	0,09387	0,10303
38	0,06327	0,06736	0,07153	0,07580	0,08454	0,09354	0,10275
39	0,06278	0,06689	0,07110	0,07539	0,08419	0,09324	0,10249
40	0,06232	0,06646	0,07069	0,07501	0,08386	0,09296	0,10226
41	0,06189	0,06606	0,07032	0,07466	0,08356	0,09271	0,10205
42	0,06149	0,06568	0,06997	0,07434	0,08329	0,09248	0,10186
43	0,06111	0,06533	0,06964	0,07404	0,08303	0,09227	0,10169
44	0,06076	0,06501	0,06934	0,07376	0,08280	0,09208	0,10153
45	0,06043	0,06470	0,06906	0,07350	0,08259	0,09190	0,10139
46	0,06012	0,06441	0,06880	0,07326	0,08239	0,09174	0,10126
47	0,05983	0,06415	0,06855	0,07304	0,08221	0,09160	0,10115
48	0,05956	0,06390	0,06833	0,07283	0,08204	0,09146	0,10104
49	0,05930	0,06366	0,06811	0,07264	0,08189	0,09134	0,10095
50	0,05906	0,06344	0,06791	0,07246	0,08174	0,09123	0,10086
55	0,05805	0,06254	0,06710	0,07174	0,08118	0,09079	0,10053
60	0,05731	0,06188	0,06652	0,07123	0,08080	0,09051	0,10033
65	0,05675	0,06139	0,06610	0,07087	0,08054	0,09033	0,10020
70	0,05633	0,06103	0,06580	0,07062	0,08037	0,09022	0,10013
75	0,05601	0,06077	0,06558	0,07044	0,08025	0,09014	0,10008
80	0,05577	0,06057	0,06542	0,07031	0,08017	0,09009	0,10005
85	0,05559	0,06043	0,06531	0,07022	0,08012	0,09006	0,10003
90	0,05545	0,06032	0,06523	0,07016	0,08008	0,09004	0,10002
95	0,05534	0,06024	0,06516	0,07011	0,08005	0,09003	0,10001
100	0,05526	0,06018	0,06512	0,07008	0,08004	0,09002	0,10001
unendlich	0,05500	0,06000	0,06500	0,07000	0,08000	0,09000	0,10000

Akkumulationsfaktor für gleichförmige Kostenreihen AFAKR(i;n)

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2	2,02000	2,02500	2,03000	2,03500	2,04000	2,04500	2,05000
3	3,06040	3,07563	3,09090	3,10622	3,12160	3,13703	3,15250
4	4,12161	4,15252	4,18363	4,21494	4,24646	4,27819	4,31013
5	5,20404	5,25633	5,30914	5,36247	5,41632	5,47071	5,52563
6	6,30812	6,38774	6,46841	6,55015	6,63298	6,71689	6,80191
7	7,43428	7,54743	7,66246	7,77941	7,89829	8,01915	8,14201
8	8,58297	8,73612	8,89234	9,05169	9,21423	9,38001	9,54911
9	9,75463	9,95452	10,1591	10,3685	10,5828	10,8021	11,0266
10	10,9497	11,2034	11,4639	11,7314	12,0061	12,2882	12,5779
11	12,1687	12,4835	12,8078	13,1420	13,4864	13,8412	14,2068
12	13,4121	13,7956	14,1920	14,6020	15,0258	15,4640	15,9171
13	14,6803	15,1404	15,6178	16,1130	16,6268	17,1599	17,7130
14	15,9739	16,5190	17,0863	17,6770	18,2919	18,9321	19,5986
15	17,2934	17,9319	18,5989	19,2957	20,0236	20,7841	21,5786
16	18,6393	19,3802	20,1569	20,9710	21,8245	22,7193	23,6575
17	20,0121	20,8647	21,7616	22,7050	23,6975	24,7417	25,8404
18	21,4123	22,3863	23,4144	24,4997	25,6454	26,8551	28,1324
19	22,8406	23,9460	25,1169	26,3572	27,6712	29,0636	30,5390
20	24,2974	25,5447	26,8704	28,2797	29,7781	31,3714	33,0660
21	25,7833	27,1833	28,6765	30,2695	31,9692	33,7831	35,7193
22	27,2990	28,8629	30,5368	32,3289	34,2480	36,3034	38,5052
23	28,8450	30,5844	32,4529	34,4604	36,6179	38,9370	41,4305
24	30,4219	32,3490	34,4265	36,6665	39,0826	41,6892	44,5020
25	32,0303	34,1578	36,4593	38,9499	41,6459	44,5652	47,7271
26	33,6709	36,0117	38,5530	41,3131	44,3117	47,5706	51,1135
27	35,3443	37,9120	40,7096	43,7591	47,0842	50,7113	54,6691
28	37,0512	39,8598	42,9309	46,2906	49,9676	53,9933	58,4026
29	38,7922	41,8563	45,2189	48,9108	52,9663	57,4230	62,3227
30	40,5681	43,9027	47,5754	51,6227	56,0849	61,0071	66,4388
31	42,3794	46,0003	50,0027	54,4295	59,3283	64,7524	70,7608
32	44,2270	48,1503	52,5028	57,3345	62,7015	68,6662	75,2988
33	46,1116	50,3540	55,0778	60,3412	66,2095	72,7562	80,0638
34	48,0338	52,6129	57,7302	63,4532	69,8579	77,0303	85,0670
35	49,9945	54,9282	60,4621	66,6740	73,6522	81,4966	90,3203
36	51,9944	57,3014	63,2759	70,0076	77,5983	86,1640	95,8363
37	54,0343	59,7339	66,1742	73,4579	81,7022	91,0413	101,628
38	56,1149	62,2273	69,1594	77,0289	85,9703	96,1382	107,710
39	58,2372	64,7830	72,2342	80,7249	90,4091	101,464	114,095
40	60,4020	67,4026	75,4013	84,5503	95,0255	107,030	120,800
41	62,6100	70,0876	78,6633	88,5095	99,8265	112,847	127,840
42	64,8622	72,8398	82,0232	92,6074	104,820	118,925	135,232
43	67,1595	75,6608	85,4839	96,8486	110,012	125,276	142,993
44	69,5027	78,5523	89,0484	101,238	115,413	131,914	151,143
45	71,8927	81,5161	92,7199	105,782	121,029	138,850	159,700
46	74,3306	84,5540	96,5015	110,484	126,871	146,098	168,685
47	76,8172	87,6679	100,397	115,351	132,945	153,673	178,119
48	79,3535	90,8596	104,408	120,388	139,263	161,588	188,025
49	81,9406	94,1311	108,541	125,602	145,834	169,859	198,427
50	84,5794	97,4843	112,797	130,998	152,667	178,503	209,348
55	98,5865	115,551	136,072	160,947	191,159	227,918	272,713
60	114,052	135,992	163,053	196,517	237,991	289,498	353,584
65	131,126	159,118	194,333	238,763	294,968	366,238	456,798
70	149,978	185,284	230,594	288,938	364,290	461,870	588,529
75	170,792	214,888	272,631	348,530	448,631	581,044	756,654
80	193,772	248,383	321,363	419,307	551,245	729,558	971,229
85	219,144	286,279	377,857	503,367	676,090	914,632	1245,09
90	247,157	329,154	443,349	603,205	827,983	1145,27	1594,61
95	278,085	377,664	519,272	721,781	1012,78	1432,68	2040,69
100	312,232	432,549	607,288	862,612	1237,62	1790,86	2610,03

Akkumulationsfaktor für gleichförmige Kostenreihen AFAKR(i;n)

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10,0
1	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
2	2,05500	2,06000	2,06500	2,07000	2,08000	2,09000	2,10000
3	3,16803	3,18360	3,19923	3,21490	3,24640	3,27810	3,31000
4	4,34227	4,37462	4,40717	4,43994	4,50611	4,57313	4,64100
5	5,58109	5,63709	5,69364	5,75074	5,86660	5,98471	6,10510
6	6,88805	6,97532	7,06373	7,15329	7,33593	7,52333	7,71561
7	8,26689	8,39384	8,52287	8,65402	8,92280	9,20043	9,48717
8	9,72157	9,89747	10,0769	10,2598	10,6366	11,0285	11,4359
9	11,2563	11,4913	11,7319	11,9780	12,4876	13,0210	13,5795
10	12,8754	13,1808	13,4944	13,8165	14,4866	15,1929	15,9374
11	14,5835	14,9716	15,3716	15,7836	16,6455	17,5603	18,5312
12	16,3856	16,8699	17,3707	17,8885	18,9771	20,1407	21,3843
13	18,2868	18,8821	19,4998	20,1406	21,4953	22,9534	24,5227
14	20,2926	21,0151	21,7673	22,5505	24,2149	26,0192	27,9750
15	22,4087	23,2760	24,1822	25,1290	27,1521	29,3609	31,7725
16	24,6411	25,6725	26,7540	27,8881	30,3243	33,0034	35,9497
17	26,9964	28,2129	29,4930	30,8402	33,7502	36,9737	40,5447
18	29,4812	30,9057	32,4101	33,9990	37,4502	41,3013	45,5992
19	32,1027	33,7600	35,5167	37,3790	41,4463	46,0185	51,1591
20	34,8683	36,7856	38,8253	40,9955	45,7620	51,1601	57,2750
21	37,7861	39,9927	42,3490	44,8652	50,4229	56,7645	64,0025
22	40,8643	43,3923	46,1016	49,0057	55,4568	62,8733	71,4028
23	44,1118	46,9958	50,0982	53,4361	60,8933	69,5319	79,5430
24	47,5380	50,8156	54,3546	58,1767	66,7648	76,7898	88,4973
25	51,1526	54,8645	58,8877	63,2490	73,1059	84,7009	98,3471
26	54,9660	59,1564	63,7154	68,6765	79,9544	93,3240	109,182
27	58,9891	63,7058	68,8569	74,4838	87,3508	102,723	121,100
28	63,2335	68,5281	74,3326	80,6977	95,3388	112,968	134,210
29	67,7114	73,6398	80,1642	87,3465	103,966	124,135	148,631
30	72,4355	79,0582	86,3749	94,4608	113,283	136,308	164,494
31	77,4194	84,8017	92,9892	102,073	123,346	149,575	181,943
32	82,6775	90,8898	100,034	110,218	134,214	164,037	201,138
33	88,2248	97,3432	107,536	118,933	145,951	179,800	222,252
34	94,0771	104,184	115,526	128,259	158,627	196,982	245,477
35	100,251	111,435	124,035	138,237	172,317	215,711	271,024
36	106,765	119,121	133,097	148,913	187,102	236,125	299,127
37	113,637	127,268	142,748	160,337	203,070	258,376	330,039
38	120,887	135,904	153,027	172,561	220,316	282,630	364,043
39	128,536	145,058	163,974	185,640	238,941	309,066	401,448
40	136,606	154,762	175,632	199,635	259,057	337,882	442,593
41	145,119	165,048	188,048	214,610	280,781	369,292	487,852
42	154,100	175,951	201,271	230,632	304,244	403,528	537,637
43	163,576	187,508	215,354	247,777	329,583	440,846	592,401
44	173,573	199,758	230,352	266,121	356,950	481,522	652,641
45	184,119	212,744	246,325	285,749	386,506	525,859	718,905
46	195,246	226,508	263,336	306,752	418,426	574,186	791,795
47	206,984	241,099	281,453	329,224	452,900	626,863	871,975
48	219,368	256,565	300,747	353,270	490,132	684,280	960,172
49	232,434	272,958	321,295	378,999	530,343	746,866	1057,19
50	246,217	290,336	343,180	406,529	573,770	815,084	1163,91
55	327,377	394,172	475,880	575,929	848,923	1260,09	1880,59
60	433,450	533,128	657,690	813,520	1253,21	1944,79	3034,82
65	572,083	719,083	906,786	1146,76	1847,25	2998,29	4893,71
70	753,271	967,932	1248,07	1614,13	2720,08	4619,22	7887,47
75	990,076	1300,95	1715,66	2269,66	4002,56	7113,23	12709,0
80	1299,57	1746,60	2356,29	3189,06	5886,94	10950,6	20474,0
85	1704,07	2342,98	3234,02	4478,58	8655,71	16854,8	32979,7
90	2232,73	3141,08	4436,58	6287,19	12723,9	25939,2	53120,2
95	2923,67	4209,10	6084,19	8823,85	18701,5	39916,6	85556,8
100	3826,70	5638,37	8341,56	12381,7	27484,5	61422,7	137796

Diskontierungsfaktor für gleichförmige Kostenreihen DFAKR(i;n)

