



Kanton Zürich  
Baudirektion  
**Amt für  
Abfall, Wasser, Energie und Luft**  
Abfallwirtschaft und Betriebe



# Ökologisch und ökoeffiziente Sanierungsmassnahmen bei Rück- und Umbauten

**Auswirkungen möglicher Änderungen der Sanie-  
rungspraxis**

25. März 2017





# Impressum

**Auftraggeber und Herausgeber:**

AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft

**Bearbeitung und Berichterstattung:**

Thomas Kägi, Kurt Schläpfer und Dr. Fredy Dinkel, Carbotech AG

**Projektleitung:**

Dr. Fredy Dinkel, Carbotech AG

**Fachliche Mitarbeit:**

Walter Hiltbold, Michael Fernolend, Carbotech AG

**Mitglieder der Arbeitsgruppe:**

Dr. Elmar Kuhn, Leiter Sektion Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft und Betriebe, AWEL

Manuel Stark, Verantwortlicher Rückbaustoffe und Bauabfallanlagen, Sektion Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft und Betriebe, AWEL

**Hinweis:**

Dieser Bericht wurde von der Carbotech AG mit Sorgfalt erarbeitet unter Verwendung aller uns zur Verfügung stehenden, aktuellen und angemessenen Hilfsmittel und Grundlagen, dies im Rahmen der vertraglichen Abmachung mit dem Auftraggeber unter Berücksichtigung der Vereinbarung bezüglich eingesetzter Ressourcen. Die Grundlagen der Bewertung, auf welcher dieser Bericht basiert, können ändern. Danach sind die Schlussfolgerungen nicht mehr uneingeschränkt gültig und vom Auftraggeber nur noch auf eigene Verantwortung verwendbar. Aus dem Inhalt dieses Berichtes hervorgehende Veröffentlichungen, welche Resultate und Schlussfolgerungen daraus nur teilweise und nicht im Sinne des Gesamtberichtes darstellen, sind nicht erlaubt. Insbesondere dürfen solche Veröffentlichungen diesen Bericht nicht als Quelle angeben oder es darf nicht anderweitig eine Verbindung mit diesem Bericht oder der Carbotech AG hergestellt werden können. Für Forderungen ausserhalb des oben genannten Rahmens lehnen wir jegliche Verantwortung gegenüber dem Auftraggeber sowie Dritten ab.

## Dank

Mit dieser Arbeit wurde methodisch Neuland betreten, daher sind wir im Rahmen der Arbeiten an der vorliegenden Studie einer Reihe von Fragen begegnet, zu denen wir von kompetenter Seite Antworten suchten. Für den in der Studie vorgestellten neuen Ansatz der Bewertung, insbesondere dem Teil Gesundheit erschien es uns zentral, die Meinungen und Ideen von Experten zu hören und unsere Lösungsvorschläge zu diskutieren, um allenfalls Anpassungen vornehmen zu können.

Dafür danken wir:

- der Suva, im Speziellen Frau Claudia Pletscher; Herr Martin Gschwind, Herr Stefan Scherer, Herr Edgar Käslin sowie Herr Marino Basile für die wichtige Diskussion zur Beurteilung der Gesundheitsgefährdung durch Asbest sowie zum entwickelten Ansatz der Beurteilung, welcher im Rahmen dieses Projektes entwickelt wurde.
- Herr Prof. Arand der Universität Zürich für die wertvolle Diskussion zur Beurteilung der Toxizität von Asbest, welche notwendig war, um Asbest-Gewichtungsfaktoren für die Methode der ökologischen Knappheit zu erarbeiten sowie zur Bestimmung der DALYs für Asbest.
- Herr Hans Musch des BAFU für die Diskussion und die Unterlagen zur Gesundheitsgefährdung von Asbest.
- Herr Jürg Hertz, Präsident FAGES und Herr Daniel Bürgi, Präsident VABS für Ihre Beiträge und Diskussionen.
- Herr Urs K. Wagner, ETI Umwelttechnik AG für seine Hinweise zum Thema PCB.

Den Teilnehmern der Expertensitzung, welche uns Anmerkungen, Kommentare und Ergänzungen zum am 12.9.12016 vorgestellten Berichtsentwurf mitgeteilt haben:

- Herr Patrick Buschor, Fachbereichsleiter Asbest, UGZ Stadt Zürich
- Herr Peter Gerber, Fachbereichsleiter Ökobilanzen, BAFU
- Herr Ursin Ginsig, Kommissionsmitglied, Verband arv Baustoffrecycling
- Herr David Hiltbrunner, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, BAFU
- Herr Leo Morf, Verantwortlicher KVA Klärschlamm Entsorgung, AWEL
- Herr Michael Pöll, Fachkoordinator Bauökologie Stadt Zürich
- Herr Roger Waeber, Fachstelle Wohngifte, BAG
- Herr Beat Stäubli, Verantwortlicher Statistik und Systembildung, AWEL
- Frau Seraina Steinlin, Wissenschaftliche Mitarbeiterin, AWEL



# Inhaltsverzeichnis

|                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Dank</b>                                                                              | <b>3</b>  |
| <b>Inhaltsverzeichnis</b>                                                                | <b>4</b>  |
| <b>Glossar</b>                                                                           | <b>6</b>  |
| <b>Zusammenfassung</b>                                                                   | <b>11</b> |
| <b>1. Ausgangslage</b>                                                                   | <b>14</b> |
| <b>2. Zielsetzung</b>                                                                    | <b>16</b> |
| <b>3. Betrachtete Veränderungen der Sanierungspraxis</b>                                 | <b>17</b> |
| <b>4. Vorgehen</b>                                                                       | <b>18</b> |
| 4.1.    Abklärung geeigneter Umwelt- und Gesundheitsindikatoren                          | 18        |
| 4.2.    Heutige vs. zukünftige Sanierung                                                 | 19        |
| 4.3.    Öko-Effizienz                                                                    | 20        |
| 4.4.    Potentialanalyse                                                                 | 21        |
| 4.5.    Unsicherheiten und Signifikanz                                                   | 21        |
| 4.6.    Grenzen dieser Studie                                                            | 22        |
| <b>5. Wichtigste Kennzahlen</b>                                                          | <b>24</b> |
| 5.1.    Ökofaktoren für Schadstoffe                                                      | 24        |
| 5.1.1. Herleitung Ökofaktor UBP Asbest für die Methode der ökologischen Knappheit (2013) | 24        |
| 5.1.2. Herleitung DALY für Asbest                                                        | 25        |
| 5.1.3. Gewichtungsfaktor für PCB                                                         | 26        |
| 5.2.    Faktoren für den Sanierungsaufwand                                               | 27        |
| 5.3.    Beschreibung der betrachteten Veränderungen in der Sanierungspraxis              | 28        |

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>6. Resultate</b>                                                        | <b>33</b> |
| 6.1. Übersicht Umwelt, Gesundheit und Kosten                               | 33        |
| 6.2. Gruppe A: Umweltnutzen und Kosteneinsparung                           | 35        |
| 6.2.1. Einstufung und Entsorgung schlackehaltiger Zwischenböden            | 36        |
| 6.2.2. Einstufung und Recycling von bleihaltigen Fensterstegen             | 37        |
| 6.2.3. Einstufung und Entsorgung PAK-haltiger Teerkork                     | 38        |
| 6.2.4. Einstufung und Entsorgung PAK-haltiger Dichtungsbahnen              | 40        |
| 6.3. Gruppe B: Umweltbelastung und Kosteneinsparung                        | 42        |
| 6.4. Gruppe C: Umweltbelastung und zusätzliche Kosten                      | 42        |
| 6.4.1. Bleihaltige Boden- und Dachbeläge                                   | 43        |
| 6.4.2. Sanierung von asbesthaltigen Materialien                            | 44        |
| A. Fachgerechte Untersuchung und Entfernung von asbesthaltigem Fensterkitt | 44        |
| B. Fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Fliesenklebern                | 46        |
| C. Fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Verputzen & Spachtelmassen    | 48        |
| D. Bemerkung zu diesen Sanierungen von asbesthaltigen Materialien          | 49        |
| 6.5. Gruppe D: Umweltnutzen und zusätzliche Kosten                         | 50        |
| 6.5.1. Einstufung und Entsorgung HC-haltige Ölkeller                       | 53        |
| 6.5.2. Entsorgung von PCP-haltigem Holz                                    | 54        |
| 6.5.3. PCB-haltige Baumaterialien                                          | 56        |
| A. Abschleifen und Entsorgung PCB-haltiger Metallfarben                    | 56        |
| B. Abschleifen und Entsorgung PCB-haltiger Betonfarben                     | 58        |
| C. Fachgerechte Sanierung von PCB-haltigen Fugendichtungen                 | 60        |
| 6.5.4. Asbesthaltige Baumaterialien                                        | 62        |
| A. Fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Leichtbauplatten              | 62        |
| B. Fachgerechte Untersuchung und Entfernung von Asbestzement               | 64        |
| C. Entsorgung Spritzasbest in speziellem Deponiekompartiment               | 65        |
| D. Bemerkung zu diesen Sanierungen von asbesthaltigen Materialien          | 66        |
| 6.6. Potentiale der zusätzlichen Sanierungsanstrengungen                   | 67        |
| <b>7. Fazit und Diskussion</b>                                             | <b>71</b> |
| <b>8. Literatur</b>                                                        | <b>74</b> |



# Glossar

## **BaP**

Benzo(a)pyren ist eine der am längsten bekannten und untersuchten krebserregenden Substanzen. Benzo(a)pyren ist in den PAK enthalten und wird für diese Stoffgruppe häufig als Leitsubstanz verwendet.

## **DALY**

Disability adjusted life years - behinderungsbereinigte Lebensjahre. 1 DALY entspricht dem Verlust von 1 Lebensjahr, respektive einer Lebensqualitätseinbusse über eine entsprechende Zeit z. B. 20 % Behinderung über 5 Jahre.

## **Dioxin**

Der Kurzname Dioxin bzw. Dioxine bezeichnet unspezifisch die gesamte übergeordnete Stoffgruppe der polychlorierten Dioxine und Dibenzofurane, deren giftigster Vertreter das 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin ist. Kontakt mit Dioxin kann zum Auftreten von Chlorakne führen, was als Symptom einer schweren Dioxinvergiftung gilt. Dioxine wurden bei der Herstellung gewisser chlorierten Stoffe (PCP, Agent Orange, etc.) als Nebenprodukt gebildet und sind deshalb in technischen Qualitäten mitenthalten.

## **DOC**

Dissolved organic carbon (gelöster organisch gebundener Kohlenstoff)

**fachgerechte Sanierung** gemäss den bestehenden oder unmittelbar daraus abgeleiteten Vorschriften der Suva (Sanierung asbesthaltiger Bauteile) bzw. BAFU (Sanierung PCB-haltiger Bauteile) oder weiterer Vorschriften.

## **HC**

Hydrocarbons – Kohlenwasserstoffverbindungen. Hier: Langkettige Kohlenwasserstoffe (Mineralöle). Öle welche durch Destillation von Erdöl und gegebenenfalls auch anderer fossiler Rohstoffe hergestellt werden.

## **KVA**

Kehrichtverbrennungsanlage

## **LAF**

Lungengängige Asbestfasern haben eine Länge von mehr als 5 µm, einen Durchmesser von weniger als 3 µm und ein Längen-Durchmesser-Verhältnis von mehr als 3:1 und können in die tieferen Atemwege (Lungenbläschen) vordringen. Sie gelten als Risikofaktoren für Lungenkrebs, Asbestose und Pleuramesotheliome.

## **MAK**

Maximale Arbeitsplatzkonzentration



**MAK-Jahr**

Exposition während eines Arbeitsjahres (8h pro Tag über 240 Arbeitstage) bei maximaler Arbeitsplatzkonzentration.

**Methode der ökologischen Knappheit**

Methode zur Bewertung der verschiedenen Umweltauswirkungen durch Emissionen in Boden, Wasser, Luft sowie durch Ressourcennutzung. Die Methode wurde im Auftrag des BAFU im Jahre 1990 entwickelt und wird laufend aktualisiert. Im Rahmen dieses Projektes wurde die neuste Aktualisierung aus dem Jahre 2013 verwendet. Siehe auch UBP.

**Netto-Nutzen**

Differenz zwischen dem Umweltnutzen durch zusätzliche Massnahmen und den zusätzlichen Belastungen, die sich aus den Massnahmen ergeben.

**Öko-Effizienz**

Indikator der sich aus der Kombination von ökonomischen und ökologischen Indikatoren ergibt. Dabei gelten folgende Regeln:

- die Ökologie und die Ökonomie wird gleichgewichtet.
- Je höher die Öko-Effizienz, desto erwünschter der Zustand.

Der im Rahmen dieser Arbeit verwendete Öko-Effizienz Indikator gibt an, wie hoch die Reduktion der Umweltauswirkungen pro eingesetzte ökonomische Mittel sind.

**PAK**

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe sind natürlicher Bestandteil von Kohle und Erdöl. Es sind in dieser Stoffgruppe mehrere hundert Ringverbindungen bekannt. PAK entstehen auch durch unvollständige Verbrennung. PAK sind nur sehr gering wasserlöslich und mit zunehmender Anzahl kondensierter Ringe nehmen Flüchtigkeit und Löslichkeit (auch in organischen Lösungsmitteln) ab. Einzelne PAK wie z. B. Benzo (a)pyren sind nachweislich karzinogen (krebserregend)

**Pb (Blei)**

Das Schwermetall Blei wurde als Metall für Leitungen, Munition etc. oder in Verbindungen (Pigmente, Flammenschutzmittel, Korrosionsschutz) vielfältig eingesetzt. Es wird im Körper in den Knochen, den Muskeln und im Gehirn abgelagert und bleibt dort über Jahre gespeichert. Blei schädigt das Nervensystem besonders während der Entwicklung. Deshalb sind Ungeborene und Kleinkinder speziell gefährdet, wenn sie zu hohen Bleimengen ausgesetzt sind. Eine Bleivergiftung kann müde und reizbar machen, die Reaktionen verlangsamen und zu einer verminderten Intelligenz führen.



## **PCB**

Polychlorierte Biphenyle sind synthetisch hergestellte Substanzgemische mit 209 verschiedenen Einzelsubstanzen (Kongeneren). Längere Zeit wurde es als vielseitige und billige Bauchemikalie breit eingesetzt. PCB wird über den Magen-Darm-Trakt, und auch über Haut und Lungen resorbiert und reichert sich im Fettgewebe an. Die Aufnahme von grösseren Mengen führt zu akuten Beschwerden der Haut (z. B. Chlorakne, Hautpigmentierungen), verursacht Leber-, Milz- und Nierenschäden und schwächt das Immunsystem. Eine krebserfördernde Wirkung von PCB wurde bei Tieren nachgewiesen, konnte aber bisher beim Menschen nicht bestätigt werden. PCB sind durch die Stockholmer Konvention vom 22. Mai 2001 weltweit verboten. PCB sind heute in der Atmosphäre, den Gewässern und im Boden allgegenwärtig nachweisbar.

## **PCP**

Pentachlorphenol ist ein chlorierter, aromatischer Kohlenwasserstoff und stellt ein Phenol-Derivat dar, bei dem alle aromatischen Wasserstoffatome durch Chlor ersetzt sind. PCP entkoppelt die Atmungskette in den Mitochondrien der Zellen, was zu Blutdruckanstieg, Hyperglykämie, beschleunigter Atmung und zu Herzversagen führt. Zu beachten ist, dass PCP herstellungsbedingt zumeist mit 0.1 % Dioxinen verunreinigt ist, deren Toxizität die des PCP übertrifft.

## **Sanierungsschritte**

Die Sanierung von belasteten Bauabfällen wurde in diesem Projekt jeweils in die folgenden drei Sanierungsschritte gegliedert:

- Untersuchung
- Entfernung
- Entsorgung/Recycling

Für jeden dieser Schritte wurden Daten ermittelt und ausgewertet.

## **SAVA**

Sonderabfallverbrennungsanlage

## **TOC**

Gesamtmenge an organischem Kohlenstoff (Total organic carbon)

## **UBP**

Umweltbelastungspunkte, Indikator, der in der Methode der ökologischen Knappheit verwendet wird, zur Messung der gesamten Umweltauswirkungen durch Emissionen in Boden, Wasser, Luft sowie durch Ressourcennutzung.

**Veränderung gegenüber heutiger Praxis**

Darunter wird in diesem Bericht eine mögliche Veränderung des Vorgehens bei der Sanierung von schadstoffbelasteten Bauabfällen verstanden. D. h. der Unterschied zwischen einer möglichen neuen Sanierungspraxis im Vergleich zur heutigen Sanierungspraxis, Kanton Zürich, Stand 1.1.2016.

Dieser Unterschied kann sehr gering sein, wenn die heutige Sanierungspraxis bereits hohe Anforderungen stellt und fachmännisch korrekt erfolgt, wie dies z. B. bei Spritzasbest der Fall ist. Der Unterschied kann sehr hoch sein, wenn diese Anwendung heute nicht oder fast nicht saniert wird, wie dies z. B. bei asbesthaltigen Verputzen & Spachtelmassen der Fall ist. Eine angepasste zukünftige Praxis kann aber auch zu weniger Aufwand führen im Vergleich zum Ist-Zustand.

Da die künftige Sanierungspraxis bzw. Sanierungsvorgaben noch nicht definiert und z.T. in Ausarbeitung sind (z.B. im Rahmen der Vollzugshilfe zu Art. 16 der VVEA, Klassierung und Entsorgungswege spezieller Abfälle etc.), mussten für diese Arbeit Annahmen hinsichtlich der Veränderungen der Sanierungspraxis getroffen werden. Diese basieren auf Richtlinien-Entwürfen und Diskussionen mit dem BAFU und Suva-Umfeld.

**VVEA**

Verordnung über die Verwertung und Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung)

**WBCSD**

World Business Council for Sustainable Development

**Zusätzliche Kosten**

Kosten, die durch die zusätzliche Sanierungsanstrengung, siehe entsprechende Begriffsdefinition, generiert werden, weil zusätzlicher Personalaufwand, Energie, Material und Transporte notwendig sind.

**Zusätzliche Kosteneinsparung**

Kosteneinsparung, die durch die zusätzliche Sanierungsanstrengung, siehe entsprechende Begriffsdefinition, erreicht wird.

**Zusätzliche Sanierungsanstrengung**

Veränderungen bei der Sanierung, welche sich aus der Veränderung gegenüber der heutigen Praxis ergeben.

**Zusätzliche Umweltbelastung**

Umweltbelastung, die durch die zusätzliche Sanierungsanstrengung, siehe Begriffsdefinition, generiert wird, weil zusätzlich Energie, Material und Transporte benötigt werden.



### **Zusätzlicher Umweltnutzen**

Reduktion der Umweltauswirkungen, welche durch die zusätzliche Sanierungsanstrengung, siehe entsprechende Begriffsdefinition, erreicht werden, in dem der Schadstoff (z. B. Asbest) korrekt gehandhabt wird und nicht unkontrolliert in die Umwelt gelangt.

## Zusammenfassung

Artikel 16 der VVEA verlangt, dass die Bauherrschaft bei Bauarbeiten, bei denen "Bauabfälle mit umwelt- oder gesundheitsgefährdenden Stoffen wie PCB, PAK, Blei oder Asbest" zu erwarten sind, ein Entsorgungskonzept zu Händen der zuständigen Behörde erstellen muss. In diesem Zusammenhang stellen sich Fragen bezüglich des Umfangs der Untersuchung, der Art und Tiefe der Sanierung sowie der Entsorgung der kontaminierten Baustoffe. Im Rahmen dieses Projektes wurde eine Methode entwickelt, welche es erlaubt die notwendigen Kenngrössen zum Nutzen einer Sanierung und zur Effizienz der eingesetzten finanziellen Mittel als Entscheidungshilfe zu berechnen. Diese Methode wurde anschliessend an einer Auswahl von Schadstoffen und möglichen Veränderungen bei der Untersuchungs- und Sanierungspraxis gegenüber der heutigen Praxis geprüft.

Da jede zusätzliche Sanierung und Entsorgung nicht nur mit Kosten verbunden ist, sondern auch Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit hat, können als Entscheidungshilfen folgenden Kenngrössen verwendet werden:

- Netto-Nutzen einer Sanierung und Entsorgung: Differenz zwischen dem Nutzen durch die Sanierung/Entsorgung und den Belastungen durch die Sanierung/Entsorgung.
- Öko-Effizienz der Massnahmen, welche einen Netto-Nutzen bewirken und Mehrkosten verursachen.

Bei der Bestimmung des Netto-Nutzens wird unterschieden zwischen Umweltschäden, berechnet und dargestellt in UBP (Umweltbelastungspunkten) und Schäden an der menschlichen Gesundheit, berechnet und dargestellt in DALY (Disability adjusted life years). Dabei ist zu beachten, dass die UBP auch die Schäden an der menschlichen Gesundheit als einen Teilaspekt umfassen. Bei der Berechnung wird nur die Veränderung des heutigen Sanierungsvorgehens, Kt. Zürich 1.1.2016, mit einer (hypothetischen) zukünftigen Sanierungspraxis berücksichtigt und die Schritte Untersuchung, Entfernung sowie Entsorgung / Wiederverwendung analysiert. Für jeden dieser Sanierungsschritte wurden für ausgewählte Anwendungen folgende Daten ermittelt:

- Differenz der Emissionen der heutigen Praxis und der Emissionen gemäss möglicher zukünftiger Praxis.
- Differenz der Kosten der heutigen Praxis zu den Kosten der möglichen zukünftigen Praxis.

Daraus wurden für ausgewählte Szenarien die Kenngrössen Netto-Nutzen und Öko-Effizienz berechnet.

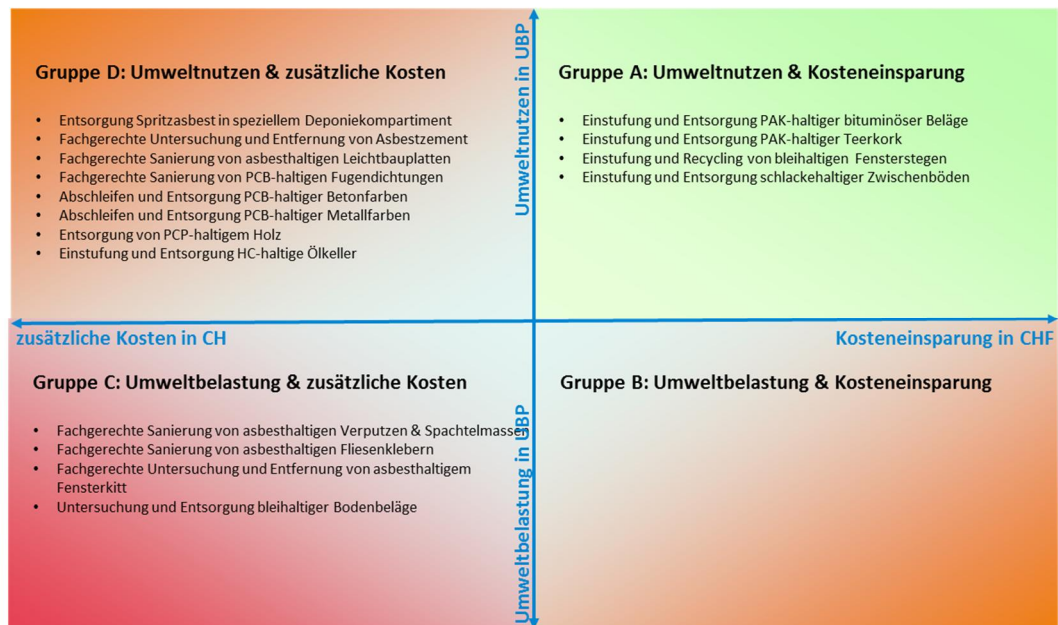
Die betrachteten Veränderungen der Sanierungspraxis können gemäss den zwei Kriterien Umwelt und Kosten in vier Gruppen eingeteilt werden (Abbildung 1):

**Gruppe A:** Diese Veränderungen weisen sowohl einen **Netto-Nutzen** wie auch **Kosteneinsparungen** auf und lohnen sich auf jeden Fall. Vier der betrachteten Veränderungen befinden sich in dieser Gruppe. Mit diesen Veränderungen können im Kanton Zürich in den nächsten Jahrzehnten insgesamt 30 bis 40 Mio. CHF gespart werden und zudem eine Reduktion der Umweltbelastung erreicht werden, welche derjenigen von rund 50 Schweizern während der nächsten 20 Jahre entspricht.

**Gruppe B:** Veränderungen mit einem **negativen Netto-Nutzen** und **Kosteneinsparung**. Keine der betrachteten Veränderungen befindet sich in dieser Gruppe.

**Gruppe C:** Veränderungen mit einem **negativen Netto-Nutzen** und **zusätzlichen Kosten**. Diese Veränderungen werden nicht als sinnvoll erachtet, da sie gesamthaft zu höheren Schäden als Nutzen führen. In diese Gruppe fallen die untersuchten Veränderungen bei der Sanierungspraxis der folgenden asbesthaltigen Baustoffe: Verputze & Spachtelmassen, Fliesenkleber und Fensterkitt sowie bleihaltige Boden- und Dachbeläge. Die untersuchten Veränderungen in dieser Gruppe würden im Kanton Zürich zu Mehrkosten von rund 3 Mrd. CHF führen, welche sinnvollerweise nicht investiert werden.

Abbildung 1:  
Einteilung der  
Veränderungen der  
Sanierungspraxis in 4  
Quadranten hinsichtlich  
Umweltnutzen und  
Kosten

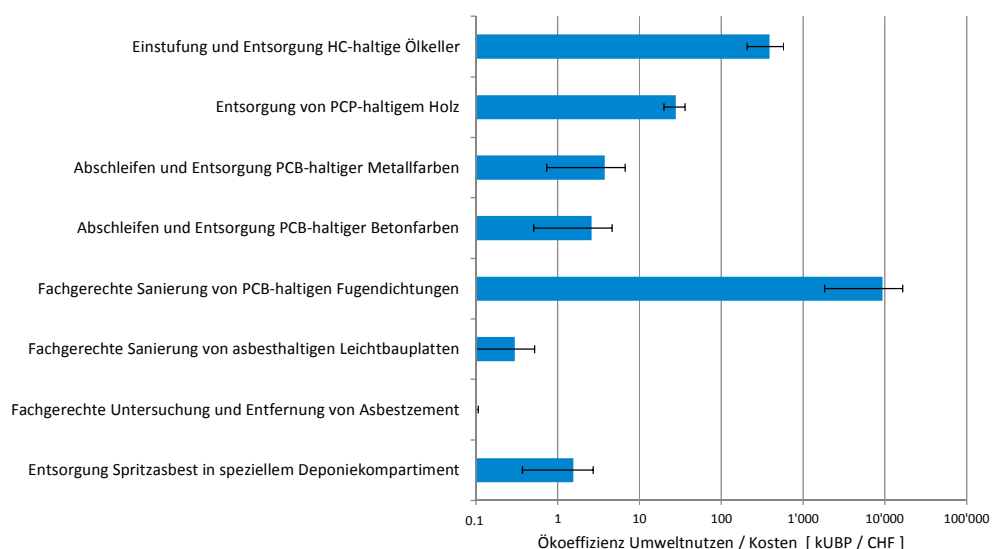


**Gruppe D:** Veränderungen mit einem **positiven Netto-Nutzen** und **zusätzlichen Kosten**. Viele der untersuchten Szenarien fallen in diese Gruppe. Um abzuklären wie hoch der Umweltnutzen pro aufgewendetem Franken ist, sprich, wo es sich am meisten lohnt zusätzlich Geld für eine Sanierung aufzuwenden, wurden für diese Anwendungen Öko-Effizienz Analysen durchgeführt, siehe Abbildung 2. Mit den untersuchten Veränderungen in dieser Gruppe kann eine Reduktion der Umweltbelastung erreicht werden, welche derjenigen von rund 50'000 Schweizern während der nächsten

20 Jahre entspricht. Die Kosten für diese Veränderungen betragen über die nächsten Jahrzehnte insgesamt rund 250 Mio. CHF.

