



Die sachgemässe Entfernung und Entsorgung PCB-haltiger Fugendichtungsmassen und Anstriche; Werkzeuge, Verfahren, Schutzmassnahmen.

Wegleitung für die Bau- und Sanierungspraxis



Juni 2004

Impressum

Autoren

Dr. Christian Leuenberger, Neosys AG, Gerlafingen
verantwortlicher Projektleiter der Auftragnehmerin

Rolf Gerber, Neosys AG, Gerlafingen

Piet de Boer, Neosys AG, Gerlafingen

Peter Oggier, Beratungsbüro ecolisto, Muri bei Bern
Projektbegleitung, Qualitätssicherung und Autor von Kapitel 5

Projektbegleitung und Redaktion

Dr. Josef Tresp, Amt für Umweltschutz und Energie, Liestal

Auftragnehmerin

Neosys AG
Technik Umwelt
Privatstrasse 10
CH-4563 Gerlafingen
Bericht Nr. 91.4449

Auftraggeber und Herausgeber

Amt für Umweltschutz und Energie
Fachstelle Stoffe und Chemikalien
Rheinstrasse 29
CH-4410 Liestal

Bezugsquelle

Amt für Umweltschutz und Energie
Postfach
CH-4410 Liestal

E-Mail: stoffe@bud.bl.ch

Download (PDF-Datei): www.baselland.ch/docs/bud/ae/chemikalien/main_chem.htm

Papier: Recy Star (100 % Recyclingfasern), Sihl + Eika Papier AG, Thalwil

© Amt für Umweltschutz und Energie, Liestal
Juni 2004

Dank

Autoren und Herausgeber danken allen Organisationen und Personen, die zum Gelingen dieser Wegleitung einen Beitrag geleistet haben. Wesentliche inhaltliche Beiträge haben – im Rahmen der Vernehmlassung im Sommer 2003, durch Einsicht gewähren in Untersuchungsberichte oder anlässlich von diversen Kontakten – namentlich die folgenden Personen geleistet:

Roger Achermann, ARGE Achermann AG, Dübendorf

Roland Arnet und Dr. Elmar Kuhn, Kantonales Laboratorium Aargau, Aarau

Anita Binz, Hochbauamt ZH, Zürich

Silke Büchel, Walter Jörg, Michel Rauser, Sonja Tanner und Ulrich Weber, Novartis
Pharma AG, GSU, Basel

Jürg Düscher, Mäder Werkzeuge AG, Murten

Thomas Fries, Hochbau- und Planungsamt Basel-Stadt, Basel

Dr. Heinrich Gugerli, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, Zürich

Clemens Jehle, Jehle Umweltdienstleistungen, Mumpf (CH)

Marco Lanfranchi, Amt für Umwelt und Natur GR, Chur

Dr. Claudia Pletscher, Suva, Abteilung Arbeitsmedizin, Luzern

Dr. René Reiser, Staatssekretariat für Wirtschaft (seco), Grundlagen Arbeit und Gesundheit,
Zürich

Dr. Luca Rossinelli, Suva, Bereich Chemie, Luzern

Kurt Schläpfer, Carbotech AG, Basel

Kurt Schoch, Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt, Basel

Pierre Schwizer, Verband Schweizerischer Dichtstoffverarbeiter (VSD), Bern-Liebefeld

Theo Sereinig, SE Entstaubungs- und Umwelttechnik AG, Trübbach

Dr. Alois Villiger, AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie, und Luft ZH, Zürich

Urs K. Wagner, ETI Umwelttechnik AG, Chur

Dr. Dieter Zöltzer, Forschungs- und Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen, Otto-Graf-
Institut, Universität Stuttgart

Inhaltsverzeichnis

1	MOTIVATION, ZWECK UND GELTUNGSBEREICH	5
2	SANIERUNGSZIELE UND ANFORDERUNGEN AN DIE SANIERUNG	7
3	FUGENDICHTUNGEN	10
3.1	GEEIGNETE VERFAHREN ZUR ENTFERNUNG VON PCB-HALTIGEN FDM	10
3.2	SCHUTZMASSNAHMEN	19
3.2.1	Schutz der Arbeiter	20
3.2.2	Schutz von Dritten und Umwelt	21
3.2.3	Weitere Arbeitsschutzmassnahmen	25
3.2.4	Reinigung des PCB-belasteten Arbeitsbereiches.....	25
3.2.5	Organisatorische Schutzmassnahmen.....	26
4	ENTFERNUNG PCB-HALTIGER ANSTRICHE	28
5	ENTSORGUNG PCB-HALTIGER ABFÄLLE AUS DER SANIERUNG VON FUGENDICHTUNGEN UND ANSTRICHEN.....	33
	LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS	35
	BILDERNACHWEIS.....	36
	ANHANG: WERKZEUG-ZUBEHÖR.....	37