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1	0,98039	0,97561	0,97087	0,96618	0,96154	0,95694	0,95238
2	1,94156	1,92742	1,91347	1,89969	1,88609	1,87267	1,85941
3	2,88388	2,85602	2,82861	2,80164	2,77509	2,74896	2,72325
4	3,80773	3,76297	3,71710	3,67308	3,62990	3,58753	3,54595
5	4,71346	4,64583	4,57971	4,51505	4,45182	4,38998	4,32948
6	5,60143	5,50813	5,41719	5,32855	5,24214	5,15787	5,07569
7	6,47199	6,34939	6,23028	6,11454	6,00205	5,89270	5,78637
8	7,32548	7,17014	7,01969	6,87396	6,73274	6,59589	6,46321
9	8,16224	7,97087	7,78611	7,60769	7,43533	7,26879	7,10782
10	8,98259	8,75206	8,53020	8,31661	8,11090	7,91272	7,72173
11	9,78685	9,51421	9,25262	9,00155	8,76048	8,52892	8,30641
12	10,5753	10,2578	9,95400	9,66333	9,38507	9,11858	8,86325
13	11,3484	10,9832	10,6350	10,3027	9,98565	9,68285	9,39357
14	12,1062	11,6909	11,2961	10,9205	10,5631	10,2228	9,89864
15	12,8493	12,3814	11,9379	11,5174	11,1184	10,7395	10,3797
16	13,5777	13,0550	12,5611	12,0941	11,6523	11,2340	10,8378
17	14,2919	13,7122	13,1661	12,6513	12,1657	11,7072	11,2741
18	14,9920	14,3534	13,7535	13,1897	12,6593	12,1600	11,6896
19	15,6785	14,9789	14,3238	13,7098	13,1339	12,5933	12,0853
20	16,3514	15,5892	14,8775	14,2124	13,5903	13,0079	12,4622
21	17,0112	16,1845	15,4150	14,6980	14,0292	13,4047	12,8212
22	17,6580	16,7654	15,9369	15,1671	14,4511	13,7844	13,1630
23	18,2922	17,3321	16,4436	15,6204	14,8568	14,1478	13,4886
24	18,9139	17,8850	16,9355	16,0584	15,2470	14,4955	13,7986
25	19,5235	18,4244	17,4131	16,4815	15,6221	14,8282	14,0939
26	20,1210	18,9506	17,8768	16,8904	15,9828	15,1466	14,3752
27	20,7069	19,4640	18,3270	17,2854	16,3296	15,4513	14,6430
28	21,2813	19,9649	18,7641	17,6670	16,6631	15,7429	14,8981
29	21,8444	20,4535	19,1885	18,0358	16,9837	16,0219	15,1411
30	22,3965	20,9303	19,6004	18,3920	17,2920	16,2889	15,3725
31	22,9377	21,3954	20,0004	18,7363	17,5885	16,5444	15,5928
32	23,4683	21,8492	20,3888	19,0689	17,8736	16,7889	15,8027
33	23,9886	22,2919	20,7658	19,3902	18,1476	17,0229	16,0025
34	24,4986	22,7238	21,1318	19,7007	18,4112	17,2468	16,1929
35	24,9986	23,1452	21,4872	20,0007	18,6646	17,4610	16,3742
36	25,4888	23,5563	21,8323	20,2905	18,9083	17,6660	16,5469
37	25,9695	23,9573	22,1672	20,5705	19,1426	17,8622	16,7113
38	26,4406	24,3486	22,4925	20,8411	19,3679	18,0500	16,8679
39	26,9026	24,7303	22,8082	21,1025	19,5845	18,2297	17,0170
40	27,3555	25,1028	23,1148	21,3551	19,7928	18,4016	17,1591
41	27,7995	25,4661	23,4124	21,5991	19,9931	18,5661	17,2944
42	28,2348	25,8206	23,7014	21,8349	20,1856	18,7235	17,4232
43	28,6616	26,1664	23,9819	22,0627	20,3708	18,8742	17,5459
44	29,0800	26,5038	24,2543	22,2828	20,5488	19,0184	17,6628
45	29,4902	26,8330	24,5187	22,4955	20,7200	19,1563	17,7741
46	29,8923	27,1542	24,7754	22,7009	20,8847	19,2884	17,8801
47	30,2866	27,4675	25,0247	22,8994	21,0429	19,4147	17,9810
48	30,6731	27,7732	25,2667	23,0912	21,1951	19,5356	18,0772
49	31,0521	28,0714	25,5017	23,2766	21,3415	19,6513	18,1687
50	31,4236	28,3623	25,7298	23,4556	21,4822	19,7620	18,2559
55	33,1748	29,7140	26,7744	24,2641	22,1086	20,2480	18,6335
60	34,7609	30,9087	27,6756	24,9447	22,6235	20,6380	18,9293
65	36,1975	31,9646	28,4529	25,5178	23,0467	20,9510	19,1611
70	37,4986	32,8979	29,1234	26,0004	23,3945	21,2021	19,3427
75	38,6771	33,7227	29,7018	26,4067	23,6804	21,4036	19,4850
80	39,7445	34,4518	30,2008	26,7488	23,9154	21,5653	19,5965
85	40,7113	35,0962	30,6312	27,0368	24,1085	21,6951	19,6838
90	41,5869	35,6658	31,0024	27,2793	24,2673	21,7992	19,7523
95	42,3800	36,1692	31,3227	27,4835	24,3978	21,8828	19,8059
100	43,0984	36,6141	31,5989	27,6554	24,5050	21,9499	19,8479
unendlich	50,0000	40,0000	33,3333	28,5714	25,0000	22,2222	20,0000

Diskontierungsfaktor für gleichförmige Kostenreihen DFAKR(i;n)

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10,0
1	0,94787	0,94340	0,93907	0,93458	0,92593	0,91743	0,90909
2	1,84632	1,83339	1,82063	1,80802	1,78326	1,75911	1,73554
3	2,69793	2,67301	2,64848	2,62432	2,57710	2,53129	2,48685
4	3,50515	3,46511	3,42580	3,38721	3,31213	3,23972	3,16987
5	4,27028	4,21236	4,15568	4,10020	3,99271	3,88965	3,79079
6	4,99553	4,91732	4,84101	4,76654	4,62288	4,48592	4,35526
7	5,68297	5,58238	5,48452	5,38929	5,20637	5,03295	4,86842
8	6,33457	6,20979	6,08875	5,97130	5,74664	5,53482	5,33493
9	6,95220	6,80169	6,65610	6,51523	6,24689	5,99525	5,75902
10	7,53763	7,36009	7,18883	7,02358	6,71009	6,41766	6,14457
11	8,09254	7,88687	7,68904	7,49867	7,13896	6,80519	6,49506
12	8,61852	8,38384	8,15873	7,94269	7,53608	7,16073	6,81369
13	9,11708	8,85268	8,59974	8,35765	7,90378	7,48690	7,10336
14	9,58965	9,29498	9,01384	8,74547	8,24424	7,78615	7,36669
15	10,0376	9,71225	9,40267	9,10791	8,55948	8,06069	7,60608
16	10,4622	10,1059	9,76776	9,44665	8,85137	8,31256	7,82371
17	10,8646	10,4773	10,1106	9,76322	9,12164	8,54363	8,02155
18	11,2461	10,8276	10,4325	10,0591	9,37189	8,75563	8,20141
19	11,6077	11,1581	10,7347	10,3356	9,60360	8,95011	8,36492
20	11,9504	11,4699	11,0185	10,5940	9,81815	9,12855	8,51356
21	12,2752	11,7641	11,2850	10,8355	10,0168	9,29224	8,64869
22	12,5832	12,0416	11,5352	11,0612	10,2007	9,44243	8,77154
23	12,8750	12,3034	11,7701	11,2722	10,3711	9,58021	8,88322
24	13,1517	12,5504	11,9907	11,4693	10,5288	9,70661	8,98474
25	13,4139	12,7834	12,1979	11,6536	10,6748	9,82258	9,07704
26	13,6625	13,0032	12,3924	11,8258	10,8100	9,92897	9,16095
27	13,8981	13,2105	12,5750	11,9867	10,9352	10,0266	9,23722
28	14,1214	13,4062	12,7465	12,1371	11,0511	10,1161	9,30657
29	14,3331	13,5907	12,9075	12,2777	11,1584	10,1983	9,36961
30	14,5337	13,7648	13,0587	12,4090	11,2578	10,2737	9,42691
31	14,7239	13,9291	13,2006	12,5318	11,3498	10,3428	9,47901
32	14,9042	14,0840	13,3339	12,6466	11,4350	10,4062	9,52638
33	15,0751	14,2302	13,4591	12,7538	11,5139	10,4644	9,56943
34	15,2370	14,3681	13,5766	12,8540	11,5869	10,5178	9,60857
35	15,3906	14,4982	13,6870	12,9477	11,6546	10,5668	9,64416
36	15,5361	14,6210	13,7906	13,0352	11,7172	10,6118	9,67651
37	15,6740	14,7368	13,8879	13,1170	11,7752	10,6530	9,70592
38	15,8047	14,8460	13,9792	13,1935	11,8289	10,6908	9,73265
39	15,9287	14,9491	14,0650	13,2649	11,8786	10,7255	9,75696
40	16,0461	15,0463	14,1455	13,3317	11,9246	10,7574	9,77905
41	16,1575	15,1380	14,2212	13,3941	11,9672	10,7866	9,79914
42	16,2630	15,2245	14,2922	13,4525	12,0067	10,8134	9,81740
43	16,3630	15,3062	14,3588	13,5070	12,0432	10,8380	9,83400
44	16,4579	15,3832	14,4214	13,5579	12,0771	10,8605	9,84909
45	16,5477	15,4558	14,4802	13,6055	12,1084	10,8812	9,86281
46	16,6329	15,5244	14,5354	13,6500	12,1374	10,9002	9,87528
47	16,7137	15,5890	14,5873	13,6916	12,1643	10,9176	9,88662
48	16,7902	15,6500	14,6359	13,7305	12,1891	10,9336	9,89693
49	16,8628	15,7076	14,6816	13,7668	12,2122	10,9482	9,90630
50	16,9315	15,7619	14,7245	13,8008	12,2335	10,9617	9,91481
55	17,2252	15,9905	14,9028	13,9399	12,3186	11,0140	9,94711
60	17,4499	16,1614	15,0330	14,0392	12,3766	11,0480	9,96716
65	17,6218	16,2891	15,1280	14,1099	12,4160	11,0701	9,97961
70	17,7533	16,3845	15,1973	14,1604	12,4428	11,0845	9,98734
75	17,8539	16,4558	15,2479	14,1964	12,4611	11,0938	9,99214
80	17,9310	16,5091	15,2848	14,2220	12,4735	11,0999	9,99512
85	17,9899	16,5489	15,3118	14,2403	12,4820	11,1038	9,99697
90	18,0350	16,5787	15,3315	14,2533	12,4877	11,1064	9,99812
95	18,0694	16,6009	15,3458	14,2626	12,4917	11,1080	9,99883
100	18,0958	16,6175	15,3563	14,2693	12,4943	11,1091	9,99927
unendlich	18,1818	16,6667	15,3846	14,2857	12,5000	11,1111	10,0000

Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen DFAKRP(1;i;n)
Steigerungsrate r = 0,5 % p. a.

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1	0,98529	0,98049	0,97573	0,97101	0,96635	0,96172	0,95714
2	1,95610	1,94184	1,92777	1,91388	1,90017	1,88663	1,87327
3	2,91263	2,88444	2,85671	2,82942	2,80257	2,77614	2,75013
4	3,85509	3,80865	3,76310	3,71843	3,67460	3,63160	3,58941
5	4,78369	4,71482	4,64749	4,58166	4,51728	4,45431	4,39272
6	5,69864	5,60331	5,51042	5,41687	5,33160	5,24553	5,16160
7	6,60013	6,47447	6,35240	6,23379	6,11852	6,00647	5,89753
8	7,48836	7,32862	7,17394	7,02411	6,87895	6,73828	6,60192
9	8,36353	8,16611	7,97554	7,79153	7,61380	7,44208	7,27613
10	9,22583	8,98726	8,75769	8,53670	8,32391	8,11894	7,92144
11	10,0755	9,79239	9,52085	9,26028	9,01012	8,76989	8,53909
12	10,9126	10,5818	10,2655	9,96288	9,67324	9,39592	9,13027
13	11,7374	11,3558	10,9921	10,6451	10,3140	9,99799	9,69612
14	12,5501	12,1147	11,7010	11,3076	10,9333	10,5770	10,2377
15	13,3508	12,8588	12,3927	11,9508	11,5317	11,1339	10,7561
16	14,1398	13,5884	13,0676	12,5754	12,1099	11,6694	11,2523
17	14,9171	14,3038	13,7262	13,1820	12,6687	12,1845	11,7272
18	15,6831	15,0052	14,3688	13,7709	13,2087	12,6798	12,1817
19	16,4377	15,6929	14,9957	14,3427	13,7306	13,1562	12,6168
20	17,1813	16,3671	15,6075	14,8980	14,2348	13,6143	13,0332
21	17,9139	17,0283	16,2044	15,4372	14,7221	14,0549	13,4318
22	18,6358	17,6765	16,7868	15,9608	15,1930	14,4786	13,8133
23	19,3470	18,3121	17,3551	16,4692	15,5480	14,8862	14,1784
24	20,0478	18,9353	17,9096	16,9628	16,0878	15,2781	14,5279
25	20,7383	19,5463	18,4506	17,4421	16,5127	15,6550	14,8624
26	21,4186	20,1454	18,7985	17,9076	16,9233	16,0175	15,1826
27	22,0889	20,7328	19,4936	18,3595	17,3201	16,3661	15,4891
28	22,7493	21,3087	19,9962	18,7984	17,7036	16,7014	15,7824
29	23,4001	21,8734	20,4866	19,2245	18,0742	17,0238	16,0632
30	24,0413	22,4271	20,9650	19,6383	18,4322	17,3339	16,3319
31	24,6730	22,9700	21,4319	20,0401	18,7783	17,6321	16,5891
32	25,2955	23,5023	21,8874	20,4302	19,1127	17,9189	16,8353
33	25,9088	24,0242	22,3319,	20,8091	19,4358	18,1948	17,0709
34	26,5130	24,5359	22,7656	21,1769	19,7480	18,4600	17,2964
35	27,1084	25,0377	23,1888	21,5341	20,0498	18,7151	17,5123
36	27,6951	25,5296	23,6017	21,8810	20,3414	18,9605	17,7189
37	28,2731	26,0120	24,0045	22,2177	20,6232	19,1965	17,9167
38	28,8426	26,4849	24,3976	22,5448	20,8955	19,4234	18,1060
39	29,4038	26,9486	24,7812	22,8623	21,1586	19,6416	18,2871
40	29,9566	27,4033	25,1554	23,1706	21,4129	19,8515	18,4605
41	30,5014	27,8491	25,5206	23,4700	21,6586	20,0534	18,6265
42	31,0381	28,2862	25,8769	23,7608	21,8960	20,2475	18,7854
43	31,5670	28,7147	26,2245	24,0431	22,1255	20,4342	18,9374
44	32,0881	29,1349	26,5638	24,3172	22,3472	20,6138	19,0830
45	32,6015	29,5469	26,8947	24,5833	22,5615	20,7864	19,2223
46	33,1073	29,9509	27,2177	24,8418	22,7686	20,9525	19,3556
47	33,6058	30,3470	27,5328	25,0928	22,9687	21,1122	19,4832
48	34,0968	30,7353	27,8402	25,3365	23,1620	21,2658	19,6054
49	34,5807	31,1161	28,1402	25,5731	23,3489	21,4135	19,7223
50	35,0575	31,4894	28,4329	25,8028	23,5295	21,5556	19,8342
55	37,3381	33,2497	29,7933	26,8556	24,3451	22,1884	20,3257
60	39,4559	34,8448	30,9964	27,7643	25,0325	22,7090	20,7206
65	41,4225	36,2902	32,0604	28,5487	25,6117	23,1373	21,0378
70	43,2487	37,6000	33,0015	29,2259	26,0998	23,4897	21,2926
75	44,9445	38,7869	33,8337	29,8105	26,5111	23,7796	21,4973
80	46,5192	39,8625	34,5697	30,3151	26,8577	24,0182	21,6618
85	47,9815	40,8371	35,2206	30,7506	27,1498	24,2144	21,7938
90	49,3394	41,7203	35,7963	31,1267	27,3959	24,3758	21,9000
95	50,6004	42,5206	36,3054	31,4513	27,6033	24,5086	21,9852
100	51,7713	43,2458	36,7556	31,7315	27,7781	246179	22,0537

Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen DFAKRP(1;i;n)
Steigerungsrate r = 0,5 % p. a.