Die Öko-Effizienz Analyse der Gruppe D zeigt, dass es sehr grosse Unterschiede bezüglich des Nutzens der eingesetzten finanziellen Mittel gibt. Mit gewissen Massnahmen, wie z.B. der «Fachgerechten Sanierung von PCB-haltigen Fugendichtungen» wird ein wesentlich höherer Nutzen pro eingesetztem Franken erreicht als z.B. mit der «Fachgerechte Untersuchung und Entfernung von Asbestzement oder Leichtbauplatten».

Abbildung 2:  
Öko-Effizienz-  
betrachtung der  
verschiedenen  
zusätzlichen  
Sanierungsanstren-  
gungen  
  
ACHTUNG:  
logarithmische  
Darstellung



Zu beachten ist, dass die Unsicherheitsangaben aufgrund der logarithmischen Darstellung scheinbar sehr klein sind. Die Unsicherheiten sind jedoch relativ gross. So können die Resultate leicht um einen Faktor zwei bis drei höher oder tiefer liegen.

Anhand von 20 möglichen Veränderungen konnte gezeigt werden, dass die im Rahmen des Projektes erarbeitete Methode geeignet ist, eine belastbare Entscheidungsbasis zur Verfügung zu stellen, ob und welche Veränderungen in der Sanierungspraxis sinnvoll sind. Darüber hinaus kann die Methode verwendet werden, um Optimierungspotentiale zu erkennen und zu überprüfen.

Im Set der untersuchten Szenarien zeigte es sich, dass nicht jede der angedachten Massnahmen die gewünschte Verbesserung mit sich bringt. Dies war und ist teilweise auch für Experten überraschend. Dabei ist zu beachten, dass die Berechnungen auf Mittelwerten und Expertenschätzungen beruhen. Entsprechend können sich in Einzelfällen andere Resultate ergeben. In einem nächsten Schritt wird empfohlen die Methode auf andere Materialien und Sanierungsmöglichkeiten anzuwenden, um so eine Hilfestellung bei der Anpassung der Sanierungspraxis zu leisten. Zudem kann die Methode auch für weitere Anstrengungen zur Reduktion der Umweltauswirkungen verwendet werden, sowohl im Bau wie auch in anderen Bereichen.

# 1. Ausgangslage

Artikel 16 der VVEA verlangt, dass die Bauherrschaft bei Bauarbeiten, bei denen "Bauabfälle mit umwelt- oder gesundheitsgefährdenden Stoffen wie polychlorierte Biphenyle (PCB), polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Blei oder Asbest" zu erwarten sind, ein Entsorgungskonzept erstellen muss. Dieses wird von der zuständigen Behörde geprüft.

In diesem Zusammenhang stellen sich Fragen, bezüglich der Sanierung und Entsorgung dieser Schadstoffe bzw. der damit kontaminierten Baustoffe:

- Welche Vorabklärungen sind für welche Stoffe notwendig, um ein Sanierungs- und Entsorgungskonzept zu erstellen?
- Welche Vorkehrungen müssen zum Schutz der Menschen oder der Umwelt getroffen werden?
- Gibt es Anwendungen, welche z. B. aufgrund der geringen Konzentrationen, keine oder nur geringe Schutzmassnahmen bedingen?
- Gibt es Schadstoffvorkommen, bei welchen (z. B. weil beim Rückbau keine Gefährdung besteht) eine vorgängige Entfernung vor einem Rückbau nicht notwendig ist?

Für die Behörde wäre es hilfreich ein Handbuch zu haben, das je nach Schadstoff und dessen Anwendung Auskunft gibt, welche zusätzlichen Abklärungen notwendig sind, um daraus die Sanierungsmassnahmen und Entsorgungsmöglichkeiten abzuleiten. Wobei unter zusätzlichen Abklärungen diejenigen Abklärungen verstanden werden, welche bis im Jahre 2015 nicht durchgeführt wurden<sup>1</sup>. Bei Asbestanwendungen wurde damals z. B. Spritzasbest untersucht, jedoch nicht Verputze und Spachtelmassen.

Als Basis für ein solches Handbuch, ist es notwendig zu klären, ob sich durch die zusätzliche Sanierungsanstrengung ein positiver Gesamtnutzen bezüglich menschlicher Gesundheit und Schäden in der Umwelt ergibt. Auf den ersten Blick erscheint dies immer gegeben zu sein, da das Ziel einer Untersuchung und Sanierung genau darin besteht, Arbeiter, weitere Personen oder andere Lebewesen vor dem Kontakt mit Schadstoffen zu schützen. Demgegenüber steht die Tatsache, dass eine Sanierung, wie andere menschliche Aktivitäten auch, mit schädigenden Auswirkungen verbunden sind, z. B. durch die benötigte Energie, Emissionen bei der Sanierung, Transporte oder die Bereitstellung von Materialien und Hilfsstoffen. Eine Sanierung kann entspre-

---

<sup>1</sup> Für diese Studie massgebend ist die Situation des Vollzugs im Kanton Zürich Ende 2015.

chend nur dann als sinnvoll angesehen werden, wenn mit der Massnahme aus Umwelt- und/oder Gesundheitssicht ein Netto-Nutzen resultiert.

Dazu sind Nutzen und Schäden einer Massnahme zu quantifizieren. Die Differenz zwischen Nutzen und Schaden wird als Netto-Nutzen bezeichnet. Dieser hängt nicht nur vom Schadstoff und dessen Anwendung, sondern auch von der Behandlungstiefe der Sanierung ab.

Im Rahmen dieses Projektes wurde eine Methode entwickelt, um den Netto-Nutzen zu bestimmen. Um die Methode zu prüfen, wurde sie für ausgewählte zusätzliche Sanierungsmassnahmen angewendet.

**Zu beachten:**

In diesem Projekt werden als Nutzen und Schäden nur diejenigen betrachtet, welche sich aus der Differenz zwischen dem Nutzen der aktuellen Sanierungspraxis und einer (hypothetischen) neuen Sanierungspraxis ergibt. Siehe Glossar "Veränderung gegenüber heutiger Praxis".

In der vorliegenden Bewertung wurden in allen Berechnungen die aus den Veränderungen resultierenden gesundheitlichen Belastungen für die Allgemeinbevölkerung und Berufsleute berücksichtigt, jedoch wurde kein spezielles Augenmerk auf den Arbeitnehmerschutz gelegt. Entsprechend darf aus einer geringen gesundheitlichen Belastung in einem der untersuchten Szenarien nicht geschlossen werden, dass für alle Arbeitnehmer eine vernachlässigbare Belastung besteht. Für einzelne, kleine Kollektive von Berufsleuten, beispielsweise Beschäftigte der Rückbauunternehmen und der Deponien, kann die gesundheitliche Belastung durchaus relevant sein. Bewertung und Massnahmendefinition zum Teilbereich Arbeitnehmerschutz müssen durch die verantwortlichen Stellen, Suva und Arbeitgeber, erfolgen.

## 2. Zielsetzung

Für die wichtigsten Schadstoffe und ihre wichtigsten Anwendungen sollen folgende Analysen durchgeführt werden:

- Berechnung des Netto-Nutzens der zusätzlichen Untersuchungen, Sanierungen und Entsorgungen bei einer Änderung der Sanierungspraxis. Falls möglich soll dieser in UBP oder DALY dargestellt werden.
- Ermittlung der zusätzlichen Kosten durch die Veränderungen in der Sanierungspraxis
- Berechnung der Öko-Effizienz der verschiedenen Änderungen der Sanierungspraxis als Netto-Nutzen pro Mehrkosten.
- Ermittlung der Relevanz (positives oder negatives Potenzial), welche sich durch die Veränderung der Sanierungspraxis ergeben, indem die Veränderungen der potentiellen Schäden berechnet bzw. abgeschätzt werden. Bei den potentiellen Schäden wird unterschieden zwischen Umweltschäden, welche in Umweltbelastungspunkten (UBP) gemäss der Methode der ökologischen Knappheit 2013 berechnet werden, und Schäden der menschlichen Gesundheit, welche in Disability Adjusted Life Years (DALY) gemäss der Methode ReCiPe berechnet und dargestellt werden.

Im Rahmen des Projektes soll auch abgeklärt werden, welcher Indikator für welchen Schadstoff sinnvoll und möglich ist.

### 3. Betrachtete Veränderungen der Sanierungspraxis

Die Auswahl der untersuchten Schadstoffanwendungen und möglicher Änderungen in der Sanierungspraxis (Tabelle 1) erfolgte aufgrund der Relevanz der Schadstoffe und der Spannweite der Anwendungen: Die Auswahl erfolgte zusammen mit dem Auftraggeber auf der Basis der Erfahrungen des Amtes und der Carbotech.

Tabelle 1:  
Betrachtete Veränderungen der Sanierungspraxis

| Schadstoff                                          | Anwendung                                 | Betrachtete Änderungen Sanierungspraxis                                 |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Asbest                                              | Spritzasbest                              | Entsorgung Spritzasbest in speziellem Deponiekompartiment               |
|                                                     | Asbesthaltige Leichtbauplatten            | Fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Leichtbauplatten              |
|                                                     | Asbestzement                              | Fachgerechte Untersuchung und Entfernung von Asbestzement               |
|                                                     | Verputze, Spachtelmasse und Fliesenkleber | Fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Verputzen & Spachtelmassen    |
|                                                     | Fensterkitt                               | Fachgerechte Untersuchung und Entfernung von asbesthaltigem Fensterkitt |
| Polychlorierte Biphenyle (PCB)                      | Fugendichtungen                           | Fachgerechte Sanierung von PCBhaltigen Fugendichtungen                  |
|                                                     | PCB-haltige Farben: Beton und Heizkörper  | Abschleifen und Entsorgung PCBhaltiger Metallfarben                     |
|                                                     | PCB-haltige Vorschaltgeräte               | Abschleifen und Entsorgung PCBhaltiger Betonfarben                      |
| Pentachlorphenol (PCP)                              | PCP-haltiges Holz                         | Entsorgung von PCP-haltigem Holz                                        |
| Polychlorierte aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) | Bituminöse Dichtungsbahnen                | Einstufung und Entsorgung PAKhaltiger bituminöser Dichtungsbahnen       |
| Benz(a)Pyrene (BaP)                                 | Teerkork                                  | Einstufung und Entsorgung PAKhaltiger Teerkork                          |
| Kohlenwasserstoffe (HC)                             | HC-haltiger Beton in Ölkeller und Garagen | Einstufung und Entsorgung HC-haltige Ölkeller                           |
| Blei (Pb)                                           | Pb-haltige Fensterstege                   | Einstufung und Recycling von bleihaltigen Fensterstegen                 |
|                                                     | Pb-haltige Bodenbeläge oder Dachbahnen    | Untersuchung und Entsorgung bleihaltige Bodenbeläge                     |
| Schlacke                                            | in Zwischenböden                          | Einstufung und Entsorgung schlackehaltiger Zwischenböden                |

## **4. Vorgehen**

### **4.1. Abklärung geeigneter Umwelt- und Gesundheitsindikatoren**

In einem ersten Schritt wurde in diesem Projekt abgeklärt, welche Indikatoren für die Umweltbelastung einerseits und für die Schädigung der menschlichen Gesundheit andererseits geeignet sind. Aufgrund der Erfahrungen des Vorprojektes zeigte sich, dass folgende zwei Indikatoren für das Projekt zielführend sind:

#### **Indikator für die Umweltbelastung**

Umweltbelastungspunkte (UBP) gemäss der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel, 2013). Diese Methode wurde im Jahre 1990 im Auftrag des BAFU (damals BUWAL) entwickelt, mit dem Ziel die verschiedenen Umweltbelastungen durch Emissionen und Ressourcennutzung zu einer einzigen Kenngrösse (Umweltbelastungspunkte [UBP]) zusammenzufassen. Es handelt sich um eine Stoffflussmethode, bei der neben den bereits bestehenden Belastungen der Schweiz auch die umweltpolitischen Ziele der Schweiz berücksichtigt werden. Je grösser die Umweltbelastung eines Stoffes ist, desto mehr Umweltbelastungspunkte erzeugt seine Bewertung. Diese Methode bewertet sowohl die Einflüsse auf die menschliche Gesundheit, wie auch auf Ökosysteme und das Klima sowie die Nutzung von energetischen und mineralischen Ressourcen wie auch weitere Ressourcen wie Flächen und Wasser. Die Methode wird von Zeit zu Zeit aktualisiert. In diesem Projekt wurde die aktuellste Version aus dem Jahre 2013 verwendet.

#### **Indikator für die Schädigung der menschlichen Gesundheit**

DALY (Disability adjusted life years). Die menschliche Gesundheit wird mit dem Indikator DALY abgebildet. Je gesundheitsschädlicher ein Stoff ist, desto mehr DALY weist er auf. Ein DALY entspricht einem verlorenen Lebensjahr. 1 DALY ergibt sich z. B: wenn ein Mensch durch einen Unfall 1 Jahr früher stirbt. Ebenso ergibt sich 1 DALY wenn 5 Lebensjahre mit einer 20 % Beeinträchtigung der Lebensqualität verbracht werden müssen. Für die Berechnungen in dieser Arbeit wurden die entsprechenden DALY-Gewichtungsfaktoren aus der Methode ReCiPe (Goedkoop u. a., 2009) verwendet.

## 4.2. Heutige vs. zukünftige Sanierung

Die zukünftigen Sanierungsvorgaben dürften vertiefte Abklärungen nach sich ziehen und somit zu gründlicheren und umfassenderen Sanierungen gewisser Schadstoffe führen. Um den Nutzen (bezüglich Umwelt und Gesundheit) dieser strengerer Vorgaben auszuweisen, wurde das heutige Sanierungsvorgehen mit möglichen, zukünftigen Szenarien verglichen. Dabei wurden folgende Schritte analysiert:

- Untersuchung
- Entfernung
- Entsorgung / Wiederverwendung

Für jeden dieser Sanierungsschritte wurden folgende Kennzahlen ermittelt:

- **Zusätzlicher Umweltnutzen**  
Differenz der Emissionen der heutigen Praxis und der zukünftigen Sanierungspraxis
- **Zusätzliche Umweltbelastung**  
Umweltbelastung, die sich aus den zusätzlichen Sanierungsanstrengungen ergibt, weil zusätzlich Energie, Material und Transporte benötigt werden.
- **Netto-Nutzen**  
Zusätzlicher Umweltnutzen abzüglich der zusätzlichen Umweltbelastung ergibt den Netto-Nutzen
- **Differenz der Kosten der heutigen Praxis und der zukünftigen Sanierungspraxis**

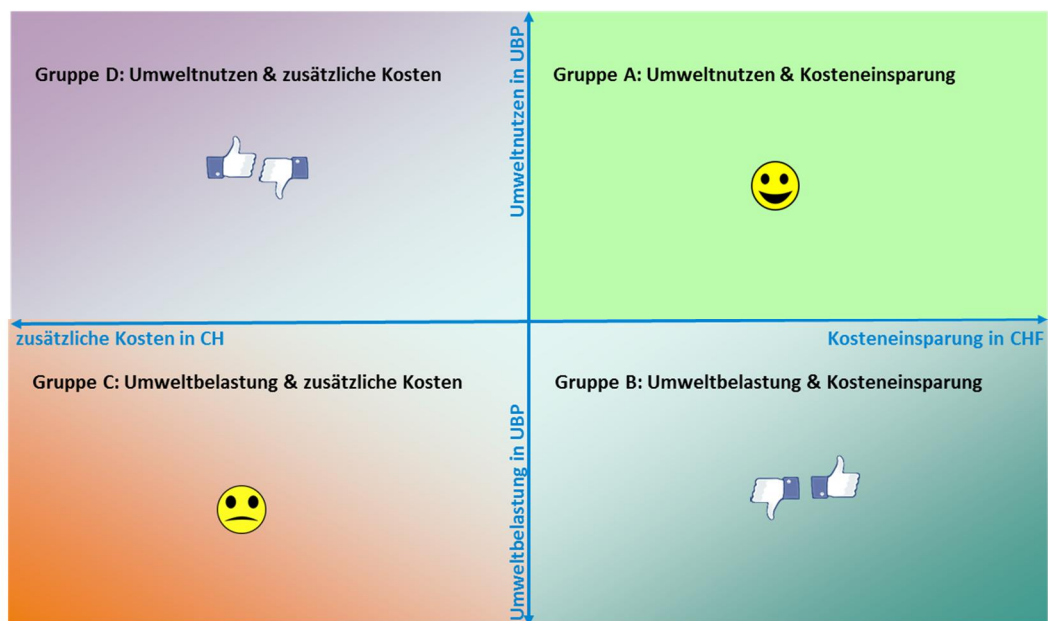
Mit diesen Kennzahlen lässt sich einerseits die Sinnhaftigkeit (siehe Kapitel 6.1) und Relevanz (siehe Kapitel 6.6) der zusätzlichen Massnahmen ermitteln, wie auch die Effizienz der eingesetzten, zusätzlichen, finanziellen Mittel, die Öko-Effizienz, siehe Kapitel 4.3 sowie 6.1 und folgende.

Bezüglich Ökonomie und Ökologie lassen sich die verschiedenen Massnahmen in vier Gruppen einteilen (Abbildung 3):

- **Gruppe A:** Diese Veränderungen weisen sowohl einen Umweltnutzen wie auch Kosteneinsparungen auf und lohnen sich auf jeden Fall.
- **Gruppe B:** Diese Veränderungen weisen eine Umweltbelastung bei Kosteneinsparung auf.
- **Gruppe C:** Diese Veränderungen weisen eine zusätzliche Umweltbelastung auf und zusätzliche Kosten. Diese Veränderungen sind aus den betrachteten Aspekten wenig sinnvoll.

- Gruppe D: Diese Veränderungen weisen einen Umweltnutzen auf, der jedoch mit zusätzlichen Kosten verbunden ist. Hier stellt sich die Frage, wie hoch der Umweltnutzen pro eingesetzte finanzielle Mittel ist, sprich, bei welchen Massnahmen der Franken am effizientesten eingesetzt ist.

Abbildung 3:  
Einteilung der  
Veränderungen in vier  
Gruppen



### 4.3. Öko-Effizienz

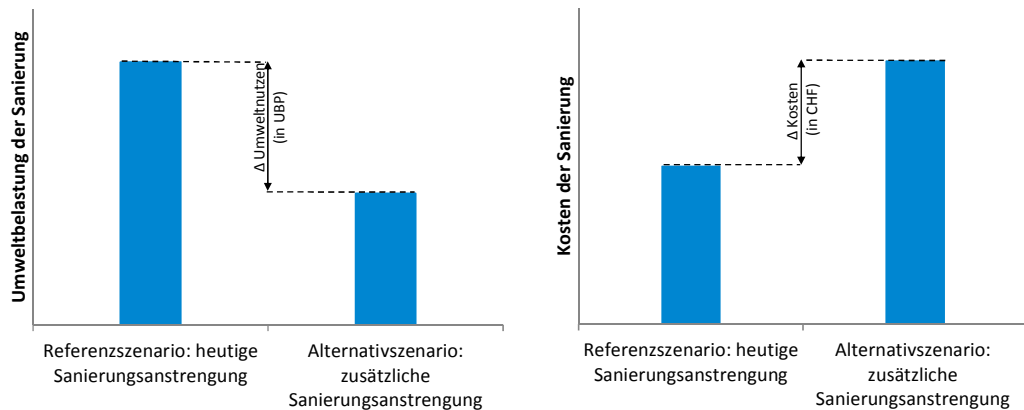
Zusätzliche Sanierungsanstrengungen im Vergleich zur heutigen Praxis liegen im Spannungsfeld von Ökonomie und Ökologie. Sie dürften oftmals mit zusätzlichen Kosten verbunden sein. Es stellt sich daher die Frage, wie hoch der Nutzen pro aufgewendete Kosten ist. Um diese Verknüpfung zwischen den ökonomischen und ökologischen Kennzahlen zu machen, ist die Öko-Effizienz die geeignete Methode. Diese wird gemäss World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) definiert als Kombination von ökonomischen mit ökologischen Kennzahlen. Dabei gilt:

- Gleichgewichtung der ökonomischen und ökologischen Kennzahl
- Eine höhere Öko-Effizienz weist einen besseren Zustand auf

Die Öko-Effizienz eignet sich sehr gut, um innerhalb der Gruppe D Kosten-Nutzen-Betrachtungen durchzuführen und Aussagen darüber zu machen, wie gross der Umweltnutzen pro eingesetztem Franken ist. Sie kann dafür verwendet werden, verschiedene Massnahmen oder Varianten diesbezüglich zu vergleichen und zu priorisieren.

Für die Beantwortung der Fragestellung wurde die Öko-Effizienz wie folgt gebildet: Netto-Nutzen pro CHF zusätzliche Kosten. Dabei wird der Netto-Nutzen bezüglich Umwelt bzw. Gesundheit definiert als Differenz des Nutzens der zukünftigen Sanierungsanstrengung zur heutigen Sanierungspraxis. Die zusätzlichen Kosten werden definiert als Differenz der Kosten zukünftiger Sanierungsanstrengung zur heutigen Sanierungspraxis (siehe Abbildung 4).

Abbildung 4:  
Schematische Darstellung des Vergleichs des Alternativszenarios mit dem Referenzszenario. Die Öko-Effizienz bildet sich aus dem Verhältnis der jeweiligen Differenzen (Deltas).



Für die Anwendungen in den Gruppen A und C wurde die Öko-Effizienz nicht berechnet, da für diese Anwendungen die Öko-Effizienz für eine Entscheidungsfindung nicht notwendig ist. Die Anwendungen in Gruppe A sind immer zu empfehlen, während die Anwendungen in Gruppe C nicht als sinnvoll erscheinen.

Für die Gruppe B kann die Öko-Effizienz als Kosteneinsparung dividiert durch die zusätzliche Umweltbelastung gebildet werden. Da sich gezeigt hat, dass keine der untersuchten Veränderungen in Gruppe B zu liegen kam, wird nicht weiter darauf eingegangen.

## 4.4. Potentialanalyse

Für die Potentialanalyse wurde die Bestandesmenge im Kanton Zürich mit den entsprechenden Umwelt-, Gesundheits- und Kostenkennzahlen hochgerechnet.

## 4.5. Unsicherheiten und Signifikanz

Die Berechnungen des Umweltnutzens und der Kostendifferenz sind mit Unsicherheiten behaftet, welche sich unter anderem aus Unsicherheiten bei der Datenerhebung, wie auch bei der Berechnung der Einwirkungen und Auswirkungen auf die Umwelt bzw. menschliche Gesundheit ergeben. Diese Unsicherheiten werden soweit möglich erfasst oder zumindest abgeschätzt und ausgewertet. Die Berechnung der Unsicherheiten der Öko-Effizienz Resultate erfolgte mit der Methode der Monte Carlo Analyse und der Software Cristal Ball. Diese berechneten Unsicherheiten werden in der Darstellung der Öko-Effizienz, siehe Abbildung 16, als Spannbreiten der Ergebnisse entsprechend ausgewiesen. Dabei ist zu beachten, dass die Berechnungen nur die Unsi-

cherheiten der Kosten, Emissionen und des Ressourcenbedarfs beinhalten, jedoch nicht die Unsicherheit, welche sich aus der Berechnung und Bewertung der Auswirkungen ergeben.

## 4.6. Grenzen dieser Studie

Diese Studie sagt nichts aus über den Nutzen der heute bereits praktizierten Sanierungsanstrengungen. Dies soll exemplarisch am Beispiel von Spritzasbest verdeutlicht werden. Spritzasbest wird heute schon mit minimalen Asbestemissionen fachgerecht saniert. Damit wird ein sehr hoher Nutzen erbracht gegenüber einer Situation in der keine fachgerechte Sanierung durchgeführt würde. Die in diesem Bericht untersuchte zusätzliche Massnahme betrachtet die Entsorgung des Spritzasbestes in einem speziellen Deponiekompartment. Der Nutzen der fachgerechten Sanierung wird in dieser Studie nicht betrachtet, sondern nur der Nutzen der Entsorgung in einem separaten Deponiekompartment, da nur das Delta zwischen heutiger (Stand 31. 12. 2015 im Kanton Zürich) und einer möglichen, zukünftigen Praxis berücksichtigt wird. Die Resultate sagen also nicht, dass die Sanierung von Spritzasbest keinen oder nur einen geringen Nutzen generiert. Dieser ist wesentlich höher als der Nutzen einer möglichen zusätzlichen Anstrengung im Bereich Deponierung.

In der vorliegenden Bewertung wurden in allen Berechnungen die aus den Veränderungen resultierenden gesundheitlichen Belastungen für die Allgemeinbevölkerung und Berufsleute berücksichtigt, jedoch wurde kein spezielles Augenmerk auf den Arbeitnehmerschutz gelegt. Entsprechend darf aus einer geringen gesundheitlichen Belastung in einem der untersuchten Szenarien nicht geschlossen werden, dass für alle Arbeitnehmer eine vernachlässigbare Belastung besteht. Für einzelne, kleine Kollektive von Berufsleuten, beispielsweise Beschäftigte der Rückbauunternehmen und der Deponien, kann die gesundheitliche Belastung durchaus relevant sein. Bewertung und Massnahmendefinition<sup>2</sup> zum Teilbereich Arbeitnehmerschutz müssen durch die verantwortlichen Stellen, Suva und Arbeitgeber, erfolgen. Entsprechend stellt diese Studie die Massnahmen im Bereich Arbeitsplatzsicherheit und Schutz am Arbeitsplatz nicht in Frage.