1 Motivation, Zweck und Geltungsbereich

Eine vom BUWAL und den kantonalen Fachstellen für umweltgefährdende Stoffe 2000/2001 durchgeführte schweizweite Stichprobenuntersuchung von etwa 1350 Proben dauerelastischer Fugendichtungen von Bauten aus dem Zeitraum 1955 bis 1975 hat ergeben, dass etwa ein Viertel der Fugendichtungen aus diesem Zeitraum PCB-Gehalte im Prozent-Bereich aufweist. Auch im Kanton Basel-Landschaft sind im Rahmen dieser Stichprobenuntersuchung viele öffentliche Bauten gefunden worden, die grössere Vorkommen an PCB-haltigen Fugendichtungen aufweisen. Somit liegt auf der Hand, dass es sich bei den PCB-haltigen Fugendichtungsmassen (FDM) um durchaus relevante Mengen von umweltgefährdenden Stoffen in bestehenden Bauten handelt, die nach einer sorgfältigen Gefährdungsbeurteilung und einer qualifizierten Sanierungspraxis verlangen.

Gestützt auf diese Befunde hat das BUWAL eine Projektgruppe damit beauftragt, eine «Richtlinie PCB-haltige Fugendichtungsmassen» zu erarbeiten (im Folgenden als PCB-Richtlinie bezeichnet [1]). Diese PCB-Richtlinie ist im September 2003 vom BUWAL in der Schriftenreihe Vollzug Umwelt (Bestellnummer VU-4013) herausgegeben worden. Sie beschreibt die Problematik der PCB in FDM, die erforderlichen Abklärungen und Untersuchungen am Bau, die Beurteilung des Sanierungsbedarfes von FDM, das Vorgehen bei Sanierungen sowie das Entsorgungskonzept. Adressaten der PCB-Richtlinie sind in erster Linie die verantwortlichen Vollzugsbehörden von Bund, Kantonen und Gemeinden.

Damit die Vorgaben der PCB-Richtlinie bei Sanierungen von Bauten mit PCB-haltigen Fugendichtungen in der Praxis umgesetzt werden können, sind technische Vollzugs- und Praxishilfen erforderlich, die den Stand der Technik für die sachgemässe Entfernung und Entsorgung von PCB-haltigen FDM und Beschichtungen sowie für die Qualitätskontrolle von Sanierungen konkret und auf die etablierte Baupraxis bezogen beschreiben.

Der vorliegende Bericht beinhaltet Beschreibungen und Bewertungen von Methoden und Werkzeugen zur Entfernung von PCB-belasteten FDM und Beschichtungen sowie den erforderlichen spezifischen Schutzmassnahmen. Ferner informiert er über Entsorgungswege für PCB-belastete Abfälle, die bei den Sanierungsarbeiten anfallen. Dieser Bericht stellt somit technische Informationsgrundlagen zur Verfügung und richtet sich an Auftraggeber, Planungsbüros, Bau fachleute sowie Vollzugsbehörden und dient diesen Zielgruppen für die Bearbeitung von Sanierungsprojekten.

Die in diesem Bericht zusammengestellten Informationen geben den gegenwärtigen Stand der Kenntnisse bei der Fertigstellung im Juni 2004 wieder und beruhen auf bisherigen Erfahrungen mit PCB-Sanierungen in der Schweiz und im Ausland (insbesondere Deutschland). Autoren und Auftraggeber sind sich bewusst, dass der hier beschriebene Stand der Technik nicht "in Stein gemeisselt" ist, sondern im Rahmen der künftigen Sanierungsprojekte weiter entwickelt und verbessert werden kann und soll.

Der Kanton Basel-Landschaft wird die in diesem Bericht beschriebenen Empfehlungen von Werkzeugen, Verfahren und Schutzmassnahmen als Minimalstandard für die Entfernung von PCB-haltigen FDM und Anstrichen in seiner Vollzugspraxis anwenden und Projekte bei kan-

tonseigenen Bauten dementsprechend ausschreiben. Andere sind eingeladen, diese Grundlagen ebenfalls anzuwenden.

Diese Wegleitung ist Ende 2004 mit «Empfehlungen und Grundlagen über den Umgang mit PCB-haltigen Fugendichtungsmassen» der KBOB/eco-bau/IPB [2] ergänzt worden.

2 Sanierungsziele und Anforderungen an die Sanierung

Abgrenzung des Begriffes
Sanierung

Der Begriff «Sanierung» bedeutet allgemein die Verbesserung eines unerwünschten Zustandes und beinhaltet im Kontext von Bauprojekten generell ein weit gefasstes Bedeutungsfeld. So können bauliche oder bautechnische Sanierungen beispielsweise zum Ziel haben, alterungs- oder nutzungsbedingte Schäden an der Bausubstanz zu beheben, ein Gebäude an veränderte Nutzungsbedürfnisse anzupassen oder die Gebäudehülle mit einer verbesserten Wärmedämmung auszustatten, damit unnötige Energieverluste vermieden werden. Oft werden der so genannten Sanierung eines bestehenden Bauwerkes mehrere Ziele zu Grunde gelegt. In Abgrenzung zu dieser allgemeinen Bedeutung kommt dem Begriff Sanierung in diesem Bericht eine enger gefasste Bedeutung zu: **Die (Schadstoff-)Sanierung bezieht sich auf die Planung und Durchführung der sachgerechten Entfernung von PCB-haltigen Materialien.**

Als übergeordnetes Sanierungsziel gilt in allen Fällen die vollständige Entfernung der mit PCB belasteten Materialien und Bauteile sowie deren umweltverträgliche Entsorgung unter Berücksichtigung der erforderlichen Schutzmassnahmen. Bei den Sanierungsarbeiten dürfen weder die mit den Arbeiten am Bau Beauftragten noch die das Gebäude nutzenden Personen einer Gesundheitsgefährdung durch eine vermeidbare Schadstoffexposition ausgesetzt werden noch dürfen Umweltmedien durch freigesetzte Schadstoffe kontaminiert werden.

