

Vollzug Umwelt

Umweltschutz bei Korrosionsschutz- arbeiten

Planungsgrundlagen



Bundesamt für
Umwelt, Wald und
Landschaft
BUWAL

Umweltschutz bei Korrosionsschutz- arbeiten

Planungsgrundlagen

**Herausgegeben vom Bundesamt
für Umwelt, Wald und Landschaft
BUWAL
Bern, 2004**

Rechtlicher Stellenwert dieser Publikation

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BUWAL als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis ermöglichen.

Das BUWAL veröffentlicht solche Vollzugshilfen (oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u.ä. bezeichnet) in seiner Reihe «*Vollzug Umwelt*».

Die Vollzugshilfen gewährleisten einerseits ein grosses Mass an Rechtsgleichheit und Rechtssicherheit; andererseits ermöglichen sie im Einzelfall flexible und angepasste Lösungen. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfen, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen. Andere Lösungen sind nicht ausgeschlossen; gemäss Gerichtspraxis muss jedoch nachgewiesen werden, dass sie rechtskonform sind.

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)

Das BUWAL ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Autoren

Peter Schürmann, PRS Consult GmbH, Freilerstr. 26, 8157 Dielsdorf

Jörg Stolz, Rüdenbüschelstr. 5, 4206 Seewen

Zitierung

SCHÜRMAN, P.; STOLZ, J. 2004: Umweltschutz bei Korrosionsschutzarbeiten – Planungsgrundlagen. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. BUWAL-Reihe Vollzug Umwelt, 35 S.

Begleitung

Anton Stettler, Abt. Luftreinhaltung und NIS, BUWAL

Max Wyser, Abt. Luftreinhaltung und NIS, BUWAL

Jakob Marti, Amt für Umweltschutz, Kt. Glarus

Gestaltung

Ursula Nöthiger-Koch, 4813 Uerkheim

Titelbild

Hansueli Trachsel, Fotograf, Bremgarten BE

Bezug

BUWAL

Dokumentation

CH-3003 Bern

Fax: +41 (0) 31 324 02 16

E-Mail: docu@buwal.admin.ch

Internet: www.buwalshop.ch

Bestellnummer: VU-5025-D

© BUWAL 2004

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5
Vorwort	7
Zusammenfassung	9
1 Allgemeines zur Planung von Umweltschutzmassnahmen	11
2 Schrittweises Vorgehen bei der Planung der Umweltschutzmassnahmen	13
2.1 Festlegung der notwendigen Schutzmassnahmen	13
2.2 Spezifische Schutzmassnahmen	15
2.2.1 Basismassnahmen	15
2.2.2 Maximale Schutzmassnahmen	15
2.2.3 Variable Schutzmassnahmen	16
3 Anforderungen an die Einhausungen	21
3.1 Übersicht	21
3.2 Einhausungseigenschaften	21
4 Rechenbeispiele	27
Anhang	31
A1 Kontrolle und Messungen	31
Verzeichnisse	33
1 Abkürzungen und Indizes	33
2 Literatur	34

Abstracts

- E**
- Keywords:
corrosion protection,
ambient concentration
limits, technical
measures
- This report is a supplement to Communication no. 12 concerning the Ordinance on Air Pollution Control. The document gives basic information, examples and explanations on how to plan environmental protection measures for corrosion protection work. This is a matter of setting the necessary degree of retention for potential emissions, so that the legal requirements for ambient concentrations can be respected. The report deals with technical measures to reduce emissions for various pollutants in relation to their concentrations.
- D**
- Stichwörter:
Korrosionsschutz-
arbeiten,
Immissionsbegrenzung
en, technische
Massnahmen
- Dieser Bericht ist eine Ergänzung zur Mitteilung Nr. 12 zur Luftreinhalte-Verordnung. Er enthält Grundlagen und Beispiele, sowie Erläuterungen zum Vorgehen bei der Planung von Umweltschutzmassnahmen für Korrosionsschutzarbeiten. Es geht darum festzulegen, welcher Grad der Rückhaltung von potentiellen Emissionen erforderlich ist, damit die gesetzlich vorgegebenen Immissionsbegrenzungen eingehalten werden können. Der Bericht behandelt die technischen Massnahmen zur Emissionsminderung in Abhängigkeit von den Schadstoffen und ihren Gehalten.
- F**
- Mots-clés :
protection
anticorrosion, limitation
des immissions,
mesures techniques
- Ce rapport est un complément aux Informations concernant l'OPair n° 12. Il comporte des données de base et des exemples, ainsi que des explications sur la marche à suivre pour la planification de mesures de protection de l'environnement liées aux travaux de protection anticorrosion. Il s'agit de fixer le taux de récupération des émissions potentielles nécessaire pour pouvoir respecter les limitations légales des immissions. Le rapport décrit les mesures techniques visant à réduire les émissions en fonction des polluants et de leurs concentrations.
- I**
- Parole chiave:
protezione contro la
corrosione, immissioni,
misure tecniche
- Il presente rapporto è un complemento alla comunicazione no. 12 sull'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico. Contiene le basi ed esempi, come pure spiegazioni su come procedere nella pianificazione delle misure di protezione ambientale per i lavori di protezione contro la corrosione. Si tratta essenzialmente di definire il necessario grado di ritenuta delle emissioni potenziali, in modo che siano rispettati i limiti legali delle immissioni. Il rapporto tratta le misure tecniche per la riduzione delle emissioni in funzione delle sostanze nocive e delle loro concentrazioni.

Vorwort

Korrosionsschutzbeschichtungen von freistehenden Stahlobjekten können erhebliche Mengen von giftigen Schwermetallen wie Blei, Zink und Chrom, aber auch von besonders umweltgefährdenden organischen Verbindungen wie PCB oder krebserzeugenden PAK enthalten. Bei der Sanierung solcher Objekte besteht das Risiko, dass beträchtliche Schadstoffmengen in die Luft freigesetzt werden, welche nach ihrer Deposition in der Objektumgebung den Boden und die Gewässer belasten.

Die Luftreinhalte-Verordnung (LRV) trägt diesem Umstand Rechnung, indem sie auch Anforderungen enthält, die beim Korrosionsschutz im Freien einzuhalten sind. In den letzten Jahren haben Behörden und Korrosionsschutzunternehmen bereits beträchtliche Anstrengungen zur Emissionsminderung unternommen. So wurden von einzelnen Kantonen, vom Cercl'Air und vom BUWAL verschiedene Vollzugshilfsmittel erarbeitet, und die in der Praxis eingesetzten Abtrags- und Einhausungsverfahren wurden laufend verbessert. Dennoch hat die Erfahrung gezeigt, dass in vielen Sanierungsfällen Emissions- und Immissions-Grenzwerte der LRV überschritten und insbesondere die Böden in der Umgebung der Objekte übermässig mit Schadstoffen belastet wurden.

Der vorliegende Bericht ergänzt die Mitteilungen zur LRV Nr. 12 «Korrosionsschutz im Freien» und zeigt auf, wie in der Praxis vorzugehen ist, damit durch richtige Wahl und Abstimmung von technischen und betrieblichen Schutzmassnahmen die Anforderungen der LRV, welche auch den Schutz von Böden und Gewässern berücksichtigt, eingehalten werden können.

Bundesamt für Umwelt,
Wald und Landschaft

Gerhard Leutert
Chef der Abteilung Luftreinhaltung und NIS

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht ist eine Ergänzung zur Mitteilung Nr. 12 zur Luftreinhalteverordnung. Er enthält Grundlagen und Beispiele, sowie Erläuterungen zum Vorgehen bei der Planung von Umweltschutzmassnahmen für Korrosionsschutzarbeiten. Es geht im Wesentlichen darum festzulegen, welcher Grad der Rückhaltung von potentiellen Emissionen erforderlich ist, damit die gesetzlich vorgegebenen Immissionsbegrenzungen eingehalten werden können.

Der Bericht behandelt die technischen Massnahmen zur Emissionsminderung in Abhängigkeit von den Schadstoffen und ihren Gehalten. Er zeigt auf, wie in einem schrittweisen Vorgehen die Einhausungsklasse bestimmt werden kann, nach welcher sich die technischen Massnahmen zu richten haben.

Der Anhang behandelt die Aspekte Kontrollen und Messungen. Für eine vertiefte Bearbeitung einzelner Probleme wird auf die relevanten Gesetze, Vollzugspapiere und Grundlagenberichte, die im Literaturverzeichnis (vgl. Kapitel 5) aufgelistet sind, selbst verwiesen.