Der hier verwendete globale Ansatz der Ökobilanzierung trägt unter Umständen lokalen Gegebenheiten zu wenig Rechnung. Dies soll an einem fiktiven Beispiel mit DALYs verdeutlicht werden. Nehmen wir an, eine Sanierung vermeidet „lokale“ Schadstoffemissionen in der Höhe von 60 DALYs. Gleichzeitig generiert der zusätzliche Aufwand eine „globale“ Schädigung von 200 DALYs, z.B. durch Stromproduktion oder Transporte. Somit führt die Sanierung insgesamt zu einer zusätzlichen Schädigung

---

<sup>2</sup> Eine offenkundig gesundheitlich und kostenmässig sehr effektive Massnahme bei Rückbau und Deponien wäre beispielsweise eine generelle Maskentragpflicht bei diesen Arbeiten.

der menschlichen Gesundheit. Weiter nehmen wir an, dass „lokal“ nur 1 Mensch betroffen ist und „global“ 200 Menschen betroffen sind. Somit ergibt sich aus „lokaler“ Sicht für den einen Menschen einen Verlust von 60 Lebensjahren, was mit dem Verlust seines Lebens gleichzusetzen ist. Aus „globaler“ Sicht verlieren z.B. 200 betroffenen Menschen je 1 Lebensjahr oder 1.2 % ihrer Lebensqualität. D. h. obwohl die Beeinträchtigung „global“ insgesamt grösser ist, wird sie von den betroffenen Menschen kaum wahrgenommen, während die tiefere „lokale“ Beeinträchtigung direkt zu einem Verlust eines Lebens führt. Unter Umständen kann es durchaus sinnvoll sein, trotz gesamtheitlich grösserem Schaden, zusätzliche Sanierungsanstrengungen zu unternehmen. Dann nämlich, wenn sich ein Grossteil des Schadens sehr lokal bzw. auf wenige Personen auswirkt.

In diesem Zusammenhang ist auch zu beachten, dass bei Asbest der psychologische Faktor von wesentlicher Bedeutung ist und darf trotz der Nüchternheit der Bewertungsmethode, nicht unerwähnt bleiben. Viele kranke Betroffene aus den Anwendungszeiten sind unter uns oder in naher Erinnerung. Das Thema ist präsent und das Verständnis bzw. die Akzeptanz für geduldete Asbestfasern in der Luft gering. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Berechnungen berücksichtigen diesen Aspekt nicht.

## 5. Wichtigste Kennzahlen

### 5.1. Ökofaktoren für Schadstoffe

Die Berechnung der Umweltbelastungspunkte (UBP) erfolgt mit der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel, 2013). Die Berechnung der DALY (Disability adjusted life years) erfolgt auf der Basis der Methode ReCiPe (Goedkoop u. a., 2009). Für alle Faktoren, mit Ausnahme von Asbest, bestehen bereits Ökofaktoren in den beiden verwendeten Methoden (Tabelle 2). Der Ökofaktor für Asbest wurde eigens für diese Studie neu entwickelt.

Tabelle 2:

Verwendete Ökofaktoren für die involvierten Schadstoffe.

UBP: Umweltbelastungspunkte

DALY: Disability adjusted life years,

LAF: Lungengängige Asbestfasern

| Schadstoff                                         | UBP                             | DALY                              |
|----------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Asbest                                             | 3.85*10 <sup>-2</sup> UBP / LAF | 1.25*10 <sup>-11</sup> DALY / LAF |
|                                                    | 1.20*10 <sup>+12</sup> UBP / kg | 3.89*10 <sup>+2</sup> DALY / kg   |
| PCB (Polychlorierte Biphenyle)                     | 1.57*10 <sup>+10</sup> UBP / kg | 3.80*10 <sup>-1</sup> DALY / kg   |
| PCP (Pentachlorphenol)                             | 1.40*10 <sup>+4</sup> UBP / kg  | 3.07*10 <sup>-5</sup> DALY / kg   |
| Dioxin                                             | 7.90*10 <sup>+13</sup> UBP / kg | 7.69*10 <sup>+1</sup> DALY / kg   |
| PCP (inkl. 0.1 % Dioxin)*                          | 7.90*10 <sup>+10</sup> UBP / kg | 7.69*10 <sup>-2</sup> DALY / kg   |
| PAK (Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) | 1.15*10 <sup>+7</sup> UBP / kg  | 5.27*10 <sup>-6</sup> DALY / kg   |
| BaP (Benz(a)pyren)                                 | 1.90*10 <sup>+10</sup> UBP / kg | 1.11*10 <sup>-6</sup> DALY / kg   |
| HC (Mineralöl)                                     | 2.70*10 <sup>+5</sup> UBP / kg  | 1.02*10 <sup>-7</sup> DALY / kg   |
| Blei                                               | 1.29*10 <sup>+7</sup> UBP / kg  | 2.51*10 <sup>-3</sup> DALY / kg   |
| TOC (Total organic carbon)                         | 5.50*10 <sup>+3</sup> UBP / kg  | 0.00 DALY / kg                    |

\* PCP ist aus herstellungstechnischen Gründen mit durchschnittlich 1 g Dioxin pro kg PCP kontaminiert

#### 5.1.1. Herleitung Ökofaktor UBP Asbest für die Methode der ökologischen Knappheit (2013)

Die UBP werden gemäss Frischknecht und Knöpfel (2013) nach folgender Formel hergeleitet:

$$\text{Ökofaktor} = 1 \text{ UBP} / F_n * (F_a / F_k)^2 * c$$

Mit:

- $F_n$ : Normierungsfluss: entspricht in diesem Fall genau dem aktuellen Fluss
- $F_a$ : aktueller Fluss: entspricht der aktuellen jährlichen Immissionsmenge an lungengängigen Asbestfasern (LAF) in der Schweiz
- $F_k$ : kritischer Fluss: entspricht der akzeptablen jährlichen Immissionsmenge an lungengängigen Asbestfasern (LAF) in der Schweiz
- $C$ : Konstante 10<sup>12</sup>

Für die Ermittlung des aktuellen Flusses wurde die durchschnittliche Asbestkonzentration von 100 LAF/m<sup>3</sup> als Grundlage verwendet (Kühne M. et al. 2014). Bei einer Bevölkerung von 8.2 Mio. Bewohnern und 15 Atmungen pro Minuten à 0.5 l Atemvolumen ergibt sich eine jährlich eingeatmete LAF-Menge von  $2.6 \cdot 10^{12}$ .<sup>3</sup>

Für die Ermittlung des kritischen Flusses wurde der vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) empfohlene Grenzwert von 1'000 LAF/m<sup>3</sup> und daraus die jährlich eingeatmeten LAF hochgerechnet. Bei einer Bevölkerung von 8.2 Mio. Bewohnern und 15 Atmungen pro Minute à 0.5 l Atemvolumen und einer durchschnittlichen Aufenthaltszeit in Innenräumen von 80% ergibt sich eine jährlich eingeatmete LAF-Menge von  $2.6 \cdot 10^{13}$ .

Daraus resultiert ein Ökofaktor von 0.0385 UBP / LAF.

#### **5.1.2. Herleitung DALY für Asbest**

Gemäss Nathanail et al. (2014) ergibt sich ein zusätzliches Erkrankungsrisiko von 0.03 Promille bei einer kumulativen Exposition von 10'000 LAF/m<sup>3</sup> über 5 Jahre. Während dieser Zeit werden  $3.65 \cdot 10^8$  LAF eingeatmet. Für ein Neugeborenes wird eine Risikofaktor-Adjustierung von 6.6 ausgewiesen (Nathanail et al. 2014), für einen 40-Jährigen liegt dieser bei 0.4. Daraus ergibt sich bei dieser Exposition für ein Baby ein Risiko von 0.2 Promille an einer durch Asbest verursachten Krankheit zu erkranken. Für einen 40-Jährigen liegt das Risiko bei 0.01 Promille. Maximal kann ein Neugeborenes unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Latenzzeit von 30 Jahren 47.7 Lebensjahre verlieren (bei einer Lebenserwartung von 82.7 Jahren der Schweizer Bevölkerung gemäss Weltbank 2012). Bei einem 40-Jährigen liegt dieser Verlust bei 7.7 Jahren. Das Risiko multipliziert mit dem Verlust an Lebensjahren und dividiert durch die Anzahl eingeatmeten LAF ergibt einen DALY-Faktor von  $2.59 \cdot 10^{-11}$  DALY pro LAF für ein Neugeborenes und  $2.53 \cdot 10^{-13}$  DALY pro LAF für einen 40-Jährigen. Als Mittelwert ergibt sich  $1.31 \cdot 10^{-11}$  DALY pro LAF.

Alternativ wurde der DALY-Faktor mit Angaben der US-EPA berechnet (AGS, 2008). Diese gibt an, dass bei einer lebenslangen Exposition von 1 Mio. LAF/m<sup>3</sup> das Risiko an Asbest zu erkranken bei 0.23 liegt. Der durchschnittliche Verlust an Lebensjahren liegt bei 26.4 Jahren (bei einer Lebenserwartung der Schweizer Bevölkerung von 82.7 Jahren gemäss Weltbank 2012). Über das ganze Leben werden ca.  $5.11 \cdot 10^{11}$  LAF eingeatmet. Das Risiko multipliziert mit dem Verlust an Lebensjahren und dividiert durch die Anzahl eingeatmeten LAF ergibt einen DALY-Faktor von  $1.19 \cdot 10^{-11}$  DALY pro LAF.

---

<sup>3</sup> Die verwendete durchschnittliche Asbestkonzentration von 100 LAF/m<sup>3</sup> entspricht der analytischen Bestimmungsgrenze. Gemäss Aussage von Experten liegt der effektive Wert tiefer. Durch die Verwendung der höheren Konzentration ergibt sich ein höherer Ökofaktor und damit eine diesbezügliche worst case Betrachtung für Asbest.

Für diese Studie wurde mit dem Mittelwert aus beiden Herleitungen gerechnet:  
 $1.25 \cdot 10^{-11}$  DALY / LAF.

### **5.1.3. Gewichtungsfaktor für PCB**

Nach Dioxin weisen PCB eine der höchsten UBP-Werte aller Schadstoffe auf. Der Ökofaktor wird in der Methode der ökologischen Knappheit nicht direkt über  $F_a$  und  $F_k$  bestimmt, sondern indirekt über eine Charakterisierung, basierend auf dem Biokonzentrationsfaktor (bioconcentration factor, BCF) hergeleitet. Der BCF drückt das Verhältnis zwischen der Konzentration in Fisch und der Konzentration im Wasser aus. Der BCF wird dabei als Indiz für die Basistoxizität verwendet, als einfacher Indikator für die ökotoxische Wirkung von Substanzen. Da der BCF der meisten PCB sehr hoch ist, weisen sie sehr hohe UBP-Werte auf. Es stellt sich die Frage, ob diese Vereinfachung zielführend ist. Je höher der BCF von PCB, desto stabiler und weniger reaktiv sind die PCB. Aus toxischer Sicht sind eher die weniger stabilen PCB ein Problem, deren BCF jedoch wesentlich tiefer liegt (pers. Aussage Prof. Arand). Andererseits wurde von Franov & Kägi (2016) der UBP-Wert von PCB alternativ gemäss  $F_a$  und  $F_k$  basierend auf Rheindaten hergeleitet. Dabei wurde ein ähnlich hoher durchschnittlicher UBP-Wert ermittelt wie in der Originalmethodik angegeben.

Auch der DALY-Wert scheint unverhältnismässig hoch zu sein, da PCB in erster Linie ein ökotoxisches und kein humantoxisches Problem zu sein scheinen. Recherchen haben ergeben, dass im Hintergrundpaper (Huijbregts u. a., 2005), welches von der Methode ReCiPe verwendet wurde, tiefere DALY-Werte ausgewiesen werden als in der ReCiPe Methode selber. Diesen Widerspruch wurde den Methodenentwicklern gemeldet. Bis anhin konnte er jedoch noch nicht aufgelöst werden.

Im Rahmen der Arbeiten an der PCB-Richtlinie des BAFU wurde vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) eine toxikologische Betrachtung zu PCB in der Raumluft durchgeführt und daraus gesundheitsbasierte Richtwerte für die Raumluft abgeleitet und vorgeschlagen. Die Ableitung basiert jedoch auch auf technischen Gemischen, welche mehr toxikologisch kritische und persistente schwerflüchtige PCB enthalten, als dies in der Raumluft der Fall ist. Leider können aus dieser Betrachtung keine neuen Ansätze und Daten für die Bewertung der gesundheitlichen Wirkungen der PCB abgeleitet werden. Siehe dazu Waeber und Brüscheiler (2003).

In dieser Studie wurde für PCB mit den Originalwerten der jeweiligen Methoden gerechnet. Möglicherweise sind die Faktoren für die Berechnung der DALY zu hoch. Robustere PCB-Werte insbesondere hinsichtlich der humantoxischen Bewertung wären wünschenswert. Weitere Abklärungen waren jedoch im Rahmen dieses Projektes nicht möglich.

## 5.2. Faktoren für den Sanierungsaufwand

Dank der fachgerechten Sanierung werden unerwünschte Schadstoffe an einer unkontrollierten Emittierung gehindert und fachgerecht entsorgt. Jedoch ist die Sanierung selber auch mit Umwelt- und Gesundheitsbelastungen verbunden durch den Bedarf an Material, Energie oder Transporte. Die Belastungen der Sanierungsanstrengungen wurden ebenfalls berücksichtigt (Tabelle 3). Dabei wurden die Belastungen auf Basis der Kosten, kombiniert mit der in der LCA-Software SimaPro (PRé Consultants, 2015) enthaltenen Input/Output-Datenbank (Nathani u. a., 2011), ermittelt. Nur bei der Entsorgung wurde direkt mit der Belastung pro kg Entsorgung gerechnet.

Tabelle 3:

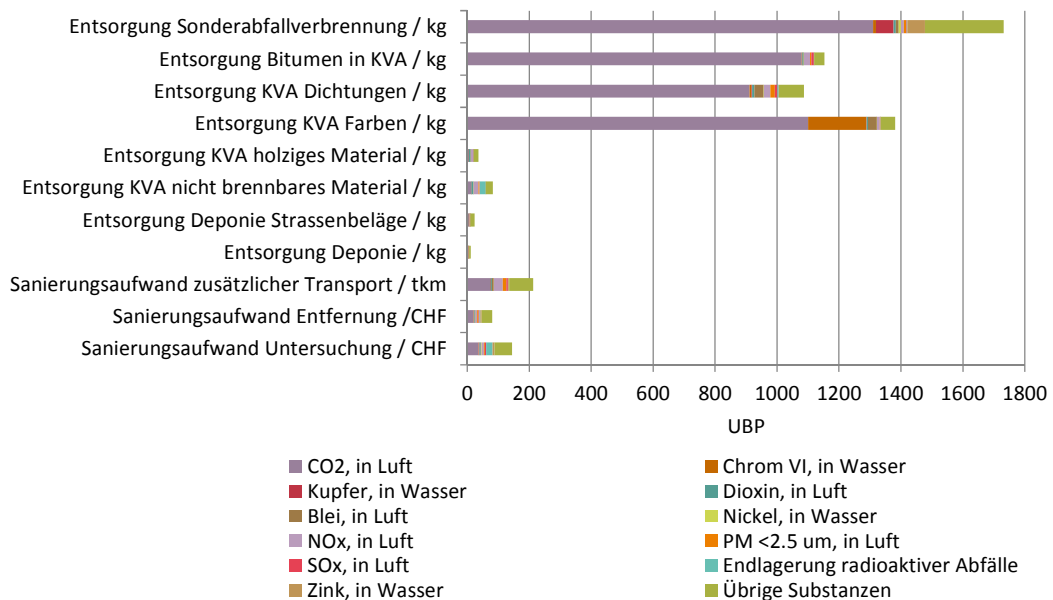
Verwendete Ökofaktoren für die Sanierungsschritte.

| Prozess                                  | Verwendeter Vergleichsprozess                           | UBP             | DALY                             |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Untersuchung                             | I/O Datenbank: Dienstleistungen                         | 146 UBP/CHF     | $1.67 \cdot 10^{-07}$ DALY / CHF |
| Entfernung*                              | I/O Datenbank: Baugewerke abzüglich Rohstoffherstellung | 80 UBP/CHF      | $1.20 \cdot 10^{-07}$ DALY / CHF |
| zusätzlicher Transport                   | Ecoinvent v3.2: lorry, EURO 4 16-32 t                   | 212 UBP/tkm     | $3.6 \cdot 10^{-07}$ DALY / tkm  |
| Entsorgung Deponie                       | Ecoinvent v3.2                                          | 11 UBP / kg     | $1.25 \cdot 10^{-08}$ DALY / kg  |
| Entsorgung Deponie Strassenbeläge        | Ecoinvent v3.2                                          | 24 UBP / kg     | $3.22 \cdot 10^{-08}$ DALY / kg  |
| Entsorgung KVA nicht brennbares Material | Ecoinvent v3.2                                          | 40 UBP / kg     | $4.22 \cdot 10^{-08}$ DALY / kg  |
| Entsorgung KVA holziges Material         | Ecoinvent v3.2                                          | 36 UBP / kg     | $4.43 \cdot 10^{-08}$ DALY / kg  |
| Entsorgung KVA Farben                    | Ecoinvent v3.2                                          | 1'381 UBP / kg  | $3.41 \cdot 10^{-06}$ DALY / kg  |
| Entsorgung KVA Bitumen                   | Ecoinvent v3.2                                          | 1'153 UBP / kg  | $3.39 \cdot 10^{-06}$ DALY / kg  |
| Entsorgung KVA Dichtungen                | Ecoinvent v3.2                                          | 1'087 UBP / kg  | $2.93 \cdot 10^{-06}$ DALY / kg  |
| Entsorgung Sonderabfallverbrennung       | Ecoinvent v3.2                                          | 1'500 UBP / kg  | $4.06 \cdot 10^{-06}$ DALY / kg  |
| Energiegutschrift KVA pro MJ Input       | Ecoinvent v3.2                                          | -34.75 UBP / kg | $-8.03 \cdot 10^{-06}$ DALY / kg |

\* Bei der Entfernung von Asbesthaltigen Bauabfällen liegt die Umweltbelastung bei 1/3 von 80 UBP / CHF da für die Asbestsanierung die Kosten viel stärker von der Arbeitsleistung abhängen als beim normalen Rückbau.

Abbildung 5 zeigt die Anteile der wichtigsten Emissionen an den Sanierungsschritten.

Abbildung 5  
Anteile der wichtigsten  
Emissionen je  
Sanierungsschritt



### 5.3. Beschreibung der betrachteten Veränderungen in der Sanierungspraxis

Im Rahmen dieses Projektes wurden verschiedene mögliche Veränderungen in der Sanierungspraxis untersucht. Dabei handelt es sich nicht um vorgeschriebene Veränderungen, sondern um mögliche Veränderungen, mit dem Ziel abzuklären, wie sinnvoll diese Veränderungen wären, falls sie realisiert würden. Es handelt sich dabei um einige ausgewählte Szenarien und nicht um eine umfassende Abklärung der möglichen Veränderungen. In Tabelle 4 sind die in diesem Bericht verwendeten Annahmen der Veränderung der Sanierungspraxis für verschiedene Schadstoffe zusammengestellt. Die Details mit den Berechnungsgrundlagen sind in Kapitel 6 Resultate zu finden. Als Basis für viele Daten und Annahmen diente die langjährige Erfahrung der Mitarbeiter der Carbotech AG aus dem Bereich Schadstoffe.

Tabelle 4:  
Hypothetische Änderung  
Sanierungspraxis

| Änderung Sanierungspraxis                                | Untersuchung     | Entfernung       | Entsorgung                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------|------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Entsorgung Spritzasbest in speziellem Deponiekompartment | Kein Unterschied | Kein Unterschied | Mehrtransport in spezielle Asbestdeponien. Geringe Minderung Asbestemissionen (1 MioLAF/t) durch bessere Handhabung. Faserfreisetzung durch Minderung zukünftiger Störungen sind nicht berücksichtigt.<br><br>Zusätzliche Kosten; 20.- / t Spritzasbest |



| Änderung Sanierungs-<br>praxis                                               | Untersuchung                                                                                                                                                                                           | Entfernung                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Entsorgung                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fachgerechte Untersu-<br>chung und Entfernung von<br>Asbestzement            | statt heute 50% fachli-<br>che Beurteilung neu<br>95% fachliche Beurtei-<br>lung (Beprobung)<br><br>Minderung Asbest-<br>Emissionen: keine<br><br>Zusätzliche Kosten: 50.-<br>/100m <sup>2</sup> * 45% | statt heute 50% fachge-<br>rechte Entfernung neu<br>95% fachgerechte Ent-<br>fernung<br><br>Minderung Asbest-<br>Emissionen: 65'000<br>LAF/m <sup>3</sup> * 2 P * 2 d * 8 h<br>/ 50 m <sup>2</sup> * 45%<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>15.-/m <sup>2</sup>                                      | Kein Unterschied                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Fachgerechte Sanierung<br>von asbesthaltigen Leicht-<br>bauplatten           | statt heute 90 % unter-<br>sucht, neu 100 % unter-<br>sucht mit Beprobung<br><br>Minderung Asbest-<br>Emissionen: keine<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>100.-/5m <sup>2</sup> * 10 %                     | 100 % statt nur 90 %<br>wird fachgerecht ent-<br>fernt<br><br>Minderung Asbest-<br>Emissionen: 10% *<br>(2mio LAF a 0.5d a 2p +<br>0.1mio LAF a 5d a 2p +<br>0.05mio LAF a 10d a 4p<br>+ 0.01LAF a 20d a 10<br>p) / 5m <sup>2</sup><br><br>Zusätzliche Kosten:<br>1500.-/5m <sup>2</sup> * 10 % | Statt 10 % in Recycling und<br>90% in Deponie, neu 100 % in<br>Deponie<br><br>Minderung Asbest-<br>Emissionen: Emissionen beim<br>Rezyklat über die Jahre in der<br>Summe bei 10 % der Entfer-<br>nung<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>120.-/t * 10 %                               |
| Fachgerechte Sanierung<br>von asbesthaltigen Ver-<br>putzen & Spachtelmassen | statt heute 5 % unter-<br>sucht mit Beprobung<br>neu 100% untersucht<br>mit Beprobung<br><br>Minderung Asbest-<br>Emissionen: keine<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>1200.-/50m <sup>2</sup> * 95%        | 100 % statt nur 5 %<br>wird fachgerecht ent-<br>fernt<br><br>Minderung Asbest-<br>Emissionen:<br>(0.035mio LAF a 1d a<br>2p + 0.01mio LAF a 5d<br>a 4p) / 50m <sup>2</sup> * 95%<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>87.-/m <sup>2</sup> * 95 %                                                       | Verpackung in Big-Bag<br><br>Minderung Asbest-<br>Emissionen: keine<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>12.-/m <sup>2</sup> * 95 %                                                                                                                                                      |
| Fachgerechte Sanierung<br>von asbesthaltigen Flie-<br>senklebern             | statt heute 30 % unter-<br>sucht mit Beprobung<br>neu 100% untersucht<br>mit Beprobung<br><br>Minderung Asbest-<br>Emissionen: keine<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>800.-/15m <sup>2</sup> * 70         | 100 % statt nur 30 %<br>wird fachgerecht ent-<br>fernt<br><br>Minderung Asbest-<br>Emissionen: (0.1mio<br>LAF a 2d a 2p +<br>0.01mio LAF a 5d a 4p)<br>/ 15m <sup>2</sup> * (100%-30%)<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>4'500.-/15m <sup>2</sup> * 70%                                             | Verpackung in Big-Bag. Statt<br>Entsorgung als Bauschutt Ent-<br>sorgung in Deponie Typ B<br>oder E.<br><br>Minderung Asbest-<br>Emissionen: keine<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>11.4.-/m <sup>2</sup> * 70%. Keine Unter-<br>schiede hinsichtlich Deponie-<br>kosten angenommen. |



| Änderung Sanierungs-<br>praxis                                                  | Untersuchung                                                                                                                                                                       | Entfernung                                                                                                                                                                                                                           | Entsorgung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fachgerechte Untersu-<br>chung und Entfernung von<br>asbesthaltigem Fensterkitt | statt heute 75 % unter-<br>sucht mit Beprobung<br>neu 100% untersucht<br>mit Beprobung<br><br>Minderung Asbest-<br>Emissionen: keine<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>300.-/40m * 25% | 100 % statt nur 75 %<br>wird fachgerecht ent-<br>fernt, bzw. ohne Tren-<br>nung richtig entsorgt.<br><br>Minderung Asbest-<br>Emissionen: (0.005mio<br>LAF a 1d a 2p * (100%-<br>75%))<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>600.-/40m * 25% | Keine signifikanten Unter-<br>schiede zu erwarten (Material-<br>flüsse in KVA (Kitt/Holz), De-<br>ponie (Glas/Kitt) und<br>Schmelzwerk (Metall mit<br>Kittresten) bleiben etwa gleich.                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Fachgerechte Sanierung<br>von PCB-haltigen Fugen-<br>dichtungen                 | statt heute 50% unter-<br>sucht mit Beprobung<br>neu 100% untersucht<br>mit Beprobung<br><br>Minderung PCB-<br>Emissionen: keine<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>2'000.-/100kg * 50% | 100 % statt nur 50 %<br>wird fachgerecht ent-<br>fernt<br><br>Minderung PCB-<br>Emissionen:<br>10% von 0.2kg PCB/kg<br>Fugendichtung *<br>(100%-50%)<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>28.-/ kg * 50%                                    | Heute 50% SAVA, vom Rest<br>zu gleichen Teilen in Deponie,<br>KVA, Recycling. Neu 100 % in<br>SAVA<br><br>Minderung PCB-Emissionen:<br>(30% * 3.2*10 <sup>-6</sup> (Transferkoeff-<br>fizient Deponie) + 30% * 0.001<br>(Transferkoeffizient KVA) +<br>30% * 0.16 (Transferkoeffizient<br>Recycling)) * 50%<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>(1.8.- - 1/3*0.12+1/3*0.17.-)/ kg<br>* 50%                                                                |
| Abschleifen und Entsor-<br>gung PCB-haltiger Metall-<br>farben                  | statt heute 10% unter-<br>sucht neu 100% unter-<br>sucht mit Beprobung<br><br>Minderung PCB-<br>Emissionen: keine<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>1'500.-/50m <sup>2</sup> * 90%     | Abschleifen der Farbe<br>90%<br><br>Minderung PCB-<br>Emissionen:<br>2.1 % * 90%<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>50.-/50m <sup>2</sup> * 90%                                                                                           | HEUTE: 90 % undeklariert mit<br>Metall ins Recycling. Neu<br>100% SAVA (Emissionen<br>praktisch Null)<br><br>Minderung PCB-Emissionen:<br>(1/4 (als Resh, absplittern<br>beim Schreddern) * 0.001<br>(Transferkoeffizient KVA) + 3/4<br>* 0.01 (Transferkoeffizient<br>Stahlrecycling)) * 3.4*10 <sup>-4</sup> kg<br>PCB/m <sup>2</sup> * 90%<br><br>Zusätzliche Kosten: 0.045kg<br>Farbe *(1800,-/t)* 90%                                          |
| Abschleifen und Entsor-<br>gung PCB-haltiger Beton-<br>farben                   | statt heute 10% unter-<br>sucht neu 100% unter-<br>sucht mit Beprobung<br><br>Minderung PCB-<br>Emissionen: keine<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>1'500.-/50m <sup>2</sup> * 90%     | Abschleifen oberste<br>3mm Beton 90%<br><br>Minderung PCB-<br>Emissionen:<br>2.1 % * 90%<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>100.-/50m <sup>2</sup> * 90%                                                                                  | HEUTE: 90 % undeklariert.<br>Davon 2/3 in Zementwerk, 1/3<br>in Recycling, NEU: Abschleiß<br>100% SAVA, vom Rest 2/3 in<br>Zementwerk, 1/3 in Recycling,<br><br>Minderung PCB-Emissionen:<br>(2/3 * 0.001 (Transferkoeffi-<br>zient Zementwerk + 1/3 * 0.16<br>(Transferkoeffizient Recyc-<br>ling)) * 3.4*10 <sup>-4</sup> kg PCB/m <sup>2</sup><br>*90%<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>3mm*2400kg/m <sup>3</sup> *(1800,-/t –<br>2/3*130.-/t)* 90% |