Es reicht in der Regel, wenn die mit PCB belasteten Fugendichtungsmassen und Hinterfüllmaterialien vor dem Neuverfugen vollständig entfernt werden. Eine weiter gehende Entfernung der sekundär mit PCB kontaminierten Baumaterialien und Inneneinrichtung (z. B. durch Abtrag der obersten Schicht von mineralischen Anschlussbauteilen wie Fugenflanken aus Beton oder Kalksandstein bzw. Entfernen von Verkleidungen, Möbeln, Teppichen) ist zur Gewährleistung der Gesundheits- und Umweltschutzziele nur in speziellen Fällen notwendig und erfordert aufwändige Schutzmassnahmen. Jedoch kann aus bautechnischen Gründen eine Nachbearbeitung der Fugenflanke nach dem Entfernen der PCB-haltigen FDM erforderlich sein.

Die spezifischen Sanierungsziele müssen im Rahmen des jeweiligen Bau- bzw. Sanierungsprojektes festgelegt werden. Dabei müssen folgende Bedingungen bzw. Kriterien definiert sein:

- a) die vorhandenen PCB-Vorkommen (Materialart, Menge und Verteilung im Bau, PCB-Gehalte, evtl. Emissionsquellenstärke) und deren Gefährdungspotenziale im konkreten Fall;
- b) die im konkreten Fall zu berücksichtigenden Schutzziele für betroffene Personen (maximal zulässige Exposition, je nach Personengruppe) und Umweltmedien (Luft, Boden, evtl. Gewässer) und
- c) die zu erwartenden technisch-methodischen Schwierigkeiten, die zur Erreichung der übergeordneten Sanierungsziele überwunden werden müssen.

Gestützt auf die im konkreten Fall formulierten spezifischen Sanierungsziele müssen anschliessend die Anforderungen an die Durchführung von Sanierungsarbeiten im Rahmen der Projektplanung definiert werden. Dabei müssen zwingend folgende Punkte behandelt werden:

- a) Schutz der Ausführenden (Handwerker): Einhaltung der Vorschriften des Arbeitnehmerschutzes (Berufskrankheitsprophylaxe);
- b) Schutz der Nutzerinnen und Nutzer des Sanierungsobjektes und Drittpersonen vor Schadstoffexposition während oder nach den Sanierungsarbeiten (vorsorglicher Gesundheitsschutz);
- c) Verhinderung von Schadstoffemissionen (insbesondere Staub und staubgebundene PCB) in die Umgebung/Umwelt während den Sanierungsarbeiten oder als Folge davon;
- d) tolerierbare PCB-Restbelastung des Sanierungsobjektes nach Abschluss der Sanierung: Entfernung der PCB-haltigen Fugendichtungen inkl. Hinterfüllmaterial oder auch der mit PCB kontaminierten Bereiche der Anschlussbauteile (z. B. angrenzende Fugenflanken durch Abtrag der Oberfläche)?
- e) die zulässigen PCB-Höchstgehalte für Bauabfälle, je nach Art der Verwertung (z. B. Betonrecycling) oder Entsorgung (Hochtemperaturverbrennung oder KVA für brennbare Abfälle, Inertstoffdeponie für mineralische Abfälle).
- f) Beschichtungen und neue FDM müssen toxikologisch unbedenklich sein und die Inhaltsstoffe einer Volldeklaration unterliegen.

Aufgrund der Sanierungsziele und der daraus abzuleitenden Anforderungen an die Sanierung ergeben sich zwingende Randbedingungen, welche die Wahl der geeigneten Vorgehensweise, Methoden, Werkzeuge und Schutzmassnahmen bestimmen bzw. einschränken. Diese Randbedingungen sind somit wiederum vom jeweiligen Sanierungsobjekt abhängig.

Zur Überprüfung, ob die festgelegten Sanierungsziele erreicht werden können und ob die Methoden und Anforderungen an die Durchführung der Sanierung vernünftig sind, hat sich bei grösseren Objekten die Durchführung einer Pilotsanierung bewährt. Dabei können beispielsweise verschiedene Methoden, Werkzeuge und Schutzmassnahmen angewendet und miteinander verglichen werden, um konkrete Angaben über deren Wirksamkeit und Kosten zu ermitteln. Eine Pilotsanierung bietet auch die Voraussetzung, um organisatorische und verfahrenstechnische Optimierungsmöglichkeiten zu erkennen.