Die Planung der Umweltschutzmassnahmen erfolgt schrittweise: Zuerst werden die Mengen an Schadstoffen (PCB, BaP, Cr, Pb und Zn) in der zu entfernenden Altbeschichtung ermittelt.

In einem zweiten Schritt wird nach einem Schema beurteilt, welche Klasse von Schutzmassnahmen eingesetzt werden muss:

Bei Anwesenheit von PCB- und/oder BaP-Konzentrationen über 100 ppm wird immer das Abtragsverfahren mit dem geringsten Emissionspotenzial sowie eine Einhausung mit maximalen Schutzmassnahmen (Einhausungsklasse 1, luftdicht verschlossene Einhausung nach Stand der Technik mit Be- und Entlüftungssystem und Abluftfilter) gefordert.

Beim Trockenstrahlen von Brücken mit einer Höhe von weniger als 20 m über Grund oder von Masten mit einer Höhe von weniger als 80 m, deren Beschichtung mehr als 50 g Blei pro m² enthält, ist immer die Einhausungsklasse 1 erforderlich.

Bei grösseren Objekten und PCB- und/oder BaP-Konzentrationen unter 100 ppm muss das Abtragsverfahren und das geeignete Strahlmittel festgelegt werden. Dann wird auf Grund der Schadstoffmengen am Objekt und eventuell im Strahlmittel vorerst ermittelt, welcher Schadstoff der immissions-relevante Schadstoff ist. Anschliessend kann für diesen Schadstoff mittels Modellabschätzung bestimmt werden, welche Kombination von Abtragsverfahren und Einhausungen (Klassen 1, 2 oder 3) in Frage kommt. Der Bericht liefert die für diese Modellabschätzung benötigten Kenngrössen und erläutert sie anhand von Beispielen im Abschnitt 4.

Die technischen Anforderungen an die verschiedenen Einhausungsklassen werden angegeben. Ein separater Ausschreibungstext für Einhausungen ist verfügbar¹ und wird künftig laufend an den Stand der Technik angepasst.

Bei kleinen Objekten (<50 m²), deren Altbeschichtung weniger als 100 ppm PCB und/oder BaP enthält, können teilweise einfache Basismassnahmen ergriffen werden.

Am Ende des Berichtes sind alle Abkürzungen und Begriffe in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt und, wo sinnvoll, deren Dimensionen angegeben, um dem Leser das Verständnis zu erleichtern.

¹ Bezugsquelle: Sekretariat Cercl'Air, Amt für Umweltschutz AR, Postfach, 9102 Herisau

1 Allgemeines zur Planung von Umweltschutzmassnahmen

Der vorliegende Bericht zeigt auf, welche technischen und organisatorischen Massnahmen zum Schutz der Umwelt ergriffen werden können, und wie bei der Planung von Korrosionsschutzarbeiten vorzugehen ist. Die Ausführungen sollen dem Planer und Unternehmer als Anleitung und der zuständigen Behörde als Hilfsmittel bei der Beurteilung von Korrosionsschutzprojekten dienen.

Korrosionsschutzarbeiten als notwendige, werterhaltende Unterhaltsarbeiten an bestehenden Stahlkonstruktionen betreffen oft grosse Objekte, die der Witterung ausgesetzt sind wie Brücken, Stehtanks, Masten für die Stromversorgung, Druckrohre für Wasserkraftwerke. Solche Objekte sind vor oder nach der Montage mit unterschiedlichen Korrosionsschutzsystemen versehen worden und waren unterschiedlichen Witterungseinflüssen, elektrischen und/oder chemischen Einflüssen ausgesetzt. Die Bestimmung des optimalen Zeitpunkts der Sanierung muss daher stets im Einzelfall vorgenommen werden.

Wenn Umweltschutzmassnahmen nicht bereits in der Planungsphase von Korrosionsschutz-Sanierungen seriös und fachgerecht einbezogen werden, kann es zu unliebsamen Zwischenfällen (Überschreitungen von Immissionsgrenzwerten, Einstellung der Arbeiten, Nachbessern der Schutzvorkehrungen, Zeitverzögerungen, Schaffung von Altlasten, Altlastensanierungen) und damit zu hohen Zusatzkosten kommen.

Die Planung von Korrosionsschutzarbeiten umfasst:

- die Bestimmung der Sanierungsstrategie für die zu sanierenden Objekte, bzw. Objektteile (Teil- oder Totalsanierung)
- den Entscheid über das anzuwendende Abtragsverfahren, die Einhausung und über das zukünftige Korrosionsschutz-System (Beschichtung)
- die übrigen Umweltschutzmassnahmen (vor allem Luft, Boden, Wasser).
- die Festlegung des zeitlichen Ablaufs mit Berücksichtigung der Witterungsverhältnisse
- die Ausschreibung

Alle diese Aspekte dürfen nicht isoliert betrachtet und entschieden werden, da sie vernetzt sind: nur eine ganzheitliche Betrachtung führt zur optimalen Lösung. So hat die Wahl des zukünftigen Korrosionsschutz-Systems Einfluss auf die Zeitplanung, die Budgetierung, die Ausschreibung der Vorbereitungsarbeiten bzw. auf die Arbeitsverfahren und die Umweltschutzmassnahmen.

Bezüglich der zu planenden Massnahmen für den Umweltschutz gilt ebenfalls, dass es sich um eine vernetzte Betrachtung handeln muss, denn die Auswahl von Abtragsverfahren, Art und Standort des Objekts sowie weitere Faktoren beeinflussen die zu treffenden Schutzmassnahmen.

Die nachfolgenden Überlegungen und Vorschläge für technische Massnahmen orientieren sich zum Teil auch an Arbeiten, welche die US-amerikanische SSPC (Steel Structure Painting Council²) gemacht hat. Diese hat ausführliche Richtlinien für den Umweltschutz bei Korrosionsschutzarbeiten erlassen.

² heute Society for Protective Coating, siehe auch www.sspc.org

2 Schrittweises Vorgehen bei der Planung der Umweltschutzmassnahmen

2.1 Festlegung der notwendigen Schutzmassnahmen

Schritt 1

Feststellen der Schadstoffmengen am Objekt

Idealerweise ist aus den Projektunterlagen der vorangegangenen Korrosionsschutzarbeiten ersichtlich, welche Korrosionsschutz-Systeme mit welchen Schichtdicken aufgetragen worden sind und welche Zusammensetzung die Altbeschichtung in etwa aufweist. In einzelnen Fällen kann über den Hersteller des Korrosionsschutz-Systems ermittelt werden, welche potentiellen Schadstoffe (Zn, Pb, Cr, PAK und im Speziellen BaP und/oder PCB) in welchen Konzentrationen in den verschiedenen Schichten enthalten sind. Als Leitsubstanz für die Schadstoffgruppe der polyaromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) wird Benz(a)pyren (BaP) verwendet. Aus den spezifischen Schadstoffkonzentrationen SKB, den Schichtstärken SS und den zu bearbeitenden Flächen BF kann nun die wahrscheinliche Schadstoffmenge SM_{Obj} pro Schadstoff am Objekt ermittelt werden. Sind keine Angaben vorhanden oder erhältlich, müssen die Schadstoffmengen am Objekt anhand von Analysen ermittelt werden.

Mit dem Niton-Messgerät, einem handlichen, tragbaren Röntgenfluoreszenz-Analysator für Schwermetalle, steht ein Kleinst-Analysengerät für die halbquantitative, zerstörungsfreie Schwermetallbestimmung im Felde zur Verfügung³. Mit den Konzentrationswerten für Zn, Pb und Cr kann mit einiger Übung auf die Zusammensetzung der Beschichtung geschlossen und die Schadstoffmenge approximativ bestimmt werden.

Als zusätzliche Möglichkeit kann auf Laboranalysen zurückgegriffen werden. Sowohl die Probenahme im Feld als auch die Laboranalysen sind dabei nach den anerkannten Methoden der Messtechnik durchzuführen. Bei Objekten von mehr als 50 m² Bearbeitungs-Fläche, die zwischen 1945 und 1975 neu beschichtet oder erneuert wurden, muss eine PCB-Analyse durchgeführt werden. Wurde ein Teer- bzw. Bitumen-haltiger Anstrich verwendet, so ist davon auszugehen, dass die BaP-Konzentration bei über 100 ppm (entspricht 100 mg/kg oder 0.1 g/kg) liegt, es sei denn, der Objektinhaber kann mit einer Analyse einen tieferen Wert belegen.