| Änderung Sanierungs-<br>praxis                                               | Untersuchung                                                                                                                                                                                                                                        | Entfernung                                                                                                                                                                                           | Entsorgung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Entsorgung von PCP-<br>haltigem Holz                                         | statt heute 0% unter-<br>sucht neu 100% unter-<br>sucht mittels Einstufung<br><br>PCP-Einsparung: keine<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>keine                                                                                                         | Kein Unterschied                                                                                                                                                                                     | HEUTE: 50 % in KVA, 50 % in<br>Recycling, NEU: 100 % KVA<br><br>PCP-Einsparung: 50% * 60 mg<br>PCP (Transferkoeffizient Re-<br>cycling) / kg Holz<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>0.17 CHF/kg Holz * 50%                                                                                                                            |
| Einstufung und Entsor-<br>gung PAK-haltiger bitumi-<br>nöser Dichtungsbahnen | statt heute 50% unter-<br>sucht mit Beprobung<br>neu 100% untersucht<br>mittels Einstufung<br><br>PAK-Einsparung: keine<br><br>Kostenreduktion dank<br>Einstufung: 500.-<br>/100m <sup>2</sup> * -50%                                               | Eigentlich keine ausser<br>zusätzliche Masken-<br>tragpflicht<br><br>PAK-Einsparung: keine<br><br>Zusätzliche Kosten: 20.-<br>/100m <sup>2</sup> * 50%                                               | HEUTE: 50 % in Deponie, 35<br>% in KVA, 10 % in SAVA, 5 %<br>thermische Behandlung, NEU:<br>100 % KVA<br><br>PAK-Einsparungen: Keine<br><br>Zusätzliche Kosten: -0.25.-/m <sup>2</sup><br>mit 170.-/t-50%*120.- /t-<br>35%*170.-/t - 10%*1800.-/t -<br>10%*120.-/t) mit 5 kg/m <sup>2</sup>                                       |
| Einstufung und Entsor-<br>gung PAK-haltiger Teer-<br>kork                    | statt heute 50% unter-<br>sucht mit Beprobung<br>neu 100% untersucht<br>mittels Einstufung<br><br>PAK-Einsparung: keine<br><br>Kostenreduktion dank<br>Einstufung:<br>500.-/100m <sup>2</sup> * -50% mit<br>800kg/m <sup>3</sup> und 3mm Di-<br>cke | Eigentlich keine ausser<br>zusätzliche Masken-<br>tragpflicht<br><br>PAK-Einsparung: keine<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>20.-/100m <sup>2</sup> * 50% mit<br>800kg/m <sup>3</sup> und 3mm Di-<br>cke | HEUTE: 50 % in Deponie, 35<br>% in KVA, 10 % in SAVA, 5 %<br>thermische Behandlung, NEU:<br>100 % dosierte Zugabe in KVA<br><br>PAK-Einsparungen: Keine<br><br>Zusätzliche Kosten: -0.25.-/m <sup>2</sup><br>mit 170.-/t-50%*120.- /t -<br>35%*170.-/t - 10%*1800.-/t -<br>10%*120.-/t) mit 800kg/m <sup>3</sup> und<br>3mm Dicke |
| Einstufung und Entsor-<br>gung HC-haltige Ölkeller                           | statt heute 20% unter-<br>sucht mit Beprobung<br>neu 100% untersucht<br>mittels Einstufung<br><br>HC-Einsparung: keine<br><br>Kostenreduktion dank<br>Einstufung:<br>100.-/Keller mit 6t Be-<br>ton/Keller * -20%                                   | Triageabklärung wohin<br>mit dem Material:<br><br>HC-Einsparung: keine<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>1000.-/Keller mit 6t Be-<br>ton/Keller * 80%                                                    | HEUTE: 100 % (verdünnt) in<br>Deponie NEU: Annahme: alles<br>geht ins Zementwerk<br><br>HC-Einsparung: HC als TOC<br>in Deponie (16kg/t) vs. HC<br>verbrannt zu CO <sub>2</sub> in Zement-<br>werk (59kg/t)<br><br>Zusätzliche Kosten: keine<br>(Annahme: Zementwerk und<br>Deponie gleich teuer)                                 |
| Untersuchung und Entsor-<br>gung bleihaltige Bodenbe-<br>läge                | statt heute 0% unter-<br>sucht neu 100% unter-<br>sucht mittels Beprobung<br><br>Blei-Einsparung: keine<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>300.-/50m <sup>2</sup> * 100%                                                                                 | Kein Unterschied                                                                                                                                                                                     | HEUTE: 100 % KVA, NEU:<br>100 % SAVA<br>Blei-Einsparung: 1.3mg/t<br>(Transferkoeffizient SAVA) -<br>18.6mg/t (Transferkoeffizient<br>KVA) mit 10.8mg PB/m <sup>2</sup> Belag<br><br>Zusätzliche Kosten:<br>(1'800.- - 170.-)/t * 100% mit<br>3kg Belag/m <sup>2</sup>                                                             |
| Einstufung und Recycling<br>von bleihaltigen Fensterst-<br>egen              | statt heute 10% unter-<br>sucht mittels Einstufung<br>neu 100% untersucht                                                                                                                                                                           | Kein Unterschied                                                                                                                                                                                     | HEUTE: 40 % in Recycling, 60<br>% in KVA, NEU: 100 % in Blei-<br>recycling                                                                                                                                                                                                                                                        |



| Änderung Sanierungs-<br>praxis                                     | Untersuchung                                                                                                                                                                                                                                     | Entfernung                                                                                                                                                                                     | Entsorgung                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                    | mittels Einstufung<br>Blei-Einsparung: keine<br>Zusätzliche Kosten:<br>keine                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                | Blei-Einsparung: 60% *<br>18.6mg/t (Transferkoeffizient<br>KVA) mit 10.8mg PB/m <sup>2</sup> Belag<br>UND 60% * 0.1 kg Primärblei-<br>einsparung dank Recycling<br><br>Kosteneinsparung:<br>60% * - 170.-)/t * 100% mit<br>0.1kg Blei / m Fenstersteg |
| Einstufung und Entsor-<br>gung schlackehaltiger Zwi-<br>schenböden | statt heute 50% unter-<br>sucht mit Beprobung<br>neu 100% untersucht<br>mittels Einstufung<br><br>Schadstoffeinsparung:<br>keine<br><br>Kostenreduktion dank<br>Einstufung:<br>-50% * 1000.-/500m <sup>2</sup><br>Boden mit 0.12t/m <sup>2</sup> | Abklärung wohin mit<br>dem Zeugs entfällt.<br><br>Schadstoffeinsparung:<br>keine<br><br>Kostenreduktion dank<br>klarer Regelung:<br>-50% * 300.-/500m <sup>2</sup> mit<br>0.12t/m <sup>2</sup> | HEUTE: 5 % ins Ausland (in<br>Deponie), Rest in Deponie,<br>NEU 100% in Deponie<br><br>Schadstoffeinsparung: keine<br><br>Zusätzliche Kosten: keine                                                                                                   |

## 6. Resultate

### 6.1. Übersicht Umwelt, Gesundheit und Kosten

Die Veränderung in der Sanierungspraxis von schadstoffbelasteten Bauabfällen kann sowohl einen Umwelt- bzw. Gesundheitsnutzen oder eine zusätzliche Belastung für die Umwelt oder die Gesundheit aufweisen. Zudem sind sie oft mit zusätzlichen Kosten verbunden, teilweise jedoch auch mit Kosteneinsparungen. Im Folgenden werden die betrachteten, möglichen Veränderungen bei der Behandlung von schadstoffbelasteten Bauabfälle gemäss der zwei Kriterien Nutzen und Kosten eingeteilt. In Abbildung 6 werden die Umweltnutzen und Kosten und in Abbildung 7 der Nutzen bezüglich Gesundheit und die Kosten dargestellt. Mit dieser Darstellung können die untersuchten Sanierungen in die folgenden vier Gruppen eingeteilt werden:

- Gruppe A: Diese Veränderungen weisen sowohl einen **Netto-Umwelt- bzw. Gesundheitsnutzen** wie auch **Kosteneinsparungen** auf und lohnen sich auf jeden Fall. Unabhängig davon, ob der Fokus auf die Gesundheit oder die Umwelt gelegt wird, werden dieselben untersuchten Veränderungen in diese Gruppe eingeteilt.
- Gruppe B: Diese Veränderungen weisen eine **Netto-Umwelt- bzw. Gesundheitsbelastung** und **Kosteneinsparung** auf. Keine der betrachteten Veränderungen wies diese Kombination auf.
- Gruppe C: Diese Veränderungen weisen **Netto-Umwelt- bzw. Gesundheitsbelastung** sowie **zusätzliche Kosten** auf. Diese Veränderungen sind aus den betrachteten Aspekten wenig sinnvoll, da die zusätzlichen Aufwendungen der Sanierung (Energie, Material, Transporte, andere Entsorgungswege) mehr Belastungen verursachen als die Reduktion der Emissionen betragen. Falls der Fokus auf die menschliche Gesundheit gelegt wird, so wird eine grössere Anzahl der untersuchten Veränderungen in diese Gruppe eingeteilt (Anzahl 10) als beim Fokus auf die Umwelt (Anzahl 6). Wobei alle untersuchten Veränderungen, welche beim Fokus Umwelt in diese Gruppe gelangen, auch beim Fokus Gesundheit in dieser Gruppe sind.
- Gruppe D: Diese Veränderungen weisen einen **Netto-Umwelt- bzw. Gesundheitsnutzen** auf, der jedoch mit **zusätzlichen Kosten** verbunden ist. Hier stellt sich die Frage, wie hoch der Umweltnutzen pro aufgewendete Kosten ist, bzw. bei welchen Veränderungen das investierte Geld am effizientesten eingesetzt ist. Beim Fokus Umwelt befinden sich eine höhere Anzahl an untersuchten Veränderungen in dieser Gruppe (Anzahl 7) als beim Fokus auf Gesundheit (Anzahl 3). Wobei alle untersuchten Veränderungen, welche beim

Fokus Gesundheit in diese Gruppe gelangen, auch beim Fokus Umwelt in dieser Gruppe sind.

Abbildung 6  
Einteilung der untersuchten Veränderung der Sanierungspraxis von schadstoffbelasteten Bauabfällen hinsichtlich **Umweltnutzen** und **Kosten**

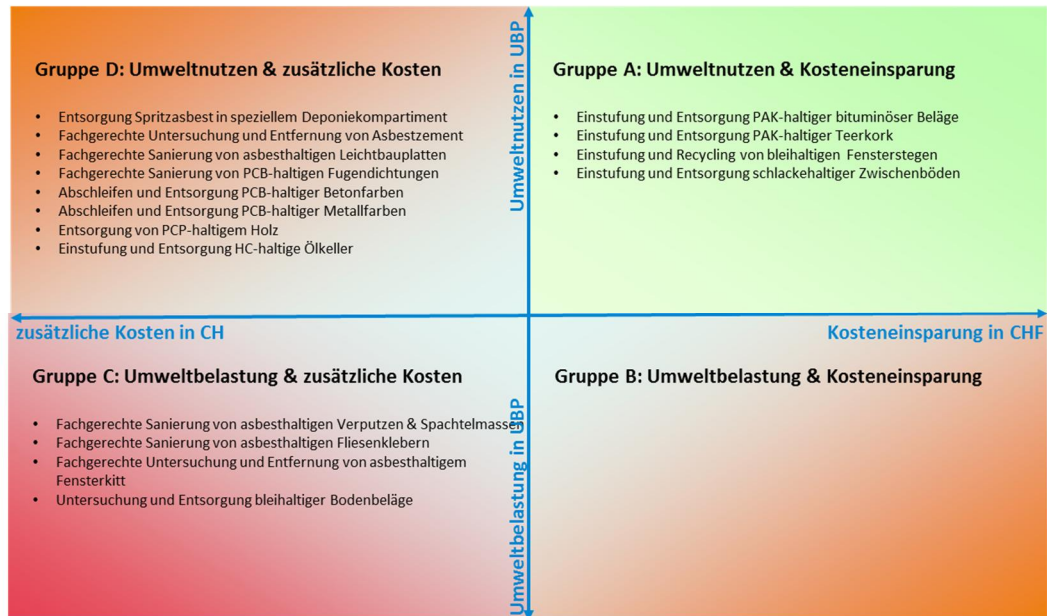
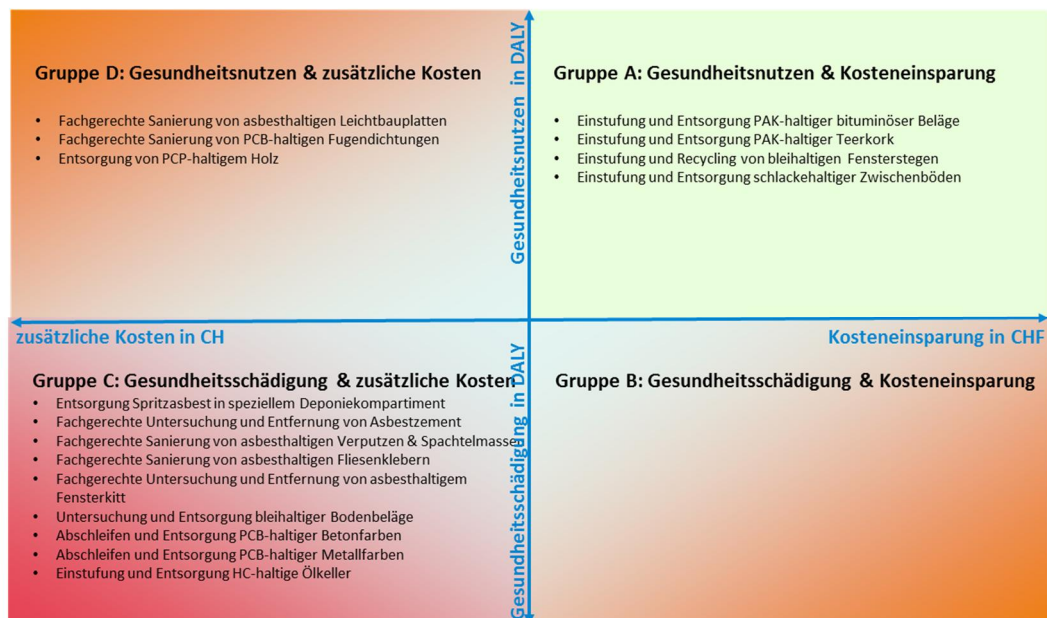


Abbildung 7  
Einteilung der untersuchten Veränderung der Sanierungspraxis von schadstoffbelasteten Bauabfällen hinsichtlich **Gesundheitsnutzen** und **Kosten**



Diese Einteilung zeigt, dass beim Fokus Gesundheit im Vergleich zum Fokus Umwelt eine grössere Anzahl der untersuchten Veränderungen in die Gruppe C fallen und damit als wenig sinnvoll eingestuft werden. Der Grund dafür ist, dass der Fokus Umwelt neben der menschlichen Gesundheit auch noch weitere Aspekte wie Auswirkungen auf Flora und Fauna sowie Ökosysteme berücksichtigt. Im Speziellen haben die Schadstoffen PCB und PAK einen wesentlichen Einfluss auf Ökosysteme und damit

zeigt sich bei diesen Stoffen auch ein verstärkter Nutzen bei einer Verschärfung der Sanierungspraxis.

Im Folgenden werden die Gruppen gemäss der Übersicht Umwelt und Kosten einzeln betrachtet und die jeweiligen Zusammensetzungen des Umweltnutzens und der Kosten dargestellt. Zusätzlich wird auch die Zusammensetzung der Gesundheitsnutzen dargestellt.

## 6.2. Gruppe A: Umweltnutzen und Kosteneinsparung

Die folgenden Änderungen der Sanierungspraxis lohnen sich in jedem Fall:

- Einstufung und Entsorgung schlackehaltiger Zwischenböden
- Einstufung und Recycling von bleihaltigen Fensterstegen
- Einstufung und Entsorgung PAK-haltiger Teerkork
- Einstufung und Entsorgung PAK-haltiger bituminöser Dichtungsbahnen

Der Grund für diese Einstufung liegt darin, dass bei diesen Bauabfällen die geänderte Sanierungspraxis aus Vereinfachungen und Erleichterungen bestehen. Einstufung und Definition fixer Entsorgungsweg anstelle Analytik und Triage, welche neben Kostenreduktion auch einen Umwelt Nutzen bewirken.

Tabelle 5 listet den jeweiligen Umwelt Nutzen und Kosteneinsparung pro betrachtete Sanierungseinheit auf.

Tabelle 5:  
Übersicht  
Umweltnutzen und  
Kosteneinsparung

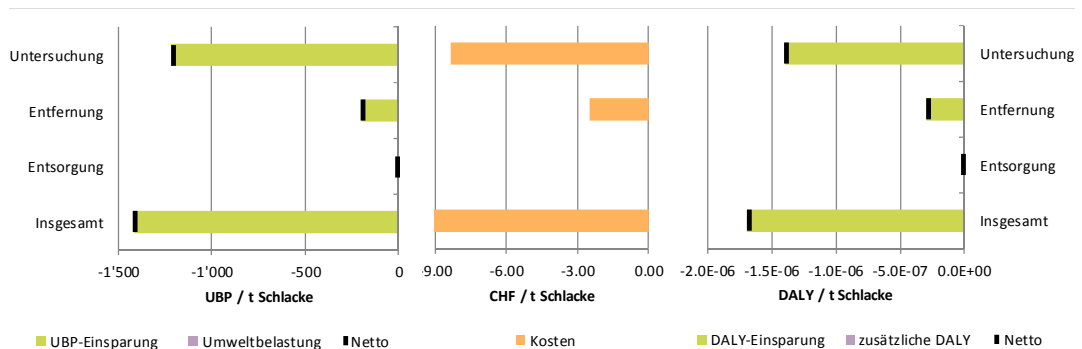
| Sanierung                                                          | Einheit              | Umweltnutzen<br>Mio.<br>UBP/Einheit      | Kosten-<br>einsparung<br>CHF/Einheit | Gesundheits-<br>nutzen<br>µ-DALY/Einheit |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|
| Einstufung und Entsorgung schlackehaltiger Zwischenböden           | t Schlacke           | Mean: 0.001<br>Min: 0.0005<br>Max: 0.004 | Mean: 11<br>Min: 5<br>Max: 20        | Mean: 2<br>Min: 0.4<br>Max: 4            |
| Einstufung und Recycling von bleihaltigen Fensterstegen            | m Fensterstege       | Mean: 0.003<br>Min: 0.001<br>Max: 0.006  | Mean: 12<br>Min: 6<br>Max: 18        | Mean: 1.1<br>Min: 0.5<br>Max: 2          |
| Einstufung und Entsorgung PAK-haltiger Teerkork                    | t Teerkork           | Mean: 0.29<br>Min: 0.1<br>Max: 0.7       | Mean: 1200<br>Min: 600<br>Max: 1800  | Mean: 570<br>Min: 130<br>Max: 1100       |
| Einstufung und Entsorgung PAK-haltiger bituminöser Dichtungsbahnen | m <sup>2</sup> Belag | Mean: 0.001<br>Min: 0.0003<br>Max: 0.004 | Mean: 3.1<br>Min: 2<br>Max: 7        | Mean: 2.4<br>Min: 0.5<br>Max: 10         |

Für diese Gruppe wird auf eine Berechnung der Öko-Effizienz verzichtet, da diese Veränderungen unabhängig von deren Öko-Effizienz empfohlen werden. Im Folgenden werden die Auswirkungen der Veränderungen für jeden einzelnen Bauabfall der Gruppe A beschrieben.

### 6.2.1. Einstufung und Entsorgung schlackehaltiger Zwischenböden

Abbildung 8 zeigt wie sich der Umweltnutzen, die Kosten und der Gesundheitsnutzen der folgenden Änderungen der Sanierungspraxis gegenüber heute zusammensetzen:

Abbildung 8:  
Zusammensetzung des  
zusätzlichen Umwelt-  
und  
Gesundheitsnutzens  
sowie der zusätzlichen  
Kosteneinsparung



#### Untersuchung

100 % mittels Einstufung statt wie heute 50 % mittels Beprobung.

Dank der Einstufung ist in Zukunft mit einer Kostenreduktion in der Höhe von 8.3 CHF / t Zwischenboden zu rechnen:

$$-8.3 \text{ CHF} = 1'000 \text{ CHF} / 500 \text{ m}^2 \text{ Boden} * -50 \% / 0.12 \text{ t Material} / \text{m}^2 \text{ Boden}$$

Das generiert eine indirekte UBP-Einsparung von 1'200 UBP:

$$-1'200 \text{ UBP} = -8.3 \text{ CHF} * 146 \text{ UBP} / \text{CHF}$$

sowie einen indirekten Gesundheitsnutzen von  $1.4 * 10^{-6}$  DALY:

$$1.4 * 10^{-6} \text{ DALY} = -8.3 \text{ CHF} * 1.67 * 10^{-7} \text{ DALY} / \text{CHF}$$

#### Entfernung

Abklärung wohin mit dem Material entfällt.

Damit können Kosten eingespart werden in der Höhe von 2.5 CHF / t Zwischenboden:

$$-2.5 \text{ CHF} = 300 \text{ CHF} / 500 \text{ m}^2 \text{ Boden} * -50 \% / 0.12 \text{ t Material} / \text{m}^2 \text{ Boden}$$

Das generiert eine indirekte UBP-Einsparung von 200 UBP:

$$-200 \text{ UBP} = -2.5 \text{ CHF} * 80 \text{ UBP} / \text{CHF}$$

sowie einen indirekten Gesundheitsnutzen von  $3.0 * 10^{-7}$  DALY:

$$-3.0 * 10^{-7} \text{ DALY} = -2.5 \text{ CHF} * 1.2 * 10^{-7} \text{ DALY} / \text{CHF}$$

## Entsorgung

Es sind keine Unterschiede zu erwarten, da in jedem Fall alles in einer Deponie landet.

## Insgesamt

Das Resultat ist geprägt von der Veränderung der Sanierungspraxis im Untersuchungsschritt und zu einem weit kleineren Teil im Entfernungsschritt.

Insgesamt wird der Umweltnutzen der Änderung der Sanierungspraxis indirekt durch weniger Aufwände generiert. Der Umweltnutzen liegt bei 1'400 UBP / t Schlacke.

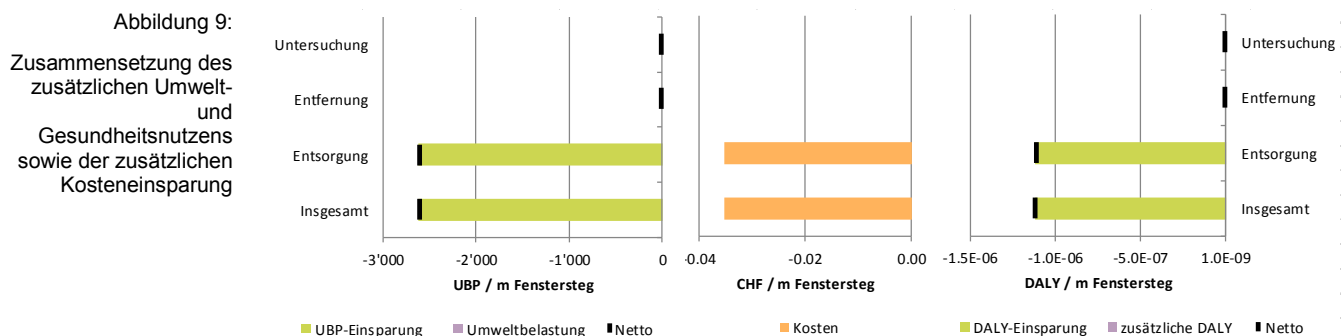
Insgesamt erfolgt eine Kosteneinsparung von 11 CHF / t Schlacke.

Insgesamt wird der Gesundheitsnutzen der Änderung der Sanierungspraxis indirekt durch weniger Aufwände generiert.

Der Gesundheitsnutzen liegt bei  $1.7 \cdot 10^{-6}$  DALY / t Schlacke.

## 6.2.2. Einstufung und Recycling von bleihaltigen Fensterstegen

Abbildung 9 zeigt wie sich der Umweltnutzen, die Kosten und der Gesundheitsnutzen der folgenden Änderungen der Sanierungspraxis gegenüber heute zusammensetzen:



## Untersuchung

100 % statt wie heute 10 % werden mittels Einstufung untersucht.

Es sind keine Unterschiede hinsichtlich Bleimissionen und Kosten zu erwarten.

## Entfernung

Kein Unterschiede.

## Entsorgung

100 % in Bleirecycling statt wie heute 40 % in Recycling und 60 % in KVA.

Dank dem konsequenten Recycling von bleihaltigen Fensterstegen werden Emissionen der Entsorgung in einer KVA eingespart. Viel relevanter ist jedoch die Tatsache,

dass durch das Recycling primäres Blei ersetzt werden kann  
0.113 kg Bleirecycling / m Fenstersteg.

Indirekt generieren die mit der Entsorgung verbundenen Veränderung eine UBP-Einsparung von 2'600 UBP / m Fenstersteg. Dabei stammen 99.7% vom Ersatz von Primärblei:

$$-2.600 \text{ UBP} = 0.113 \text{ kg Blei} * 38'500 \text{ UBP-Einsparung / kg Bleirecycling} * 60 \%$$

Der dabei entstehende Gesundheitsnutzen liegt bei  $1.1 \cdot 10^{-6}$  DALY / m Fenstersteg. Auch hier stammen mehr als 99.9% vom Ersatz von Primärblei

$$-1.1 \cdot 10^{-6} \text{ DALY} = 0.113 \text{ kg Blei} * 1.6 \cdot 10^{-5} \text{ DALY-Einsparung / kg Bleirecycling} * 60 \%$$

Es können auch Entsorgungskosten eingespart werden in der Höhe von 11.6 CHF / m Fenstersteg.

$$-0.04 \text{ CHF} = (0.17 \text{ CHF / kg Blei} + 0.35 \text{ CHF Vergütung Recycling / kg Blei}) * -60 \% * 0.113 \text{ kg Blei}$$

### Insgesamt

Das Resultat ist geprägt von der Veränderung der Sanierungspraxis im Entsorgungsschritt.