Das Vorgehen für die Beurteilung der erforderlichen Massnahmen beim Umgang mit PCB-haltigen Fugendichtungen ist im Kapitel 6 der PCB-Richtlinie [1] beschrieben. Die Richtlinie unterscheidet vier Ursachen, welche nach einer sachgerechten Entfernung von Fugendichtungen verlangen (Analoges gilt für PCB-haltige Beschichtungen):

Tabelle 1: Ursachen, die nach einer Entfernung von Fugendichtungsmassen verlangen.

Fall	Ursache	Beurteilung	Vorgehen / Massnahmen / Empfohlene Sanierungsfrist
A	<p>Verwitterte, beschädigte Aussenbauteile mit hohen PCB-Gehalten</p> <p>Witterungsexponierte und/oder gealterte FDM, Anstriche bzw. Beschichtungen enthalten hohe PCB-Konzentrationen (> 1000 mg/kg).</p>	<p>Solche PCB-Quellen stellen eine Gefährdung für eine sensible Umgebung dar (z. B. landwirtschaftlich oder gartenbaulich genutzte Böden, Kinderspielplätze, Gewässer)</p>	<p>Zur Reduktion der Umweltbelastung und des Gesundheitsrisikos ist eine vorgezogene Erneuerung dieser Fugendichtungen, Anstriche und Beschichtungen angezeigt. Ein Sanierungskonzept ist notwendig.</p> <p>Sanierungsfrist: 3 bis 5 Jahre</p>
B	<p>Hohe PCB-Gehalte in der Luft von Innenräumen mit Personenaufenthalt</p> <p>Es liegt eine hohe PCB-Belastung der Innenraumluft über dem Richtwert vor. (für Tagesaufenthalt > 6 µg/m³, für Daueraufenthalt > 2 µg/m³)</p>	<p>PCB-Belastungen der Innenraumluft über dem Richtwert können die Gesundheit der Raumnutzerinnen und Raumnutzer langfristig gefährden.</p>	<p>Die Beseitigung massgeblicher Emissionsquellen (Innenfugen und evtl. Anstriche, Beschichtungen sowie weitere PCB-Quellen), welche die Raumluftbelastung mit PCB bewirken, ist dringend erforderlich. Ein Sanierungskonzept ist notwendig.</p> <p>Sanierung sofort erforderlich (oder Nutzungseinschränkungen)</p>
C	<p>Erneuerungsbedürftige Aussen- oder Innenfugen</p> <p>Die FDM erfüllen ihre Abdichtungsfunktion nicht mehr.</p>	<p>Die FDM müssen aus bautechnischen oder ästhetischen Überlegungen erneuert werden.</p>	<p>Die FDM müssen vor der Entfernung auf den PCB-Gehalt analysiert werden. Im Falle einer PCB-Belastung ist ein Sanierungskonzept erforderlich.</p> <p>Keine Sanierungsfrist; die zeitliche Vorgabe richtet sich nach dem Bauprojekt.</p>
D	<p>Rückbau oder Teilrückbau eines Bauwerkes</p> <p>Ein Bauwerk mit dauerelastischen FDM und/oder Anstrichen bzw. Beschichtungen aus der Zeit der PCB-Anwendung (1955 bis 1975) soll ganz oder teilweise rückgebaut werden.</p>	<p>FDM, Anstriche und Beschichtungen können – sofern sie PCB-haltig sind – die Gesundheit der Arbeiter gefährden, Boden, Luft und Wasser verschmutzen und Bauabfälle kontaminieren.</p>	<p>Vor dem Rückbau eines Bauwerkes sind PCB-belastete Baumaterialien (Fugendichtungsmassen, Anstriche) und PCB-haltige Elektrogeräte zu entfernen, so dass die verbleibende Restbelastung der Bauabfälle mit PCB so gering ist, dass deren Wiederverwertung im Baustoffkreislauf oder Entsorgung in KVA und Deponien problemlos möglich ist. Ein Entsorgungskonzept ist erforderlich.</p> <p>Keine Sanierungsfrist; die zeitliche Vorgabe richtet sich nach dem Rückbauprojekt.</p>

3 Fugendichtungen

3.1 Geeignete Verfahren zur Entfernung von PCB-haltigen FDM

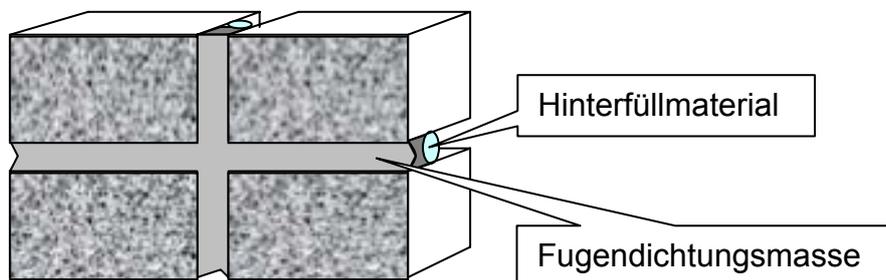
Die Werkzeuge und Verfahren zur Entfernung von FDM inkl. Nachbearbeitung von Fugenflanken sind detailliert in Tabelle 2 und im Anhang zusammengestellt und bewertet. Bei den Werkzeugen wird jeweils die in der Baubranche übliche Bezeichnung verwendet, sowie fallweise auch Bezeichnungen, welche bei den Anwendern üblich sind. Als geeignet gelten Verfahren, die gewährleisten, dass die im Rahmen des Bauprojektes vorgegebenen bautechnischen Anforderungen und die im Sanierungsprojekt definierten Erfordernisse zum Schutz der am Bau Beteiligten, weiterer betroffener Personen sowie der Umwelt eingehalten werden. Zur Berücksichtigung der spezifischen Verhältnisse ist Folgendes massgebend:

a) Typen von Fugen

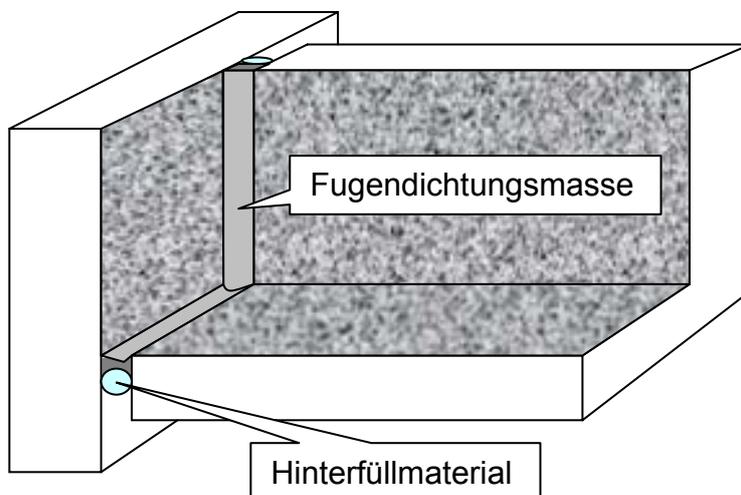
Für die Auswahl geeigneter Werkzeuge ist die Anordnung und Zugänglichkeit der Fugen abzuklären. Dabei spielt es eine Rolle, ob die Fugen in einer Ebene oder in abgewinkelten Ebenen (Beispiel siehe Abbildung) liegen, und ob es sich um horizontale (Boden-)Fugen oder vertikale (Wand-)Fugen handelt.

Abbildung 1: Fugentypen

Typ 1 : Horizontale und vertikale Fugen in einer Ebene



Typ 2 : Horizontale und vertikale Fugen in konkav abgewinkelten Ebenen



b) Beschaffenheit der Fuge

Bei der Auswahl des geeigneten Werkzeuges zur Entfernung der alten FDM sind deren Materialeigenschaften wichtig. Es ist deshalb vorgängig abzuklären, ob die FDM hart und spröd (gealterte und witterungsexponierte FDM, oft im Aussenbereich anzutreffen) oder elastisch und weich sind (vor allem vor Sonne und Witterung geschützte Bereiche oder im Innenbereich).

c) Art des Untergrundes

Für die Auswahl des Werkzeuges spielt ausserdem die Materialart und die Beschaffenheit der Anschlussbauteile (glatte oder raue Fugenflanken) eine Rolle. Diese sollten möglichst nicht beschädigt und die Fugenbreite nicht vergrössert werden. Die gängigen Materialien der Anschlussbauteile sind Beton, (Kalk)-Sandstein, Ziegel, Polystyrol (mit Verputzschicht), Holz und Metalle (z. B. Fensterrahmen).

d) erzeugte Emissionen

Bei der Auswahl des geeigneten Verfahrens spielt die zu erwartende Stauberzeugung und Wärmeentwicklung eine wichtige Rolle. Bei Hitzeentwicklung besteht Gefahr, dass PCB als Gase entweichen (bei Materialerwärmung auf Temperaturen von mehr als 100 °C) und in hochgiftige polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDD/F) umgewandelt werden (bei Temperaturen über 250 °C). Für mässig bis stark Staub erzeugende Verfahren sind aufwändigere Schutzmassnahmen erforderlich.

Tabelle 2: Werkzeuge und Verfahren zur Entfernung von Fugendichtungsmassen (FDM), inkl. Nachbearbeitung von Fugenflanken