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10,0
1	0,95261	0,94811	0,94366	0,93925	0,93056	0,92202	0,91364
2	1,86007	1,84703	1,83416	1,82145	1,79649	1,77214	1,74837
3	2,72452	2,69931	2,67449	2,65005	2,60229	2,55596	2,51101
4	3,54800	3,50736	3,46748	3,42832	3,35213	3,27866	3,20779
5	4,33246	4,27349	4,21579	4,15931	4,04990	3,94500	3,84439
6	5,07973	4,99987	4,92194	4,84589	4,69921	4,55938	4,42601
7	5,79159	5,68855	5,58831	5,49077	5,30343	5,12585	4,95740
8	6,46972	6,34150	6,21714	6,09647	5,86569	5,64815	5,44289
9	7,11570	6,96058	6,81054	6,66538	6,38891	6,12972	5,88646
10	7,73107	7,54753	7,37051	7,19972	6,87579	6,57373	6,29172
11	8,31728	8,10402	7,89893	7,70161	7,32886	6,98312	6,66198
12	8,87570	8,63165	8,39758	8,17301	7,75047	7,36058	7,00027
13	9,40766	9,13189	8,86814	8,61577	8,14280	7,70861	7,30933
14	9,91440	9,60618	9,31219	9,03163	8,50788	8,02950	7,59171
15	10,3971	10,0559	9,73122	9,42223	8,84761	8,32536	7,84970
16	10,8570	10,4822	10,1266	9,78911	9,16375	8,59815	8,08541
17	11,2950	10,8864	10,4998	10,1337	9,45793	8,84967	8,30076
18	11,7123	11,2697	10,8519	10,4574	9,73169	9,08158	8,49751
19	12,1099	11,6330	11,1842	10,7613	9,98643	9,29540	8,67727
20	12,4885	11,9776	11,4978	11,0469	10,2235	9,49255	8,84151
21	12,8493	12,3042	11,7937	11,3151	10,4441	9,67432	8,99156
22	13,1929	12,6139	12,0729	11,5669	10,6494	9,84192	9,12865
23	13,5203	12,9075	12,3364	11,8035	10,8404	9,99645	9,25390
24	13,8321	13,1859	12,5851	12,0257	11,0181	10,1389	9,36834
25	14,1292	13,4498	12,8197	12,2345	11,1835	10,2703	9,47289
26	14,4121	13,7001	13,0411	12,4305	11,3375	10,3914	9,56841
27	14,6817	13,9373	13,2501	12,6146	11,4807	10,5031	9,65569
28	14,9385	14,1623	13,4473	12,7876	11,6140	10,6061	9,73542
29	15,1831	14,3756	13,6333	12,9500	11,7380	10,7010	9,80827
30	15,4161	14,5778	13,8089	13,1026	11,8534	10,7885	9,87483
31	15,6381	14,7695	13,9746	13,2459	11,9608	10,8693	9,93564
32	15,8496	14,9513	14,1310	13,3805	12,0608	10,9437	9,99119
33	16,0510	15,1236	14,2785	13,5069	12,1538	11,0123	10,0420
34	16,2429	15,2870	14,4178	13,6256	12,2403	11,0756	10,0883
35	16,4257	15,4419	14,5492	13,7372	12,3208	11,1339	10,1307
36	16,5999	15,5888	14,6731	13,8419	12,3958	11,1876	10,1694
37	16,7657	15,7281	14,7902	13,9403	12,4655	11,2373	10,2048
38	16,9238	15,8601	14,9006	14,0327	12,5304	11,2830	10,2371
39	17,0743	15,9853	15,0048	14,1195	12,5908	11,3251	10,2666
40	17,2177	16,1040	15,1031	14,2010	12,6470	11,3640	10,2936
41	17,3543	16,2165	15,1959	14,2776	12,6993	11,3998	10,3182
42	17,4844	16,3232	15,2834	14,3495	12,7480	11,4329	10,3408
43	17,6084	16,4243	15,3660	14,4171	12,7932	11,4633	10,3613
44	17,7265	16,5203	15,4440	14,4805	12,8354	11,4914	10,3801
45	17,8390	16,6112	15,5176	14,5401	12,8746	11,5173	10,3973
46	17,9461	16,6974	15,5870	14,5961	12,9111	11,5412	10,4130
47	18,0482	16,7791	15,6525	14,6487	12,9450	11,5632	10,4273
48	18,1454	16,8566	15,7144	14,6981	12,9766	11,5835	10,4404
49	18,2381	16,9301	15,7727	14,7444	13,0060	11,6022	10,4524
50	18,3263	16,9998	15,8278	14,7880	13,0334	11,6195	10,4633
55	18,7086	17,2975	16,0599	14,9692	13,1442	11,6876	10,5053
60	19,0085	17,5256	16,2336	15,1016	13,2215	11,7329	10,5321
65	19,2438	17,7003	16,3636	15,1985	13,2755	11,7632	10,5491
70	19,4283	17,8342	16,4608	15,2692	13,3131	11,7833	10,5600
75	19,5731	17,9367	16,5336	15,3210	13,3394	11,7967	10,5669
80	19,6867	18,0153	16,5881	15,3588	13,3577	11,8057	10,5713
85	19,7758	18,0755	16,6288	15,3864	13,3705	11,8116	10,5741
90	19,8457	18,1216	16,6593	15,4066	13,3794	11,8156	10,5758
95	19,9005	18,1570	16,6821	15,4214	13,3856	11,8182	10,5770
100	19,9435	18,1840	16,6992	15,4322	13,3900	11,8200	10,5777

Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen DFAKRP(1;i;n)
Steigerungsrate r = 1 % p. a.

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1	0,99020	0,98537	0,98058	0,97585	0,97115	0,96651	0,96190
2	1,97068	1,95631	1,94212	1,92812	1,91429	1,90064	1,88717
3	2,94156	2,91305	2,88500	2,85739	2,83023	2,80349	2,77718
4	3,90292	3,85578	3,80956	3,76422	3,71974	3,67610	3,63329
5	4,85485	4,78472	4,71617	4,64914	4,58359	4,51949	4,45678
6	5,79745	5,70007	5,60518	5,51269	5,42253	5,33462	5,24890
7	6,73081	6,60202	6,47692	6,35538	6,23726	6,12246	6,01085
8	7,65502	7,49077	7,33174	7,17771	7,02850	6,88391	6,74377
9	8,57016	8,36652	8,17096	7,98018	7,79690	7,61985	7,44877
10	9,47634	9,22944	8,99190	8,76327	8,54315	8,33115	8,12691
11	10,3736	10,0798	9,79788	9,52744	9,26786	9,01862	8,77922
12	11,2621	10,9176	10,5882	10,2732	9,97168	9,68307	9,40668
13	12,1419	11,7432	11,3632	11,0009	10,6552	10,3253	10,0102
14	13,0131	12,5567	12,1231	11,7110	11,3190	10,9460	10,5908
15	13,8757	13,3583	12,8683	12,4040	11,9636	11,5459	11,1492
16	14,7298	14,1482	13,5990	13,0802	12,5897	12,1257	11,6864
17	15,5756	14,9265	14,3156	13,7401	13,1977	12,6860	12,2031
18	16,4131	15,6935	15,0182	14,3840	13,7881	13,2277	12,7001
19	17,2424	16,4492	15,7071	15,0125	14,3615	13,7511	13,1782
20	18,0636	17,1938	16,3827	15,6257	14,9184	14,2571	13,6381
21	18,8767	17,9276	17,0452	16,2241	15,4592	14,7461	14,0805
22	19,6818	18,6506	17,6948	16,8081	15,9844	15,2187	14,5060
23	20,4790	19,3630	18,3318	17,3779	16,4945	15,6755	14,9153
24	21,2685	20,0650	18,9564	17,9340	16,9899	16,1170	15,3090
25	22,0501	20,7567	19,5689	18,4767	17,4709	16,5437	15,6877
26	22,8242	21,4383	20,1695	19,0062	17,9381	16,9561	16,0520
27	23,5906	22,1100	20,7585	19,5230	18,3918	17,3547	16,4024
28	24,3495	22,7718	21,3360	20,0272	18,8324	17,7399	16,7394
29	25,1010	23,4239	21,9023	20,5193	19,2603	18,1123	17,0636
30	25,8451	24,0665	22,4576	20,9995	19,6759	18,4722	17,3755
31	26,5819	24,6997	23,0021	21,4682	20,0795	18,8200	17,6755
32	27,3115	25,3236	23,5360	21,9254	20,4714	19,1562	17,9640
33	28,0339	25,9383	24,0596	22,3717	20,8521	19,4811	18,2416
34	28,7493	26,5441	24,5730	22,8072	21,2217	19,7951	18,5086
35	29,4576	27,1410	25,0764	23,2321	21,5807	20,0986	18,7654
36	30,1590	27,7292	25,5701	23,6468	21,9293	20,3920	19,0124
37	30,8535	28,3088	26,0542	24,0515	22,2679	20,6755	19,2500
38	31,5412	28,8799	26,5288	24,4463	22,5967	20,9495	19,4786
39	32,2222	29,4426	26,9943	24,8317	22,9161	21,2144	19,6985
40	32,8965	29,9971	27,4507	25,2077	23,2262	21,4703	19,9100
41	33,5642	30,5435	27,8983	25,5747	23,5273	21,7177	20,1134
42	34,2253	31,0819	28,3372	25,9328	23,8198	21,9569	20,3091
43	34,8800	31,6124	28,7675	26,2823	24,1039	22,1880	20,4973
44	35,5282	32,1351	29,1895	26,6233	24,3797	22,4113	20,6784
45	36,1701	32,6502	29,6033	26,9560	24,6476	22,6272	20,8525
46	36,8057	33,1578	30,0090	27,2808	24,9078	22,8359	21,0200
47	37,4350	33,6579	30,4069	27,5977	25,1604	23,0376	21,1812
48	38,0582	34,1507	30,7971	27,9069	25,4058	23,2325	21,3362
49	38,6753	34,6363	31,1797	28,2087	25,6441	23,4209	21,4853
50	39,2863	35,1148	31,5548	28,5031	25,8755	23,6029	21,6287
55	42,2528	37,4043	33,3241	29,8722	26,9363	24,4258	22,2679
60	45,0766	39,5310	34,9282	31,0837	27,8526	25,1198	22,7942
65	47,7647	41,5067	36,3824	32,1558	28,6441	25,7052	23,2277
70	50,3236	43,3419	37,7008	33,1045	29,3279	26,1988	23,5847
75	52,7595	45,0468	38,8961	33,9441	29,9186	26,6152	23,8786
80	55,0783	46,6305	39,9798	34,6870	30,4289	26,9663	24,1207
85	57,2857	48,1016	40,9623	35,3445	30,8697	27,2624	24,3200
90	59,3870	49,4682	41,8530	35,9262	31,2505	27,5122	24,4841
95	61,3872	50,7377	42,6606	36,4411	31,5795	27,7228	24,6193
100	63,2913	51,9170	43,3927	36,8967	31,8636	27,9005	24,7306

Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen DFAKRP(1;i;n)
Steigerungsrate r = 1 % p. a.

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10,0
1	0,95735	0,95283	0,94836	0,94393	0,93519	0,92661	0,91818
2	1,87386	1,86072	1,84774	1,83492	1,80976	1,78520	1,76124
3	2,75128	2,72578	2,70067	2,67595	2,62764	2,58078	2,53532
4	3,59127	3,55003	3,50956	3,46982	3,39252	3,31897	3,24607
5	4,39543	4,33541	4,27667	4,21918	4,10782	4,00106	3,89866
6	5,16530	5,08374	5,00416	4,92652	4,77676	4,63401	4,49786
7	5,90232	5,79677	5,69409	5,59419	5,40234	5,22050	5,04804
8	6,60791	6,47617	6,34839	6,22442	5,98737	5,76495	5,55320
9	7,28340	7,12352	6,96889	6,81931	6,53448	6,26752	6,01703
10	7,93008	7,74033	7,55735	7,38085	7,04614	6,73412	6,44291
11	8,54918	8,32805	8,11542	7,91089	7,52463	7,16648	6,83394
12	9,14187	8,88805	8,64467	8,41122	7,97211	7,56710	7,19398
13	9,70927	9,42163	9,14659	8,88348	8,39058	7,93833	7,52265
14	10,2525	9,93005	9,62259	9,32927	8,78193	8,28230	7,82534
15	10,7725	10,4145	10,0740	9,75006	9,14792	8,60103	8,10327
16	11,2704	10,8761	10,5021	10,1473	9,49018	8,89637	8,35845
17	11,7470	11,3159	10,9081	10,5222	9,81026	9,17003	8,59276
18	12,2033	11,7349	11,2931	10,8761	10,1096	9,42361	8,80790
19	12,6401	12,1342	11,6583	11,2101	10,3895	9,65857	9,00544
20	13,0583	12,5147	12,0046	11,5254	10,6513	9,87629	9,18681
21	13,4587	12,8772	12,3330	11,8231	10,8961	10,0780	9,35334
22	13,8419	13,2226	12,6444	12,1040	11,1251	10,2650	9,50625
23	14,2089	13,5517	12,9398	12,3692	11,3392	10,4382	9,64665
24	14,5602	13,8653	13,2199	12,6196	11,5395	10,5987	9,77556
25	14,8965	14,1641	13,4855	12,8558	11,7267	10,7474	9,89392
26	15,2184	14,4489	13,7374	13,0789	11,9018	10,8852	10,0026
27	15,5266	14,7201	13,9764	13,2894	12,0656	11,0129	10,1024
28	15,8217	14,9786	14,2029	13,4881	12,2188	11,1312	10,1940
29	16,1042	15,2249	14,4178	13,6757	12,3620	11,2409	10,2781
30	16,3746	15,4596	14,6216	13,8528	12,4959	11,3424	10,3554
31	16,6335	15,6832	14,8148	14,0199	12,6212	11,4366	10,4263
32	16,8814	15,8962	14,9981	14,1777	12,7383	11,5238	10,4914
33	17,1187	16,0993	15,1719	14,3266	12,8479	11,6046	10,5512
34	17,3458	16,2927	15,3367	14,4672	12,9503	11,6795	10,6061
35	17,5633	16,4770	15,4931	14,5998	13,0462	11,7489	10,6565
36	17,7715	16,6526	15,6413	14,7251	13,1358	11,8132	10,7028
37	17,9708	16,8199	15,7819	14,8433	13,2196	11,8728	10,7453
38	18,1617	16,9794	15,9152	14,9549	13,2979	11,9280	10,7843
39	18,3443	17,1313	16,0417	15,0602	13,3712	11,9792	10,8202
40	18,5192	17,2760	16,1616	15,1597	13,4397	12,0266	10,8531
41	18,6866	17,4140	16,2753	15,2535	13,5038	12,0705	10,8833
42	18,8469	17,5454	16,3832	15,3421	13,5638	12,1112	10,9110
43	19,0004	17,6706	16,4854	15,4257	13,6198	12,1489	10,9365
44	19,1473	17,7899	16,5824	15,5046	13,6722	12,1838	10,9598
45	19,2879	17,9036	16,6744	15,5792	13,7213	12,2162	10,9813
46	19,4226	18,0119	16,7617	15,6495	13,7671	12,2462	11,0010
47	19,5515	18,1151	16,8444	15,7159	13,8100	12,2740	11,0191
48	19,6749	18,2135	16,9228	15,7785	13,8501	12,2998	11,0357
49	19,7930	18,3072	16,9972	15,8377	13,8876	12,3236	11,0510
50	19,9061	18,3965	17,0678	15,8935	13,9226	12,3458	11,0650
55	20,4032	18,7835	17,3696	16,1291	14,0667	12,4343	11,1196
60	20,8029	19,0876	17,6011	16,3056	14,1697	12,4947	11,1553
65	21,1244	19,3263	17,7787	16,4379	14,2434	12,5360	11,1785
70	21,3829	19,5138	17,9149	16,5370	14,2961	12,5642	11,1937
75	21,5908	19,6611	18,0194	16,6113	14,3338	12,5835	11,2036
80	21,7580	19,7768	18,0996	16,6669	14,3608	12,5966	11,2101
85	21,8924	19,8676	18,1611	16,7086	14,3801	12,6056	11,2143
90	22,0005	19,9389	18,2083	16,7399	14,3939	12,6118	11,2171
95	22,0875	19,9950	18,2444	16,7633	14,4038	12,6160	11,2189
100	22,1574	20,0390	18,2722	16,7809	14,4108	12,6188	11,2200

Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen DFAKRP(1;i;n)
Steigerungsrate r = 1,5 % p. a.