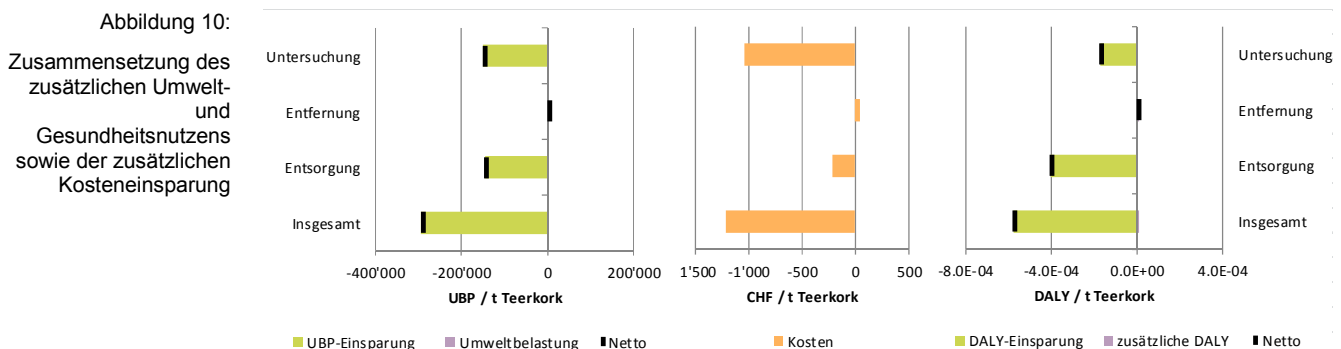
Der Umweltnutzen liegt bei 2'600 UBP / m Fenstersteg.

Die Kosteneinsparung liegt bei 12 CHF / Fenstersteg

Der Gesundheitsnutzen beträgt  $1.1 \cdot 10^{-6}$  DALY / m Fenstersteg.

### 6.2.3. Einstufung und Entsorgung PAK-haltiger Teerkork

Abbildung 10 zeigt wie sich der Umweltnutzen, die Kosten und der Gesundheitsnutzen der folgenden Änderungen der Sanierungspraxis gegenüber heute zusammensetzen:



### Untersuchung

100 % statt wie heute 50 % werden mittels Einstufung untersucht.



Dank der Einstufung ist in Zukunft mit einer Kostenreduktion in der Höhe von 1'040 CHF pro t Teerkork zu rechnen:  
 $-1'040 \text{ CHF} / \text{t} = 500 \text{ CHF} / 100 \text{ m}^2 \text{ Belag} * -50 \% \text{ (mit } 800 \text{ kg} / \text{m}^3 \text{ und } 3\text{mm Dicke)}.$

Das generiert eine indirekte UBP-Einsparung von 15'200 UBP:  
 $-15'200 \text{ UBP} = -1'040 \text{ CHF} * 146 \text{ UBP} / \text{CHF}$

Sowie einen indirekten Gesundheitsnutzen von  $1.7 * 10^{-4}$  DALY:  
 $-1.7 * 10^{-4} \text{ DALY} = -1'040 \text{ CHF} * 1.67 * 10^{-7} \text{ DALY} / \text{CHF}$

### **Entfernung**

Kein Unterschied mit der Ausnahme einer zusätzlichen Maskentragpflicht.

Diese Massnahme führt zu rund 42 CHF Mehrkosten / t Teerkork  
 $42 \text{ CHF} = 20 \text{ CHF} / 100 \text{ m}^2 * 50 \% \text{ (mit } 800 \text{ kg} / \text{m}^3 \text{ und } 3\text{mm Dicke)}.$

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 3'300 UBP:  
 $3'300 \text{ UBP} = 42 \text{ CHF} * 80 \text{ UBP}$

sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $5.0 * 10^{-6}$  DALY:  
 $5.0 * 10^{-6} \text{ DALY} = 42 \text{ CHF} * 1.2 * 10^{-7} \text{ DALY} / \text{CHF}$

### **Entsorgung**

100 % dosierte Entsorgung in KVA statt wie heute 50 % in Deponie, 35 % in KVA, 10 % in SAVA und 5 % in thermische Verwertung.

Dank der konsequenten dosierten Entsorgung in einer KVA werden zwar direkt keine PAK-Emissionen eingespart. Indirekt generieren die mit der Entsorgung verbundenen Veränderungen dank dem Heizwert von Teerkork und den damit verbundenen Energienutzungsgutschriften in der KVA einen Umweltnutzen von 14'400 UBP / t und einen Gesundheitsnutzen von  $4.02 * 10^{-4}$  DALY / t Teerkork.

Zudem können auch Entsorgungskosten in der Höhe von 212 CHF / t Teerkork eingespart werden.

### **Insgesamt**

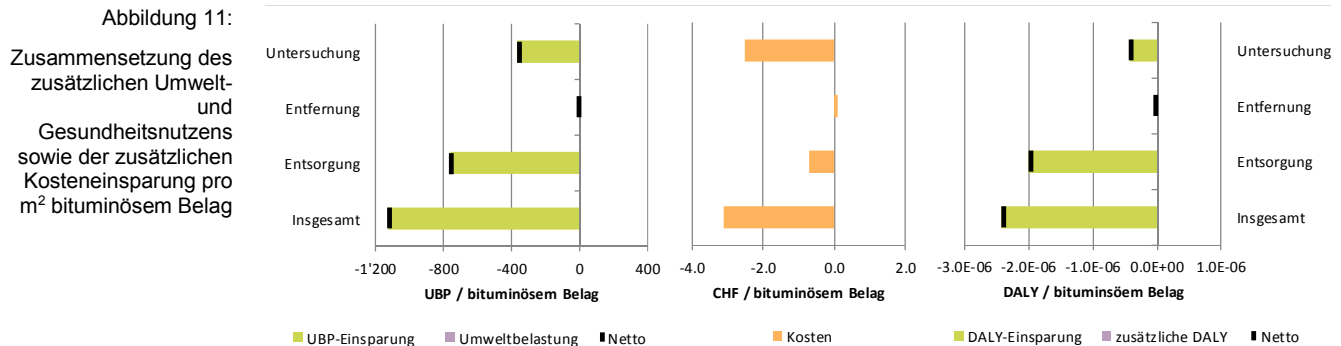
Das Resultat ist geprägt von der Veränderung der Sanierungspraxis im Entsorgungsschritt und im Untersuchungsschritt. Insgesamt ist der Umweltnutzen der Änderung der Sanierungspraxis rund 90 Mal höher als die damit einhergehende Umweltbelastung des zusätzlichen Aufwands. Der Umweltnutzen liegt bei 29'000 UBP / t Teerkork.

Die Kosteneinsparungen (Untersuchung und Entsorgung) sind rund 30 Mal höher als die zusätzlichen Kosten bei der Entfernung. Insgesamt ergibt sich eine Kosteneinsparung von 1'200 CHF / t Teerkork.

Der Gesundheitsnutzen ist zu zwei Drittel geprägt vom Entsorgungsschritt und zu einem Drittel von der Untersuchung. Insgesamt resultiert ein Gesundheitsnutzen von  $5.7 \cdot 10^{-4}$  DALY / t Teerkork.

#### 6.2.4. Einstufung und Entsorgung PAK-haltiger Dichtungsbahnen

Abbildung 11 zeigt wie sich der Umweltnutzen, die Kosten und der Gesundheitsnutzen der folgenden Änderungen der Sanierungspraxis gegenüber heute zusammensetzen:



#### Untersuchung

100 % statt wie heute 50 % werden untersucht mittels Einstufung.

Dank der Einstufung ist in Zukunft mit einer Kostenreduktion in der Höhe von 2.5 CHF pro m<sup>2</sup> Belag zu rechnen:

$$-2.5 \text{ CHF} = 500 \text{ CHF} / 100 \text{ m}^2 \text{ Belag} \cdot -50 \%$$

Das generiert eine indirekte UBP-Einsparung von 365 UBP:

$$-365 \text{ UBP} = -2.5 \text{ CHF} \cdot 146 \text{ UBP} / \text{CHF}$$

Sowie einen indirekten Gesundheitsnutzen von  $4.2 \cdot 10^{-7}$  DALY:

$$4.2 \cdot 10^{-7} \text{ DALY} = -2.5 \text{ CHF} \cdot 1.67 \cdot 10^{-7} \text{ DALY} / \text{CHF}$$

#### Entfernung

Kein Unterschied mit der Ausnahme einer zusätzlichen Maskentragpflicht

Diese Massnahme führt zu rund 0.1 CHF Mehrkosten / m<sup>2</sup> Belag

$$0.1 \text{ CHF} = 20 \text{ CHF} / 100 \text{ m}^2 \cdot 50\%$$

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 8 UBP:

$$8 \text{ UBP} = 0.1 \text{ CHF} \cdot 80 \text{ UBP}$$

Sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $1.2 \cdot 10^{-8}$  DALY:

$$1.2 \cdot 10^{-8} \text{ DALY} = 0.1 \text{ CHF} \cdot 1.2 \cdot 10^{-7} \text{ DALY} / \text{CHF}$$

**Entsorgung**

100 % in KVA statt wie heute 50 % in Deponie, 35 % in KVA, 10 % in SAVA und 5 % in thermische Verwertung

Dank der konsequenten dosierten Entsorgung in einer KVA werden zwar direkt keine PAK-Emissionen eingespart. Indirekt generieren die mit der Entsorgung verbundenen Veränderungen dank dem Heizwert von bituminösen Dichtungsbahnen und der damit verbundenen Energienutzungsgutschrift in der KVA eine UBP-Einsparung von 760 UBP / m<sup>2</sup> und einen Gesundheitsnutzen von  $2.0 \cdot 10^{-6}$  DALY / m<sup>2</sup>.

Zudem können auch Entsorgungskosten in der Höhe von 0.7 CHF / m<sup>2</sup> Belag eingespart werden.

**Insgesamt**

Das Resultat ist geprägt von der Veränderung der Sanierungspraxis im Entsorgungsschritt (rund zwei Drittel) und im Entfernungsschritt (rund ein Drittel). Insgesamt ist der Umweltnutzen der Änderung der Sanierungspraxis rund 140 Mal höher als die damit einhergehende Umweltbelastung des zusätzlichen Aufwands. Der Umweltnutzen liegt bei 1'100 UBP / m<sup>2</sup> Belag.

Die Kosteneinsparungen (Untersuchung und Entsorgung) sind rund 30 Mal höher als die zusätzlichen Kosten bei der Entfernung. Insgesamt erfolgt eine Kosteneinsparung von 3.1 CHF / m<sup>2</sup> Belag.

Der Gesundheitsnutzen ist zu 80 % geprägt vom Entsorgungsschritt und zu 20 % von der Untersuchung.

Insgesamt resultiert ein Gesundheitsnutzen von  $2.4 \cdot 10^{-6}$  DALY / m<sup>2</sup> Belag.

## 6.3. Gruppe B: Umweltbelastung und Kosteneinsparung

Keine der betrachteten Veränderungen der Sanierungspraxis weist eine Umweltbelastung auf bei gleichzeitiger Kosteneinsparung.

## 6.4. Gruppe C: Umweltbelastung und zusätzliche Kosten

Folgende zusätzliche Sanierungsanstrengungen lohnen sich weder aus Umweltsicht noch aus Kostensicht und werden aus diesen Aspekten nicht empfohlen:

- Untersuchung und Entsorgung bleihaltiger Bodenbeläge
- Fachgerechte Untersuchung und Entfernung von asbesthaltigem Fensterkitt
- Fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Fliesenklebern
- Fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Verputzen & Spachtelmassen

Tabelle 6 listet den jeweiligen Umweltnutzen und die Kosteneinsparung pro betrachtete Sanierungseinheit auf.

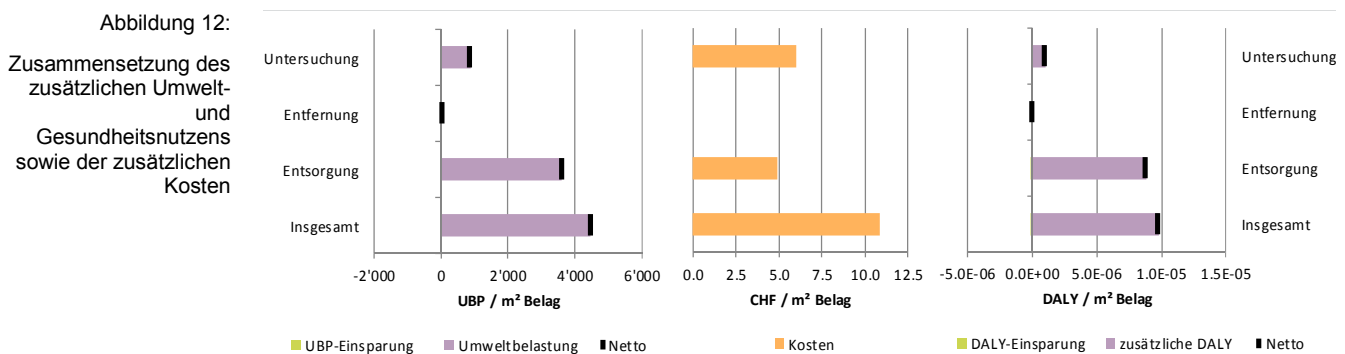
Tabelle 6:  
Übersicht Umweltbelastung und Kosten

| Sanierung                                                               | Einheit               | Umweltbelastung in Mio. UBP/Einheit        | Kosten in CHF/Einheit             | Gesundheits-schädigung in $\mu$ -DALY/Einheit |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------|
| Untersuchung und Entsorgung bleihaltiger Bodenbeläge                    | m <sup>2</sup> Belag  | Mean: 0.005<br>Min: 0.002<br>Max: 0.015    | Mean: 11<br>Min: 4<br>Max: 17     | Mean: 9.8<br>Min: 3<br>Max: 40                |
| Fachgerechte Untersuchung und Entfernung von asbesthaltigem Fensterkitt | m Fensterkitt         | Mean: 0.0003<br>Min: 0.0002<br>Max: 0.0004 | Mean: 5.6<br>Min: 3<br>Max: 8     | Mean: 0.5<br>Min: 0.3<br>Max: 0.8             |
| Fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Fliesenklebern                | m <sup>2</sup> Fläche | Mean: 0.006<br>Min: 0.002<br>Max: 0.015    | Mean: 248<br>Min: 200<br>Max: 280 | Mean: 13<br>Min: 6<br>Max: 20                 |
| Fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Verputzen & Spachtelmassen    | m <sup>2</sup> Fläche | Mean: 0.002<br>Min: 0.001<br>Max: 0.003    | Mean: 99<br>Min: 60<br>Max: 130   | Mean: 7<br>Min: 3<br>Max: 15                  |

Im Folgenden werden die Auswirkungen der Veränderungen der Sanierungspraxis für jeden einzelnen Bauabfall der Gruppe C beschrieben.

#### 6.4.1. Bleihaltige Boden- und Dachbeläge

Abbildung 12 zeigt wie sich der Umweltnutzen, die Kosten und die Gesundheitsschädigung der folgenden Änderungen der Sanierungspraxis gegenüber heute zusammensetzen:



#### Untersuchung

100 % statt wie heute 0 % werden untersucht mittels Beprobung

Es ist mit zusätzlichen Kosten in der Höhe von 300 CHF pro 50 m² zu rechnen respektive mit 6 CHF / m²:

$$6 \text{ CHF} = 300 \text{ CHF} / 50 \text{ m}^2 * 100 \%$$

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 880 UBP:

$$880 \text{ UBP} = 6 \text{ CHF} * 146 \text{ UBP} / \text{CHF}$$

Sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $1.0 \cdot 10^{-6}$  DALY:

$$1.0 \cdot 10^{-6} \text{ DALY} = 6 \text{ CHF} * 1.67 \cdot 10^{-7} \text{ DALY} / \text{CHF}$$

#### Entfernung

Keine Unterschiede.

#### Entsorgung

100 % Entsorgung in SAVA statt in KVA.

Die Entsorgung in der SAVA spart im Vergleich zur Entsorgung in der KVA nur minimale Bleimissionen von rund  $0.06 \mu\text{g} / \text{m}^2$  entsorgtem Belag. Dies entspricht einer UBP-Einsparung von 0.0008 UBP:

$$0.0008 \text{ UBP} = 0.06 \mu\text{g} / \text{m}^2 * 12.9 \text{ Mio. UBP} / \text{kg Blei}$$

Und einer Gesundheitseinsparung von  $2.2 \cdot 10^{-6}$  DALY:

$$2.2 \cdot 10^{-6} \text{ DALY} = 0.06 \mu\text{g} / \text{m}^2 * 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ DALY} / \text{kg Blei}.$$

Dafür ist die Entsorgung in einer SAVA anderweitig mit höheren Emissionen verbunden und die Abwärme wird nicht genutzt. Dies führt zu einer zusätzlichen Umweltbelastung von 3'600 UBP / m<sup>2</sup> Belag:

$$3'600 \text{ UBP} = (1'500 \text{ UBP} - 304 \text{ UBP}) * 3 \text{ kg} / \text{m}^2 \text{ Belag} * 100 \%$$

Sowie zu einer zusätzlichen Gesundheitsschädigung von  $8.8 * 10^{-6}$  DALY / m<sup>2</sup> Belag:

$$8.8 * 10^{-6} \text{ DALY} = (4.1 * 10^{-6} \text{ DALY} - 1.1 * 10^{-6} \text{ DALY}) * 3 \text{ kg} / \text{m}^2 \text{ Belag} * 100 \%$$

Die zusätzlichen Kosten liegen bei

$$4.9 \text{ CHF} / \text{m}^2 \text{ Belag} = (1'800 \text{ CHF} / \text{t} - 170 \text{ CHF} / \text{t}) * 3 \text{ kg} / \text{m}^2 \text{ Belag}.$$

### **Insgesamt**

Aus Umweltbelastungssicht ist das Resultat zu 80 % geprägt von der Veränderung der Praxis im Entsorgungsschritt und zu 20 % vom Untersuchungsschritt. Insgesamt ist der Umweltnutzen der Änderung der Sanierungspraxis vernachlässigbar klein im Vergleich zur damit einhergehenden Umweltbelastung des zusätzlichen Aufwands. Die Umweltbelastung liegt insgesamt bei 4'500 UBP / m<sup>2</sup> Belag.

Hinsichtlich Kosten trägt die Veränderung im Untersuchungsschritt und die Veränderung bei der Entsorgung gleichermassen bei. Die zusätzlichen Kosten belaufen sich insgesamt auf 11 CHF / m<sup>2</sup> Belag.

Bezüglich Gesundheitsschädigung ist das Resultat grösstenteils geprägt von der Veränderung der Sanierungspraxis im Entsorgungsschritt und nur geringfügig vom Untersuchungsschritt. Die DALY-Einsparungen sind vernachlässigbar klein im Vergleich zu den zusätzlich generierten DALYs. Damit resultiert insgesamt eine Gesundheitsschädigung von  $9.8 * 10^{-6}$  DALY.

## **6.4.2. Sanierung von asbesthaltigen Materialien**

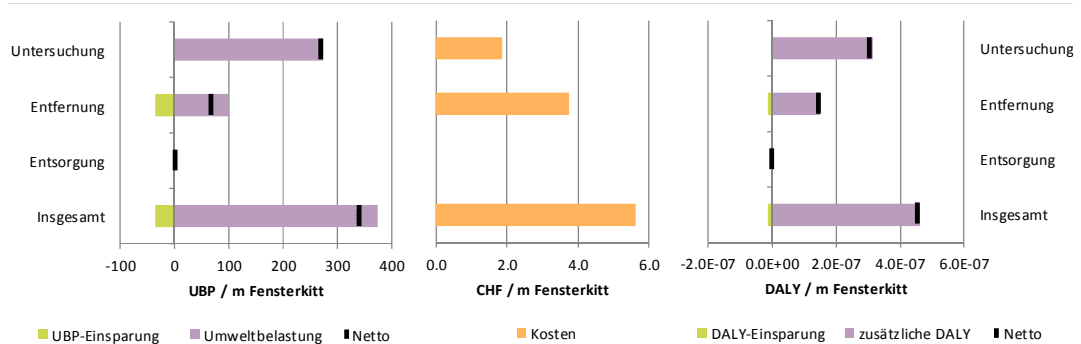
In diesem Kapitel werden die Sanierungen der folgenden Anwendungen von Asbest betrachtet:

- Asbesthaltiger Fensterkitt
- Asbesthaltige Fliesenkleber
- Asbesthaltige Verputze & Spachtelmassen

### **A. Fachgerechte Untersuchung und Entfernung von asbesthaltigem Fensterkitt**

Abbildung 13 zeigt wie sich der Umweltnutzen, die Kosten und die Gesundheitsschädigung der folgenden Änderungen der Sanierungspraxis gegenüber heute zusammensetzen:

Abbildung 13:  
Zusammensetzung des  
zusätzlichen Umwelt-  
und  
Gesundheitsnutzens  
sowie der zusätzlichen  
Kosten



### Untersuchung

100 % statt wie heute 75 % werden mittels Beprobung untersucht.

Es ist mit zusätzlichen Kosten in der Höhe von 300 CHF pro 40 m zu untersuchendem Fensterkitt zu rechnen respektive mit 1.9 CHF / m:

$$1.9 \text{ CHF} = 300.-/40 \text{ m} * (100 \% - 75 \%).$$

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 270 UBP / m:

$$270 \text{ UBP} / \text{m} = 1.9 \text{ CHF} * 146 \text{ UBP} / \text{CHF}$$

Sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $3.1 \cdot 10^{-7}$  DALY:

$$3.1 \cdot 10^{-7} \text{ DALY} / \text{m} = 1.9 \text{ CHF} * 1.67 \cdot 10^{-7} \text{ DALY} / \text{CHF}$$

### Entfernung

100 % statt wie heute 75 % werden fachgerecht entfernt.

Dank der vollständig fachgerechten Entfernung können 900 LAF / m Fensterkitt vermieden werden:  $900 \text{ LAF} = 3'600 \text{ LAF} * 25 \%$ .

Das entspricht einer UBP-Einsparung von 35 UBP / m:

$$35 \text{ UBP} / \text{m} = 900 \text{ LAF} / \text{m} * 0.0385 \text{ UBP} / \text{LAF}$$

Sowie einer DALY-Einsparung von  $1.1 \cdot 10^{-8}$  DALY:

$$1.1 \cdot 10^{-8} \text{ DALY} / \text{m} = 900 \text{ LAF} / \text{m} * 1.3 \cdot 10^{-11} \text{ DALY} / \text{LAF}$$

Es ist mit zusätzlichen Entfernungskosten von rund 3.8 CHF pro m zu rechnen:

$$3.8 \text{ CHF} / \text{m} = 15 \text{ CHF} * 25 \%.$$

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 100 UBP / m:

$$100 \text{ UBP} / \text{m} = 3.8 \text{ CHF} * 26.7 \text{ UBP} / \text{CHF}$$

Sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $1.5 \cdot 10^{-7}$  DALY / m:

$$1.5 \cdot 10^{-7} \text{ DALY} / \text{m} = 3.8 \text{ CHF} * 4.0 \cdot 10^{-8} \text{ DALY} / \text{CHF}$$

## Entsorgung

Keine Unterschiede.

## Insgesamt

Das Resultat ist grösstenteils geprägt von der Veränderung der Sanierungspraxis im Untersuchungsschritt und teilweise vom Entfernungsschritt. Die Veränderung in der Entsorgung ist nicht relevant.

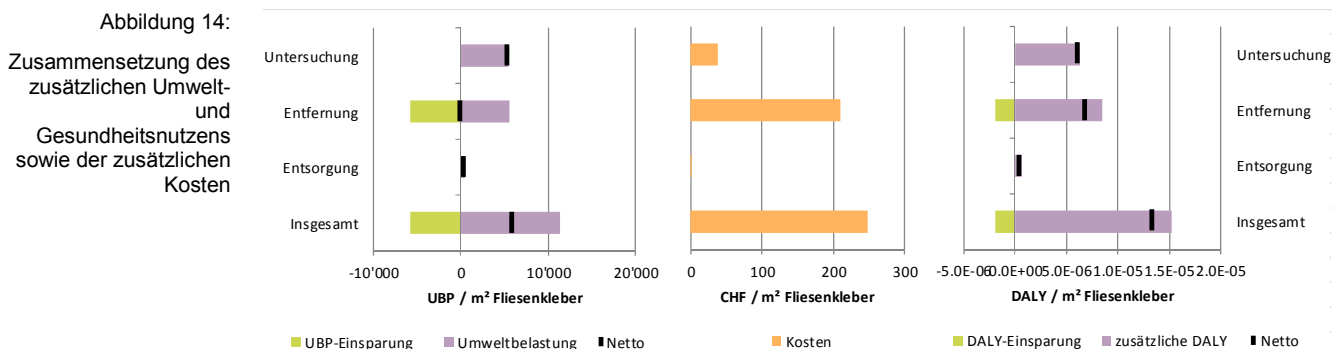
Insgesamt ist die UBP-Einsparung durch die Änderung der Sanierungspraxis rund 10 Mal tiefer als die damit einhergehende Umweltbelastung des zusätzlichen Aufwands. Die zusätzliche Umweltbelastung liegt insgesamt bei 340 UBP / m Fensterkitt.

Die zusätzlichen Kosten belaufen sich insgesamt auf 5.6 CHF / m Fensterkitt.

Die DALY-Einsparungen sind rund 50 Mal kleiner als die zusätzlich generierten DALYs. Damit resultiert insgesamt eine Gesundheitsschädigung von  $4.5 \cdot 10^{-7}$  DALY / m.

## B. Fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Fliesenklebern

Abbildung 14 zeigt wie sich der Umweltnutzen, die Kosten und die Gesundheitsschädigung der folgenden Änderungen der Sanierungspraxis gegenüber heute zusammensetzen:



## Untersuchung

100 % statt wie heute 30 % werden mittels Beprobung untersucht.

Es ist mit zusätzlichen Kosten in der Höhe von 800 CHF pro 15 m² zu untersuchen-dem Fliesenkleber zu rechnen respektive mit 37 CHF / m²:

$$37 \text{ CHF / m}^2 = 800 \text{ CHF / 15 m}^2 \cdot (100 \% - 30 \%).$$

Dies generiert eine indirekte Umweltbelastung von 5'400 UBP:

$$5'400 \text{ UBP / m}^2 = 37.3 \text{ CHF} \cdot 146 \text{ UBP / CHF}$$



Sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $6.2 \cdot 10^{-6}$  DALY:  
 $6.2 \cdot 10^{-6} \text{ DALY} / \text{m}^2 = 37.3 \text{ CHF} \cdot 1.67 \cdot 10^{-7} \text{ DALY} / \text{CHF}$

### **Entfernung**

100 % statt wie heute 30 % werden fachgerecht entfernt.

Dank der vollständig fachgerechten Entfernung können rund 150'000 LAF /  $\text{m}^2$  Fliesenkleber vermieden werden:

$$151'200 \text{ LAF} / \text{m}^2 = 216'000 \text{ LAF} \cdot (100 \% - 30 \%).$$

Das entspricht einer UBP-Einsparung von 5'800 UBP:  
 $5'800 \text{ UBP} / \text{m}^2 = 151'200 \text{ LAF} / \text{m}^2 \cdot 0.0385 \text{ UBP} / \text{LAF}$

Sowie einer DALY-Einsparung von  $1.9 \cdot 10^{-6}$  DALY:  
 $1.9 \cdot 10^{-6} \text{ DALY} / \text{m}^2 = 151'200 \text{ LAF} / \text{m}^2 \cdot 1.3 \cdot 10^{-11} \text{ DALY} / \text{LAF}$

Es ist mit zusätzlichen Entfernungskosten von rund 210 CHF pro  $\text{m}^2$  zu rechnen:  
 $210 \text{ CHF} = 300 \text{ CHF} \cdot 70 \%$ .