Manuelle Werkzeuge	Werkzeuge / Verfahren	Eignung	Vor-/Nachteile	Hinweise auf Schutzmassnahmen
	<p>Universalmesser mit austauschbarer robuster Klinge</p>  <p>mit feststehender Klinge</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • universell einsetzbares Werkzeug, insbesondere für das Herausschneiden von elastischen und weichen FDM in Kombination mit Elektro-Fugenschneider; • für alle glatten Fugenflanken geeignet; • weniger geeignet für Arbeiten an Objekten mit > 100 Laufmeter FDM; • weniger geeignet für sehr harte FDM • verschiedene Klingen je nach Fugenbreite und -tiefe sind einsetzbar 	<p><u>Vorteile:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • kurze, robuste, leicht auswechselbare Klinge • handlich, geringes Gewicht • keine Staubentwicklung bei elastischen FDM • nur wenig Staub beim Entfernen leicht spröder FDM und beim Reinigen der Fugenflanken • schonende Behandlung der Fugenflanken <p><u>Nachteile:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • hoher Kraftaufwand erforderlich bei harten FDM • relativ kleine Leistung (Laufmeter FDM / Std.) • relativ hohe Personalkosten 	<ul style="list-style-type: none"> • Generelle Personenschutzmassnahmen gemäss Kapitel 3.2.1 • Abdecken des Arbeitsbereiches und Einhausung im Aussenbereich (falls stauberzeugend), Erfassen der Abfälle und Reinigung gemäss Kapitel 3.2.2
<p>Stechbeitel</p>  <p>Stemmeisen</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Geeignet für das Herausbrechen oder Schlagen von harten FDM und kurzen Fugenabschnitten, insbesondere von Fugen in konkav abgewinkelten Ebenen (vgl. Typ 2 in Abb. 1). • weniger geeignet bei Fugen unter 5 mm Breite • weniger geeignet für Arbeiten an Objekten mit > 100 Laufmeter FDM 	<p><u>Vorteile:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Entfernen harter und spröder FDM: Die Schneidfläche kann mit grösserem Druck auf der Fugenflanke geführt werden als mit dem Universalmesser • geringe Staubentwicklung bei rauen Fugenflanken <p><u>Nachteile:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Wird schnell stumpf bei rauen Fugenflanken, die aus Beton oder anderen harten Materialien bestehen • Beschädigung der Anschlussbauteile möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Abdecken des Arbeitsbereiches, Einhausung im Aussenbereich, Erfassen der Abfälle und Reinigung gemäss Kapitel 3.2.2 • Staubabsaugung an der Quelle beim Reinigen der Fugenflanken • Generelle Personenschutzmassnahmen gemäss Kapitel 3.2.1 	

Tabelle 2: Fortsetzung

	Werkzeuge	Eignung	Vor-/Nachteile	Hinweise auf Schutzmassnahmen
Manuelle Werkzeuge	Spachtel, Schaber  Drahtbürste 	<ul style="list-style-type: none"> • geeignet für die Nachbearbeitung der Fugenflanken durch Schaben oder Kratzen • geeignet zur Entfernung von losen und brüchigen FDM 	<u>Vorteile:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Bei rauen Fugenflanken einsetzbar <u>Nachteile:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Schlechte Schneidwirkung • Abtrag von Kleinpartikeln an den Fugenflanken • Grössere Fugenlängen und harte FDM; 	<ul style="list-style-type: none"> • Abdecken des Arbeitsbereiches, Einhausung im Aussenbereich, Erfassen der Abfälle und Reinigung gemäss Kapitel 3.2.2 • Abschottung oder bei speziellen Situationen Luftumwälzung im Innenbereich, Einhausung im Aussenbereich gemäss Kapitel 3.2.2 und Staubabsaugung an der Quelle beim Reinigen der Fugenflanken. • Generelle Personenschutzmassnahmen gemäss Kapitel 3.2.1, Schutzmaske
	Stockhammer  Aufsatz 	<ul style="list-style-type: none"> • geeignet für das Wegschlagen von harten und gut haftenden FDM-Resten auf harten, robusten Flächen 	<u>Vorteile:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Keine starke Staubentwicklung <u>Nachteile:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Beschränkt auf harte <u>und</u> robuste Flächen 	
	Hammer und Meissel	<ul style="list-style-type: none"> • geeignet für sehr harte , spröde, breite Fugen > 2 cm 	<u>Vorteile</u> <ul style="list-style-type: none"> • Bei sehr harten FDM <u>Nachteile</u> <ul style="list-style-type: none"> • Beschädigung der bearbeiteten Bauteile möglich 	

Tabelle 2: Fortsetzung

Elektromechanische Werkzeuge	Werkzeuge / Maschinen	Eignung	Vor-/Nachteile	Hinweise auf Schutzmassnahmen
	<p>Elektro-Fugenschneider mit auswechselbarer oszillierender Klinge (oszillierendes Messer)</p>  <p>Zubehör im Anhang</p>	<ul style="list-style-type: none"> • universell einsetzbares Werkzeug für das Herausschneiden von weichen und harten FDM, insbesondere in Kombination mit Universalmesser; für alle Materialarten von Anschlussbauteilen geeignet • weniger geeignet zur Entfernung von FDM, die schlecht zugänglich sind • nicht geeignet für sehr harte FDM 	<p><u>Vorteile:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • kurze, robuste Klinge, die leicht ausgetauscht werden kann • handlich, akzeptables Gewicht • geringe Staubentwicklung (ausser beim Materialabtrag an der Fugenflanke, siehe Diamantschleifgerät auf S. 14) • in der Regel geringe Beschädigungsgefahr für die Fugenflanken bei sorgfältigem Arbeiten <p><u>Nachteile:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • mässiger Kraftaufwand erforderlich; • Keine integrierte Staubabsaugung 	<ul style="list-style-type: none"> • Abdecken des Arbeitsbereiches, Einhausung im Aussenbereich, Erfassen der Abfälle und Reinigung gemäss Kapitel 3.2.2 • Abschottung oder bei speziellen Situationen Luftumwälzung im Innenbereich, Einhausung im Aussenbereich gemäss Kapitel 3.2.2 und Staubabsaugung an der Quelle beim Reinigen der Fugenflanken
<p>Elektroschaber mit auswechselbaren Klingen</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • universell einsetzbares Werkzeug für weiche bis harte FDM, insbesondere in Kombination mit Universalmesser; • auch für schwer zugängliche Fugenbereiche in Ecken und an Kanten geeignet • ebenso geeignet für die Nachbehandlung der Fugenflanken • nicht geeignet für sehr harte FDM 	<p><u>Vorteile:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • leichtes Gerät, handlich • geringer Kraftaufwand • Geringe Staubentwicklung <p><u>Nachteile:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • mässiger Kraftaufwand erforderlich • Keine integrierte Staubabsaugung 	<ul style="list-style-type: none"> • Generelle Personenschutzmassnahmen gemäss Kapitel 3.2.1, Schutzmaske 	