Die Schadstoffmengen SM_{Obj} am Objekt und die im Weiteren oft benutzten flächenspezifischen Schadstoffgehalte SG errechnen sich dann für jeden Schadstoff wie folgt:

$$SG = SS * SKB * 10^{-3}$$

$$SM_{Obj} = SG * BF * 10^{-3}$$

³ Das Niton-Gerät wird von der EMPA verwaltet und steht den Kantonen zur Verfügung.

Dabei bedeuten:

SG	flächenspezifischer Schadstoffgehalt	[g/m ²]
SS	Schichtstärke Beschichtung	[g/m ²]
SKB	Schadstoffkonzentration im Beschichtungsmaterial	[g/kg]
SM _{Obj}	Schadstoffmenge am Objekt	[kg]
BF	Bearbeitungsfläche	[m ²]

Schritt 2

Beurteilungsschema für die Schutzmassnahmen

Wenn die chemische Zusammensetzung und die Schadstoffmengen gemäss Schritt 1 ermittelt sind, können die Schutzmassnahmen geplant werden (Abb. 1).

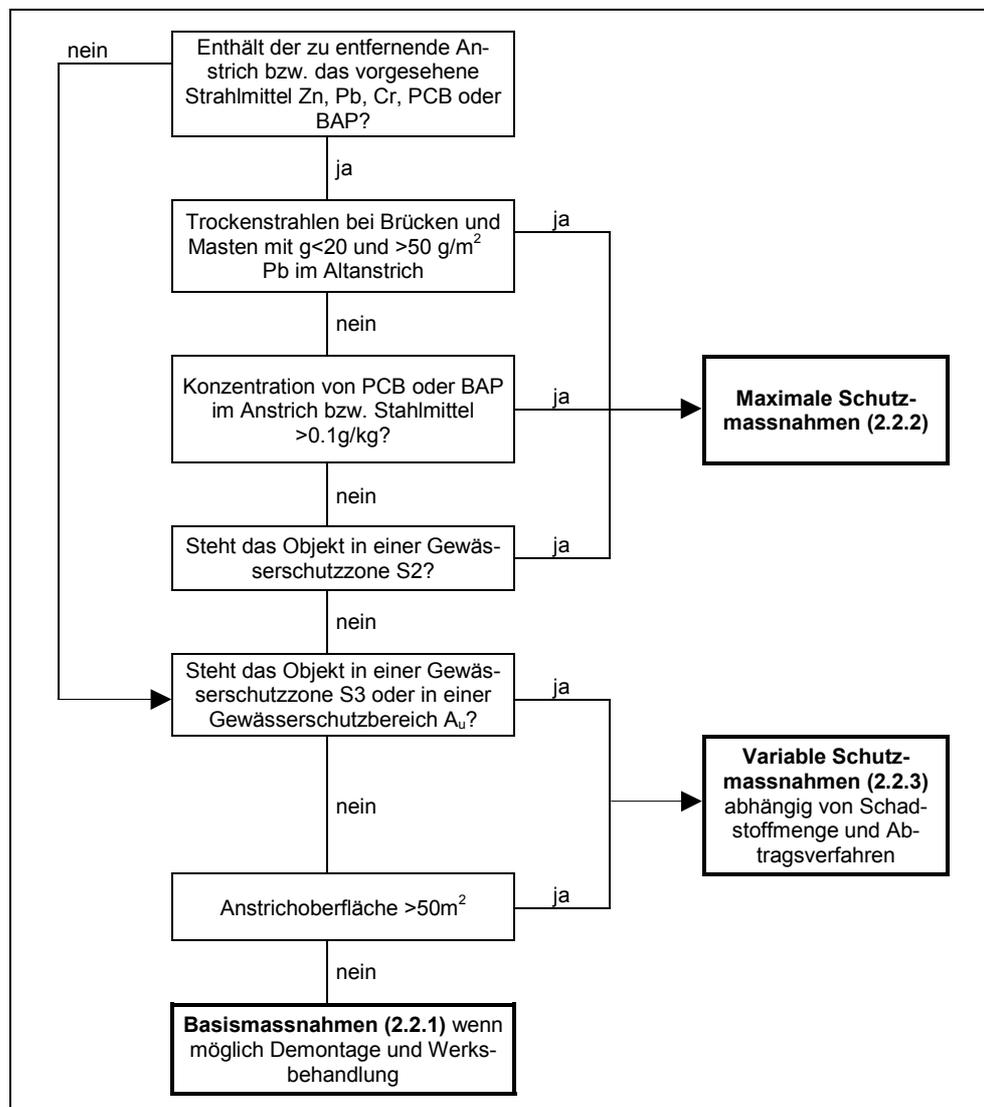


Abbildung 1: Beurteilungsschema für die Planung der Schutzmassnahmen

2.2 Spezifische Schutzmassnahmen

2.2.1 Basismassnahmen

Wenn immer möglich, sollte das zu behandelnde Objekt demontiert und in einer Korrosionsschutzwerkstatt bzw. in einem Sandstrahlbetrieb bearbeitet werden, da die Umweltschutzmassnahmen im Werk wesentlich einfacher zu realisieren sind als auf dem freien Feld.

Bei Kleinvorhaben werden unterschiedliche Bearbeitungsverfahren eingesetzt, die entsprechend angepasste Schutzmassnahmen erfordern. Die bei grösseren Objekten üblichen, erfahrungsgestützten Schutzmassnahmen können nicht immer direkt für Kleinobjekte übernommen werden. Im Rahmen der Eigenverantwortung gelten die Umweltschutz-Anforderungen der LRV aber grundsätzlich genauso auch für Flächen unter 50 m².

Die folgenden Basismassnahmen sind bei Vorhaben unter 50 m² Oberfläche bei Anwesenheit von Zn, Pb, Cr und bei Objekten mit PCB- oder BaP-Gehalten unter 100 ppm anzuwenden:

- Lässt sich eine Bearbeitung vor Ort nicht vermeiden, so müssen auch bei Kleinvorhaben zumindest mit einer Bodenabdeckung die freigesetzten Stoffe und Rückstände aufgefangen werden. Für den mechanischen Abtrag oder die Ausbesserung der Altbeschichtung sind Verfahren zu wählen, die möglichst wenig Staub oder Dämpfe produzieren, wie z.B. Nassschleifen, Schaben oder der Einsatz von Nadelpistolen. Es sind Geräte einzusetzen, welche die Stäube direkt absaugen und sammeln.
- Eventuell eignet sich auch das Abbeizen oder Ablaugen. Damit lassen sich kompliziert gestaltete Objekte staubfrei behandeln. Auch diese Methode birgt die Gefahr von Umweltverschmutzungen und erfordert ein sorgfältiges Vorgehen. Es ist ein Produkt zu wählen, das möglichst wenig umweltbelastende Stoffe enthält, also insbesondere keine chlorierten Lösungsmittel. Waschwasser und feste Rückstände sind aufzufangen und fachgerecht zu entsorgen.

2.2.2 Maximale Schutzmassnahmen

Wenn PCB und/oder BaP in Konzentrationen von mehr als 100 ppm in der Altbeschichtung vorhanden sind, müssen maximale Schutzmassnahmen getroffen werden. Dies bedeutet, dass unter den technisch möglichen Abtragsverfahren immer dasjenige mit dem geringsten Emissionspotenzial ausgewählt, und mit einer Einhausung der Klasse 1 kombiniert wird (Details dazu siehe in Kapitel 4).

Ebenfalls Einhausungsklasse 1 ist erforderlich, wenn Brücken mit einer Höhe von weniger als 20 m über Grund oder Masten mit einer Höhe von weniger als 80 m, deren Beschichtung mehr als 50 g Blei pro m² enthält, mittels Trockenstrahlverfahren gereinigt werden, oder wenn das Objekt in einer Gewässerschutzzone S2 steht.

2.2.3 Variable Schutzmassnahmen

Schritt 3

Festlegung des Abtragsverfahrens und des Strahlmittels

Kommen gemäss Beurteilungsschema von Abbildung 1 variable Schutzmassnahmen in Frage, so ist als nächstes das Abtragsverfahren und das Strahlmittel festzulegen, damit die allfällig mit dem Strahlmittel verbundenen Schadstoffeinträge abgeschätzt werden können.