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1	0,99510	0,99024	0,98544	0,98068	0,97596	0,97129	0,96667
2	1,98532	1,97083	1,95652	1,94240	1,92846	1,91470	1,90111
3	2,97068	2,94184	2,91347	2,88554	2,85807	2,83102	2,80441
4	3,95122	3,90339	3,85647	3,81046	3,76532	3,72104	3,67759
5	4,92695	4,85555	4,78575	4,71751	4,65077	4,58551	4,52167
6	5,89790	5,79842	5,70149	5,60702	5,51494	5,42516	5,33762
7	6,86408	6,73209	6,60390	6,47935	6,35833	6,24071	6,12636
8	7,82553	7,65666	7,49316	7,33482	7,18145	7,03284	6,88882
9	8,78227	8,57220	8,36947	8,17376	7,98478	7,80223	7,62586
10	9,73432	9,47882	9,23302	8,99649	8,76880	8,54954	8,33833
11	10,6817	10,3766	10,0840	9,80332	9,53397	9,27539	9,02705
12	11,6244	11,2656	10,9226	10,5946	10,2808	9,98040	9,69282
13	12,5626	12,1459	11,7490	11,3705	11,0096	10,6652	10,3364
14	13,4961	13,0177	12,5633	12,1315	11,7209	11,3303	10,9585
15	14,4250	13,8809	13,3658	12,8777	12,4151	11,9763	11,5599
16	15,3494	14,7357	14,1566	13,6096	13,0926	12,6038	12,1412
17	16,2693	15,5822	14,9358	14,3272	13,7539	13,2132	12,7032
18	17,1846	16,4204	15,7038	15,0311	14,3992	13,8052	13,2464
19	18,0955	17,2505	16,4605	15,7213	15,0290	14,3802	13,7715
20	19,0019	18,0724	17,2062	16,3982	15,6437	14,9386	14,2792
21	19,9038	18,8864	17,9411	17,0620	16,2436	15,4811	14,7699
22	20,8013	19,6924	18,6652	17,7130	16,8291	16,0079	15,2442
23	21,6945	20,4905	19,3789	18,3514	17,4005	16,5197	15,7027
24	22,5832	21,2808	20,0821	18,9774	17,9582	17,0167	16,1460
25	23,4676	22,0634	20,7751	19,5914	18,5025	17,4995	16,5744
26	24,3477	22,8384	21,4579	20,1935	19,0337	17,9684	16,9886
27	25,2234	23,6059	22,1309	20,7839	19,5521	18,4239	17,3890
28	26,0949	24,3658	22,7940	21,3630	20,0581	18,8662	17,7760
29	26,9621	25,1183	23,4475	21,9309	20,5518	19,2959	18,1502
30	27,8250	25,8635	24,0915	22,4877	21,0338	19,7133	18,5118
31	28,6837	26,6014	24,7261	23,0339	21,5041	20,1186	18,8614
32	29,5382	27,3321	25,3514	23,5695	21,9632	20,5123	19,1994
33	30,3885	28,0557	25,9677	24,0947	22,4112	20,8948	19,5261
34	31,2346	28,7723	26,5749	24,6098	22,8484	21,2662	19,8419
35	32,0766	29,4818	27,1734	25,1149	23,2751	21,6270	20,1471
36	32,9145	30,1844	27,7631	25,6103	23,6916	21,9774	20,4422
37	33,7482	30,8802	28,3442	26,0960	24,0980	22,3178	20,7275
38	34,5779	31,5692	28,9168	26,5725	24,4947	22,6484	21,0032
39	35,4035	32,2514	29,4812	27,0397	24,8819	22,9695	21,2698
40	36,2250	32,9270	30,0373	27,4978	25,2597	23,2813	21,5275
41	37,0426	33,5960	30,5853	27,9471	25,6285	23,5843	21,7766
42	37,8561	34,2585	31,1253	28,3878	25,9883	23,8785	22,0173
43	38,6656	34,9145	31,6574	28,8199	26,3396	24,1643	22,2501
44	39,4712	35,5641	32,1818	29,2437	26,6824	24,4419	22,4751
45	40,2728	36,2074	32,6986	29,6592	27,0169	24,7115	22,6926
46	41,0705	36,8444	33,2079	30,0668	27,3435	24,9733	22,9028
47	41,8642	37,4752	33,7097	30,4665	27,6621	25,2277	23,1061
48	42,6541	38,0998	34,2042	30,8584	27,9731	25,4748	23,3025
49	43,4401	38,7184	34,6915	31,2428	28,2767	25,7147	23,4925
50	44,2223	39,3309	35,1717	31,6198	28,5729	25,9478	23,6760
55	48,0759	42,3049	37,7000	33,3980	29,9506	27,0165	24,5062
60	51,8360	45,1367	39,6056	35,0110	31,1705	27,9404	25,2068
65	55,5049	47,8330	41,5903	36,4740	32,2507	28,7391	25,7983
70	59,0847	50,4003	43,4345	37,8011	33,2071	29,4295	26,2975
75	62,5776	52,8448	45,1483	39,0047	34,0540	30,0264	26,7189
80	65,9858	55,1724	46,7410	40,0965	34,8038	30,5424	27,0745
85	69,3112	57,3886	48,2209	41,0868	35,4678	30,9884	27,3748
90	72,5559	59,4988	49,5962	41,9851	36,0557	31,3740	27,6282
95	75,7219	61,5080	50,8743	42,7998	36,5762	31,7073	27,8421
100	78,8110	63,4212	52,0619	43,5388	37,0372	31,9954	28,0226

Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen DFAKRP(1;i;n)
Steigerungsrate r = 1,5 % p. a.

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10,0
1	0,96209	0,95755	0,95305	0,94860	0,93981	0,93119	0,92273
2	1,88769	1,87444	1,86136	1,84844	1,82307	1,79831	1,77415
3	2,77821	2,75242	2,72702	2,70202	2,65316	2,60577	2,55979
4	3,63496	3,59311	3,55205	3,51173	3,43329	3,35766	3,28471
5	4,45922	4,39812	4,33833	4,27982	4,16648	4,05783	3,95362
6	5,25224	5,16896	5,08771	5,00843	4,85553	4,70981	4,57084
7	6,01519	5,90707	5,80190	5,69958	5,50311	5,31693	5,14037
8	6,74921	6,61384	6,48256	6,35521	6,11172	5,88228	5,66588
9	7,45540	7,29061	7,13127	6,97714	6,68370	6,40873	6,15079
10	8,13482	7,93865	7,74952	7,56710	7,22126	6,89896	6,59823
11	8,78847	8,55918	8,33874	8,12673	7,72646	7,35545	7,01110
12	9,41735	9,15337	8,90030	8,65760	8,20126	7,78053	7,39206
13	10,0224	9,72233	9,43550	9,16118	8,64748	8,17637	7,74358
14	10,6045	10,2671	9,94557	9,63888	9,06684	8,54497	8,06794
15	11,1645	10,7888	10,4317	10,0920	9,46097	8,88820	8,36723
16	11,7033	11,2884	10,8950	10,5219	9,83137	9,20782	8,64340
17	12,2216	11,7667	11,3366	10,9296	10,1795	9,50545	8,89823
18	12,7203	12,2247	11,7574	11,3164	10,5066	9,78260	9,13337
19	13,2001	12,6633	12,1584	11,6833	10,8141	10,0407	9,35033
20	13,6617	13,0832	12,5407	12,0314	11,1031	10,2810	9,55054
21	14,1059	13,4854	12,9050	12,3616	11,3747	10,5048	9,73527
22	14,5331	13,8704	13,2521	12,6747	11,6299	10,7132	9,90572
23	14,9442	14,2391	13,5830	12,9718	11,8698	10,9072	10,0630
24	15,3397	14,5922	13,8984	13,2537	12,0952	11,0879	10,2081
25	15,7202	14,9302	14,1989	13,5210	12,3071	11,2562	10,3421
26	16,0862	15,2540	14,4854	13,7746	12,5062	11,4129	10,4656
27	16,4384	15,5639	14,7583	14,0151	12,6933	11,5588	10,5796
28	16,7772	15,8607	15,0185	14,2433	12,8692	11,6946	10,6849
29	17,1032	16,1450	15,2665	14,4598	13,0344	11,8211	10,7819
30	17,4168	16,4171	15,5028	14,6651	13,1898	11,9390	10,8715
31	17,7186	16,6777	15,7280	14,8599	13,3358	12,0487	10,9542
32	18,0089	16,9272	15,9427	15,0447	13,4730	12,1508	11,0304
33	18,2881	17,1662	16,1472	15,2200	13,6019	12,2459	11,1008
34	18,5568	17,3950	16,3422	15,3862	13,7231	12,3345	11,1658
35	18,8153	17,6141	16,5280	15,5439	13,8370	12,4170	11,2257
36	19,0641	17,8238	16,7051	15,6936	13,9440	12,4938	11,2810
37	19,3033	18,0247	16,8739	15,8355	14,0446	12,5654	11,3320
38	19,5335	18,2171	17,0347	15,9701	14,1391	12,6320	11,3791
39	19,7550	18,4012	17,1880	16,0978	14,2280	12,6940	11,4225
40	19,9681	18,5776	17,3341	16,2190	14,3115	12,7517	11,4626
41	20,1731	18,7465	17,4734	16,3339	14,3900	12,8055	11,4996
42	20,3703	18,9082	17,6061	16,4429	14,4637	12,8556	11,5337
43	20,5601	19,0630	17,7326	16,5463	14,5330	12,9022	11,5652
44	20,7426	19,2113	17,8531	16,6444	14,5982	12,9457	11,5942
45	20,9183	19,3533	17,9680	16,7374	14,6594	12,9861	11,6210
46	21,0872	19,4892	18,0775	16,8257	14,7169	13,0237	11,6458
47	21,2498	19,6194	18,1818	16,9094	14,7710	13,0588	11,6686
48	21,4062	19,7440	18,2812	16,9888	14,8218	13,0915	11,6897
49	21,5567	19,8634	18,3760	17,0642	14,8696	13,1219	11,7091
50	21,7015	19,9777	18,4663	17,1356	14,9145	13,1502	11,7270
55	22,3470	20,4803	18,8582	17,4415	15,1015	13,2651	11,7979
60	22,8791	20,8850	19,1663	17,6764	15,2386	13,3455	11,8454
65	23,3177	21,2107	19,4086	17,8569	15,3391	13,4018	11,8771
70	23,6793	21,4730	19,5991	17,9955	15,4128	13,4413	11,8983
75	23,9773	21,6841	19,7489	18,1020	15,4669	13,4689	11,9125
80	24,2229	21,8540	19,8667	18,1837	15,5065	13,4882	11,9220
85	24,4254	21,9908	19,9593	18,2465	15,5356	13,5017	11,9283
90	24,5922	22,1009	20,0321	18,2948	15,5569	13,5112	11,9326
95	24,7298	22,1896	20,0894	18,3318	15,5725	13,5178	11,9354
100	24,8432	22,2609	20,1344	18,3603	15,5839	13,5225	11,9373

Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen DFAKRP(2;i;n)

Steigerungsrate r = 2 % p. a.

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1	1,00000	0,99511	0,99029	0,98551	0,98077	0,97608	0,97143
2	2,00000	1,98539	1,97097	1,95673	1,94268	1,92880	1,91510
3	3,00000	2,97083	2,94212	2,91388	2,88609	2,85873	2,83181
4	4,00000	3,95146	3,90385	3,85716	3,81136	3,76642	3,72233
5	5,00000	4,92730	4,85624	4,78676	4,71883	4,65239	4,58741
6	6,00000	5,89839	5,79938	5,70290	5,60885	5,51717	5,42777
7	7,00000	6,86474	6,73337	6,60575	6,48176	6,36125	6,24412
8	8,00000	7,82637	7,65829	7,49553	7,33788	7,18515	7,03714
9	9,00000	8,78332	8,57423	8,37240	8,17753	7,98933	7,80751
10	10,0000	9,73560	9,48127	9,23657	9,00104	8,77427	8,55587
11	11,0000	10,6832	10,3795	10,0882	9,80872	9,54044	9,28284
12	12,0000	11,6262	11,2690	10,9275	10,6009	10,2883	9,98905
13	13,0000	12,5646	12,1499	11,7547	11,3778	11,0182	10,6751
14	14,0000	13,4985	13,0223	12,5698	12,1397	11,7307	11,3415
15	15,0000	14,4278	13,8861	13,3731	12,8870	12,4261	11,9889
16	16,0000	15,3525	14,7416	14,1648	13,6200	13,1049	12,6178
17	17,0000	16,2727	15,5888	14,9451	14,3388	13,7675	13,2287
18	18,0000	17,1885	16,4277	15,7140	15,0439	14,4142	13,8222
19	19,0000	18,0997	17,2585	16,4717	15,7353	15,0455	14,3987
20	20,0000	19,0066	18,0812	17,2185	16,4135	15,6616	14,9587
21	21,0000	19,9090	18,8960	17,9545	17,0786	16,2630	15,5028
22	22,0000	20,8070	19,7028	18,6798	17,7309	16,8500	16,0312
23	23,0000	21,7006	20,5018	19,3946	18,3707	17,4230	16,5446
24	24,0000	22,5899	21,2931	20,0990	18,9982	17,9822	17,0434
25	25,0000	23,4748	22,0766	20,7932	19,6136	18,5281	17,5278
26	26,0000	24,3554	22,8526	21,4774	20,2172	19,0609	17,9985
27	27,0000	25,2317	23,6210	22,1516	20,8092	19,5810	18,4557
28	28,0000	26,1038	24,3820	22,8161	21,3898	20,0886	18,8998
29	29,0000	26,9716	25,1355	23,4709	21,9592	20,5841	19,3312
30	30,0000	27,8351	25,8818	24,1163	22,5177	21,0678	19,7503
31	31,0000	28,6945	26,6208	24,7523	23,0654	21,5398	20,1575
32	32,0000	29,5496	27,3526	25,3790	23,6026	22,0006	20,5530
33	33,0000	30,4006	28,0774	25,9967	24,1295	22,4503	20,9372
34	34,0000	31,2474	28,7951	26,6055	24,6463	22,8893	21,3104
35	35,0000	32,0901	29,5058	27,2054	25,1531	23,3178	21,6729
36	36,0000	32,9287	30,2096	27,7966	25,6501	23,7360	22,0251
37	37,0000	33,7632	30,9066	28,3793	26,1376	24,1443	22,3673
38	38,0000	34,5936	31,5968	28,9535	26,6157	24,5427	22,6997
39	39,0000	35,4200	32,2804	29,5194	27,0847	24,9317	23,0225
40	40,0000	36,2423	32,9573	30,0771	27,5446	25,3113	23,3362
41	41,0000	37,0607	33,6276	30,6267	27,9956	25,6818	23,6408
42	42,0000	37,8750	34,2914	31,1683	28,4380	26,0435	23,9368
43	43,0000	38,6854	34,9488	31,7021	28,8719	26,3965	24,2243
44	44,0000	39,4918	35,5997	32,2282	29,2975	26,7411	24,5036
45	45,0000	40,2942	36,2444	32,7466	29,7148	27,0775	24,7750
46	46,0000	41,0928	36,8828	33,2575	30,1241	27,4057	25,0385
47	47,0000	41,8875	37,5150	33,7610	30,5256	27,7262	25,2946
48	48,0000	42,6783	38,1411	34,2573	30,9193	28,0390	25,5433
49	49,0000	43,4652	38,7611	34,7463	31,3055	28,3442	25,7849
50	50,0000	44,2483	39,3750	35,2282	31,6842	28,6422	26,0196
55	55,0000	48,1069	42,3566	37,5351	33,4715	30,0286	27,0964
60	60,0000	51,8722	45,1963	39,6797	35,0933	31,2568	28,0278
65	65,0000	55,5466	47,9007	41,6732	36,5651	32,3450	28,8336
70	70,0000	59,1323	50,4764	43,5265	37,9007	33,3091	29,5307
75	75,0000	62,6313	52,9294	45,2493	39,1127	34,1633	30,1337
80	80,0000	66,0459	55,2657	46,8508	40,2126	34,9201	30,6554
85	85,0000	69,3780	57,4907	48,3395	41,2107	35,5906	31,1066
90	90,0000	72,6295	59,6098	49,7235	42,1165	36,1846	31,4970
95	95,0000	75,8026	61,6280	51,0101	42,9384	36,7109	31,8347
100	100,000	78,8990	63,5501	52,2060	43,6843	37,1772	32,1269

Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen DFAKRP(2;i;n)

Steigerungsrate r = 2 % p. a.

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10,0
1	0,96682	0,96226	0,95775	0,95327	0,94444	0,93578	0,92727
2	1,90157	1,88822	1,87502	1,86200	1,83642	1,81146	1,78711
3	2,80531	2,77923	2,75354	2,72826	2,67884	2,63091	2,58441
4	3,67907	3,63661	3,59494	3,55404	3,47446	3,39773	3,32372
5	4,52384	4,46165	4,40079	4,34124	4,22588	4,11531	4,00927
6	5,34059	5,25555	5,17259	5,09164	4,93555	4,78680	4,64496
7	6,13023	6,01949	5,91178	5,80699	5,60580	5,41517	5,23442
8	6,89369	6,75460	6,61973	6,48890	6,23881	6,00319	5,78101
9	7,63181	7,46298	7,29777	7,13896	6,83666	6,55344	6,28784
10	8,34545	8,14266	7,94716	7,75863	7,40129	7,06836	6,75782
11	9,03541	8,79765	8,56911	8,34935	7,93455	7,55021	7,19361
12	9,70248	9,42793	9,16478	8,91246	8,43818	8,00111	7,59771
13	10,3474	10,0344	9,73528	9,44926	8,91384	8,42306	7,97243
14	10,9710	10,6180	10,2817	9,96098	9,36307	8,81791	8,31989
15	11,5738	11,1796	10,8050	10,4488	9,78734	9,18740	8,64208
16	12,1567	11,7200	11,3062	10,9138	10,1881	9,53316	8,94083
17	12,7202	12,2400	11,7862	11,3571	10,5665	9,85672	9,21786
18	13,2650	12,7404	12,2459	11,7796	10,9239	10,1595	9,47475
19	13,7918	13,2219	12,6863	12,1825	11,2615	10,4428	9,71295
20	14,3011	13,6852	13,1080	12,5665	11,5803	10,7080	9,93382
21	14,7935	14,1310	13,5119	12,9325	11,8814	10,9561	10,1386
22	15,2695	14,5601	13,8987	13,2815	12,1657	11,1883	10,3286
23	15,7298	14,9729	14,2692	13,6141	12,4343	11,4055	10,5047
24	16,1747	15,3701	14,6240	13,9312	12,6880	11,6089	10,6680
25	16,6050	15,7524	14,9638	14,2335	12,9275	11,7991	10,8194
26	17,0209	16,1202	15,2893	14,5216	13,1538	11,9771	10,9598
27	17,4231	16,4742	15,6010	14,7963	13,3675	12,1437	11,0900
28	17,8119	16,8148	15,8996	15,0582	13,5693	12,2997	11,2107
29	18,1878	17,1425	16,1855	15,3078	13,7599	12,4456	11,3227
30	18,5512	17,4579	16,4593	15,5458	13,9399	12,5821	11,4265
31	18,9026	17,7614	16,7216	15,7726	14,1099	12,7098	11,5227
32	19,2423	18,0534	16,9728	15,9888	14,2704	12,8294	11,6120
33	19,5708	18,3344	17,2134	16,1950	14,4221	12,9413	11,6948
34	19,8883	18,6048	17,4438	16,3915	14,5653	13,0460	11,7715
35	20,1954	18,8650	17,6645	16,5788	14,7006	13,1439	11,8427
36	20,4922	19,1154	17,8759	16,7573	14,8283	13,2356	11,9086
37	20,7792	19,3563	18,0783	16,9275	14,9490	13,3214	11,9698
38	21,0566	19,5881	18,2722	17,0898	15,0629	13,4017	12,0266
39	21,3249	19,8112	18,4579	17,2445	15,1705	13,4768	12,0792
40	21,5843	20,0259	18,6357	17,3919	15,2722	13,5471	12,1280
41	21,8350	20,2325	18,8060	17,5325	15,3681	13,6129	12,1732
42	22,0775	20,4313	18,9691	17,6665	15,4588	13,6744	12,2152
43	22,3119	20,6225	19,1254	17,7942	15,5444	13,7320	12,2541
44	22,5385	20,8066	19,2750	17,9160	15,6253	13,7859	12,2901
45	22,7576	20,9837	19,4183	18,0321	15,7017	13,8364	12,3236
46	22,9694	21,1541	19,5556	18,1427	15,7738	13,8836	12,3546
47	23,1742	21,3181	19,6870	18,2482	15,8419	13,9278	12,3833
48	23,3722	21,4759	19,8129	18,3488	15,9063	13,9691	12,4100
49	23,5637	21,6278	19,9335	18,4446	15,9670	14,0078	12,4347
50	23,7488	21,7739	20,0490	18,5360	16,0244	14,0440	12,4577
55	24,5861	22,4258	20,5572	18,9327	16,2669	14,1929	12,5496
60	25,2934	22,9637	20,9668	19,2449	16,4495	14,2998	12,6126
65	25,8910	23,4075	21,2968	19,4907	16,5861	14,3765	12,6558
70	26,3958	23,7736	21,5628	19,6842	16,6890	14,4316	12,6854
75	26,8222	24,0757	21,7771	19,8365	16,7663	14,4711	12,7057
80	27,1824	24,3249	21,9498	19,9565	16,8244	14,4994	12,7197
85	27,4868	24,5305	22,0890	20,0508	16,8680	14,5198	12,7292
90	27,7438	24,7001	22,2012	20,1251	16,9008	14,5344	12,7357
95	27,9610	24,8401	22,2915	20,1836	16,9255	14,5448	12,7402
100	28,1445	24,9555	22,3644	20,2297	16,9440	14,5523	12,7433

Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen DFAKRP(1;i;n)

Steigerungsrate r = 2,5 % p. a.

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1	1,00490	1,00000	0,99515	0,99034	0,98558	0,98086	0,97619
2	2,01473	2,00000	1,98546	1,97111	1,95694	1,94295	1,92914
3	3,02951	3,00000	2,97097	2,94240	2,91429	2,88663	2,85940
4	4,04926	4,00000	3,95169	3,90431	3,85783	3,81224	3,76751
5	5,07401	5,00000	4,92765	4,85693	4,78777	4,72014	4,65399
6	6,10379	6,00000	5,89888	5,80034	5,70429	5,61066	5,51938
7	7,13861	7,00000	6,86539	6,73463	6,60760	6,48414	6,36415
8	8,17850	8,00000	7,82721	7,65990	7,49787	7,34091	7,18882
9	9,22350	9,00000	8,78436	8,57623	8,37531	8,18127	7,99384
10	10,2736	10,0000	9,73686	9,48371	9,24008	9,00555	8,77970
11	11,3289	11,0000	10,6847	10,3824	10,0924	9,81406	9,54685
12	12,3893	12,0000	11,6280	11,2724	10,9324	10,6071	10,2957
13	13,4549	13,0000	12,5667	12,1539	11,7603	11,3850	11,0268
14	14,5258	14,0000	13,5009	13,0268	12,5763	12,1479	11,7404
15	15,6019	15,0000	14,4305	13,8913	13,3805	12,8963	12,4371
16	16,6833	16,0000	15,3556	14,7474	14,1730	13,6303	13,1172
17	17,7700	17,0000	16,2762	15,5952	14,9542	14,3503	13,7810
18	18,8620	18,0000	17,1923	16,4349	15,7241	15,0565	14,4291
19	19,9594	19,0000	18,1040	17,2664	16,4829	15,7492	15,0618
20	21,0621	20,0000	19,0113	18,0900	17,2307	16,4287	15,6793
21	22,1702	21,0000	19,9141	18,9055	17,9678	17,0951	16,2822
22	23,2838	22,0000	20,8126	19,7132	18,6942	17,7488	16,8707
23	24,4029	23,0000	21,7067	20,5131	19,4102	18,3900	17,4452
24	25,5274	24,0000	22,5965	21,3052	20,1158	19,0189	18,0061
25	26,6574	25,0000	23,4819	22,0897	20,8112	19,6357	18,5535
26	27,7930	26,0000	24,3631	22,8666	21,4966	20,2408	19,0880
27	28,9341	27,0000	25,2400	23,6360	22,1722	20,8343	19,6097
28	30,0809	28,0000	26,1126	24,3980	22,8380	21,4164	20,1190
29	31,2332	29,0000	26,9810	25,1526	23,4941	21,9874	20,6162
30	32,3912	30,0000	27,8451	25,8999	24,1409	22,5474	21,1015
31	33,5549	31,0000	28,7051	26,6400	24,7782	23,0967	21,5753
32	34,7243	32,0000	29,5609	27,3730	25,4064	23,6356	22,0378
33	35,8994	33,0000	30,4126	28,0988	26,0256	24,1641	22,4892
34	37,0803	34,0000	31,2601	28,8177	26,6358	24,6825	22,9300
35	38,2670	35,0000	32,1035	29,5296	27,2372	25,1909	23,3602
36	39,4595	36,0000	32,9428	30,2346	27,8299	25,6897	23,7802
37	40,6578	37,0000	33,7780	30,9328	28,4141	26,1789	24,1902
38	41,8620	38,0000	34,6092	31,6243	28,9899	26,6587	24,5904
39	43,0721	39,0000	35,4363	32,3091	29,5573	27,1293	24,9811
40	44,2881	40,0000	36,2594	32,9873	30,1166	27,5910	25,3625
41	45,5101	41,0000	37,0786	33,6589	30,6678	28,0438	25,7349
42	46,7381	42,0000	37,8937	34,3240	31,2111	28,4879	26,0983
43	47,9721	43,0000	38,7049	34,9827	31,7465	28,9236	26,4531
44	49,2122	44,0000	39,5122	35,6351	32,2742	29,3509	26,7995
45	50,4583	45,0000	40,3155	36,2811	32,7943	29,7700	27,1376
46	51,7106	46,0000	41,1150	36,9209	33,3068	30,1811	27,4676
47	52,9690	47,0000	41,9105	37,5545	33,8120	30,5843	27,7898
48	54,2335	48,0000	42,7022	38,1820	34,3099	30,9798	28,1044
49	55,5043	49,0000	43,4901	38,8034	34,8006	31,3678	28,4114
50	56,7813	50,0000	44,2741	39,4188	35,2843	31,7483	28,7111
55	63,2607	55,0000	48,1375	42,4079	37,5999	33,5444	30,1061
60	69,9005	60,0000	51,9081	45,2554	39,7532	35,1751	31,3427
65	76,7046	65,0000	55,5880	47,9679	41,7557	36,6556	32,4389
70	83,6772	70,0000	59,1795	50,5519	43,6178	37,9998	33,4107
75	90,8223	75,0000	62,6846	53,0134	45,3495	39,2201	34,2722
80	98,1443	80,0000	66,1055	55,3583	46,9599	40,3281	35,0358
85	105,647	85,0000	69,4441	57,5921	48,4574	41,3340	35,7129
90	113,336	90,0000	72,7025	59,7201	49,8500	42,2472	36,3130
95	121,216	95,0000	75,8826	61,7472	51,1451	43,0764	36,8450
100	129,290	100,000	78,9863	63,6782	52,3493	43,8292	37,3167

Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen DFAKRP(1;i;n)
Steigerungsrate r = 2,5 % p. a.