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 5'600 UBP /  $\text{m}^2$ :  
 $5'600 \text{ UBP} = 210 \text{ CHF} \cdot 26.7 \text{ UBP} / \text{CHF}$

Sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $8.4 \cdot 10^{-6}$  DALY:  
 $8.4 \cdot 10^{-6} \text{ DALY} = 210 \text{ CHF} \cdot 4.0 \cdot 10^{-8} \text{ DALY} / \text{CHF}$ .

### **Entsorgung**

100 % Verpackung in Big Bag statt nur 30 %.

Die vollständige Verpackung in Big Bags hat keine Reduktion von Asbest-Emissionen zur Folge.

Es ist jedoch mit zusätzlichen Kosten von 8.4 CHF /  $\text{m}^2$  zu rechnen:  
 $8.4 \text{ CHF} = 11.4 \text{ CHF} \cdot (100 \% - 30 \%)$ .

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 380 UBP sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $5.6 \cdot 10^{-7}$  DALY.

### **Insgesamt**

Das Resultat ist geprägt von der Veränderung der Sanierungspraxis im Untersuchungs- und Entfernungsschritt. Die Veränderung in der Entsorgung ist nicht relevant.

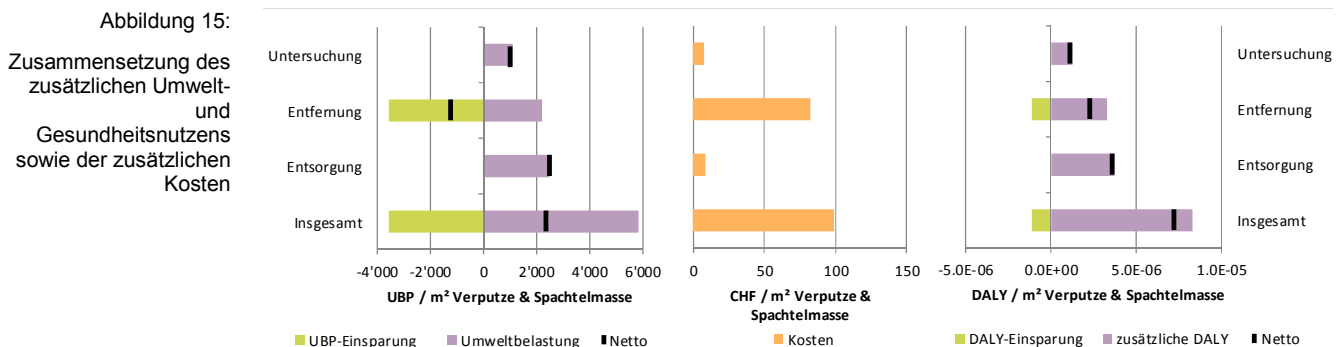
Insgesamt ist die UBP-Einsparung der Änderung der Sanierungspraxis rund halb so hoch wie die damit einhergehende Umweltbelastung des zusätzlichen Aufwands. Die Umweltbelastung liegt insgesamt bei 5'600 UBP /  $\text{m}^2$  Fliesenkleber.

Die zusätzlichen Kosten belaufen sich insgesamt auf 250 CHF / m<sup>2</sup> Fliesenkleber.

Die DALY-Einsparungen sind rund 8 Mal kleiner als die zusätzlich generierten DALYs. Damit resultiert insgesamt eine Gesundheitsschädigung von  $1.3 \cdot 10^{-5}$  DALY.

### C. Fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Verputzen & Spachtelmas- sen

Abbildung 15 zeigt wie sich der Umweltnutzen, die Kosten und die Gesundheitsschädigung der folgenden Änderungen der Sanierungspraxis gegenüber heute zusammensetzen:



#### Untersuchung

100 % statt wie heute 5 % werden mittels Beprobung untersucht.

Es ist mit zusätzlichen Kosten in der Höhe von 1'200 CHF pro 150 m<sup>2</sup> zu untersuchender Verputz- oder Spachtelmasse zu rechnen respektive mit 9.5 CHF / m<sup>2</sup>:  
 $9.5 \text{ CHF / m}^2 = 1200 \text{ CHF / 150 m}^2 \cdot (100 \% - 5 \%)$ .

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 1'100 UBP / m<sup>2</sup>:  
 $1'100 \text{ UBP} = 9.5 \text{ CHF} \cdot 146 \text{ UBP / CHF}$

Sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $1.3 \cdot 10^{-7}$  DALY / m<sup>2</sup>:  
 $1.3 \cdot 10^{-7} \text{ DALY} = 9.5 \text{ CHF} \cdot 1.67 \cdot 10^{-7} \text{ DALY / CHF}$

#### Entfernung

100 % statt wie heute 5 % werden fachgerecht entfernt.

Dank der fast vollständig fachgerechten Entfernung kann die Emission von rund 92'000 LAF / m<sup>2</sup> Verputz & Spachtelmasse vermieden werden:  
 $92'340 \text{ LAF} = 97'200 \text{ LAF} \cdot 95 \%$ .

Das entspricht einem Umweltnutzen von 3'550 UBP:  
 $3'550 \text{ UBP} = 92'340 \text{ LAF / m}^2 \cdot 0.0385 \text{ UBP / LAF}$



Sowie einer DALY-Reduktion von  $1.2 \cdot 10^{-6}$  DALY:

$$1.2 \cdot 10^{-6} \text{ DALY} = 92'340 \text{ LAF} / \text{m}^2 \cdot 1.3 \cdot 10^{-11} \text{ DALY} / \text{LAF}$$

Es ist mit zusätzlichen Entfernungskosten von rund 83 CHF pro  $\text{m}^2$  zu rechnen:

$$83 \text{ CHF} = 87 \text{ CHF} \cdot 95 \%$$

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 2'200 UBP /  $\text{m}^2$ :

$$2'200 \text{ UBP} = 83 \text{ CHF} \cdot 26.7 \text{ UBP} / \text{CHF}$$

Sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $3.3 \cdot 10^{-6}$  DALY /  $\text{m}^2$ :

$$3.3 \cdot 10^{-6} \text{ DALY} = 83 \text{ CHF} \cdot 4.0 \cdot 10^{-8} \text{ DALY} / \text{CHF}$$

### **Entsorgung**

100 % Verpackung in Big Bag statt nur 5 %.

Die vollständige Verpackung in Big Bags hat keine Reduktion der Asbest-Emissionen zur Folge.

Es ist jedoch mit zusätzlichen Kosten von 8 CHF /  $\text{m}^2$  zu rechnen:

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 2'500 UBP sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $2.3 \cdot 10^{-8}$  DALY.

### **Insgesamt**

Das Resultat ist geprägt von der Veränderung der Sanierungspraxis im Entfernungs- und Entsorgungsschritt. Die Veränderung in der Untersuchung ist weniger relevant.

Insgesamt ist die UBP-Einsparung der Änderung der Sanierungspraxis rund 40 % tiefer als die damit einhergehende Umweltbelastung des zusätzlichen Aufwands. Die Umweltbelastung liegt insgesamt bei 2'300 UBP /  $\text{m}^2$  Verputze und Spachtelmasse.

Die zusätzlichen Kosten belaufen sich insgesamt auf 100 CHF /  $\text{m}^2$  Verputze und Spachtelmasse.

Die DALY-Einsparungen sind rund sieben Mal kleiner als die zusätzlich generierten DALYs. Damit resultiert insgesamt eine Gesundheitsschädigung von  $7.1 \cdot 10^{-6}$  DALY.

### **D. Bemerkung zu diesen Sanierungen von asbesthaltigen Materialien**

Alle drei untersuchten Szenarien zeigen, dass die schädlichen Auswirkungen sowohl auf die Gesundheit wie auch auf die Umwelt höher sind als die entsprechende Reduktion der Auswirkungen. Entsprechend können die Veränderungen in der Sanierungspraxis zumindest in dieser Form nicht empfohlen werden.

Zudem zeigen alle drei Szenarien, dass das Verhältnis von Schäden zu Nutzen bezüglich menschlicher Gesundheit wesentlich grösser ist als bezüglich der gesamten

Umwelt. Dies mag erstaunen, da die Sanierung von Asbest das Ziel hat die Gesundheit der Menschen zu schützen. Dabei ist zu beachten, dass auch die Aufwände für die Sanierung, Transporte, Energiebedarf oder Deponierung, mit Auswirkungen auf die Gesundheit verbunden sind, auch wenn diese im Allgemeinen nicht so wahrgenommen werden wie die mögliche Gefährdung durch Asbest. Der Grund dafür liegt vor allem darin, dass die möglichen Schäden von Asbest lokalisierbar sind, während die anderen Schäden diffus auftreten und ein viel grösseres Kollektiv von Menschen dafür mit geringeren Schäden pro Person betrifft.

## **6.5. Gruppe D:**

### **Umweltnutzen und zusätzliche Kosten**

Die zusätzlichen Sanierungsanstrengungen in dieser Gruppe lohnen sich aus Umweltsicht, sind jedoch mit zusätzlichen Kosten verbunden. Es handelt sich dabei um die folgenden schadstoffbelasteten Bauabfälle:

- Einstufung und Entsorgung HC-haltige Ölkeller
- Entsorgung von PCP-haltigem Holz
- Abschleifen und Entsorgung PCB-haltiger Metallfarben
- Abschleifen und Entsorgung PCB-haltiger Betonfarben
- Fachgerechte Sanierung von PCB-haltigen Fugendichtungen
- Fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Leichtbauplatten
- Fachgerechte Untersuchung und Entfernung von Asbestzement
- Entsorgung Spritzasbest in speziellem Deponiekompartment

Tabelle 7 listet den jeweiligen Umweltnutzen und die Kosten pro betrachtete Sanierungseinheit auf. In den folgenden zwei Kapiteln werden die Gründe, welche zu diesen Umweltnutzen und Kosten führen, erläutert.

Tabelle 7:  
Übersicht Umwelt-  
nutzen und Kostenein-  
sparung

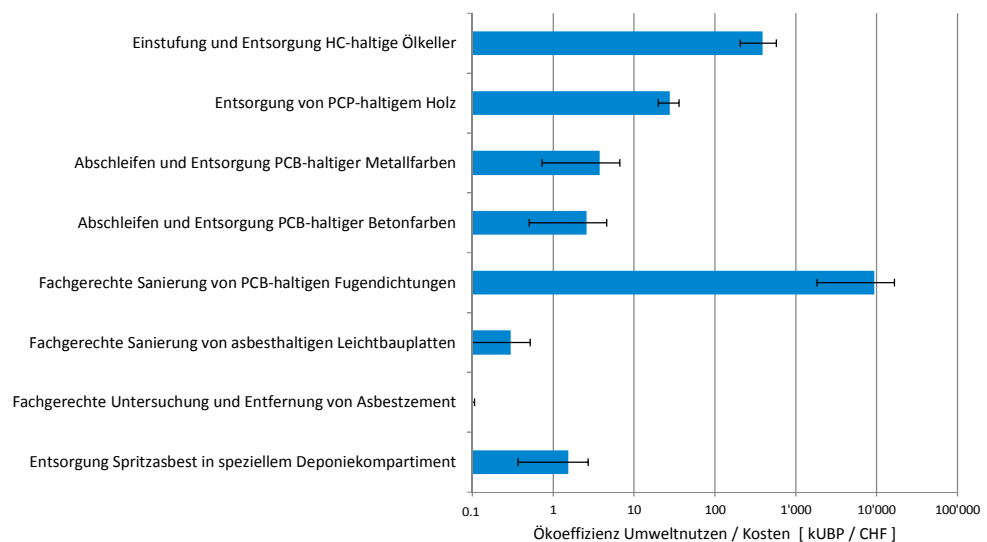
| <b>Sanierung</b>                                           | <b>Einheit</b>      | <b>Umweltnut-<br/>zen in Mio.<br/>UBP/Einheit</b> | <b>Kosten in<br/>CHF/Einheit</b>      | <b>Gesundheits-<br/>schädigung in<br/>µ-DALY/Einheit</b> |
|------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Einstufung und Entsorgung HC-haltiger Ölkeller             | t Beton             | Mean: 0.05<br>Min: 0.02<br>Max: 0.010             | Mean: 130<br>Min: 100<br>Max: 150     | Mean: 96<br>Min: 30<br>Max: 180                          |
| Entsorgung von PCP-haltigem Holz                           | kg Holz             | Mean: 0.002<br>Min: 0.0004<br>Max: 0.004          | Mean: 0.09<br>Min: 0<br>Max: 0.2      | Mean: -0.002<br>Min: -0.0002<br>Max: -0.0025             |
| Abschleifen und Entsorgung PCB-haltiger Metallfarben       | m² Metallfläche     | Mean: 0.3<br>Min: 0.06<br>Max: 0.9                | Mean: 73<br>Min: 40<br>Max: 100       | Mean: 3<br>Min: 0.6<br>Max: 10                           |
| Abschleifen und Entsorgung PCB-haltiger Betonfarben        | m² Betonfläche      | Mean: 0.3<br>Min: 0.06<br>Max: 0.6                | Mean: 132<br>Min: 70<br>Max: 170      | Mean: 7<br>Min: 0.7<br>Max: 20                           |
| Fachgerechte Sanierung von PCB-haltigen Fugendichtungen    | kg Fugenmasse       | Mean: 233<br>Min: 40<br>Max: 500                  | Mean: 25<br>Min: 15<br>Max: 35        | Mean: -564<br>Min: -100<br>Max: -1100                    |
| Fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Leichtbauplatten | m² Leichtbauplatten | Mean: 0.01<br>Min: 0.003<br>Max: 0.03             | Mean: 32<br>Min: 20<br>Max: 45        | Mean: -1.9<br>Min: 0.6<br>Max: 6                         |
| Fachgerechte Untersuchung und Entfernung von Asbestzement  | m² Asbestzement     | Mean: 0.0004<br>Min: 0.0002<br>Max: 0.001         | Mean: 7<br>Min: 5<br>Max: 9           | Mean: 0.1<br>Min: 0.03<br>Max: 0.2                       |
| Entsorgung Spritzasbest in speziellem Deponeurkompartiment | m² Spritzasbest     | Mean: 0.0001<br>Min: 0.00005<br>Max: 0.0002       | Mean: 0.01<br>Min: 0.005<br>Max: 0.02 | Mean: 0.01<br>Min: 0.005<br>Max: 0.02                    |

Mittels der Öko-Effizienzbetrachtung können die verschiedenen Veränderungen der Sanierungspraxis hinsichtlich ihrer Kosten-Nutzen-Effizienz verglichen werden. Abbildung 16 stellt den Umweltnutzen pro zusätzlich aufgewendetem Franken der verschiedenen Veränderungen dar:

- Am meisten Umweltnutzen pro Franken wird bei der fachgerechten Sanierung von bei PCB-haltigen Fugendichtungen erreicht (9.4 Mio. UBP / CHF).
- Rund 20-mal tiefer ist der Umweltnutzen der Einstufung und Entsorgung HC-haltiger Ölkellern (391'000 UBP / CHF).
- Nochmals 20-mal tiefer liegt die Ökoeffizienz der Entsorgung von PCP-haltigem Holz (28'000 UBP / CHF).

- Das Abschleifen und Entsorgen von PCB-haltigen Beton- und Metallfarben weisen eine Öko-Effizienz von rund 2'600–3'700 UBP / CHF auf.
- Die Entsorgung von Spritzasbest in einem speziellen Deponiekompartiment weist lediglich noch eine Ökoeffizienz von 1'600 UBP / CHF auf
- Am tiefsten ist die Öko-Effizienz der fachgerechten Sanierung von Leichtbauplatten (300 UBP / CHF) und Asbestzement (100 UBP / CHF).

Abbildung 16:  
Öko-Effizienz-  
betrachtung der  
verschiedenen  
zusätzlichen  
Sanierungsanstren-  
gungen  
  
ACHTUNG:  
logarithmische  
Darstellung



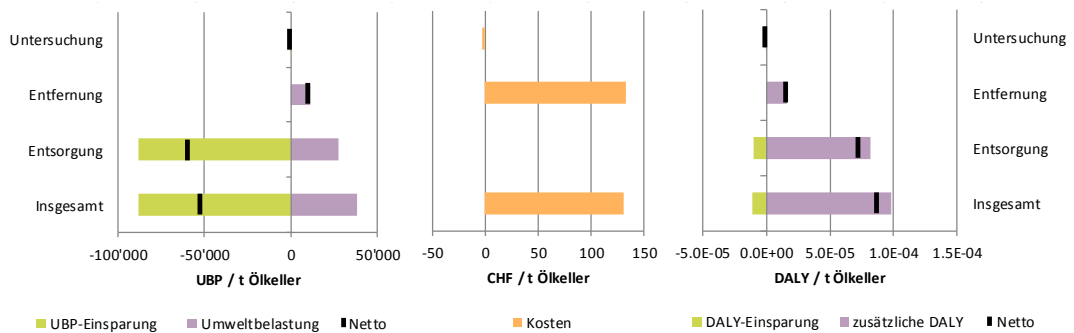
Zu beachten ist, dass die Unsicherheitsangaben aufgrund der logarithmischen Darstellung scheinbar sehr klein sind. Es handelt sich jedoch um ein Unsicherheiten, welche um Faktoren zwei bis drei kleiner oder grösser sein können.

Im Folgenden werden die Auswirkungen der Veränderungen für jeden einzelnen Bauabfall der Gruppe D beschrieben.

### 6.5.1. Einstufung und Entsorgung HC-haltige Ölkeller

Abbildung 17 zeigt wie sich der Umweltnutzen, die Kosten und die Auswirkungen auf die Gesundheit dieser Änderungen der Sanierungspraxis gegenüber heute zusammensetzen:

Abbildung 17:  
Zusammensetzung des  
zusätzlichen  
Umweltnutzens, der  
Gesundheits-  
schädigung sowie der  
zusätzlichen Kosten



#### Untersuchung

Es werden 100 % mittels Einstufung statt wie heute 20 % mittels Beprobung untersucht.

Die Einstufung erlaubt im Vergleich zur Beprobung eine Kosteneinsparung in der Höhe von 3.3 CHF pro t Ölkeller zu rechnen:

$$3.3 \text{ CHF} / \text{t} = 100 \text{ CHF} / \text{Ölkeller mit 6 t Beton / Keller} * 20 \%$$

Das generiert eine indirekte UBP-Einsparung von 49 UBP:

$$49 \text{ UBP} = 3.3 \text{ CHF} * 146 \text{ UBP} / \text{CHF}$$

Sowie einen indirekten Gesundheitsnutzen von  $5.6 \cdot 10^{-7}$  DALY:

$$5.6 \cdot 10^{-7} \text{ DALY} = 3.3 \text{ CHF} * 1.67 \cdot 10^{-7} \text{ DALY} / \text{CHF}$$

#### Entfernung

100 % Triage statt 20 % Triage und 80 % keine Abklärung (geht normalen Betonbauschuttweg).

Die Triage generiert zusätzliche Kosten in der Höhe von 133 CHF / t Beton:

$$133 \text{ CHF} / \text{t} = 1000 \text{ CHF} / \text{Keller mit 6 t Beton} * 20 \%$$

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 10'700 UBP:

$$10'700 \text{ UBP} = 133 \text{ CHF} * 80 \text{ UBP} / \text{CHF}$$

Sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $1.6 \cdot 10^{-5}$  DALY:

$$1.6 \cdot 10^{-5} \text{ DALY} = 133 \text{ CHF} * 1.2 \cdot 10^{-7} \text{ DALY} / \text{CHF}$$

### Entsorgung

100 % in Zementwerk statt 20 % in Zementwerk entsorgt und 80 % verdünnt entsorgt in Deponie

Dank der konsequenten Verwertung im Zementwerk können pro t Beton rund 16 kg TOC in einer Deponie eingespart werden. Das entspricht einer UBP-Einsparung von 88'000 UBP:

$$88'000 \text{ UBP} / \text{t} = 16 \text{ kg} / \text{t} * 5'500 \text{ UBP} / \text{kg TOC}.$$

Durch die Reduktion der Deponierung können rund  $1.0 * 10^{-5}$  DALY eingespart werden:

$$1.0 * 10^{-5} \text{ DALY} = 1.25 * 10^{-5} \text{ Daly} / \text{t in Deponie} * 80\%$$

Ein DALY-Faktor für TOC fehlt, so dass die Einsparung gleich Null ist.

Auf der anderen Seite werden im Zementwerk die HC-Moleküle zu  $59 \text{ kg CO}_2 / \text{t Beton}$  verbrannt. Das entspricht einer Umweltbelastung von 27'000 UBP:

$$27'000 = 59 \text{ kg} * 460 \text{ UBP} / \text{kg CO}_2$$

Sowie einer Gesundheitsschädigung von  $8.2 * 10^{-5}$  DALY:

$$8.2 * 10^{-5} \text{ DALY} = 59 \text{ kg} * 1.4 * 10^{-6} \text{ DALY} / \text{kg CO}_2.$$

Es wird angenommen, dass die Entsorgungskosten in etwa gleichbleiben.

### Insgesamt

Das Resultat ist geprägt von der Veränderung der Sanierungspraxis im Entsorgungsschritt. Insgesamt ist der Umweltnutzen durch diese Änderung der Sanierungspraxis rund 2.4 Mal höher als die damit einhergehende Umweltbelastung des zusätzlichen Aufwands. Der Umweltnutzen liegt bei rund 51'000 UBP / t Beton.

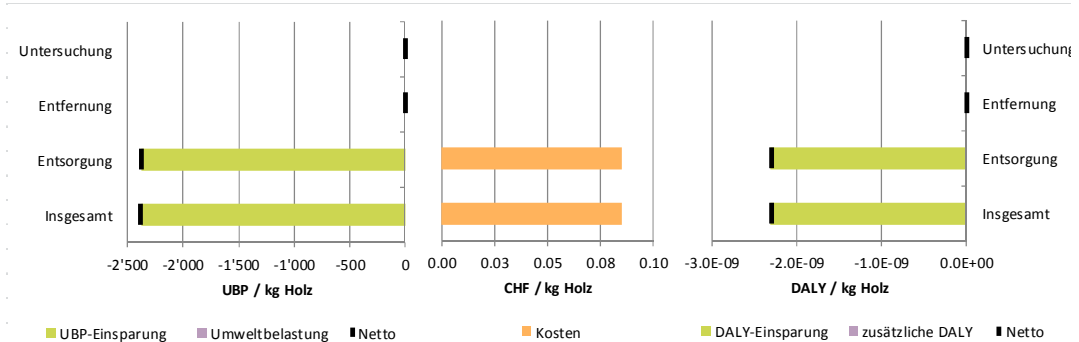
Zusätzliche Kosten fallen einzig beim Entfernungsschritt und an und betragen insgesamt 130 CHF / t Beton.

Die Auswirkungen auf die Gesundheit ist geprägt vom Entsorgungsschritt. Insgesamt ist die DALY-Einsparung rund 40 Mal kleiner als die zusätzlich generierten DALYs. Damit resultiert insgesamt eine Gesundheitsschädigung von  $9.6 * 10^{-5}$  DALY / t Beton. Dabei ist zu beachten, dass sich dieses Resultat auch auf Grund der fehlenden DALY Faktoren für TOC ergibt.

### 6.5.2. Entsorgung von PCP-haltigem Holz

Abbildung 18 zeigt wie sich der Umweltnutzen, die Kosten und die Auswirkungen auf die Gesundheit dieser Änderungen der Sanierungspraxis gegenüber heute zusammensetzen:

Abbildung 18:  
Zusammensetzung des  
zusätzlichen Umwelt-  
und  
Gesundheitsnutzens  
sowie der zusätzlichen  
Kosten



### Untersuchung

100 % statt wie heute 0 % werden untersucht mittels Einstufung.

Es ist mit keinen zusätzlichen Kosten zu rechnen.

### Entfernung

Kein Unterschied

### Entsorgung

100 % in KVA statt 50 % in KVA und 50 % ins Holzrecycling.

Dank der konsequenten Entsorgung in einer KVA können rund 30 µg PCP-Emissionen pro kg Holz in die Umwelt vermieden werden:

$30 \mu\text{g PCP} / \text{kg} = 60 \mu\text{g PCP} / \text{kg} * (100\% - 50 \%)$ .

Da PCP in der Regel mit rund 0.1 % Dioxin verunreinigt sind, können somit auch 3 µg Dioxinmissionen eingespart werden.

Das entspricht einer UBP-Einsparung von 2'400 UBP:

$2'400 \text{ UBP} / \text{kg} = 30 \mu\text{g} * 79 \text{ Mia. UBP} / \text{kg}$

Sowie einer DALY-Einsparung von  $2.3 * 10^{-9}$  DALY:

$2.3 * 10^{-9} \text{ DALY} / \text{kg} = 30 \mu\text{g} * 0.077 \text{ DALY} / \text{kg}$

Die zusätzlichen Entsorgungskosten liegen bei 0.09 CHF pro kg Holz. Die mit der Entsorgung verbundenen Aufwände wurden auf 0 gesetzt mit der Begründung, dass das Holz auch heute bereits früher oder später in einer KVA entsorgt wird (nach dem Recycling).

### Insgesamt

Das Resultat ist geprägt von der Veränderung der Sanierungspraxis im Entsorgungsschritt. Der Umweltnutzen liegt bei 2'370 UBP / kg Holz.

Zusätzliche Kosten fallen einzig beim Entsorgungsschritt an und betragen 0.09 CHF / kg Holz.

Auch der Gesundheitsnutzen ist geprägt vom Entsorgungsschritt. Insgesamt resultiert ein Gesundheitsnutzen von  $2.3 \cdot 10^{-9}$  DALY / kg Holz.

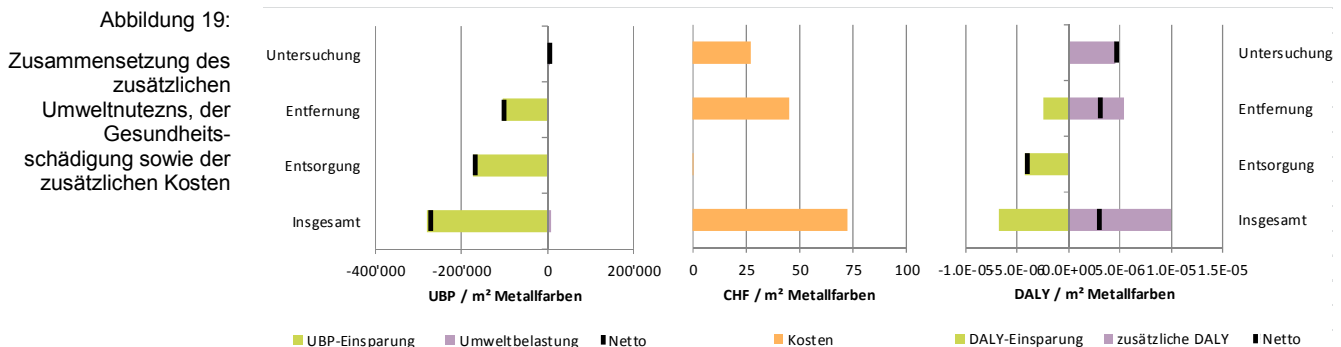
### 6.5.3. PCB-haltige Baumaterialien

In diesem Kapitel werden die folgenden, möglichen Veränderungen untersucht:

- Abschleifen und Entsorgung PCB-haltiger Metallfarben
- Abschleifen und Entsorgung PCB-haltiger Betonfarben
- Fachgerechte Sanierung von PCB-haltigen Fugendichtungen

#### A. Abschleifen und Entsorgung PCB-haltiger Metallfarben

Abbildung 19 zeigt wie sich der Umweltnutzen, die Kosten und die Auswirkungen auf die Gesundheit dieser Änderungen der Sanierungspraxis gegenüber heute zusammensetzen:



#### Untersuchung

100 % statt wie heute 10 % werden mittels Beprobung untersucht.