Die Wahl des Abtragsverfahrens hat einen grossen Einfluss auf die Emissionen und dadurch auf die potentiellen Immissionen und ist deshalb ein sehr wichtiges Element der Emissionsverhinderung, wie die folgende Tabelle zeigt:

Tabelle 1 Emissionsgrade EG der Abtragsverfahren

Abtragsverfahren	Emissionsgrad EG
Trockenstrahlen	0.50
Feuchtstrahlen	0.40
Druckwasserstrahlen	0.40
Saugkopfstrahlen auf ebenen Flächen	0.05
Handwerkzeuge	0.20
Handgeführte Maschinen	0.50
Handgeführte Maschinen mit Absaugung und Staubabscheidung	0.05

Die angegebenen Emissionsgrade EG sind geschätzte Erfahrungswerte aus der Praxis. Sie geben an, welcher Anteil der Altbeschichtung beim einzelnen Abtragsverfahren jeweils in die Luft freigesetzt wird.

Zusätzlich ist die im vorgesehenen Strahlmittel enthaltene Schadstoffmenge SM_{Str} pro Schadstoff zu bestimmen:

$$SM_{Str} = SSM * BF * SKS * 10^{-3}$$

Wobei:

SM_{Str}	Schadstoffmenge im Strahlmittel	[kg]
SSM	spezifischer Strahlmittelverbrauch	[kg/m ²]
SKS	Schadstoffkonzentration im Strahlmittel	[g/kg]

Damit beträgt die gesamte Menge pro Schadstoff

$$SM = SM_{Obj} + SM_{Str}$$

SM	gesamte Schadstoffmenge	[kg]
----	-------------------------	------

Bei den Strahlmitteln kommt nun noch dazu, dass die vom Strahlmittel herrührende Staubbelastung ein weiteres Kriterium für die Bestimmung der Einhausungsklasse sein kann. Dies wird dadurch berücksichtigt, dass der Gesamtstaub wie ein Schadstoff betrachtet wird. Welcher Anteil des Strahlmittels in Form von Staub freigesetzt wird, hängt vom Abtragsverfahren und von der Natur des Strahlmittels ab. Bei Schmelzkammerschlacke muss z.B. davon ausgegangen werden, dass 50% des Einsatzes als Staub, davon ein grosser Teil als Feinstaub (mit allenfalls anteilmässigen Schadstoffen) freigesetzt wird.

Schritt 4

Ermitteln des relevanten Schadstoffs

Die Relevanz eines Schadstoffes hängt von der in Schritt 3 ermittelten gesamten Schadstoffmengen SM (in kg) sowie von dem entsprechenden IGW ab. Um die Schadstoffe miteinander zu vergleichen werden die IGW über den IGW_{pb} auf den Wert von Blei normiert, und die immissionsgewichtete Schadstoffmenge SM_{ig} wird nach folgender Formel berechnet:

$$SM_{ig} = SM * IGW_{pb} / IGW$$

SM_{ig} immissionsgewichtete Schadstoffmenge [kg]

Tabelle 2 Immissionsgrenzwerte (IGW)

Schadstoff	IGW in $\mu g/m^2 * Tag$	IGW in $mg/m^2 * Jahr$	IGW_{pb} / IGW
Gesamtstaub	200'000	73'000	0.0005
Zink	400	146	0.25
Blei	100	36.5	1
Chrom ¹⁾	50	18.25	2

¹⁾ Orientierungswert

Der relevante Schadstoff ist derjenige mit dem höchsten Wert für die auf diese Weise ermittelten immissionsgewichteten Schadstoffmengen SM_{ig} .

Beispiel: Stahl-Fachwerkbrücke in städtischem Gebiet

Altbeschichtung mit Bearbeitungsfläche $BF = 1000 \text{ m}^2$, Schichtstärke $SS = 600 \text{ g/m}^2$ und den folgenden Schadstoffkonzentrationen (Gewichtsprozent):

Zink ca. 10 % $\Rightarrow SG_{Zn} = 60 \text{ g/m}^2$
 Blei ca. 1 % $\Rightarrow SG_{Pb} = 6 \text{ g/m}^2$
 Chrom ca. 8 % $\Rightarrow SG_{Cr} = 48 \text{ g/m}^2$

Spezifischer Strahlmittelverbrauch (Schmelzkammerschlacke) $SSM = 40 \text{ kg/m}^2$ mit einer Schadstoffkonzentration (Gewichtsprozent) $SKS = 0.3\%$ Zink, 0.1% Blei, 0% Chrom

Ergibt folgende Werte:

	$SM_{Obj} = SG * BF$ [kg]	$SM_{Str} = SSM * BF$ [kg]	$SM = SM_{Obj} + SM_{Str}$ [kg]	IGW [$\mu\text{g}/\text{m}^2 * \text{d}$]	SM_{ig} [kg]
<i>Gesamtstaub</i>	600	40'000	40'600	200'000	20
Zink	60	120	180	400	45
Blei	6	40	46	100	46
Chrom	48		48	50 ⁴	96

Chrom ist der massgebende Stoff, weil der höchste Wert für SM_{ig} resultiert.

Schritt 5

Bestimmung der Einhausungsklasse

Ist Gesamtstaub, Zn, Pb oder Cr der relevante Schadstoff, und liegt die Bearbeitungsfläche über 50 m^2 , so kann nach dem folgenden Modell abgeschätzt werden, welche Kombinationen von Abtragsverfahren und Einhausungsklasse in der Regel ausreichend vor übermässigen Belastungen der Objektumgebung schützen.

Modell für die Abschätzung des benötigten Rückhaltegrads der Einhausung:

Zur Charakterisierung des Objekts werden folgende Angaben benötigt:

Bearbeitungsfläche BF [m^2]
 Grundfläche des Objekts GF [m^2]
 Geometriefaktor g siehe Tabelle 3

⁴ Orientierungswert

Tabelle 3 Geometriefaktoren g

Objekt	Geometriefaktor g
Brücke tief	5
Brücke mit Höhe H [m] über Grund	H
Steh-tank	8
Druckleitung	3
Masten mit Höhe H [m]	¼H

Der Geometriefaktor g dient für Standardobjekte dazu, grob abzuschätzen, wie gross die durch die staubförmigen Emissionen massgebend beeinträchtigte Bodenfläche (Immissionsfläche IF) im Vergleich zur Grundfläche GF des Objekts ist.

$$g = IF / GF \rightarrow IF = GF * g$$

Bei speziellen Objekten muss dieser Faktor im Einzelfall geschätzt werden. Bei hohen Brücken wird der Geometriefaktor als lichte Höhe zwischen dem Talgrund und der Unterkante der Einhausung angenommen.

Mit diesen Angaben werden die folgenden Grössen für den relevanten Schadstoff berechnet:

$$\begin{array}{lll} \text{Emissionspotenzial EP} & EP = SM * EG & [\text{kg}] \\ \text{Immissionsfläche IF} & IF = GF * g & [\text{m}^2] \\ \text{Immissionspotenzial IP} & IP = EP/IF = SM / (GF * g) * EG * 10^6 & [\text{mg/m}^2] \end{array}$$

Für die Bestimmung der noch zulässigen Immission geht man vom IGW (bezogen auf 1 Jahr) und von der Immissionsvorbelastung IV (auch auf 1 Jahr bezogen) aus. Die zulässige Immission IZ ist die Differenz zwischen diesen beiden Werten, also

$$IZ = IGW - IV \quad [\text{mg/m}^2 * \text{Jahr}]$$

Für die Immissionsvorbelastung IV können Immissionsmesswerte am Objektstandort vor Aufnahme der Korrosionsschutzarbeiten oder solche eines vergleichbaren Standorts (z.B. Werte des NABEL-Messnetzes oder eines kantonalen Messnetzes) herangezogen werden. Falls keine Messdaten verfügbar sind, wird für die IV 50% des IGW bzw. des Orientierungswertes eingesetzt.

Da aber die Abtragoperationen in der Regel viel weniger als ein Jahr dauern, darf davon ausgegangen werden, dass in den übrigen Tagen des Jahres keine weiteren Immissionen mit Schadstoffen, wie sie beim Abtrag von Altschichten entstehen, anfallen werden. Das heisst, dass die Immissionen des Abtragsverfahrens auf diese zulässige Immission IZ verteilt werden dürfen.