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10,0
1	0,97156	0,96698	0,96244	0,95794	0,94907	0,94037	0,93182
2	1,91550	1,90203	1,88873	1,87560	1,84982	1,82466	1,80010
3	2,83260	2,80621	2,78024	2,75466	2,70469	2,65621	2,60919
4	3,72361	3,68053	3,63826	3,59676	3,51602	3,43818	3,36311
5	4,58929	4,52599	4,46405	4,40344	4,28604	4,17352	4,06562
6	5,43035	5,34353	5,25883	5,17619	5,01684	4,86501	4,72024
7	6,24750	6,13407	6,02375	5,91644	5,71043	5,51526	5,33022
8	7,04141	6,89851	6,75995	6,62556	6,36869	6,12674	5,89862
9	7,81274	7,63771	7,46850	7,30486	6,99344	6,70175	6,42826
10	8,56214	8,35250	8,15043	7,95559	7,58636	7,24247	6,92178
11	9,29024	9,04370	8,80675	8,57896	8,14910	7,75094	7,38166
12	9,99762	9,71206	9,43842	9,17610	8,68317	8,22910	7,81019
13	10,6849	10,3584	10,0464	9,74814	9,19004	8,67874	8,20949
14	11,3526	10,9833	10,6315	10,2961	9,67111	9,10157	8,58157
15	12,0014	11,5877	11,1946	10,8210	10,1277	9,49918	8,92828
16	12,6317	12,1720	11,7366	11,3239	10,5610	9,87308	9,25135
17	13,2440	12,7371	12,2582	11,8056	10,9722	10,2247	9,55240
18	13,8390	13,2835	12,7603	12,2671	11,3625	10,5553	9,83292
19	14,4170	13,8119	13,2435	12,7091	11,7330	10,8663	10,0943
20	14,9786	14,3228	13,7085	13,1325	12,0845	11,1586	10,3379
21	15,5243	14,8169	14,1561	13,5382	12,4182	11,4336	10,5648
22	16,0544	15,2946	14,5868	13,9268	12,7349	11,6921	10,7763
23	16,5694	15,7566	15,0014	14,2990	13,0354	11,9353	10,9734
24	17,0698	16,2033	15,4004	14,6556	13,3206	12,1639	11,1570
25	17,5560	16,6353	15,7844	14,9972	13,5913	12,3789	11,3281
26	18,0283	17,0530	16,1540	15,3244	13,8483	12,5811	11,4876
27	18,4872	17,4569	16,5097	15,6379	14,0921	12,7712	11,6362
28	18,9331	17,8475	16,8521	15,9381	14,3235	12,9500	11,7746
29	19,3663	18,2251	17,1816	16,2258	14,5432	13,1181	11,9036
30	19,7871	18,5903	17,4987	16,5013	14,7516	13,2762	12,0238
31	20,1960	18,9435	17,8039	16,7653	14,9494	13,4249	12,1358
32	20,5933	19,2850	18,0977	17,0182	15,1372	13,5647	12,2402
33	20,9793	19,6152	18,3804	17,2604	15,3154	13,6961	12,3375
34	21,3543	19,9345	18,6525	17,4924	15,4845	13,8197	12,4281
35	21,7186	20,2433	18,9144	17,7147	15,6450	13,9360	12,5125
36	22,0726	20,5418	19,1664	17,9276	15,7974	14,0453	12,5912
37	22,4165	20,8306	19,4090	18,1316	15,9419	14,1481	12,6646
38	22,7506	21,1097	19,6425	18,3270	16,0792	14,2448	12,7329
39	23,0752	21,3797	19,8672	18,5142	16,2094	14,3357	12,7966
40	23,3906	21,6407	20,0834	18,6935	16,3330	14,4212	12,8559
41	23,6971	21,8932	20,2916	18,8653	16,4503	14,5016	12,9112
42	23,9948	22,1373	20,4919	19,0298	16,5616	14,5772	12,9627
43	24,2840	22,3733	20,6847	19,1874	16,6673	14,6483	13,0107
44	24,5650	22,6015	20,8702	19,3384	16,7676	14,7151	13,0554
45	24,8381	22,8222	21,0488	19,4831	16,8627	14,7780	13,0971
46	25,1034	23,0357	21,2207	19,6216	16,9531	14,8371	13,1359
47	25,3611	23,2420	21,3861	19,7544	17,0388	14,8927	13,1721
48	25,6115	23,4416	21,5453	19,8815	17,1201	14,9449	13,2058
49	25,8547	23,6346	21,6985	20,0033	17,1973	14,9941	13,2372
50	26,0911	23,8212	21,8460	20,1200	17,2706	15,0403	13,2665
55	27,1758	24,6657	22,5043	20,6338	17,5847	15,2332	13,3856
60	28,1148	25,3797	23,0480	21,0483	17,8266	15,3751	13,4692
65	28,9277	25,9833	23,4969	21,3826	18,0128	15,4794	13,5279
70	29,6314	26,4937	23,8676	21,6524	18,1562	15,5561	13,5692
75	30,2406	26,9252	24,1738	21,8699	18,2667	15,6125	13,5982
80	30,7680	27,2900	24,4266	22,0454	18,3517	15,6540	13,6186
85	31,2245	27,5984	24,6354	22,1870	18,4172	15,6845	13,6329
90	31,6197	27,8592	24,8078	22,3012	18,4676	15,7069	13,6429
95	31,9618	28,0797	24,9501	22,3934	18,5064	15,7234	13,6500
100	32,2579	28,2661	25,0677	22,4677	18,5363	15,7355	13,6550

Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen DFAKRP(3;i;n)

Steigerungsrate r = 3 % p. a.

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1	1,00980	1,00488	1,00000	0,99517	0,99038	0,98565	0,98095
2	2,02951	2,01466	2,00000	1,98553	1,97125	1,95714	1,94322
3	3,05921	3,02936	3,00000	2,97111	2,94268	2,91470	2,88716
4	4,09901	4,04902	4,00000	3,95192	3,90477	3,85850	3,81312
5	5,14900	5,07365	5,00000	4,92800	4,85761	4,78877	4,72144
6	6,20928	6,10328	6,00000	5,89936	5,80128	5,70567	5,61246
7	7,27996	7,13793	7,00000	6,86603	6,73588	6,60942	6,48651
8	8,36113	8,17762	8,00000	7,82803	7,66150	7,50019	7,34391
9	9,45291	9,22239	9,00000	8,78539	8,57822	8,37818	8,18498
10	10,5554	10,2723	10,0000	9,73811	9,48612	9,24357	9,01002
11	11,6687	11,3272	11,0000	10,6862	10,3853	10,0965	9,81936
12	12,7929	12,3874	12,0000	11,6298	11,2758	10,9373	10,6133
13	13,9281	13,4527	13,0000	12,5688	12,1578	11,7659	11,3921
14	15,0745	14,5232	14,0000	13,5032	13,0313	12,5827	12,1560
15	16,2321	15,5989	15,0000	14,4332	13,8964	13,3877	12,9054
16	17,4010	16,6799	16,0000	15,3586	14,7531	14,1812	13,6406
17	18,5814	17,7661	17,0000	16,2796	15,6016	14,9633	14,3617
18	19,7734	18,8577	18,0000	17,1961	16,4420	15,7341	15,0691
19	20,9770	19,9545	19,0000	18,1082	17,2743	16,4939	15,7630
20	22,1925	21,0567	20,0000	19,0159	18,0986	17,2428	16,4437
21	23,4199	22,1643	21,0000	19,9192	18,9149	17,9810	17,1115
22	24,6593	23,2773	22,0000	20,8181	19,7235	18,7085	17,7665
23	25,9108	24,3958	23,0000	21,7127	20,5242	19,4256	18,4090
24	27,1747	25,5196	24,0000	22,6030	21,3172	20,1324	19,0393
25	28,4509	26,6490	25,0000	23,4890	22,1026	20,8291	19,6576
26	29,7396	27,7839	26,0000	24,3707	22,8805	21,5157	20,2642
27	31,0410	28,9243	27,0000	25,2481	23,6509	22,1925	20,8591
28	32,3551	30,0703	28,0000	26,1213	24,4139	22,8596	21,4428
29	33,6821	31,2218	29,0000	26,9903	25,1695	23,5172	22,0153
30	35,0222	32,3790	30,0000	27,8551	25,9179	24,1652	22,5769
31	36,3753	33,5418	31,0000	28,7157	26,6590	24,8040	23,1278
32	37,7417	34,7103	32,0000	29,5721	27,3931	25,4336	23,6682
33	39,1216	35,8845	33,0000	30,4244	28,1201	26,0542	24,1984
34	40,5149	37,0645	34,0000	31,2726	28,8401	26,6659	24,7184
35	41,9219	38,2501	35,0000	32,1167	29,5531	27,2687	25,2285
36	43,3427	39,4416	36,0000	32,9567	30,2594	27,8630	25,7289
37	44,7775	40,6389	37,0000	33,7927	30,9588	28,4487	26,2198
38	46,2263	41,8420	38,0000	34,6246	31,6515	29,0260	26,7013
39	47,6893	43,0510	39,0000	35,4525	32,3375	29,5950	27,1737
40	49,1666	44,2659	40,0000	36,2764	33,0170	30,1558	27,6370
41	50,6584	45,4867	41,0000	37,0963	33,6899	30,7086	28,0916
42	52,1649	46,7134	42,0000	37,9123	34,3563	31,2534	28,5375
43	53,6861	47,9462	43,0000	38,7243	35,0164	31,7905	28,9748
44	55,2223	49,1849	44,0000	39,5324	35,6701	32,3198	29,4039
45	56,7735	50,4297	45,0000	40,3366	36,3175	32,8415	29,8248
46	58,3399	51,6806	46,0000	41,1369	36,9587	33,3558	30,2376
47	59,9216	52,9376	47,0000	41,9333	37,5937	33,8626	30,6426
48	61,5189	54,2007	48,0000	42,7259	38,2226	34,3622	31,0399
49	63,1318	55,4700	49,0000	43,5147	38,8454	34,8546	31,4296
50	64,7606	56,7454	50,0000	44,2997	39,4623	35,3399	31,8119
55	73,1470	63,2167	55,0000	48,1679	42,4588	37,6641	33,6169
60	81,9526	69,8473	60,0000	51,9436	45,3140	39,8262	35,2564
65	91,1984	76,6413	65,0000	55,6290	48,0346	41,8375	36,7456
70	100,906	83,6025	70,0000	59,2262	50,6268	43,7086	38,0982
75	111,100	90,7353	75,0000	62,7374	53,0968	45,4491	39,3269
80	121,803	98,0437	80,0000	66,1646	55,4503	47,0683	40,4429
85	133,041	105,532	85,0000	69,5098	57,6928	48,5746	41,4566
90	144,840	113,205	90,0000	72,7749	59,8295	49,9758	42,3774
95	157,230	121,067	95,0000	75,9620	61,8655	51,2793	43,2137
100	170,239	129,122	100,000	79,0728	63,8054	52,4919	43,9734

Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen DFAKRP(3;i;n)

Steigerungsrate r = 3 % p. a.

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10,0
1	0,97630	0,97170	0,96714	0,96262	0,95370	0,94495	0,93636
2	1,92947	1,91590	1,90249	1,88925	1,86325	1,83789	1,81314
3	2,86005	2,83337	2,80710	2,78124	2,73070	2,68168	2,63412
4	3,76858	3,72488	3,68199	3,63988	3,55798	3,47902	3,40286
5	4,65558	4,59116	4,52812	4,46643	4,34696	4,23247	4,12268
6	5,52156	5,43292	5,34644	5,26208	5,09942	4,94444	4,79669
7	6,36702	6,25085	6,13787	6,02798	5,81704	5,61722	5,42781
8	7,19245	7,04564	6,90330	6,76525	6,50143	6,25297	6,01877
9	7,99832	7,81793	7,64356	7,47496	7,15414	6,85373	6,57212
10	8,78509	8,56837	8,35950	8,15814	7,77664	7,42141	7,09026
11	9,55321	9,29757	9,05191	8,81578	8,37031	7,95785	7,57542
12	10,3031	10,0061	9,72157	9,44884	8,93650	8,46475	8,02971
13	11,0353	10,6946	10,3692	10,0582	9,47658	8,94376	8,45509
14	11,7501	11,3637	10,9956	10,6448	9,99146	9,39640	8,85341
15	12,4480	12,0137	11,6014	11,2095	10,4826	9,82412	9,22637
16	13,1293	12,6454	12,1872	11,7531	10,9510	10,2283	9,57560
17	13,7945	13,2592	12,7539	12,2763	11,3977	10,6102	9,90261
18	14,4439	13,8557	13,3018	12,7800	11,8237	10,9711	10,2088
19	15,0779	14,4352	13,8318	13,2649	12,2300	11,3122	10,4955
20	15,6969	14,9984	14,3444	13,7316	12,6175	11,6344	10,7640
21	16,3013	15,5456	14,8401	14,1809	12,9871	11,9390	11,0154
22	16,8913	16,0773	15,3196	14,6134	13,3396	12,2267	11,2508
23	17,4673	16,5940	15,7832	15,0297	13,6757	12,4987	11,4712
24	18,0297	17,0961	16,2317	15,4305	13,9963	12,7556	11,6775
25	18,5788	17,5839	16,6654	15,8163	14,3020	12,9984	11,8708
26	19,1148	18,0580	17,0848	16,1876	14,5936	13,2279	12,0517
27	19,6382	18,5186	17,4905	16,5451	14,8716	13,4447	12,2212
28	20,1491	18,9662	17,8828	16,8892	15,1368	13,6496	12,3798
29	20,6479	19,4011	18,2623	17,2204	15,3898	13,8432	12,5284
30	21,1350	19,8237	18,6292	17,5393	15,6310	14,0261	12,6675
31	21,6104	20,2343	18,9841	17,8462	15,8610	14,1990	12,7977
32	22,0746	20,6334	19,3274	18,1417	16,0804	14,3623	12,9197
33	22,5278	21,0211	19,6593	18,4261	16,2897	14,5167	13,0339
34	22,9703	21,3979	19,9804	18,6999	16,4892	14,6626	13,1408
35	23,4023	21,7640	20,2909	18,9635	16,6795	14,8004	13,2410
36	23,8240	22,1197	20,5912	19,2172	16,8610	14,9307	13,3347
37	24,2358	22,4654	20,8816	19,4614	17,0341	15,0538	13,4225
38	24,6378	22,8013	21,1625	19,6965	17,1992	15,1701	13,5047
39	25,0303	23,1276	21,4342	19,9228	17,3567	15,2800	13,5817
40	25,4134	23,4448	21,6969	20,1406	17,5068	15,3838	13,6538
41	25,7875	23,7529	21,9510	20,3503	17,6500	15,4820	13,7213
42	26,1527	24,0524	22,1967	20,5522	17,7866	15,5747	13,7844
43	26,5093	24,3434	22,4344	20,7465	17,9168	15,6623	13,8436
44	26,8574	24,6261	22,6642	20,9335	18,0411	15,7451	13,8990
45	27,1973	24,9008	22,8866	21,1136	18,1595	15,8234	13,9509
46	27,5291	25,1678	23,1015	21,2869	18,2725	15,8973	13,9995
47	27,8531	25,4272	23,3095	21,4538	18,3803	15,9672	14,0450
48	28,1694	25,6793	23,5106	21,6144	18,4830	16,0332	14,0876
49	28,4781	25,9242	23,7051	21,7690	18,5810	16,0956	14,1274
50	28,7796	26,1622	23,8932	21,9178	18,6745	16,1546	14,1648
55	30,1831	27,2548	24,7449	22,5825	19,0808	16,4041	14,3188
60	31,4280	28,2014	25,4656	23,1319	19,4014	16,5921	14,4296
65	32,5322	29,0214	26,0753	23,5860	19,6543	16,7338	14,5093
70	33,5117	29,7317	26,5913	23,9614	19,8539	16,8405	14,5668
75	34,3805	30,3471	27,0279	24,2716	20,0113	16,9209	14,6081
80	35,1511	30,8801	27,3973	24,5281	20,1355	16,9815	14,6379
85	35,8346	31,3419	27,7098	24,7400	20,2336	17,0272	14,6593
90	36,4409	31,7419	27,9743	24,9152	20,3109	17,0616	14,6747
95	36,9787	32,0884	28,1980	25,0600	20,3719	17,0875	14,6858
100	37,4557	32,3886	28,3874	25,1797	20,4200	17,1070	14,6938

Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen DFAKRP(1;i;n)

Steigerungsrate r = 3,5 % p. a.