Es ist mit zusätzlichen Kosten in der Höhe von 27 CHF pro m² Metallfarben zu rechnen:

$$27 \text{ CHF / m}^2 = 30 \text{ CHF} * (100 \% - 10 \%)$$

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 3'900 UBP:

$$3'900 \text{ UBP / m}^2 = 27 \text{ CHF / m}^2 * 146 \text{ UBP / CHF}$$

sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $4.5 \cdot 10^{-6}$  DALY:

$$4.5 \cdot 10^{-6} \text{ DALY / m}^2 = 27 \text{ CHF / m}^2 * 1.67 \cdot 10^{-7} \text{ DALY / CHF}$$



### Entfernung

100 % statt wie heute 10 % werden fachgerecht entfernt.

Dank der vollständig fachgerechten Entfernung können 7 mg PCB-Emissionen in die Umwelt / m<sup>2</sup> Metallfarben vermieden werden.

Das entspricht einem Umweltnutzen von 104'000 UBP:

$$104'000 \text{ UBP} = 7 \text{ mg} * 15.7 \text{ Mia. UBP / kg}$$

sowie einer DALY-Einsparung von  $2.5 \cdot 10^{-6}$  DALY:

$$2.5 \cdot 10^{-6} \text{ DALY} = 7 \text{ mg} * 0.38 \text{ DALY / kg}$$

Es ist mit zusätzlichen Entfernungskosten von rund 45 CHF pro m<sup>2</sup> Metallfarben zu rechnen:

$$45 \text{ CHF / m}^2 = 50 \text{ CHF} * 90 \%$$

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 3'600 UBP:

$$3'600 \text{ UBP / m}^2 = 45 \text{ CHF} * 80 \text{ UBP / CHF}$$

Sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $5.4 \cdot 10^{-6}$  DALY:

$$5.4 \cdot 10^{-6} \text{ DALY / m}^2 = 45 \text{ CHF} * 1.2 \cdot 10^{-7} \text{ DALY / CHF}$$

### Entsorgung

100 % statt 10 % der abgeschliffenen Metallfarbe wird in einer SAVA entsorgt statt mit dem Metall rezykliert.

Dank der Entsorgung in einer SAVA können rund 11.1 mg PCB-Emissionen in die Umwelt vermieden werden.

Das entspricht einem Umweltnutzen von 175'000 UBP:

$$175'000 \text{ UBP / m}^2 = 11.1 \text{ mg} * 15.7 \text{ Mia. UBP / kg}$$

Sowie einer DALY-Einsparung von  $4.2 \cdot 10^{-6}$  DALY:

$$4.2 \cdot 10^{-6} \text{ DALY / m}^2 = 11.1 \text{ mg} * 0.38 \text{ DALY / kg}$$

Die zusätzlichen Entsorgungskosten liegen bei 0.45 CHF pro m<sup>2</sup> Metallfarben. Die mit der Entsorgung verbundenen Aufwände generieren eine Umweltbelastung von 70 UBP / m<sup>2</sup> und eine Gesundheitsschädigung von  $1.8 \cdot 10^{-7}$  DALY / m<sup>2</sup>.

### Insgesamt

Die Reduktion der Umweltauswirkungen ergeben sich zu rund Drittel auf Grund der Veränderung der Sanierungspraxis im Entsorgungsschritt und zu einem Drittel im Entfernungsschritt. Insgesamt ist der Umweltnutzen durch die Änderung der Sanierungs-

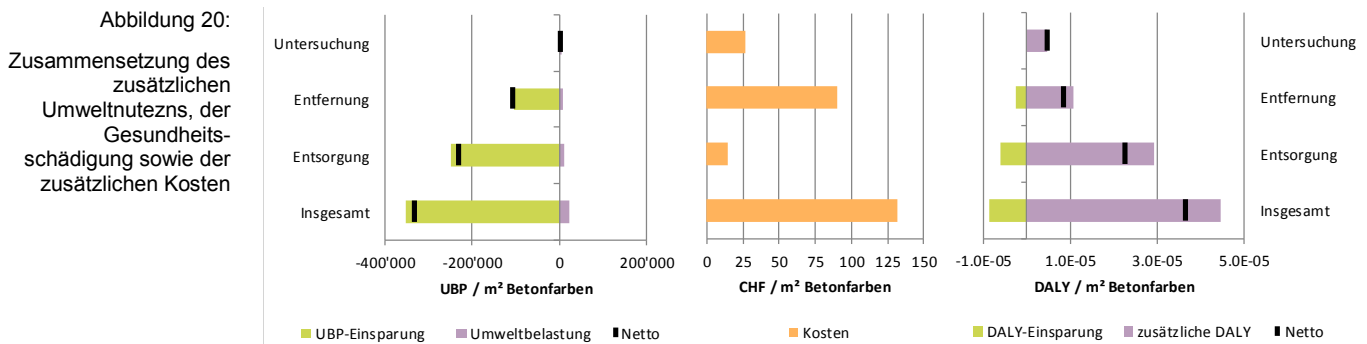
praxis rund 35 Mal höher als die damit einhergehende Umweltbelastung des zusätzlichen Aufwands. Der Umweltnutzen liegt bei 272'000 UBP / m<sup>2</sup> Metallfarben.

Zu den zusätzlichen Kosten von 73 CHF / m<sup>2</sup> Metallfarben trägt die Veränderung im Entfernungsschritt zu zwei Drittel und die Veränderung im Untersuchungsschritt zu einem Drittel bei.

Beim Gesundheitsnutzen tragen alle drei Sanierungsschritte entscheidend zum Resultat bei. Insgesamt ist die DALY-Einsparung rund einen Drittel kleiner als die zusätzlich generierten DALYs. Damit resultiert insgesamt eine Gesundheitsschädigung von  $3.2 \cdot 10^{-6}$  DALY / m<sup>2</sup> Metallfarben. Aus dem Fokus «menschliche Gesundheit» alleine kann diese Veränderung nicht empfohlen werden. Der Nutzen ergibt sich erst bei Betrachtung der gesamten Umweltauswirkungen.

## B. Abschleifen und Entsorgung PCB-haltiger Betonfarben

Abbildung 20 zeigt wie sich der Umweltnutzen, die Kosten und die Auswirkungen auf die Gesundheit dieser Änderungen der Sanierungspraxis gegenüber heute zusammensetzen:



### Untersuchung

100 % statt wie heute 10 % werden mittels Beprobung untersucht.

Es ist mit zusätzlichen Kosten in der Höhe von 27 CHF pro m<sup>2</sup> Betonfarben zu rechnen:

$$27 \text{ CHF / m}^2 = 30 \text{ CHF} \cdot (100 \% - 10 \%)$$

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 3'940 UBP:

$$3'940 \text{ UBP / m}^2 = 27 \text{ CHF} \cdot 146 \text{ UBP / CHF}$$

Sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $4.5 \cdot 10^{-6}$  DALY:

$$4.5 \cdot 10^{-6} \text{ DALY / m}^2 = 27 \text{ CHF} \cdot 1.67 \cdot 10^{-7} \text{ DALY / CHF}$$



### Entfernung

100 % statt wie heute 10 % werden fachgerecht entfernt.

Dank der vollständig fachgerechten Entfernung können 7 mg PCB-Emissionen in die Umwelt / m<sup>2</sup> Betonfarben vermieden werden.

Das entspricht einem Umweltnutzen von 104'000 UBP:

$$104'000 \text{ UBP} / \text{m}^2 = 7 \text{ mg} * 15.7 \text{ Mia. UBP} / \text{kg}$$

Sowie einer DALY-Einsparung von  $2.5 \cdot 10^{-6}$  DALY:

$$2.5 \cdot 10^{-6} \text{ DALY} / \text{m}^2 = 7 \text{ mg} * 0.38 \text{ DALY} / \text{kg}$$

Es ist mit zusätzlichen Entfernungskosten von rund 90 CHF pro m<sup>2</sup> Betonfarben zu rechnen:

$$90 \text{ CHF} / \text{m}^2 = 100 \text{ CHF} * 90 \%$$

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 7'200 UBP:

$$7'200 \text{ UBP} / \text{m}^2 = 90 \text{ CHF} * 80 \text{ UBP} / \text{CHF}$$

Sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $1.1 \cdot 10^{-5}$  DALY:

$$1.1 \cdot 10^{-5} \text{ DALY} / \text{m}^2 = 90 \text{ CHF} * 1.2 \cdot 10^{-7} \text{ DALY} / \text{CHF}$$

### Entsorgung

Die abgeschliffenen 3 mm Beton (inkl. Farbe) werden zu 100 % in einer SAVA entsorgt anstatt dass diese zu zwei Drittel in eine Deponie und zu einem Drittel ins Recycling gelangen.

Dank der Entsorgung in einer SAVA können rund 15.8 mg PCB-Emissionen in die Umwelt vermieden werden. Das entspricht einer UBP-Einsparung von 248'000 UBP:

$$248'000 \text{ UBP} / \text{m}^2 = 15.8 \text{ mg} * 15.7 \text{ Mia. UBP} / \text{kg}$$

Sowie einer DALY-Einsparung von  $6.0 \cdot 10^{-6}$  DALY:

$$6.0 \cdot 10^{-6} \text{ DALY} / \text{m}^2 = 15.8 \text{ mg} * 0.38 \text{ DALY} / \text{kg}$$

Die zusätzlichen Entsorgungskosten liegen bei 11 CHF pro m<sup>2</sup> Betonfarben. Die mit der Entsorgung verbundenen Aufwände generieren eine Umweltbelastung von 11'000 UBP / m<sup>2</sup> und eine Gesundheitsschädigung von  $2.9 \cdot 10^{-5}$  DALY.

### Insgesamt

Das Resultat bezüglich der Umweltauswirkungen ist zu zwei Drittel geprägt von der Veränderung der Sanierungspraxis im Entsorgungsschritt und zu einem Drittel im Entfernungsschritt. Hinsichtlich der zusätzlichen Kosten ist vor allem der Entfernungsschritt relevant, während bezüglich der Auswirkungen auf die Gesundheit vor allem die Entsorgung wesentlich ist.

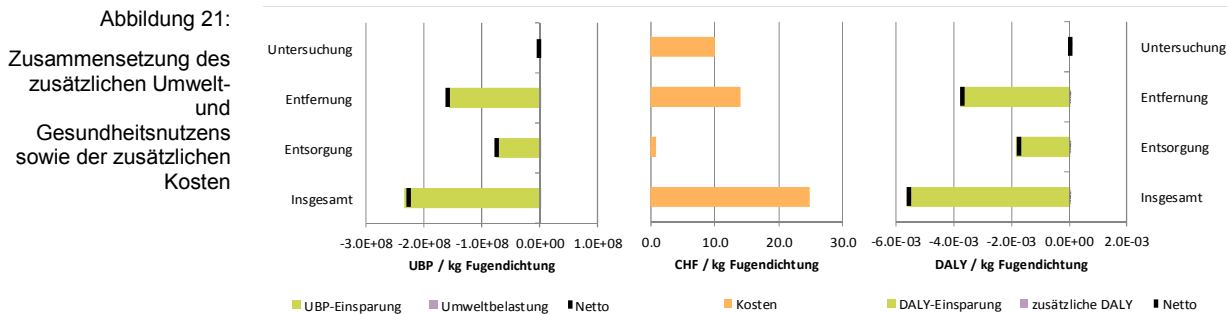
Insgesamt ist der Umweltnutzen der Änderung der Sanierungspraxis rund 15 Mal höher als die damit einhergehende Umweltbelastung des zusätzlichen Aufwands. Der Umweltnutzen liegt bei 330'000 UBP / m<sup>2</sup> Betonfarben.

Die zusätzlichen Kosten belaufen sich insgesamt auf rund 130 CHF / m<sup>2</sup> Betonfarben.

Insgesamt ist die DALY-Einsparung rund halb so hoch wie die zusätzlich generierten DALYs. Damit resultiert insgesamt eine Gesundheitsschädigung von  $6.8 \cdot 10^{-6}$  DALY / m<sup>2</sup> Betonfarben.

### C. Fachgerechte Sanierung von PCB-haltigen Fugendichtungen

Abbildung 21 zeigt wie sich der Umweltnutzen, die Kosten und die Auswirkungen auf die Gesundheit dieser Änderungen der Sanierungspraxis gegenüber heute zusammensetzen:



#### Untersuchung

100 % statt wie heute 50 % werden mittels Beprobung untersucht.

Es ist mit zusätzlichen Kosten in der Höhe von 10 CHF pro kg zu untersuchender Fugendichtung zu rechnen:

$$10 \text{ CHF} = 2'000 \text{ CHF} / 100 \text{ kg} * (100 \% - 50 \%)$$

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 1'460 UBP:

$$1'460 \text{ UBP} = 10 \text{ CHF} * 146 \text{ UBP} / \text{CHF}$$

sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $1.7 \cdot 10^{-6}$  DALY:

$$1.7 \cdot 10^{-6} \text{ DALY} = 10 \text{ CHF} * 1.67 \cdot 10^{-7} \text{ DALY} / \text{CHF}$$

#### Entfernung

100 % statt wie heute 50 % werden fachgerecht entfernt.

Dank der vollständig fachgerechten Entfernung können 0.01 kg PCB-Emissionen in die Umwelt / kg Fugendichtung ( $0.02 \text{ kg} * 50 \%$ ) vermieden werden.

Das entspricht einer UBP-Einsparung von 157 Mio. UBP:

$$157 \text{ UBP} = 0.01 \text{ kg} * 15.7 \text{ Mia. UBP / kg}$$

Sowie einer DALY-Einsparung von  $3.8 \cdot 10^{-3}$  DALY:

$$3.8 \cdot 10^{-3} \text{ DALY} = 0.01 \text{ kg} * 0.38 \text{ DALY / kg}$$

Es ist mit zusätzlichen Entfernungskosten von rund 14 CHF pro kg Fugendichtung zu rechnen ( $28.1 \text{ CHF / kg} * 50 \%$ ).

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 1'120 UBP:

$$1'120 \text{ UBP} = 14.1 \text{ CHF} * 80 \text{ UBP / CHF}$$

Sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $1.7 \cdot 10^{-6}$  DALY:

$$1.7 \cdot 10^{-6} \text{ DALY} = 14.1 \text{ CHF} * 1.2 \cdot 10^{-7} \text{ DALY / CHF}$$

### **Entsorgung**

100 % Entsorgung in einer SAVA statt 50% in SAVA und 16.5% jeweils in Deponie, KVA und Recycling.

Dank der Entsorgung in einer SAVA können rund 0.005 kg PCB-Emissionen in die Umwelt vermieden werden.

Das entspricht einer UBP-Einsparung von 78.5 Mio. UBP:

$$78.5 \text{ Mio. UBP} = 0.005 \text{ kg} * 15.7 \text{ Mia. UBP / kg}$$

Sowie einer Einsparung von  $1.6 \cdot 10^{-3}$  DALY:

$$1.6 \cdot 10^{-3} \text{ DALY} = 0.005 \text{ kg} * 0.38 \text{ DALY / kg}$$

Die zusätzlichen Entsorgungskosten liegen bei 0.8 CHF pro kg Fugendichtungen. Die mit der Entsorgung verbundenen Aufwände generieren eine Umweltbelastung von 2'300 UBP und eine Gesundheitsschädigung von  $2.8 \cdot 10^{-6}$  DALY.

### **Insgesamt**

Hinsichtlich Umwelt- und Gesundheitsnutzen ist das Resultat zu zwei Drittel geprägt von der Veränderung der Sanierungspraxis im Entfernungsschritt und zu einem Drittel im Entsorgungsschritt. Bezüglich der zusätzlichen Kosten ist das Resultat wesentlich geprägt vom Entfernungsschritt.

Insgesamt ist die Umweltbelastung verschwindend gegenüber dem Umweltnutzen, welcher sich aus der Veränderung der Sanierungspraxis ergibt. Der Umweltnutzen liegt bei 233 Mio. UBP / kg Fugendichtung.

Die zusätzlichen Kosten belaufen sich insgesamt auf 25 CHF / kg Fugendichtung.

Insgesamt ist die DALY-Einsparung rund 800 Mal höher als die zusätzlich generierten DALYs. Damit resultiert insgesamt ein Gesundheitsnutzen von  $5.6 \cdot 10^{-3}$  DALY.

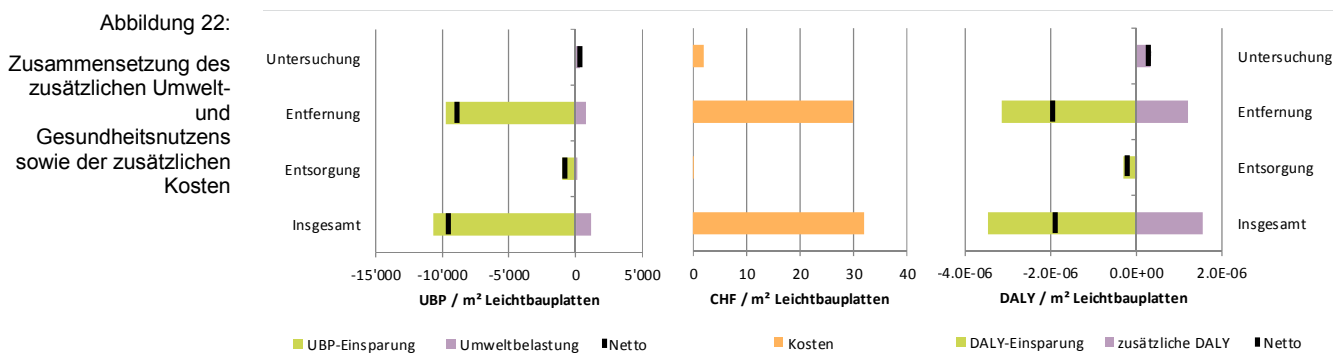
#### 6.5.4. Asbesthaltige Baumaterialien

In diesem Kapitel werden die folgenden, möglichen Veränderungen untersucht:

- Fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Leichtbauplatten
- Fachgerechte Untersuchung und Entfernung von Asbestzement
- Entsorgung Spritzasbest in speziellem Deponiekompartiment

##### A. Fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Leichtbauplatten

Abbildung 22 zeigt wie sich der Umweltnutzen, die Kosten und die Auswirkungen auf die Gesundheit dieser Änderungen der Sanierungspraxis gegenüber heute zusammensetzen:



#### Untersuchung

100 % statt wie heute 90 % werden mittels Beprobung untersucht.

Es ist mit zusätzlichen Kosten in der Höhe von 2 CHF pro m² zu untersuchender Leichtbauplatte zu rechnen:

$$2 \text{ CHF} = 100 \text{ CHF} / 5 \text{ m}^2 \cdot (100 \% - 90 \%)$$

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 290 UBP:

$$290 \text{ UBP} = 2 \text{ CHF} \cdot 146 \text{ UBP} / \text{CHF}$$

Sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $3.1 \cdot 10^{-7}$  DALY:

$$3.1 \cdot 10^{-7} \text{ DALY} = 2 \text{ CHF} \cdot 1.67 \cdot 10^{-7} \text{ DALY} / \text{CHF}$$



### Entfernung

100 % statt wie heute 90 % werden fachgerecht entfernt.

Dank der fast vollständig fachgerechten Entfernung können 252'000 LAF / m<sup>2</sup> Leichtbauplatte vermieden werden:

$$252'000 \text{ LAF / m}^2 = 2.52 \text{ Mio. LAF} * 10 \%$$

Das entspricht einer UBP-Einsparung von 9'700 UBP:

$$9'700 \text{ UBP / m}^2 = 252'000 \text{ LAF / m}^2 * 0.0385 \text{ UBP / LAF}$$

Sowie einer DALY-Einsparung von  $3.1 \cdot 10^{-6}$  DALY:

$$3.1 \cdot 10^{-6} \text{ DALY / m}^2 = 252'000 \text{ LAF / m}^2 * 1.3 \cdot 10^{-11} \text{ DALY / LAF}$$

Es ist mit zusätzlichen Entfernungskosten von rund 30 CHF pro m<sup>2</sup> zu rechnen

$$30 \text{ CHF / m}^2 = 1'500 \text{ CHF / 5 m}^2 * 10 \%$$

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 800 UBP:

$$800 \text{ UBP / m}^2 = 30 \text{ CHF} * 26.7 \text{ UBP / CHF}$$

Sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $1.2 \cdot 10^{-6}$  DALY:

$$1.2 \cdot 10^{-6} \text{ DALY / m}^2 = 30 \text{ CHF} * 4.0 \cdot 10^{-8} \text{ DALY / CHF}$$

### Entsorgung

100 % Entsorgung in einer Deponie statt 90 % und 10 % ins Recycling.

Unter der Annahme, dass die Faserfreisetzung des Recyclingproduktes im Verlaufe der Zeit bei 10 % der Faserfreisetzung bei der Entfernung liegt, werden nochmals 25'200 LAF vermieden. Das entspricht einem Umweltnutzen von 970 UBP sowie einer DALY-Einsparung von  $3.1 \cdot 10^{-7}$ .

### Insgesamt

Die Resultate sind geprägt von der Veränderung der Sanierungspraxis im Entfernungsschritt. Die Veränderung in der Untersuchung sowie in der Entsorgung ist wenig relevant.

Insgesamt ist der Umweltnutzen der Änderung der Sanierungspraxis rund 10 Mal höher als die damit einhergehende Umweltbelastung des zusätzlichen Aufwands. Der Umweltnutzen liegt bei 9'600 UBP / m<sup>2</sup> Leichtbauplatte.

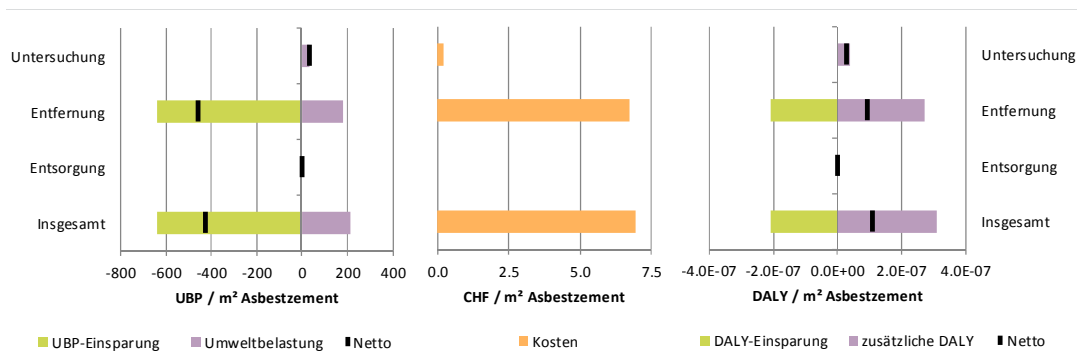
Die zusätzlichen Kosten belaufen sich insgesamt auf 32 CHF / m<sup>2</sup> Leichtbauplatten.

Die DALY Einsparungen sind mehr als doppelt so gross wie die zusätzlich generierten DALYs. Damit resultiert insgesamt ein Gesundheitsnutzen von  $1.9 \cdot 10^{-6}$  DALY.

## B. Fachgerechte Untersuchung und Entfernung von Asbestzement

Abbildung 23 zeigt wie sich der Umweltnutzen, die Kosten und die Auswirkungen auf die Gesundheit dieser Änderungen der Sanierungspraxis gegenüber heute zusammensetzen:

Abbildung 23:  
Zusammensetzung des  
zusätzlichen  
Umweltnutzens, der  
Gesundheits-  
schädigung sowie der  
zusätzlichen Kosten



### Untersuchung

95 % statt wie heute 50 % werden mittels Beprobung untersucht, d.h. es wird 45% mehr beprobt.

Es ist mit zusätzlichen Kosten in der Höhe von 50 CHF pro 100 m² zu untersuchender Asbestzement respektive mit 0.23 CHF / m² zu rechnen:

$$0.23 \text{ CHF / m}^2 = 50.-/100 \text{ m}^2 * 45 \text{ \%}$$

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 33 UBP:

$$33 \text{ UBP / m}^2 = 0.23 \text{ CHF} * 146 \text{ UBP / CHF}$$

sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $3.8 \cdot 10^{-8}$  DALY:

$$3.8 \cdot 10^{-8} \text{ DALY / m}^2 = 0.23 \text{ CHF} * 1.67 \cdot 10^{-7} \text{ DALY / CHF}$$

### Entfernung

95 % statt wie heute 50 % werden fachgerecht entfernt.

Dank der fast vollständig fachgerechten Entfernung können 16'848 LAF / m² Asbestzement vermieden werden. Das entspricht einem Umweltnutzen von 640 UBP:

$$640 \text{ UBP} = 16'848 \text{ LAF / m}^2 * 0.0385 \text{ UBP / LAF}$$

Sowie einer DALY-Einsparung von  $2.1 \cdot 10^{-7}$  DALY:

$$2.1 \cdot 10^{-7} \text{ DALY} = 16'848 \text{ LAF / m}^2 * 1.3 \cdot 10^{-11} \text{ DALY / LAF}$$

Es ist mit zusätzlichen Entfernungskosten von 6.8 CHF pro m² zu rechnen:

$$6.8 \text{ CHF} = 15 \text{ CHF / m}^2 * 45 \text{ \%}$$

Das generiert eine indirekte Umweltbelastung von 180 UBP:  
 $180 \text{ UBP} = 6.8 \text{ CHF} * 26.7 \text{ UBP} / \text{CHF}$

Sowie eine indirekte Gesundheitsschädigung von  $2.7 * 10^{-7}$  DALY:  
 $2.7 * 10^{-7} \text{ DALY} = 6.8 \text{ CHF} * 4.0 * 10^{-8} \text{ DALY} / \text{CHF}$

### Entsorgung

keine Veränderung.

### Insgesamt

Die Resultate sind geprägt von der Veränderung der Sanierungspraxis im Entfernungsschritt. Die Veränderung in der Untersuchung sind wenig relevant.

Insgesamt ist der Umweltnutzen der Änderung der Sanierungspraxis rund drei Mal höher als die damit einhergehende Umweltbelastung des zusätzlichen Aufwands. Der Umweltnutzen liegt somit bei 425 UBP / m<sup>2</sup> Asbestzement.

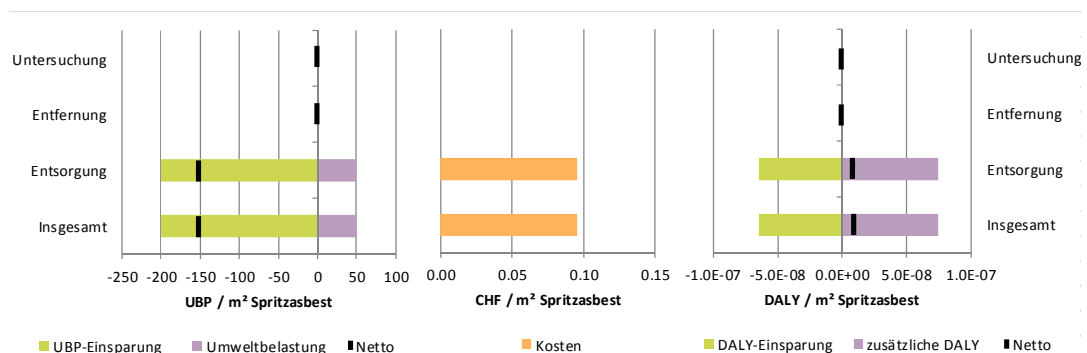
Die zusätzlichen Kosten belaufen sich insgesamt auf 7 CHF / m<sup>2</sup> Asbestzement.