Nun kann das Immissionspotenzial IP mit den zulässigen Immissionen IZ verglichen werden. Das Verhältnis dieser beiden Zahlen zeigt, um welchen Faktor die Immissionen der Abtragoperationen reduziert werden müssen, damit die zulässigen Immissionen nicht überschritten werden. Da das Immissionspotenzial in allen Fällen viel grösser ist als die zulässigen Immissionen, müssen durch technische Massnahmen (Einhausung) die Emissionen so vermindert werden, dass die tatsächlichen Immissionen kleiner werden als die zulässigen.

Es wird aus den oben berechneten Werten der minimal einzuhaltende Rückhaltegrad RG der Einhausung nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Rückhaltegrad RG} \geq 1 - \text{IZ/IP}$$

Erforderlicher Rückhaltegrad und Einhausungsklasse:

Je nach Höhe des Wertes, der für den minimal einzuhaltenden Rückhaltegrad errechnet wird, ergibt sich die erforderliche Einhausungsklasse:

Rückhaltegrad	Einhausungsklasse
>0.99	Klasse 1
0.98 bis 0.99	Klasse 2
<0.98	Klasse 3.

Beispiele zu diesen Abschätzungen finden sich in Kapitel 4.

3 Anforderungen an die Einhausungen

Bei den Anforderungen wird unterschieden in solche für Einhausungen kombiniert mit trockenen und feuchten Abtragsverfahren mit Strahlmitteln und in solche für Einhausungen kombiniert mit nassen Verfahren ohne Strahlmittel.

3.1 Übersicht

Die nachfolgenden Listen geben an, welche Einhausungseigenschaften – gekennzeichnet durch einen Buchstaben und eine Ziffer – nach dem Katalog in Abschnitt 3.2 für welche Einhausungsklasse erforderlich sind. Dabei wird eine Unterteilung für trockene und feuchte Verfahren in die Kriterien A bis J, und für nasse Verfahren in die Kriterien A bis I und K vorgenommen.

Tabelle 4 Anforderungskatalog für die Einhausungsklassen 1, 2 und 3

Verfahren mit Strahlmitteln (trocken und feucht)			
	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
A Einhausungskonstrukt	A1/A2	A1/A2	A1/A2
B Einhausungsmaterial/Dichtigkeit	B1	B1	B2
C Tragkonstruktion	C1	C2	C3
D Nahtstellen	D1	D1	D2
E Zugänge	E1	E2	E3
F Konstruktion der Luftzufuhrstellen	F1	F1	F2
G Zuluftstrom	G1/G2	G1/G2	G2
H Unterdruckkontrolle	H1/H2	H2	H2
I Luftströmung Einhausung	I1	I2	I2
J Staubabscheidung	J1	J2	J2
Nasse Verfahren ohne Strahlmittel			
A Einhausungskonstruktion	A1/A2	A1/A2	A1/A2
B Einhausungsmaterial/Dichtigkeit	B3	B3	B3
C Tragkonstruktion	C1	C2	C3
D Nahtstellen	D1	D1	D2
E Zugänge	E3	E3	E3
F Konstruktion der Luftzufuhrstellen	F2	F2	F2
G Zuluftstrom	G2	G2	G2
H Unterdruckkontrolle	H2	H3	H3
I Luftströmung Einhausung	I2	I2	I2
K Wasserbehandlung	K1	K1	K1

3.2 Einhausungseigenschaften

Die nachfolgend im Detail beschriebenen Einhausungseigenschaften sollen beispielhaft aufzeigen, wie die Einhausungen nach Klassen 1, 2 oder 3 auszugestaltet sind. Technisch gleichwertige Massnahmen sind ebenfalls möglich, wenn nachgewiesen wird, dass dadurch keine stärkere Belastung der Umwelt zu befürchten ist.

**A Einhausungs-
konstruktion**

A1 – fest:

Eine feste Einhausung besteht aus fest miteinander verbundenen Konstruktionselementen (Wände, Zwischenwände, Boden, Dach) auch in Form von modularen Einheiten aus ineinander greifenden Span- oder Faserplatten, Holz, Aluminium, Kunststoffen oder ähnlichen festen Materialien.

A2 – flexibel:

Eine flexible Einhausung besteht aus Planen, Blachen, Tüchern, Kunststofffolien oder ähnlichen Materialien.

**B Einhausungs-
material/
Dichtigkeit**

B1 – undurchlässiges Material:

Materialien, die staub- und/oder windundurchlässig sind; dazu gehören insbesondere:

- Planen: Bearbeitetes oder beschichtetes Gewebe ohne Löcher oder Öffnungen
- Folien: ein- oder doppellagige Folien, Starkwand-Bauplastik. Für einige Anwendungen kann auch verstärkte oder armierte Folie nötig sein.
- Platten: Span- oder Faserplatten, Platten aus Holz, Kunststoff, Aluminium, anderen Metallen, Faserzement oder vergleichbaren steifen Materialien.
- Kombinationen dieser Materialien

B2 – luftdurchlässiges Material:

Material, das geformt oder gewoben ist mit dem Ziel, Luft durchzulassen, jedoch gewisse Partikel zurückzuhalten (Grobstaubfilter). Bemerkung: Die zu berücksichtigenden Windlasten von luftdurchlässigen Materialien wie z.B. eingespannten Planen sind dieselben wie bei luftundurchlässigen Materialien.

B3 – wasserundurchlässiges Material:

Einhausungsmaterial das kein Wasser durchtreten lässt, auch wenn Wasser ständig ansteht.

Achtung: Öffnungen in den Materialien vermindern den Rückhaltegrad der Einhausung.

C Tragkonstruktion

C1 – starre Rahmenkonstruktionen:

Diese Konstruktionen lassen keine Bewegung des eigentlichen Einhausungsmaterials zu und sind zusammengesetzt aus Gerüststangen oder ähnlichen Komponenten, an denen die Einhausungsmaterialien befestigt werden.

C2 – flexible Rahmenkonstruktionen:

Diese Konstruktionen erlauben minimale Bewegungen und bestehen aus Seilen, Ketten oder ähnlichen Komponenten, an denen die Einhausungsmaterialien befestigt werden.

C3 – minimale Tragkonstruktionen:

Diese Konstruktionen umfassen wenig oder keine separaten Komponenten ausser Seilen oder Ketten, die es braucht, um die Einhausungsmaterialien am Objekt selbst oder am Objekt und am Boden zu befestigen.

D Nahtstellen

D1 – vollständig abdichtende Nahtstellen:

alle Nahtstellen zwischen den Einhausungsmaterialien, der Tragkonstruktion und dem Objekt, bzw. dem Boden oder Zwischenboden, sind abzudichten. Die Abdichtung beinhaltet eine Überlappung der Teile, wenn flexible Materialien eingesetzt werden, und Kedern, Nähen oder Heften, Bandumwickeln, mit Klebband versehen, oder andere Abdichtungstechniken. Die Dichtmaterialien müssen gegenüber Chemikalien und Wasser beständig sein.

D2 – teilweise abdichtende Nahtstellen:

Die Einhausungsmaterialien werden ohne spezielle Abdichtungen zusammengefügt. Es wird empfohlen, dass die Nahtstellen überlappen. Eine vollständige Abdichtung ist nicht erforderlich.

E Zugänge

E1 – Zugang über Luftschleusen mit wiederabdichtbaren Türen:

Dieses Zugangssystem umfasst Zugangstüren, die immer wieder dicht verschlossen werden können. Luftschleusen werden zusätzlich eingesetzt, um den Luftaustausch oder den Abluftaustritt durch die Zugänge zu reduzieren.

E2 – Zugang über wiederabdichtbare Türen:

Einsatz von Zugängen, die immer wieder vollständig abgedichtet werden können.

E3 – Zugang über überlappende Türflügel oder offene Nahtstellen:

Einsatz von mehrfach überlappenden Türflügeln oder speziell ausgebildeten Nahtstellen, um das Entweichen von Staub durch die Zugänge zu reduzieren.

Strahlschutt ist innerhalb der Einhausung so zu behandeln, dass das Ausschleusen staubfrei erfolgen kann.