Tabelle 2: Fortsetzung

	Werkzeuge / Maschinen	Eignung	Vor-/Nachteile	Hinweise auf Schutzmassnahmen
Elektromechanische Werkzeuge	Nadelhammer 	<ul style="list-style-type: none"> auf Flächen: Bei breiten, un tiefen Scheinfugen und Anschlussfugen 	<u>Vorteile:</u> <ul style="list-style-type: none"> Abtrag von stark haftenden harten FDM <u>Nachteile:</u> <ul style="list-style-type: none"> stärkere Stauberzeugung; mögliche Beschädigung von Anschlussbauteilen 	
	Stichsäge mit auswechselbarer Messerklinge  Zubehör im Anhang	<ul style="list-style-type: none"> Werkzeug mit integrierter Staubabsaugung. Anwendung beschränkt auf tiefe Fugen mit Freiraum entsprechend der Klinglänge nur für das Herausschneiden der FDM geeignet nicht geeignet für die Nachbehandlung der Fugenflanken nicht geeignet für schwer zugängliche Fugenbereiche in Ecken und an Kanten 	<u>Vorteile:</u> <ul style="list-style-type: none"> Gute Schnittleistung in halbhartem und hartem FDM Integrierte Staubabsaugung <u>Nachteile:</u> <ul style="list-style-type: none"> nur für Fugen in vertikalen Flächen mit freier Fugenhinterfüllung brauchbar 	<ul style="list-style-type: none"> Abdecken des Arbeitsbereiches, Einhausung im Aussenbereich Erfassen der Abfälle und Reinigung gemäss Kapitel 3.2.2 Abschottung oder bei speziellen Situationen Luftumwälzung im Innenbereich, Einhausung im Aussenbereich gemäss Kapitel 3.2.2 und Staubabsaugung an der Quelle beim Reinigen der Fugenflanken Generelle Personenschutzmassnahmen gemäss Kapitel 3.2.1, Schutzmaske)
	Diamantschleifgerät 	<ul style="list-style-type: none"> Elektro-Fugenschneider mit oszillierendem diamantbeschichtetem Reinigungsmesser und mit integrierter Staubabsaugung nur für das Reinigen der Fugenflanken geeignet 	<u>Vorteile:</u> <ul style="list-style-type: none"> Staubentwicklung ist gering im Vergleich zum Winkelschleifer Integrierte Staubabsaugung <u>Nachteile:</u> <ul style="list-style-type: none"> Hitzeentwicklung und Dioxinbildung wurde nicht abgeklärt 	

Tabelle 2: Fortsetzung

Chemisch-physikalische Verfahren	Verfahren /Maschinen	Eignung	Vor-/Nachteile	Hinweise auf Schutzmassnahmen
	<p>Trockeneis (CO₂)-Strahlen</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • geeignet für die schonende Nachbehandlung der Fugenflanken • geeignet bei grossen Laufmeterzahlen 	<p><u>Vorteile:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Schonend für den Untergrund • Gute Reinigungsleistung (aber: Es kann vorkommen, dass sich FDM damit nicht vollständig entfernen lassen; vgl. Testsanierung St. Alban, Basel) • Leistungsfähigkeit bei grossen Laufmeterzahlen <p><u>Nachteile:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Teuer (insbesondere in Kombination mit den hohen Anforderungen an die Schutzmassnahmen) • Aufwändige Schutzmassnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Einhausung des Arbeitsbereiches mit luftdichter Abschottung, Unterdruck und kontrollierter Luftwechsel mit Luftfiltrierung, Staubabsaugung an der Quelle • Vollmaske mit Frischluftzufuhr und Schutzanzug gemäss Kapitel 3.2.1 • Lärm- und Gehörschutz (Schallpegel je nach Gerät im Bereich zwischen 85 bis 120 dB(A))