Die DALY-Einsparungen sind nur zwei Drittel so gross wie die zusätzlich generierten DALYs. Damit resultiert insgesamt eine Gesundheitsschädigung von  $1.0 * 10^{-7}$  DALY.

### C. Entsorgung Spritzasbest in speziellem Deponiekompartiment

Abbildung 24 zeigt wie sich der Umweltnutzen, die Kosten und die Auswirkungen auf die Gesundheit dieser Änderungen der Sanierungspraxis gegenüber heute zusammensetzen:

Abbildung 24  
Zusammensetzung des zusätzlichen Umweltnutzens, der Gesundheitsschädigung sowie der zusätzlichen Kosten



### Untersuchung

Keine Veränderung

### Entfernung

Keine Veränderung



### **Entsorgung**

Die Veränderung besteht in einem Mehrtransport und Entsorgung in einem speziellen Deponiekompartiment.

Diese Veränderung bewirkt eine Asbestemissionseinsparung von geschätzten 1.1 Mio. LAF pro t Spritzasbest respektive 5'182 LAF pro m<sup>2</sup> Spritzasbest.

Der Umweltnutzen beläuft sich auf rund 200 UBP / m<sup>2</sup> Spritzasbest:

$$200 \text{ UBP} = 5'182 \text{ LAF} * 0.0385 \text{ UBP} / \text{LAF}$$

Aus Gesundheitssicht lassen sich damit rund  $6.5 \cdot 10^{-8}$  DALY einsparen:

$$6.5 \cdot 10^{-8} \text{ DALY} = 5'182 \text{ LAF} * 1.25 \cdot 10^{-11} \text{ DALY} / \text{LAF}$$

Der Mehrtransport generiert Mehrkosten in der Grössenordnung von 20.- / t Spritzasbest respektive 0.96 CHF / m<sup>2</sup> Spritzasbest.

Indirekt generiert der Mehrtransport auch eine zusätzliche Umweltbelastung von rund 50 UBP:

$$50 \text{ UBP} = 0.096 \text{ CHF} * 527 \text{ UBP} / \text{CHF Transportkosten}$$

Aus Gesundheitssicht beläuft sich die zusätzliche Schädigung auf  $7.4 \cdot 10^{-8}$  DALY:

$$7.4 \cdot 10^{-8} \text{ DALY} = 0.096 \text{ CHF} * 7.7 \cdot 10^{-7} \text{ UBP} / \text{CHF Transportkosten}$$

### **Insgesamt**

Insgesamt ist der Umweltnutzen der Änderung der Sanierungspraxis rund vier Mal höher als die damit einhergehende Umweltbelastung des zusätzlichen Aufwands. Der Umweltnutzen liegt somit bei 1590 UBP / m<sup>2</sup> Spritzasbest

Die Kosten belaufen sich insgesamt auf 0.1 CHF / m<sup>2</sup> Spritzasbest.

Die DALY Einsparungen sind ein wenig kleiner als die zusätzlich generierten DALYs. Damit resultiert insgesamt eine leichte Gesundheitsschädigung von  $9.6 \cdot 10^{-9}$  DALY.

### **D. Bemerkung zu diesen Sanierungen von asbesthaltigen Materialien**

Nur das Szenario «A Fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Leichtbauplatten» hat sowohl einen positiven Gesamtnutzen bezüglich Gesundheit und Umwelt. Die anderen beiden Szenarien haben einen positiven Umweltnutzen, jedoch bezüglich Gesundheit einen Gesamtnutzen der praktisch null ist oder sogar tendenziell mehr Schaden verursachen als Nutzen bringen. Auf Grund des Gesamtnutzens Umwelt, welcher auch den Aspekt menschliche Gesundheit umfasst, kann diese Veränderung empfohlen werden. Sinnvollerweise müsste überprüft werden, ob Optimierungen möglich sind.

Weiter zeigen alle drei Szenarien, dass das Verhältnis von Schäden zu Nutzen bezüglich menschlicher Gesundheit wesentlich grösser ist als bezüglich der gesamten Umwelt. Dies mag erstaunen, da die Sanierung von Asbest das Ziel hat die Gesundheit der Menschen zu schützen. Dabei ist zu beachten, dass auch die Aufwände für die Sanierung, Transporte, Energiebedarf oder Deponierung, mit Auswirkungen auf die Gesundheit verbunden sind, auch wenn diese im Allgemeinen nicht so wahrgenommen werden wie die mögliche Gefährdung durch Asbest. Der Grund dafür liegt vor allem darin, dass die möglichen Schäden von Asbest lokalisierbar sind, während die anderen Schäden diffus auftreten und ein viel grösseres Kollektiv von Menschen dafür mit geringeren Schäden pro Person betrifft.

## **6.6. Potentiale der zusätzlichen Sanierungsanstrengungen**

In Kapitel 6.2 bis 6.5 wurden die Resultate für eine bestimmte Einheit, wie z.B. pro m<sup>2</sup> Fläche oder t, angegeben. Dies erlaubt es den Nutzen der spezifischen Veränderungen zu ermitteln. Zudem konnten die Ursachen der Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt sowie Kosten ermittelt und dargestellt werden. Da diese Auswertung die zu sanierenden Mengen nicht berücksichtigt, gibt sie keinen Hinweis, wie relevant die betreffende Veränderung ist. Um dies zu ermitteln wurde die Bestandesmenge im Kanton Zürich mit den entsprechenden Umwelt- und Kostenkennzahlen kombiniert und daraus die Potentiale, die auch aus den möglichen Veränderungen der Sanierungspraxis ergeben, berechnet und dargestellt. Abbildung 25 liefert eine Übersicht der Potentiale. In Tabelle 8 sind die wichtigsten Kennzahlen der Potentialanalyse aufgelistet.

Das höchste Umweltnutzenpotential weist die fachgerechte Sanierung von PCB-haltigen Fugendichtungen mit -25700 Mia. UBP auf. Die zusätzlichen Kosten sind mit 2.8 Mio. CHF relativ tief.

Wesentlich tiefer liegen die Umweltnutzenpotentiale der Entsorgung von PCP-haltigem Holz, fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Leichtbauplatten, Abschleifen und Entsorgen von PCB-haltigen Metall- und Betonfarben sowie die Einstufung und Entsorgung von HC-haltigen Ölkellern. Die Kosten dieser Veränderungen der Sanierungspraxis liegen alle im einstelligen Millionenbereich (ausser asbesthaltige Leichtbauplatten 15 Mio. CHF und PCB-haltige Metallfarben 0.7 Mio. CHF). Ähnlich hohe Umweltnutzenpotentiale weisen ebenfalls die Einstufung und Recycling von bleihaltigen Fensterstegen und die Einstufung und Entsorgung von PAK-haltigen bituminösen Dichtungsbahnen auf. Bei Letzterem ist sogar mit Kosteneinsparungen in der Höhe von 30 Mio. CHF zu rechnen.

Ein eher tieferes Umweltnutzenpotential (1.4 Mia. UBP) weisen die Einstufung und Entsorgung von PAK-haltigem Teerkork und insbesondere schlacke haltigen Zwi-

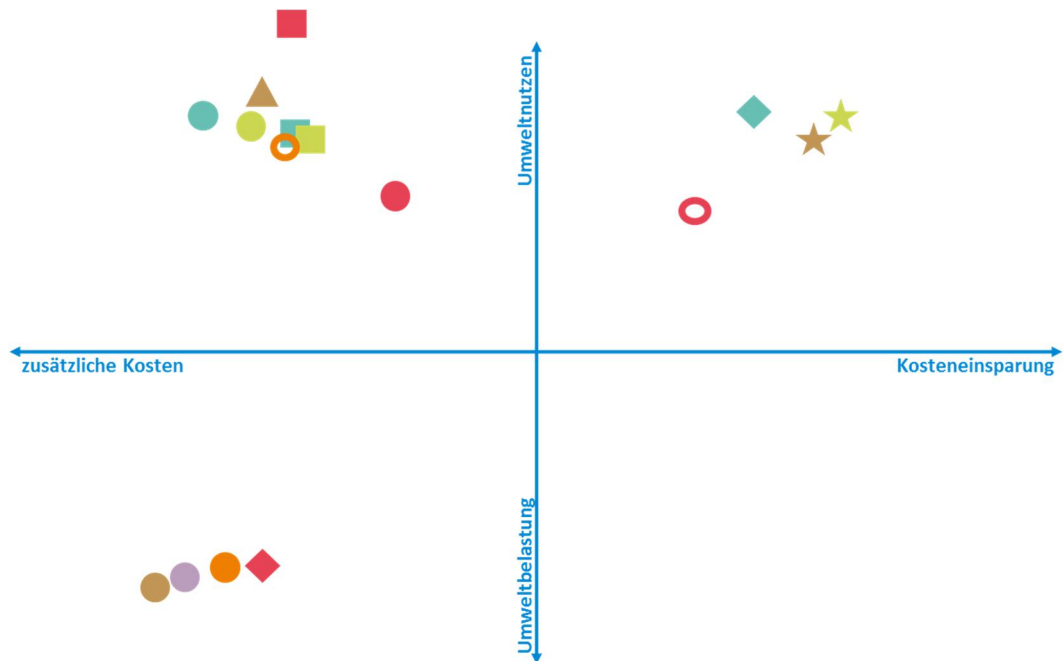
schenböden (1 Mio. UBP) auf. Es kann jedoch mit einer leichten Kosteneinsparung gerechnet werden.

Bei den anderen Veränderungen der Sanierungspraxis, Gruppe C) ergeben sich zusätzliche Umweltbelastungen. Diese liegen zwischen 5 Mia. UBP (Untersuchung und Entsorgung bleihaltiger Bodenbeläge) und 50 Mia. UBP (Fachgerechte Sanierung asbesthaltiger Verputze & Spachtelmasse). Die zusätzlichen Kosten belaufen sich auf 11 Mio. CHF (Untersuchung und Entsorgung bleihaltiger Bodenbeläge) bis 2.3 Mia. CHF (Fachgerechte Sanierung asbesthaltiger Verputze & Spachtelmasse).

**Abbildung 25:**

Potential hinsichtlich  
Umwelt und Kosten im  
Kanton Zürich

ACHTUNG:  
doppellogarithmische  
Skala!



- |                                                                |                                                             |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| ● Entsorgung Spritzasbest in spez. Deponiekompartment          | ■ Abschleifen und Entsorgung PCB-haltiger Metallfarben      |
| ● Fachgerechte Untersuchung und Entfernung von Asbestzement    | ▲ Entsorgung von PCP-haltigem Holz                          |
| ● Fachgerechte Sanierung von asbesthaltigen Leichtbauplatten   | ★ Einstufung und Entsorgung PAK-haltiger bituminöser Beläge |
| ● Fachgerechte Sanierung von asbesth. Verputzen & Spachtelm.   | ★ Einstufung und Entsorgung PAK-haltiger Teerkork           |
| ● Fachgerechte Untersuchung und Enft. Von. Asbesth. Fliesenkl. | ◆ Untersuchung und Entsorgung bleihaltige Bodenbeläge       |
| ● Fachgerechte Untersuchung und Enft. von asbesth. Fensterkitt | ◆ Einstufung und Recycling von bleihaltigen Fensterstegen   |
| ■ Fachgerechte Sanierung von PCB-haltigen Fugendichtungen      | ○ Einstufung und Entsorgung schlackehaltiger Zwischenböden  |
| ■ Abschleifen und Entsorgung PCB-haltiger Betonfarben          | ○ Einstufung und Entsorgung HC-haltige Ölkeller             |

Tabelle 8:  
Potentiale im Kanton  
Zürich

| <b>Gruppe A</b>                                                       | <b>Bestand</b>          | <b>Umweltnutzen<br/>in Mia. UBP</b> | <b>Kosten in<br/>Mio. CHF</b> |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Einstufung und Entsorgung<br>schlackehaltiger Zwischenböden           | 800 t                   | 0.001                               | -0.008                        |
| Einstufung und Recycling von<br>bleihaltigen Fensterstegen            | 4.0 Mio. m              | 11                                  | -0.14                         |
| Einstufung und Entsorgung<br>PAK-haltiger Teerkork                    | 4'900 t                 | 1.4                                 | -5.9                          |
| Einstufung und Entsorgung<br>PAK-haltiger bituminöser Dichtungsbahnen | 9.8 Mio. m <sup>2</sup> | 11                                  | -30                           |

Mit der Umsetzung dieser Veränderungen können gesamthaft rund 35 Mio. CHF und 23 Mia. UBP eingespart werden. Dies entspricht der Umweltbelastung von rund 1'100 Schweizern während einem Jahr.

| <b>Gruppe C</b>                                                               | <b>Bestand</b>           | <b>Umweltbelastung<br/>in Mia. UBP</b> | <b>Kosten in<br/>Mio. CHF</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|
| Untersuchung und Entsorgung<br>bleihaltiger Bodenbeläge                       | 1 Mio. m <sup>2</sup> *  | 4.5                                    | 11                            |
| Fachgerechte Untersuchung<br>und Entfernung von asbesthaltigem<br>Fensterkitt | 14.6 Mio. m              | 4.9                                    | 82                            |
| Fachgerechte Sanierung von<br>asbesthaltigen Fliesenklebern                   | 3.1 Mio. m <sup>2</sup>  | 17                                     | 763                           |
| Fachgerechte Sanierung von<br>asbesthaltigen Verputzen &<br>Spachtelmassen    | 22.7 Mio. m <sup>2</sup> | 52                                     | 2'250                         |

\* Keine Datengrundlagen vorhanden, sehr grobe Schätzung

Diese Veränderungen können nicht empfohlen werden, da sie in einer gesamtheitlichen Betrachtung zu Mehrbelastungen führen, welche ungefähr der Umweltbelastung von 4'000 Schweizern während einem Jahr entspricht. Zudem würden sich über die nächsten Jahrzehnte insgesamt Mehrkosten von rund 3.1 Mia. CHF ergeben. Daher stellt sich die Frage ob vor dem Hintergrund des geringen Nettonutzens, die aktuellen Vorstellungen und Definitionen von "fachgerechter Untersuchung und Entfernung" bzw. "fachgerechter Sanierung", insbesondere bei den Verputz- und Spachtelmassen nicht verändert werden müssen und die künftige Praxis angepasst werden muss (z.B. Einstufung und konsequenter Schutz der wenigen Betroffenen).

| <b>Gruppe D</b>                                                    | <b>Bestand</b>              | <b>Umweltnutzen<br/>in Mia. UBP</b> | <b>Kosten in<br/>Mio. CHF</b> |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Einstufung und Entsorgung<br>HC-haltige Ölkeller                   | 25'600 t                    | 1.3                                 | 3.3                           |
| Entsorgung von PCP-haltigem<br>Holz                                | 91'350 t                    | 215                                 | 7.8                           |
| Abschleifen und Entsorgung<br>PCB-haltiger Metallfarben            | 10'000 m <sup>2</sup> *     | 2.7                                 | 0.7                           |
| Abschleifen und Entsorgung<br>PCB-haltiger Betonfarben             | 10'000 m <sup>2</sup> *     | 3.3                                 | 1.3                           |
| Fachgerechte Sanierung von<br>PCB-haltigen Fugendichtun-<br>gen    | 110 t                       | 25'700                              | 2.8                           |
| Fachgerechte Sanierung von<br>asbesthaltigen Leichtbauplat-<br>ten | 463'000 m <sup>2</sup>      | 4.4                                 | 15                            |
| Fachgerechte Untersuchung<br>und Entfernung von Asbest-<br>zement  | 30.9 Mio.<br>m <sup>2</sup> | 13.4                                | 215                           |
| Entsorgung Spritzasbest in<br>spez. Deponiekompartiment            | 185'000 m <sup>2</sup>      | 0.03                                | 0.02                          |

\* Keine Datengrundlagen vorhanden, sehr grobe Schätzung

Mit der Umsetzung dieser Veränderungen können rund 26'000 Mia. UBP eingespart werden. Dies entspricht der jährlichen Umweltbelastung der Bevölkerung des Kantons Zürich. Die Kosten für diese Massnahmen, welche in den kommenden Jahrzehnten anfallen, belaufen sich auf insgesamt rund 250 Mio. CHF.

## 7. Fazit und Diskussion

Bei Umweltschutzanstrengungen, welche in den letzten Jahrzehnten unternommen wurden, stellte sich in der Regel die Frage des Umwelt- bzw. Gesundheitsnutzens nicht. Der Nutzen war meist unbestritten klar, die Kosten dazu verhältnismässig – es benötigte somit keine vertiefenden Analysen.

Der Erfolg dieser frühen Anstrengungen hat dazu geführt, dass es heute schwierig wird, Massnahmen mit gleicher Effizienz bzw. mit gleich hohem Nutzen zu eruieren. Es taucht sogar die Frage auf, ob es Grenzen gibt, jenseits derer es nicht mehr sinnvoll ist, weitere Massnahmen zu realisieren.

Eine solche Grenze ist dann erreicht, wenn durch den zusätzlichen Aufwand für eine Massnahme mehr Umwelt- und/oder Gesundheitsschäden generiert werden, als durch die vermiedenen Emissionen des Schadstoffes, wegen dem die Sanierung durchgeführt wird, eingespart werden. In dem Falle erscheint eine zusätzliche Sanierung unverhältnismässig, weil das angestrebte Ziel, der Schutz der Umwelt und der Bevölkerung nicht erreicht, sondern untergraben wird.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass dies auf die untersuchten Veränderungen der Sanierungspraxis von asbesthaltigem Fensterkitt, Fliesenkleber und Verputze & Spachtelmasse sowie die Veränderung der Sanierungspraxis von bleihaltigen Boden- und Dachbelägen zutrifft. Zusammengenommen würden diese Massnahmen rund 3 Mrd. CHF kosten.

Viele der untersuchten Veränderungen weisen einen Umweltnutzen auf, der mit zusätzlichen Kosten verbunden ist. Mit entsprechendem Budget können diese umgesetzt werden. Dabei kann die Priorisierung gemäss Umweltnutzen pro eingesetztem Franken hilfreich sein. Diese wurde als Öko-Effizienz ausgewiesen, siehe Kapitel 4.3. Die höchste Öko-Effizienz ergibt sich für die Veränderung «fachgerechte Sanierung von PCB-haltigen Fugendichtungen» mit rund 10 Mio. UBP pro investierten Franken. Im Vergleich zu anderen Anstrengungen mit dem Ziel die Umweltauswirkungen zu reduzieren, handelt es sich dabei um einen recht hohen Wert. So liegen z.B. entsprechende Öko-Effizienz Kennzahlen von Recyclingsystemen bei 2'500 UBP / CHF für PET Recycling und 11'000 UBP für Aluminiumverpackungen wesentlich tiefer, siehe Bunge R. et. al. (2016).

Die Öko-Effizienz der meisten der untersuchten Veränderungen der Gruppe D liegt im Bereich wie diejenige der Recyclingsysteme von PET und Aluminium, oder leicht darüber.

Eine wesentlich tiefere Öko-Effizienz ergeben die Veränderungen bei der «Fachgerechte Sanierung von Asbesthaltigen Leichtbauplatten» und «Fachgerechte Untersuchung und Entfernung von Asbestzement»

Vier der betrachteten Änderungen der Sanierungspraxis weisen nicht nur einen Umwelt- und Gesundheitsnutzen auf, es lassen sich damit auch Kosten einsparen. Diese umzusetzen scheint somit naheliegend zu sein.

Mit dem vorliegenden Projekt wurde eine Methodik entwickelt, um Massnahmen zur Reduktion von Gesundheitsschäden und Umweltbelastungen im Spannungsfeld der damit verbundenen Kosten auf ihre Sinnhaftigkeit und Relevanz hin zu überprüfen. Diese Methodik wurde an verschiedenen möglichen Veränderungen der Sanierungspraxis von Schadstoffen im Baubereich angewendet. Im Set der untersuchten Massnahmen bzw. zusätzlichen Sanierungsanstrengungen zeigen die Ergebnisse, dass nicht jede der angedachten Massnahmen die gewünschte Verbesserung mit sich bringt. Dies war und ist teilweise auch für Experten überraschend. Es ist nun Aufgabe von betroffenen Fachleuten die Grundlagen der Berechnungen kritisch zu überprüfen um allfällige Fehlannahmen zu korrigieren oder präzisere Daten einfließen zu lassen. Ggf. können sich dadurch andere Resultate ergeben.

Die erarbeitete Methode kann auch zur Beurteilung von anderen Massnahmen verwendet werden. Zudem zeigen die detaillierten Ergebnisse der Untersuchung auch, dass es eine Reihe von Massnahmen gibt, bei welchen es sich lohnt, noch Varianten- und Optimierungsschritte zu prüfen. Entsprechend kann die Methode auch genutzt werden, um mögliche Alternativen mit einem höheren Gesamtnutzen, bzw. einer besseren Öko-Effizienz zu ermitteln, z.B. indem ein ebenso hoher positiver Gesundheits- und/oder Umweltnutzen mit geringeren Kosten erreicht wird.

Eine nähere Betrachtung der fachgerechten Entfernung und Entsorgung von PCB-haltigen Metallfarben zeigt dies exemplarisch. Wenn PCB-haltige Metallfarben vollständig entfernt werden sollen, ist ein grosser Aufwand notwendig. Dieser Aufwand wird deshalb betrieben, um die Emissionen beim Shreddern und bei der Aufgabe der Metalle in die Schmelze zu verhindern. Könnten die Metallteile direkt in die Schmelze eingebracht werden, ohne dass vorher PCB-Emissionen auftreten, wäre das teure und mühselige Strahlen der Metallteile nicht notwendig. Die technische und finanzielle Realisierbarkeit solcher Massnahmen sollte geprüft werden.

Bei der Interpretation der Resultate ist zu beachten, dass die vorliegende Bewertung auf Mittelwerten und Annahmen basiert, im Einzelfall können sich andere Resultate ergeben. So ist beispielsweise bei der Sanierung von Fassade und Dach aus Asbestzement in eng bebauter Umgebung im Sommer, wenn alle Fenster geöffnet sind, eine höhere Faserbelastung und ein grösseres Betroffenheitskollektiv zu erwarten, als dies im Mittel abgeschätzt wurde. Für solche Fälle müssen deshalb angepasste Massnahmen zum Schutze der Menschen in der Umgebung sinnvollerweise geplant und umgesetzt werden.

In der vorliegenden Bewertung wurden in allen Berechnungen die aus den Veränderungen resultierenden gesundheitlichen Belastungen für die Allgemeinbevölkerung

und Berufsleute berücksichtigt, jedoch wurde kein spezielles Augenmerk auf den Arbeitnehmerschutz gelegt. Entsprechend darf aus einer geringen gesundheitlichen Belastung in einem der untersuchten Szenarien nicht geschlossen werden, dass für alle Arbeitnehmer eine vernachlässigbare Belastung besteht. Für einzelne, kleine Kollektive von Berufsleuten, beispielsweise Beschäftigte der Rückbauunternehmen und der Deponien, kann die gesundheitliche Belastung durchaus relevant sein. Bewertung und Massnahmendefinition<sup>4</sup> zum Teilbereich Arbeitnehmerschutz müssen durch die verantwortlichen Stellen, Suva und Arbeitgeber, erfolgen.

---

<sup>4</sup> Eine offenkundig gesundheitlich und kostenmässig sehr effektive Massnahme bei Rückbau und Deponien wäre beispielsweise eine generelle Maskentragpflicht bei diesen Arbeiten.

## 8. Literatur

Bunge, R., Stäubli, A., Pohl, T. (2016). EconEcol: Kosten-Nutzen-Analyse von umweltbezogenen Massnahmen im Recyclingbereich, 17. März 2016, UMTEC, Hochschule für Technik Rapperswil

Committee on Hazardous Substances – AGS (2008). Exposur\*10-risk relationship for asbestos. Abgerufen von <http://www.baua.de/en/Topics-from-A-to-Z/Hazardous-Substances/TRGS/pdf/910/910-asbestos.pdf>

Franov, E., & Kägi, T. (2016). LCA Leads to Reassessment of Contaminated Sediment Disposal. Gehalten auf der SETAC Conference 2016, Nantes. Abgerufen von <https://carbotech.ch/cms2/wp-content/uploads/Franov-SETAC-2016-v1.0.pdf>

Frischknecht, R., & Büsser Knöpfel, S. (2013). Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der Ökologischen Knappheit - Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz (No. 1330) (S. 256). Bern: Bundesamt für Umwelt.

Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., & Van Zelm, R. (2009). ReCiPe 2008 A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. VROM–Ruimte en Milieu, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, [www.lcia-recipe.net](http://www.lcia-recipe.net), (First Edition). Abgerufen von [http://www.pr\\*10-sustainability.com/download/misc/ReCiPe\\_main\\_report\\_final\\_27-02-2009\\_web.pdf](http://www.pr*10-sustainability.com/download/misc/ReCiPe_main_report_final_27-02-2009_web.pdf)

Huijbregts, M. A. J., Rombouts, L. J. A., Ragas, A. M. J., & van de Meent, D. (2005). Human-Toxicological Effect and Damage Factors of Carcinogenic and Noncarcinogenic Chemicals for Life Cycle Impact Assessment. Integrated Environmental Assessment and Management - Volume 1, Number 3-pp. 181-244.

Kägi, T. & Franov, E (2016). Ökobilanz Stiftung SENS - Ökologischer Nutzen des Elektrogerät\*10-Recyclings durch die SENS über 25 Jahre. Im Auftrag der Stiftung SENS, Zürich, Abgerufen von [https://carbotech.ch/cms2/wp-content/uploads/oekobilanz\\_stiftung\\_sens\\_v1.04.pdf](https://carbotech.ch/cms2/wp-content/uploads/oekobilanz_stiftung_sens_v1.04.pdf)

Nathani, C., Sutter, D., van Nieuwkoop, R., Peter, M., Kraner, S., Holzhey, M., u. a. (2011). Energy related disaggregation of the Swiss Input-Output Table. Bern: SFOE, EWG Publication. Abgerufen von <http://www.bfe.admin.ch/forschungewg/02544/04997/index.html?lang=en>

Nathanail, C P, Jones, A, Ogden, R, Robertson, A (2014). Asbestos in soil and made ground: a guide to understanding and managing risks, CIRIA, March 2014, ISBN: 978-0-86017-737-1

PRé Consultants. (2015). SimaPro 8 (Version 8.0.5). PRé Consultants.

Waeber R. und B. Brüscheiler, BAG (2003): "Richtwert für PCB in der Innenraumluft-Information und Empfehlungen" R. Waeber, BAG, Sektion Chemie und Toxikologie, B. Brüscheiler, BAG, Sektion Lebensmitteltoxikologie