Be- und Entlüftung

Die bei der Auswahl der Be- und Entlüftungssysteme zu berücksichtigenden Gesichtspunkte sind untenstehend erwähnt (Massnahmen F bis I). Wichtig bei der Auslegung und Planung eines Be- und Entlüftungssystems ist, dass die statischen Drücke mit den Belüftungsvolumenströmen abgestimmt werden, damit weder Teile der Einhausung noch die Einhausung als Ganzes wegen zu hohem Unterdruck eingedrückt werden können.

Achtung: Die Wahl eines geeigneten Be- und Entlüftungssystems dient der Emissionsminderung beim Austritt der Abluft in die Atmosphäre, genügt aber nicht not-

wendigerweise den Anforderungen des Arbeitnehmerschutzes. Um auch diesen zu genügen, sind die entsprechenden Anforderungen der SUVA in die Evaluation des Be- und Entlüftungssystems miteinzubeziehen.

**F Konstruktion der
Luftzufuhr-Stellen**

F1 – Geregelte Luftzufuhr (Ansaugstutzen):

Montage von Ablenk- bzw. Sperrblechen, Luftklappen (Jalousien), Klappendichtungen, Filtern sowie Kanalzügen auf Luftzufuhr-Stellen zur Verhinderung des Austritts von Strahlmittel oder Strahlschutt. Diese können mit oder ohne Gebläse eingesetzt werden.

F2 – Offene Luftzufuhr:

Zufuhrstellen ohne Kanäle, Klappen oder Leitbleche.

G Zuluftstrom

G1 – Kontrollierter Zuluftstrom:

Die Luftzufuhrstellen werden kontrolliert und dem Arbeitsort der Abtragsarbeiten laufend angepasst. Dies kann durch den Einsatz von Gebläsen unterstützt werden. Dadurch wird der Luftstrom gezielt am Arbeitsplatz verstärkt. Bei gleichzeitigem Einsatz einer Absaugung, die in der Einhausung einen Unterdruck erzeugt, müssen Zu- und Abluftstrom über den gesamten Arbeitsbereich richtig aufeinander abgestimmt sein.

G2 – Nicht speziell kontrollierter Zuluftstrom:

Die Zuluft tritt über mehrere Zuluftstellen verteilt in die Einhausung ein.

**H Unterdruckkontrolle
in der Einhausung**

H1 – Nachweis mit Messgerät und Registrierung:

Ein mittlerer Unterdruck in der gesamten Einhausung von mindestens 1 mm WS oder 0.1 mbar gegenüber dem Umgebungsdruck ist während den Oberflächenbehandlungs- bzw. Reinigungsarbeiten einzuhalten. Zum Nachweis des Unterdrucks sind geeignete Manometer oder U-Rohre (Druckmessgeräte) einzusetzen.

H2 – Visueller Nachweis:

Der Unterdruck wird durch die konkave Einbuchtung von flexiblen Einhausungsmaterialien an Wänden, Böden und Zwischenböden angezeigt (unter Berücksichtigung allfälliger Windeffekte). Rauch oder andere sichtbare Medien können innerhalb oder ausserhalb der Einhausung verwendet werden, um Luftströmungen zu beobachten.

H3 – Keine Anforderung: Kein Unterdruck nötig.

I Luftströmung in der Einhausung

Luftströmung innerhalb der Einhausung werden für verschiedene Zwecke eingesetzt, bzw. optimiert:

- um die Staub-Belastung der Arbeitnehmer zu reduzieren
- um die Sichtverhältnisse zu verbessern
- um Stäube oder Dämpfe zu entfernen
- um Schadstoff-Emissionen in die Atmosphäre zu verhindern

II – Mindest-Luftströmung:

Um einen Luftstrom in der Einhausung zu erzeugen, ist der Einsatz von Gebläsen erforderlich. Die Lüftungstechnischen Anforderungen können z.B. folgendermassen spezifiziert werden:

- Einhalten einer minimalen Luftgeschwindigkeit bei Quer- oder Vertikal-Lüftung
- Einhalten einer minimalen Luftwechselzahl

Die genaue Spezifikation der Luftströmung sollte auf einer Analyse der projektspezifischen Bedingungen basieren, wie eingesetzter Strahldruck, Anzahl und Grösse der Strahldüsen, Art, Grösse und Brüchigkeit des Strahlmittels, Durchflussrate des Strahlmittels, Schadstoffgehalt des Strahlmittels, Dicke und Alter der Beschichtung, Art und Grösse des Objekts und Konfiguration der Einhausung.

I2 – Keine Luftströmung definiert:

In diesem Fall wird keine Mindest-Luftströmung in der Einhausung vorgeschrieben. Trotzdem müssen bei der Entfernung von Beschichtungen die technisch möglichen Massnahmen ergriffen werden müssen, damit die Belastung der Arbeitnehmer mit Schadstoffen in der Atemluft reduziert wird.

J Staubabscheidung

J1 – Luftfilterung nach dem Stand der Technik:

in der vom Abluftfilter abgegebenen Luft darf ein Reststaubgehalt von 1 mg/m^3 nicht überschritten werden. Das eingesetzte Filtermaterial muss ein BIA-Prüfzeugnis⁵ haben und mindestens der Kategorie C entsprechen. Der Betreiber ist verpflichtet, für einen optimalen Betrieb und eine regelmässige Wartung zu sorgen. Das Handling von Strahlschutt und Filterstaub (z.B. Umfüllen) muss in einem geschlossenen System oder geschlossenen Raum vorgenommen werden.

J2 – Luftfilterung mit reduzierter Anforderung:

Der Reststaubgehalt darf 5 mg/m^3 nicht überschreiten.

K Wasserbehandlung

K1 – Wasserbehandlung erforderlich:

Das bei der Reinigung anfallende Wasser muss nach Möglichkeit in einem Kreislauf geführt d.h. wieder verwendet werden. Am Schluss der Arbeiten muss es als Sonderabfall entsorgt werden.

⁵ BIA: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit, Sankt Augustin, www.hvbg.de/bia

4 Rechenbeispiele

Beispiel 1

Stahlfachwerkbrücke mit einer Bleimennige-Grundierung Offenes Sandstrahlen

Zu bearbeitende Fläche BF	1500 m ²
Grundfläche GF	750 m ²
Höhe H	16 m
Spezifischer Schadstoffgehalt SG	200 g Pb/m ²
Emissionsgrad des Abtragsverfahrens EG (Trockenstrahlen)	0.50
Geometriefaktor g (= H)	16
Immissionsgrenzwert IGW	36.5 mg/m ² *Jahr
Immissionsvorbelastung IV (NABEL-Messung städtisches Gebiet)	7.3 mg/m ² *Jahr
Für die Beurteilung massgebliche Parameter:	
Spezifischer Schadstoffgehalt SG > 50 g Pb pro m ² ,	
Geometriefaktor g < 20	
Trockenstrahlverfahren	

Aus dem Beurteilungsschema (Abb.1) folgt, dass eine Einhausung nach Einhausungsklasse 1 (maximale Schutzmassnahmen) erforderlich ist.

Beispiel 2

Stahlbrücke mit Zinkstaubgrundierung Druckwasserstrahlen ohne Strahlmittel

Bearbeitete Fläche BF	200 m ²
Grundfläche GF	100 m ²
Höhe H (= g)	8 m
Spez. Schadstoffgehalt SG	120 g Zn/m ²
Emissionsgrad des Abtragsverfahrens EG (Druckwasserstrahlen)	0.4
Geometriefaktor g	8
Immissionsgrenzwert IGW	146 mg/m ² *Jahr
Immissionsvorbelastung IV	26 mg/m ² *Jahr
Daraus berechnet:	
Abzutragende Schadstoffmenge SM = BF * SG (= 200 m ² * 120 g/m ²)	24 kg Zn
Emissionspotenzial EP = SM * EG (= 24 kg * 0.4)	9.6 kg Zn
Immissionsfläche IF = GF * g (= 100 m ² * 8)	800 m ²
Immissionspotenzial IP = EP / IF (= 9.6 kg / 800 m ²)	12 g/m ² (12'000 mg/m ² *Jahr)
Zulässige Immission IZ = IGW – IV (= 146 mg/m ² *Jahr – 26 mg/m ² *Jahr)	120 mg/m ² *Jahr
Rückhaltegrad der Einhausung RG = 1 – IZ/IP (= 1 – 120 mg/m ² *Jahr / 12'000 mg/m ² *Jahr)	0.99 = 99%

Es ergibt sich ein Rückhaltegrad von 0.99. In diesem Fall genügt eine Einhausung nach Einhausungsklasse 2.