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1	1,01471	1,00976	1,00485	1,00000	0,99519	0,99043	0,98571
2	2,04433	2,02936	2,01459	2,00000	1,98560	1,97138	1,95735
3	3,08910	3,05892	3,02922	3,00000	2,97125	2,94295	2,91510
4	4,14924	4,09852	4,04878	4,00000	3,95215	3,90522	3,85917
5	5,22496	5,14826	5,07329	5,00000	4,92835	4,85828	4,78975
6	6,31651	6,20824	6,10277	6,00000	5,89984	5,80222	5,70704
7	7,42410	7,27857	7,13725	7,00000	6,86667	6,73712	6,61123
8	8,54798	8,35933	8,17675	8,00000	7,82885	7,66309	7,50249
9	9,68840	9,45064	9,22130	9,00000	8,78640	8,58018	8,38103
10	10,8456	10,5526	10,2709	10,0000	9,73935	9,48851	9,24702
11	12,0198	11,6653	11,3256	11,0000	10,6877	10,3881	10,1006
12	13,2113	12,7889	12,3855	12,0000	11,6315	11,2792	10,9421
13	14,4202	13,9234	13,4504	13,0000	12,5708	12,1617	11,7715
14	15,6470	15,0690	14,5206	14,0000	13,5056	13,0357	12,5890
15	16,8918	16,2258	15,5959	15,0000	14,4358	13,9014	13,3949
16	18,1549	17,3938	16,6765	16,0000	15,3616	14,7588	14,1892
17	19,4366	18,5733	17,7623	17,0000	16,2830	15,6080	14,9722
18	20,7372	19,7642	18,8534	18,0000	17,1999	16,4491	15,7441
19	22,0568	20,9668	19,9498	19,0000	18,1124	17,2821	16,5049
20	23,3959	22,1811	21,0515	20,0000	19,0205	18,1071	17,2548
21	24,7547	23,4073	22,1585	21,0000	19,9242	18,9243	17,9940
22	26,1334	24,6454	23,2709	22,0000	20,8236	19,7336	18,7227
23	27,5324	25,8956	24,3887	23,0000	21,7187	20,5352	19,4409
24	28,9520	27,1580	25,5120	24,0000	22,6095	21,3292	20,1489
25	30,3925	28,4327	26,6407	25,0000	23,4960	22,1155	20,8468
26	31,8541	29,7199	27,7749	26,0000	24,3782	22,8943	21,5347
27	33,3373	31,0196	28,9146	27,0000	25,2562	23,6656	22,2128
28	34,8423	32,3319	30,0598	28,0000	26,1300	24,4296	22,8812
29	36,3693	33,6571	31,2105	29,0000	26,9995	25,1862	23,5400
30	37,9189	34,9953	32,3669	30,0000	27,8649	25,9357	24,1894
31	39,4912	36,3464	33,5289	31,0000	28,7261	26,6779	24,8296
32	41,0867	37,7108	34,6965	32,0000	29,5832	27,4130	25,4606
33	42,7056	39,0885	35,8698	33,000	30,4362	28,1411	26,0826
34	44,3483	40,4796	37,0488	34,0000	31,2851	28,8623	26,6957
35	46,0152	41,8842	38,2335	35,0000	32,1298	29,5765	27,3000
36	47,7066	43,3026	39,4239	36,0000	32,9706	30,2839	27,8957
37	49,4229	44,7348	40,6202	37,0000	33,8072	30,9846	28,4829
38	51,1644	46,1810	41,8222	38,0000	34,6399	31,6785	29,0618
39	52,9315	47,6413	43,0301	39,0000	35,4686	32,3658	29,6323
40	54,7246	49,1159	44,2438	40,0000	36,2932	33,0465	30,1947
41	56,5441	50,6048	45,4634	41,0000	37,1139	33,7207	30,7491
42	58,3904	52,1083	46,6890	42,0000	37,9307	34,3884	31,2955
43	60,2638	53,6264	47,9205	43,0000	38,7435	35,0498	31,8341
44	62,1647	55,1594	49,1580	44,0000	39,5525	35,7048	32,3651
45	64,0936	56,7072	50,4014	45,0000	40,3575	36,3536	32,8884
46	66,0508	58,2702	51,6510	46,0000	41,1587	36,9961	33,4043
47	68,0369	59,8485	52,9066	47,0000	41,9560	37,6325	33,9128
48	70,0521	61,4421	54,1682	48,0000	42,7494	38,2628	34,4141
49	72,0970	63,0513	55,4360	49,0000	43,5391	38,8871	34,9082
50	74,1720	64,6762	56,7100	50,0000	44,3250	39,5054	35,3952
55	85,0135	73,0416	63,1732	55,0000	48,1980	42,5093	37,7279
60	96,6761	81,8230	69,7948	60,0000	51,9788	45,3722	39,8987
65	109,222	91,0413	76,5786	65,0000	55,6697	48,1007	41,9188
70	122,717	100,718	83,5287	70,0000	59,2726	50,7012	43,7987
75	137,235	110,876	90,6492	75,0000	62,7898	53,1795	45,5481
80	152,852	121,540	97,9442	80,0000	66,2232	55,5416	47,1761
85	169,652	132,734	105,418	85,0000	69,5748	57,7927	48,6910
90	187,723	144,484	113,075	90,0000	72,8467	59,9382	50,1008
95	207,163	156,819	120,919	95,0000	76,0407	61,9830	51,4127
100	228,076	169,768	128,956	100,000	79,1586	63,9318	52,6336

Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen DFAKRP(1;i;n)
Steigerungsrate r = 3,5 % p. a.

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10,0
1	0,98104	0,97642	0,97183	0,96729	0,95833	0,94954	0,94091
2	1,94349	1,92980	1,91629	1,90294	1,87674	1,85117	1,82622
3	2,88769	2,86070	2,83414	2,80798	2,75687	2,70730	2,65922
4	3,81399	3,76965	3,72613	3,68342	3,60034	3,52024	3,44299
5	4,72273	4,65716	4,59300	4,53023	4,40866	4,29215	4,18045
6	5,61424	5,52373	5,43545	5,34933	5,18329	5,02512	4,87433
7	6,48885	6,36987	6,25417	6,14164	5,92566	5,72110	5,52721
8	7,34688	7,19605	7,04983	6,90804	6,63709	6,38196	6,14151
9	8,18865	8,00275	7,82307	7,64936	7,31888	7,00948	6,71951
10	9,01445	8,79042	8,57454	8,36644	7,97226	7,60533	7,26336
11	9,82461	9,55952	9,30483	9,06006	8,59841	8,17111	7,77507
12	10,6194	10,3105	10,0146	9,73099	9,19848	8,70835	8,25654
13	11,3991	11,0437	10,7043	10,3800	9,77354	9,21848	8,70957
14	12,1641	11,7597	11,3746	11,0077	10,3246	9,70287	9,13582
15	12,9145	12,4587	12,0260	11,6150	10,8528	10,1628	9,53689
16	13,6507	13,1413	12,6591	12,2023	11,3589	10,5996	9,91425
17	14,3730	13,8078	13,2743	12,7705	11,8440	11,0143	10,2693
18	15,0816	14,4585	13,8722	13,3200	12,3088	11,4080	10,6034
19	15,7767	15,0940	14,4533	13,8516	12,7543	11,7819	10,9178
20	16,4587	15,7144	15,0180	14,3658	13,1812	12,1370	11,2135
21	17,1277	16,3202	15,5668	14,8632	13,5903	12,4741	11,4918
22	17,7840	16,9117	16,1001	15,3443	13,9824	12,7942	11,7537
23	18,4279	17,4892	16,6184	15,8097	14,3581	13,0982	12,0000
24	19,0596	18,0532	17,1221	16,2598	14,7182	13,3868	12,2319
25	19,67936	18,6038	17,6116	16,6953	15,0633	13,6609	12,4500
26	20,2873	19,1415	18,0874	17,1164	15,3940	13,9211	12,6552
27	20,8838	19,6664	18,5497	17,5239	15,7109	14,1682	12,8483
28	21,4689	20,1790	18,9990	17,9179	16,0146	14,4028	13,0300
29	22,0430	20,6795	19,4356	18,2991	16,3056	14,6256	13,2009
30	22,6061	21,1682	19,8600	18,6678	16,5846	14,8372	13,3618
31	23,1586	21,6454	20,2724	19,0245	16,8519	15,0381	13,5132
32	23,7007	22,1113	20,6732	19,3695	17,1081	15,2288	13,6556
33	24,2324	22,5662	21,0627	19,7032	17,3536	15,4099	13,7895
34	24,7541	23,0104	21,4412	20,0260	17,5888	15,5819	13,9156
35	25,2658	23,4441	21,8090	20,3382	17,8143	15,7452	14,0342
36	25,7679	23,8676	22,1665	20,6403	18,0304	15,9002	14,1459
37	26,2604	24,2811	22,5139	20,9324	18,2374	16,0475	14,2509
38	26,7437	24,6848	22,8516	21,2150	18,4359	16,1873	14,3497
39	27,2177	25,0791	23,1797	21,4883	18,6260	16,3200	14,4427
40	27,6828	25,4640	23,4986	21,7527	18,8083	16,4461	14,5301
41	28,1390	25,8398	23,8085	22,0085	18,9829	16,5658	14,6124
42	28,5866	26,2068	24,1097	22,2559	19,1503	16,6794	14,6899
43	29,0258	26,5652	24,4023	22,4952	19,3107	16,7874	14,7628
44	29,4565	26,9150	24,6868	22,7266	19,4644	16,8898	14,8313
45	29,8792	27,2567	24,9632	22,9505	19,6118	16,9871	14,8958
46	30,2938	27,5902	25,2319	23,1671	19,7529	17,0795	14,9565
47	30,7005	27,9159	25,4929	23,3766	19,8882	17,1673	15,0137
48	31,0996	28,2340	25,7466	23,5792	20,0179	17,2506	15,0674
49	31,4911	28,5445	25,9932	23,7752	20,1421	17,3297	15,1180
50	31,8751	28,8477	26,2328	23,9648	20,2612	17,4048	15,1655
55	33,6889	30,2597	27,3335	24,8237	20,7862	17,7271	15,3644
60	35,3372	31,5129	28,2875	25,5512	21,2105	17,9760	15,5111
65	36,8350	32,6251	29,1146	26,1670	21,5535	18,1681	15,6193
70	38,1962	33,6122	29,8316	26,6885	21,8308	18,3164	15,6990
75	39,4331	34,4883	30,4531	27,1302	22,0549	18,4308	15,7578
80	40,5571	35,2658	30,9919	27,5042	22,2361	18,5192	15,8012
85	41,5786	35,9558	31,4589	27,8209	22,3825	18,5874	15,8332
90	42,5068	36,5683	31,8638	28,0890	22,5009	18,6400	15,8568
95	43,3504	37,1118	32,2147	28,3161	22,5965	18,6807	15,8742
100	44,1169	37,5942	32,5190	28,5084	22,6739	18,7120	15,8870

Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen DFAKRP(4;i;n)

Steigerungsrate r = 4 % p. a.

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1	1,01961	1,01463	1,00971	1,00483	1,00000	0,99522	0,99048
2	2,05921	2,04412	2,02922	2,01452	2,00000	1,98567	1,97152
3	3,11919	3,08866	3,05863	3,02908	3,00000	2,97138	2,94322
4	4,19996	4,14850	4,09803	4,04854	4,00000	3,95238	3,90566
5	5,30192	5,22384	5,14753	5,07293	5,00000	4,92869	4,85894
6	6,42549	6,31492	6,20721	6,10227	6,00000	5,90032	5,80314
7	7,57109	7,42197	7,27719	7,13658	7,00000	6,86730	6,73835
8	8,73915	8,54522	8,35755	8,17589	8,00000	7,82966	7,66465
9	9,93011	9,68491	9,44840	9,22022	9,00000	8,78741	8,58213
10	11,1444	10,8413	10,5498	10,2696	10,0000	9,74058	9,49088
11	12,3826	12,0146	11,6620	11,3240	11,0000	10,6892	10,3910
12	13,6450	13,2050	12,7849	12,3836	12,0000	11,6333	11,2825
13	14,9321	14,4129	13,9187	13,4482	13,0000	12,5728	12,1655
14	16,2445	15,6385	15,0636	14,5180	14,0000	13,5079	13,0401
15	17,5826	16,8819	16,2195	15,5930	15,0000	14,4385	13,9064
16	18,9470	18,1436	17,3867	16,6732	16,0000	15,3646	14,7644
17	20,3381	19,4238	18,5652	17,7585	17,0000	16,2863	15,6143
18	21,7565	20,7227	19,7552	18,8491	18,0000	17,2036	16,4561
19	23,2027	22,0406	20,9567	19,9450	19,0000	18,1165	17,2898
20	24,6773	23,3777	22,1699	21,0462	20,0000	19,0250	18,1156
21	26,1808	24,7345	23,3948	22,1527	21,0000	19,9292	18,9336
22	27,7137	26,1111	24,6317	23,2646	22,0000	20,8291	19,7437
23	29,2767	27,5078	25,8805	24,3818	23,0000	21,7246	20,5462
24	30,8704	28,9250	27,1415	25,5044	24,0000	22,6159	21,3410
25	32,4953	30,3629	28,4147	26,6325	25,0000	23,5029	22,1282
26	34,1521	31,8219	29,7003	27,7659	26,0000	24,3857	22,9079
27	35,8413	33,3022	30,9983	28,9049	27,0000	25,2642	23,6802
28	37,5637	34,8042	32,3090	30,0494	28,0000	26,1385	24,4452
29	39,3199	36,3282	33,6324	31,1994	29,0000	27,0087	25,2029
30	41,1104	37,8745	34,9686	32,3549	30,0000	27,8747	25,9533
31	42,9361	39,4433	36,3178	33,5161	31,0000	28,7365	26,6966
32	44,7976	41,0352	37,6801	34,6828	32,0000	29,5942	27,4328
33	46,6956	42,6503	39,0557	35,8552	33,0000	30,4479	28,1620
34	48,6308	44,2891	40,4446	37,0332	34,0000	31,2974	28,8843
35	50,6040	45,9519	41,8470	38,2170	35,0000	32,1428	29,5997
36	52,6158	47,6390	43,2629	39,4064	36,0000	32,9843	30,3083
37	54,6671	49,3508	44,6927	40,6016	37,0000	33,8217	31,0101
38	56,7586	51,0876	46,1363	41,8026	38,0000	34,6551	31,7052
39	58,8912	52,8499	47,5939	43,0094	39,0000	35,4845	32,3938
40	61,0655	54,6379	49,0657	44,2220	40,0000	36,3099	33,0757
41	63,2825	56,4522	50,5518	45,4404	41,0000	37,1314	33,7512
42	65,5429	58,2929	52,0523	46,6648	42,0000	37,9489	34,4202
43	67,8477	60,1606	53,5674	47,8951	43,0000	38,7626	35,0829
44	70,1976	62,0556	55,0971	49,1313	44,0000	39,5723	35,7392
45	72,5936	63,9784	56,6418	50,3734	45,0000	40,3782	36,3893
46	75,0367	65,9293	58,2014	51,6216	46,0000	41,1802	37,0333
47	77,5276	67,9088	59,7762	52,8758	47,0000	41,9784	37,6710
48	80,0673	69,9172	61,3662	54,1361	48,0000	42,7728	38,3027
49	82,6569	71,9550	62,9717	55,4025	49,0000	43,5633	38,9284
50	85,2972	74,0226	64,5928	56,6749	50,0000	44,3501	39,5482
55	99,2960	84,8236	72,9374	63,1301	55,0000	48,2279	42,5594
60	114,722	96,4384	81,6950	69,7427	60,0000	52,0137	45,4299
65	131,721	108,928	90,8861	76,5166	65,0000	55,7100	48,1664
70	150,453	122,359	100,532	83,4557	70,0000	59,3186	50,7749
75	171,096	136,802	110,655	90,5641	75,0000	62,8417	53,2617
80	193,842	152,333	121,280	97,8458	80,0000	66,2813	55,6322
85	218,908	169,034	132,430	105,305	85,0000	69,6394	57,8920
90	246,530	186,994	144,133	112,946	90,0000	72,9179	60,0462
95	276,968	206,307	156,414	120,774	95,0000	76,1188	62,0997
100	310,510	227,074	169,303	128,792	100,000	79,2438	64,0573

Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen DFAKRP(4;i;n)

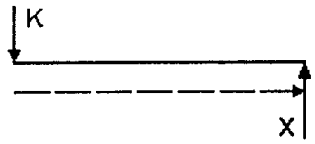
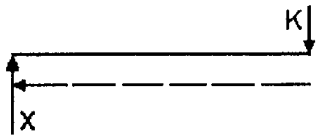
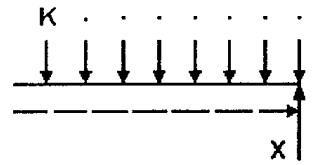
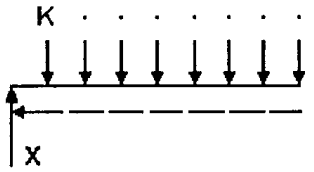
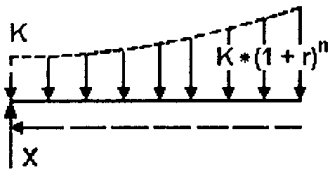
Steigerungsrate r = 4 % p. a.

Zinszeitraum n in Jahren	Zinssatz i in Prozent						
	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10,0
1	0,98578	0,98113	0,97653	0,97196	0,96296	0,95413	0,94545
2	1,95755	1,94375	1,93013	1,91667	1,89026	1,86449	1,83934
3	2,91550	2,88821	2,86135	2,83490	2,78321	2,73309	2,68447
4	3,85983	3,81485	3,77070	3,72738	3,64309	3,56185	3,48349
5	4,79073	4,72400	4,65872	4,59483	4,47113	4,35259	4,23894
6	5,70840	5,61600	5,52588	5,43797	5,26849	5,10706	4,95318
7	6,61302	6,49117	6,37269	6,25747	6,03633	5,82692	5,62846
8	7,50478	7,34983	7,19962	7,05399	6,77572	6,51376	6,26691
9	8,38385	8,19228	8,00715	7,82817	7,48773	7,16909	6,87053
10	9,25043	9,01884	8,79571	8,58065	8,17337	7,79436	7,44123
11	10,1047	9,82981	9,56576	9,31204	8,83362	8,39095	7,98080
12	10,9468	10,6255	10,3177	10,0229	9,46941	8,96017	8,49094
13	11,7770	11,4061	11,0521	10,7139	10,0817	9,50328	8,97325
14	12,5953	12,1721	11,7692	11,3854	10,6712	10,0215	9,42925
15	13,4020	12,9235	12,4694	12,0382	11,2390	10,5159	9,86039
16	14,1972	13,6608	13,1532	12,6726	11,7857	10,9877	10,2680
17	14,9811	14,3842	13,8210	13,2893	12,3121	11,4378	10,6534
18	15,7539	15,0939	14,4731	13,8887	12,8191	11,8672	11,0177
19	16,5157	15,7903	15,1099	14,4712	13,3073	12,2770	11,3622
20	17,2667	16,4735	15,7317	15,0374	13,7774	12,6680	11,6879
21	18,0070	17,1438	16,3389	15,5878	14,2301	13,0410	11,9959
22	18,7367	17,8014	16,9319	16,1227	14,6660	13,3969	12,2870
23	19,4561	18,4467	17,5110	16,6426	15,0858	13,7365	12,5623
24	20,1653	19,0798	18,0764	17,1480	15,4900	14,0605	12,8225
25	20,8643	19,7009	18,6286	17,6392	15,8792	14,3697	13,0685
26	21,5535	20,3103	19,1679	18,1166	16,2541	14,6646	13,3012
27	22,2328	20,9083	19,6945	18,5806	16,6151	14,9461	13,5211
28	22,9025	21,4949	20,2087	19,0316	16,9626	15,2146	13,7290
29	23,5626	22,0705	20,7108	19,4700	17,2974	15,4708	13,9256
30	24,2134	22,6352	21,2012	19,8960	17,6197	15,7153	14,1115
31	24,8549	23,1892	21,6800	20,3102	17,9301	15,9485	14,2873
32	25,4873	23,7328	22,1476	20,7127	18,2289	16,1711	14,4534
33	26,1107	24,2662	22,6043	21,1039	18,5168	16,3834	14,6105
34	26,7253	24,7894	23,0502	21,4842	18,7939	16,5860	14,7590
35	27,3311	25,3029	23,4856	21,8538	19,0608	16,7793	14,8994
36	27,9282	25,8066	23,9108	22,2130	19,3178	16,9637	15,0322
37	28,5169	26,3008	24,3261	22,5622	19,5653	17,1397	15,1577
38	29,0973	26,7857	24,7316	22,9016	19,8036	17,3076	15,2764
39	29,6693	27,2614	25,1275	23,2314	20,0331	17,4678	15,3886
40	30,2333	27,7282	25,5142	23,5521	20,2541	17,6207	15,4946
41	30,7892	28,1861	25,8918	23,8637	20,4669	17,7665	15,5949
42	31,3372	28,6355	26,2605	24,1666	20,6719	17,9057	15,6898
43	31,8775	29,0763	26,6206	24,4610	20,8692	18,0384	15,7794
44	32,4100	29,5088	26,9723	24,7471	21,0592	18,1651	15,8642
45	32,9350	29,9332	27,3156	25,0252	21,2422	18,2860	15,9443
46	33,4525	30,3495	27,6509	25,2955	21,4184	18,4013	16,0201
47	33,9627	30,7580	27,9784	25,5583	21,5881	18,5113	16,0917
48	34,4656	31,1588	28,2981	25,8137	21,7515	18,6163	16,1594
49	34,9613	31,5521	28,6104	26,0619	21,9089	18,7165	16,2235
50	35,4500	31,9379	28,9153	26,3031	22,0604	18,8121	16,2840
55	37,7912	33,7604	30,3359	27,4117	22,7379	19,2281	16,5406
60	39,9707	35,4174	31,5973	28,3733	23,2989	19,5570	16,7345
65	41,9996	36,9239	32,7175	29,2074	23,7634	19,8171	16,8809
70	43,8883	38,2935	33,7122	29,9310	24,1480	20,0228	16,9916
75	45,6464	39,5387	34,5956	30,5587	24,4665	20,1854	17,0752
80	47,2831	40,6708	35,3800	31,1032	24,7302	20,3140	17,1383
85	48,8067	41,7000	36,0766	31,5755	24,9486	20,4157	17,1860
90	50,2251	42,6357	36,6951	31,9852	25,1294	20,4961	17,2220
95	51,5454	43,4864	37,2444	32,3406	25,2791	20,5597	17,2492
100	52,7745	44,2598	37,7322	32,6489	25,4031	20,6100	17,2698

Finanzmathematische Umrechnungsfaktoren

Inhaltsübersicht

Anlage	Bezeichnung
2.0	Übersicht mit Tab. A 2-1: Gebräuchlichste finanzmathematische Umrechnungsfaktoren
	Umrechnungsfaktor
2.1	Akkumulationsfaktor für einmalige Kosten AFAKE (i;n)
2.2	Diskontierungsfaktor für einmalige Kosten DFAKE (i;n)
2.3	Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (i;n)
2.4	Akkumulationsfaktor für gleichförmige Kostenreihen AFAKR (i;n)
2.5	Diskontierungsfaktor für gleichförmige Kostenreihen DFAKR (i;n)
2.6	Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen DFAKRP (r;i;n) mit einer:
2.6.1	Steigerungsrate r = 0,5 % p. a.
2.6.2	Steigerungsrate r = 1,0 % p. a.
2.6.3	Steigerungsrate r = 1,5 % p. a.
2.6.4	Steigerungsrate r = 2,0 % p. a.
2.6.5	Steigerungsrate r = 2,5 % p. a.
2.6.6	Steigerungsrate r = 3,0 % p. a.
2.6.7	Steigerungsrate r = 3,5 % p. a.
2.6.8	Steigerungsrate r = 4,0 % p. a.

Gegeben: K Zeitachse 0 Jahre n Gesucht: X = K * Faktor	FINANZMATHEMATISCHER UMRECHNUNGSFAKTOR FAKTOR	BEZEICHNUNG Tabelliert in Anlage ....
	AFAKE(i,n) = $(1 + i)^n$ bei einem Zinssatz i (absolut), z.B. 3% = 0,03	AKKUMULATIONSFAKTOR für einmalige Kosten 2.1
	DFAKE(i,n) = $\frac{1}{(1 + i)^n}$	DISKONTIERUNGSFAKTOR für einmalige Kosten 2.2
	KFAKR(i,n) = $\frac{i * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$	KAPITALWIEDER-GEWINNUNGSFAKTOR 2.3
	AFAKR(i,n) = $\frac{(1 + i)^n - 1}{i}$	AKKUMULATIONSFAKTOR für eine gleichförmige jährliche Kostenreihe 2.4
	DFAKR(i,n) = $\frac{(1 + i)^n - 1}{i * (1 + i)^n}$	DISKONTIERUNGSFAKTOR für eine gleichförmige jährliche Kostenreihe 2.5
	DFAKRP(r,i,n) = $(1 + r) * \frac{(1 + i)^n - (1 + r)^n}{(1 + i)^n * (i - r)}$	DISKONTIERUNGSFAKTOR für eine progressiv jährlich steigende Kostenreihe 2.6

Die Sachgebiete „Altlasten“ und „Bodenschutz“ umfassen zu einem gewissen Anteil artverwandte Themen und Fragestellungen. Es bietet sich daher an, Publikationen des Landes Nordrhein-Westfalen zu diesen Themenkreisen zukünftig in einer gemeinsamen Schriftenreihe herauszugeben. Die eingeführte Reihe „Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten“ (MESA) wurde daher für Beiträge zum Bodenschutz geöffnet und gleichzeitig in **„Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz“** (MALBO) umbenannt.

In der Reihe werden

- **Schlußberichte über Untersuchungsvorhaben,** die im Auftrag des Landes Nordrhein-Westfalen zu Altlastenfragen und zum Bodenschutz durchgeführt worden sind, sowie
- **ausgewählte Ergebnisse sonstiger wissenschaftlicher Arbeiten** und Beratungen zu diesen Themenfeldern

veröffentlicht, um sie der praktischen Anwendung, der fachlichen Diskussion und der interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Bisher sind erschienen in der Reihe **„Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten“** (MESA):

Band 1 Untersuchungen über ein Konzept zur Ermittlung von Grundwassergefährdungen durch Altablagerungen und Altstandorte

Band 2 Anwendbarkeit von Richt- und Grenzwerten aus Regelwerken anderer Anwendungsbereiche bei der Untersuchung und sachkundigen Beurteilung von Altablagerungen und Altstandorten

Band 3 Verdachtsflächen rüstungs- und kriegsbedingter Altlasten in Nordrhein-Westfalen (Schwerpunkt 1930 – 1950)

Band 4 Erfassung und Auswertung der Hintergrundgehalte ausgewählter Schadstoffe in Böden Nordrhein-Westfalens

Band 5 Verdachtsflächen rüstungs- und kriegsbedingter Altlasten in Nordrhein-Westfalen (Schwerpunkt 1900 – 1930)

Band 6 Mobilisierung von Schwermetallen in Porenwässern von belasteten Böden und Deponien: Entwicklung eines aussagefähigen Elutionsverfahrens

Band 7 Beurteilung von PCB und PAK in Kulturböden

Band 8 Feststoffuntersuchungsprogramme für Altstandorte der Metallbearbeitung

Band 9 Hinweise für die einzelfallbezogene Erfassung von Verdachtsflächen rüstungs- und kriegsbedingter Altlasten

Band 10 Feldversuche zur mikrobiologischen Sanierung eines PAK-belasteten Bodens (ehemaliger Gaswerksstandort) in Solingen-Ohligs

Band 11 Anforderungen an Gutachter, Untersuchungsstellen und Gutachten bei der Altlastenbearbeitung

Band 12 Konversion militärischer Liegenschaften: Altlasten / Bodenbelastungen. Lösungsansätze aus der Praxis

Band 13 Lysimeterversuche zum Verhalten persistenter organischer Schadstoffe im System Boden/Pflanze

in der Reihe **„Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz“** (MALBO):

Band 1 Erhebungen über Altlast-Verdachtsflächen auf militärischen Liegenschaften

Band 2 Mobilität anorganischer Schadstoffe in Böden Nordrhein-Westfalens

Band 3 Auswertung der Erfahrungen aus durchgeführten Sicherungsmaßnahmen bei Altlasten

Band 4 Gefäßversuche zum mikrobiellen Abbau von PAK (polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen) in belasteten Böden

Band 5 Leistungsbuch Altlastensanierung und Flächenentwicklung 1997/1998
Arbeitshilfe zur Kostenermittlung bei der Sanierungsuntersuchung und Sanierungsplanung von Altlasten und der Entwicklung kontaminierter Brachflächen

Band 6 Versuche mit PAK-belasteten Böden in 4 Großlysimetern zur Beurteilung der Grundwassergefährdung sowie Vergleich mit Elutionsmethoden

Band 7 Nutzungstypische Kontaminationen auf militärischen Liegenschaften in Nordrhein-Westfalen

Band 8 Mobilisierung von organischen und anorganischen Schadstoffen aus kontaminierten Umweltmaterialien in einem physiologienahen standardisierten „*in vitro*“ – Verdauuungssystem

Band 9 Arbeitshilfe zur Entwicklung von Rückbaukonzepten im Zuge des Flächenrecyclings

Band 10 Die Untersuchung von Spreng- und Brandplätzen
– Erfahrungen und Handlungsempfehlungen aus Nordrhein-Westfalen –

Band 11 Anforderungen an eine Sanierungsuntersuchung unter besonderer Berücksichtigung von Nutzen-Kosten-Aspekten