**Tankdach mit Bleimenniggründierung (250 g/m²), kein PCB in Deckanstrich
Strahlmittel mit 1% Zn, Strahlmittelverbrauch 30 kg/m²
Immissionsvorbelastung für Blei: 7.0 mg/m²*Jahr**

Zuerst muss ermittelt werden, welcher der drei folgenden Schadstoffe der immissionsrelevante Schadstoff ist:

- Blei aus der Gründierung (Altbeschichtung)
- Zn aus dem Strahlmittel oder
- Staub aus Strahlmittel (und abgetragener Schicht)

	SM _{Obj} = SG * BF [kg]	SM _{Str} = SSM * BF [kg]	SM = SM _{Obj} + SM _{Str} [kg]	IGW [mg/m ² *Jahr]	IV [mg/m ² *Jahr]	SM _{Ig} [kg]
<i>Gesamtstaub</i>	100	12'000	12'100	73'000	29'000	6
Zink		240	240	146	22	60
Blei	200		200	36.5	7.0	200

Der immissionsrelevante Schadstoff ist in diesem Beispiel das Blei aus der Altbeschichtung. Die weiteren Berechnungen werden mit diesem Schadstoff gemacht. Zuerst wird für offenes Sandstrahlen gerechnet, anschliessend für Saugkopfstrahlen. Für offenes Sandstrahlen ergeben sich die folgenden Zahlen:

bearbeitete Fläche BF	800 m ²
Grundfläche GF	800 m ²
spez. Schadstoffgehalt SG	250 g Pb/m ²
Emissionsgrad des Abtragsverfahrens EG	0.50
Geometriefaktor g	8
Immissionsgrenzwert IGW	36.5 mg/m ² *Jahr
Vorbelastung IV gemäss Immissionsmessung	7.0 mg/m ² *Jahr
Daraus berechnet:	
abzutragende Schadstoffmenge SM = BF * SG (=800 m ² * 250 g/m ²)	200 kg Pb
Emissionspotenzial EP = SM * EG (= 200 kg * 0.5)	100 kg Pb
Immissionsfläche IF = GF * g (= 800 m ² * 8)	6400 m ²
Immissionspotenzial IP = EP / IF (= 100 kg / 6400 m ²)	15.6 g/ m ² *Jahr = 15'600 mg/m ² *Jahr
Zulässige Immission IZ = IGW – IV (= 36.5 mg/m ² *Jahr – 7.0 mg/m ² *Jahr)	29.5 mg/m²*Jahr
Rückhaltegrad der Einhausung RG = 1 – IZ/IP (= 1 – 29.5 mg/m ² / 15'600 mg/m ² *Jahr)	0.998 = 99.8 %

Es ergibt sich ein erforderlicher Rückhaltegrad von mehr als 0.99. Dieser kann nur mit einer Einhausung nach Einhausungsklasse 1 erreicht werden.

Wird anstelle des offenen Sandstrahlens ein Saugkopfverfahren gewählt, ergeben sich die folgenden Resultate:

abzutragende Schadstoffmenge SM = BF * SG (=800 m ² * 250 g/m ²)	200 kg Pb
Emissionspotenzial EP = SM * EG (= 200 kg * 0.05)	10 kg Pb
Immissionsfläche IF = GF * g (= 800 m ² * 8)	6400 m ²
Immissionspotenzial IP = EP / IF (= 10 kg / 6400 m ²)	1.56 g/m ² *Jahr = 1560 mg/m ² *Jahr
Zulässige Immission IZ = IGW – IV (= 36.5 mg/m ² *Jahr – 7.0 mg/m ² *Jahr)	29.5 mg/m ² *Jahr
Rückhaltegrad der Einhausung RG = 1 – IZ/IP (= 1 – 29.5 mg/m ² *Jahr / 1560 mg/m ² *Jahr)	0.981 = 98.1 %

Es ergibt sich ein Rückhaltegrad zwischen 0.98 und 0.99. Dieser kann mit einer Einhausung nach Einhausungsklasse 2 erreicht werden.

**Mit den Annahmen des Beispiels in Abschnitt 2.2.3
Stahl-Fachwerkbrücke in städtischem Gebiet
(10m über Grund, Grundfläche 400 m²)**

Altbeschichtung mit Bearbeitungsfläche BF = 1000 m², Schichtstärke SS = 600 g/m² und den folgenden Schadstoffkonzentrationen (Gewichtsprozent):

Zink	ca. 10 %	⇒ SG _{Zn} = 60 g/m ²
Blei	ca. 1 %	⇒ SG _{Pb} = 6 g/m ²
Chrom	ca. 8 %	⇒ SG _{Cr} = 48 g/m ²

Spezifischer Strahlmittelverbrauch (Schmelzkammerschlacke) SSM = 40 kg/m² mit einer Schadstoffkonzentration (Gewichtsprozent) SKS = 0.3% Zink, 0.1% Blei, 0% Chrom).

Es stellt sich heraus, dass Chrom der massgebende Stoff ist.

Mit der Annahme, dass Sandstrahlen eingesetzt werden muss, ergeben sich die folgenden Berechnungen:

bearbeitete Fläche BF	1000 m ²
Grundfläche GF	400 m ²
spez. Schadstoffgehalt SG	48 g Cr/m ²
Immissionsgrenzwert IGW	18.25 mg/m ² *Jahr
Vorbelastung IV gemäss Immissionsmessung	1.82 mg/m ² *Jahr
Geometriefaktor g	10
abzutragende Schadstoffmenge SM = BF * SG (= 1000 m ² * 48 g/m ²)	48 kg Cr
Emissionspotenzial EP = SM * EG (48 kg * 0.5)	24 kg Cr
Immissionsfläche IF = GF * g (= 400 m ² * 10)	4000 m ²
Immissionspotenzial IP = EP / IF (= 24 kg / 4000 m ²)	6 g/m ² = 6000 mg/m ² * Jahr
Zulässige Immission IZ = IGW – IV (= 18.25 mg/m ² * Jahr – 1.82 mg/m ² *Jahr)	16.43 mg/m² * Jahr
Rückhaltegrad der Einhausung RG = 1 – IZ / IP (= 1 – 16.43 mg/m ² * Jahr / 6000 mg/m ² *Jahr)	0.9973 = 99.7%

Es ergibt sich ein erforderlicher Rückhaltegrad von mehr als 0.99. Dieser kann nur mit einer Einhausung nach Einhausungskategorie 1 erreicht werden.

Anhang

A1 Kontrolle und Messungen

Abnahme der Baustelle

Die Abnahme der Baustelle konzentriert sich auf folgende Punkte:

- Konstruktion der Einhausung und allfälliger Arbeitssegmente
- Oberflächenvorbereitungsverfahren: Geräte, Hilfsstoffe (Strahlmittel), Zuluftmenge
- Abluftreinigung: Ventilatoren, Abluftmenge, Filter, Restemissionen, Filterrückstände
- diffuse Staubaustritte (Unterdruck in der Einhausung)
- Sonderabfälle: Handling, Zwischenlagerung, Entsorgung
- Neubeschichtung: Beschichtungsstoffe, Applikationsmethode → vgl. [6]

Kontrollen der Baustelle

- Kontrollen der Baustellen durch Behörden oder Beauftragte konzentrieren sich auf:
 - Zustand der Einhausung (Unterdruck, Leckstellen, diffuse Staubaustritte)
 - Funktion der Abluftreinigungsanlage
 - Zwischenlagerung und Umschlag von Strahlmittel, Strahlschutt und Filterstaub
 - Verschiebung von Einhausungen
 - Abbruch der Einhausung und des Gerüsts sowie Aufräumarbeiten → vgl. [6, 8 (S. 25)]
- Lärm (→ vgl. Baulärmrichtlinie [4])

Emissionsmessungen

Emissionsmessungen sollen gem. den Emissionsmessempfehlungen des BUWAL [1] durchgeführt werden → vgl. z.B. [8 (S. 27-28, A 5.1)]

Immissionsmessungen

Für die Messung der Deposition von Staub und Schwermetallen im Hauptimmissionsgebiet im Umfeld von Korrosionsschutz-Sanierungsarbeiten hat sich das Bergerhoff-Verfahren (nach VDI 2219, Blatt 2 [7]) bewährt. Das Verfahren soll durch Einsatz geeigneter Tracersubstanzen gegen Manipulation gesichert werden. → vgl. z.B. [8 (S. 29-36, A 5.2)]

Überwachung der als Senken dienenden Kompartimente

Vor Inangriffnahme und nach Abschluss der Sanierungsarbeiten werden an geographisch exakt definierten Probenahmestellen Bodenproben entnommen → vgl. [2, 3, 5].

Die Proben werden hinsichtlich der relevanten Indikatorparameter (Altbeschichtung) untersucht. In Ergänzung zur Standardmethodik ist es sinnvoll, auch Proben aus einer Tiefe von 0-5 cm sicherzustellen → vgl. z.B. [8 (S. 40-45, A 5.3)].

Abfälle

Zwischenlagerung und Handling der (Sonder-)Abfälle sollen regelmässig überprüft werden.

Stoffflussbilanz für die Leitschadstoffe

Stoffflussbilanzen für die Leitschadstoffe ermöglichen es, die Effizienz der Schutzmassnahmen zu quantifizieren, die Schwachstellen zu erkennen und die Verfahren zu optimieren → vgl. z.B. [8 (S. 49-50)].

Verzeichnisse

1 Abkürzungen und Indizes

AfU	Amt für Umweltschutz	
BaP	Benzo(a)pyren	
BF	Bearbeitungsfläche	m ²
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, www.buwal.admin.ch	
Cercl'Air	Schweizerische Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute, www.cerclair.ch	
Cr	Chrom	
EG	Emissionsgrad	% oder absolut
EP	Emissionspotenzial	kg
FaBo	Fachstelle Bodenschutz des Kantons Zürich, www.fabo.zh.ch	
g	Geometriefaktor	-
GF	Grundfläche des Objekts	m ²
IF	Immissionsfläche	m ²
IGW	Immissionsgrenzwert	µg/m ² *Tag (oder mg/m ² *Jahr)
IP	Immissionspotenzial	mg/m ² *Jahr
IV	Immissionsvorbelastung	µg/m ² *Tag (oder mg/m ² *Jahr)
IZ	Zulässige Immission	mg/m ² *Jahr
LRV	Luftreinhalte-Verordnung	
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	
Pb	Blei	
PCB	Polychlorierte Biphenyle	
PM10	Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser ≤10 µm	
ppm	parts per million (z.B. mg/kg)	
RG	Rückhaltegrad	-
SG	flächenspezifischer Schadstoffgehalt	g/m ²
SKB	Schadstoffkonzentration im Beschichtungsmaterial	g/kg
SKS	Schadstoffkonzentration im Strahlmittel	g/kg
SM	gesamte Schadstoffmenge	kg
SM _{ig}	immissionsgewichtete Schadstoffmenge	kg
SM _{obj}	Schadstoffmenge am Objekt	kg
SM _{Str}	Schadstoffmenge im Strahlmittel	kg
SS	Schichtstärke Beschichtung	g/m ²
SSM	spezifischer Strahlmittelverbrauch	kg/m ²
SSPC	Society for Protective Coating, www.sspc.org	
SUVA	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, www.suva.ch	
VSLF	Verband Schweizerischer Lack- und Farbenfabrikanten	
Zn	Zink	

2 Literatur

- [1] BUWAL (2001); Empfehlungen über die Emissionsmessungen von Luftfremdstoffen bei stationären Anlagen (Emissions-Messempfehlung)
- [2] BUWAL (1987); Wegleitung für die Probenahme u. Analyse v. Schadstoffen im Boden
- [3] FAC Liebefeld (1983); Methoden für Bodenuntersuchungen, Schriftenreihe Nr. 5
- [4] BUWAL (2000); Baulärm-Richtlinie, Richtlinien, Empfehlungen des Cerc'l'Air, der Kantone und der SUVA
- [5] KIGA ZH, AGW ZH (1994); Konzept für den Behörden-Vollzug bei der Oberflächenbehandlung (Korrosionsschutz) an Objekten im Freien
- [6] KIGA ZH (1994); Massnahmen und Messungen während der Sanierungsarbeiten – Kontrolle der Baustelle
- [7] VDI 2219, Blatt 2: Bergerhoff-Verfahren
- [8] TBA ZH / Carbotech AG (1995); Korrosionsschutzarbeiten an der Schönenwerdbrücke (Dietikon ZH)

Weitere Literaturquellen zum Umweltschutzrecht

Gesetze und Verordnungen des Bundes

- Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG) vom 7. Oktober 1983 (SR 814.01)
- Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) vom 19. Oktober 1988 (SR 814.011)
- Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (StoV) vom 9. Juni 1986 (SR 814.013)
- Verordnung über den Verkehr mit Sonderabfällen (VVS) vom 12. November 1986 (SR 814.610)
- Technische Verordnung über Abfälle (TVA) vom 10. Dezember 1990 (SR 814.600)
- Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) vom 1. Juli 1998 (SR 814.12)
- Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985 (SR 814.318.142.1)
- Lärmschutz-Verordnung (LSV) vom 15. Dezember 1986 (SR 814.41)
- Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV) vom 26. August 1998 (SR 814.680)
- Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (GSchG) vom 24. Januar 1991 (SR 814.20)
- Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998 (SR 814.201)
- Verordnung über den Schutz der Gewässer vor wassergefährdenden Flüssigkeiten (VWF) vom 1. Juli 1998 (SR 814.202)
- Bundesgesetz über den Verkehr mit Giften vom 21. März 1969 (SR 813.0)
- Giftverordnung vom 19. September 1983 (GV) SR 813.01
- Verordnung über verbotene giftige Stoffe vom 23. Dezember 1971 (VvgSt) SR 813.39

Übereinkommen, Richtlinien, Mitteilungen und Empfehlungen des Bundes

- BUWAL (1996); Mitteilungen zur LRV, Nr. 9: Oberflächenbehandlung an Objekten im Freien, Einreichen der Emissionserklärung
- BUWAL (1998); Mitteilungen zur LRV, Nr. 10: Baustellen
- BUWAL (1994); Richtlinie für die Entsorgung von Strahlschutt inkl. Nachtrag «PCB» vom April 1995
- BUWAL (1995); Empfehlungen und Grundlagen für Malerarbeiten
- Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung; (1989)
- Cercl'Air (1996); Cercl'Air-Empfehlung Nr. 14: Oberflächenschutz an Objekten im Freien
- KIGA ZH, AGW ZH, AfU GL, AfU GR (1993); Umweltschutzmassnahmen bei der Oberflächenbehandlung (Korrosionsschutz) an Objekten im Freien
- SUVA (2000); Unfallverhütung und Berufskrankheitenprophylaxe bei Korrosionsschutzarbeiten im Freien

Normen

- SN 555 001: B3 Oberflächenschutz von Stahlkonstruktionen; Korrosionsschutz durch Beschichtungen und Überzüge; Schweiz. Zentralstelle für Stahlbau, Zürich, 1990

Grundlagenberichte

- AfU GL, AfU GR, KIGA ZH / Carbotech AG (1994): Sanierung korrosionsgeschützter Stahlobjekte im Freien: Umweltbelastungen und Minderungsmaßnahmen
- BUWAL (2001); PCB-Emissionen beim Korrosionsschutz; Praxishilfe, Vollzug Umwelt VU-5018
- BUWAL (1998) PAH-Emissionen beim Korrosionsschutz im Freien; (Berichtvorabdruck)
- BUWAL (1997); Cadmium in Zink, Resultate einer schweizerischen Marktüberwachung, Umweltmaterialien Nr. 68
- FaBo ZH / Carbotech AG (1994); Schwermetallbelastung der Böden in der Umgebung korrosionsgeschützter Stahlobjekte (im Kanton Zürich)
- AfU GL (1990); Die Konzentration von Schwermetallen in der Nähe von Hochspannungsmasten
- AfU GL (1992); Korrosionsschutz an einer Brücke; Konflikte mit Bodenschutz, Luftreinhaltung und Abfallwirtschaft
- AfU GL (1993); Lärmmessungen – Sandstrahlarbeiten Ziegelbrücke
- AfU GL (1995); Korrosionsschutz bei Brücken -zwei Fallbeispiele aus Ziegelbrücke 1993
- AfU GL (1994) Handentrostung eines Hochspannungsmastes, Bericht über die Umweltauswirkungen