Werkzeuge und Maschinen zum Entfernen von FDM

Manuelle Werkzeuge kommen vor allem bei kleineren Laufmeterzahlen, oder wenn die Fugen aus baulichen Gründen schwer zugänglich sind, zum Einsatz. Der Vorteil der manuellen Verfahren gegenüber den elektromechanischen besteht darin, dass in der Regel weniger Feinstaub entsteht, keine relevante Wärmeentwicklung erfolgt und dadurch weniger Aufwand bei den Schutzmassnahmen (persönlicher Schutz und Umgebungsschutz) betrieben werden muss. Bei den manuellen Verfahren eignet sich das Universalmesser besonders gut, wenn die FDM nicht zu hart und spröde sind. Weiche FDM, welche vor allem im Innenbereich und bei nicht bewitterten und nicht Sonne exponierten Aussenbauteilen angetroffen werden, können mit dem Universalmesser rasch und effizient herausgeschnitten werden. Harte oder spröde FDM sind eher im Aussenbereich, insbesondere an Bauteilen, die der Sonnenbestrahlung ausgesetzt sind, anzutreffen und müssen mitunter mittels Stechbeitel, Stemmeisen, Hammer und Meissel herausgebrochen oder herausgeschlagen werden. Die Nachbehandlung der Fugenflanken erfolgt je nach Beschaffenheit der FDM und des Untergrundes durch Schaben und Kratzen mittels Spachtel, Schaber oder Drahtbürste.

Elektromechanische Werkzeuge weisen gegenüber den manuellen ergonomische Vorteile auf. Sie eignen sich besonders bei Objekten mit umfangreicheren Fugendichtungsvorkommen, mittelhart bis harten und spröden Fugendichtungsmaterialien. Besonders gut bewährt hat sich der Elektro-Fugenschneider mit oszillierender Klinge (auch oszillierendes Messer genannt). Generell verlangen elektromechanische Verfahren wegen der Staub- und Wärmeentwicklung aufwändigere Schutzmassnahmen (persönlicher Schutz und Umgebungsschutz) als manuelle Verfahren. Weitere Elektrowerkzeuge sind entweder nur beschränkt einsetzbar (z.B. Stichsäge) oder gelten wegen starker Staub- und Hitzeentwicklung als nicht geeignet (siehe nicht geeignete Verfahren).

Werkzeuge, Maschinen und Verfahren zum Reinigen / Nachbehandeln der Fugenflanken

In der Regel müssen die Fugenflanken nach der Entfernung der alten FDM mindestens soweit gereinigt werden, dass eine qualitativ gute Neuverfugung möglich ist. Die Entfernung der PCB-haltigen FDM sollte möglichst vollständig erfolgen, bis keine sichtbaren FDM-Rückstände mehr vorhanden sind. Die Wahl des Werkzeugs bzw. Verfahrens richtet sich in erster Linie nach den bautechnischen Anforderungen und den zu berücksichtigenden Schutzvorkehrungen. Zudem müssen die Materialeigenschaften des zu bearbeitenden Anschlussbauteils bei der Wahl des geeigneten Werkzeugs bzw. Verfahrens beachtet werden, damit die Fugenflanke möglichst nicht beschädigt wird. Werkzeuge mit hämmernder, schlagender oder ausgeprägter abrasiver Wirkung eignen sich nicht für die Bearbeitung von empfindlichen Anschlussbauteilen wie beispielsweise Kalksandstein, verputzte Isolationen, Holz- oder Metallbauteile. Generell gilt wie schon für die Entfernung der FDM, dass der Einsatz von elektromechanischen Werkzeugen vermehrte Staub- und evtl. Wärmeentwicklung zur Folge hat. Dementsprechend müssen aufwändigere Schutzmassnahmen getroffen werden. In Deutschland hat sich das «Diamantschleifgerät» (Elektro-Fugenschneider mit oszillierendem diamantbeschichtetem Reinigungsmesser und mit integrierter Staubabsaugung) bewährt [3]. Ein besonders schonendes und leistungsfähiges Verfahren für die Behandlung von Fugenflanken ist das Trockeneis-Strahlen, welches jedoch aufgrund der aufwändigeren Schutzmassnahmen vor allem bei grösseren Sanierungsvorhaben zum Zuge kommt. Für glatte, nicht porige Untergründe wie Metall (z.B. bei

Fensterrahmen), Glas, Keramik oder Fliesen wird eine Lappenreinigung der Oberfläche mit Lösemittel (z.B. Aceton) vorgeschlagen, wobei die Schutzmassnahmen zu beachten sind (lösemittelbeständige Handschuhe, erhöhter Luftwechsel mit ausreichender Frischluftzufuhr, Einhaltung der MAK-Werte, Brand- und Explosionsschutzmassnahmen). Weiter gehende Massnahmen sind vom Sanierungsziel abhängig.

Exemplarische Untersuchungen an einzelnen Sanierungsobjekten haben gezeigt, dass PCB im Verlauf der Jahre aus dem Fugendichtungsmaterial in mineralische oder organische Anschlussbauteile diffundiert sind. Infolge dessen ist mit einer Kontamination des an die FDM angrenzenden Materials an der Fugenflanke zu rechnen. Beispielsweise sind im Falle einer im Prozent-Bereich mit PCB belasteten FDM einige Millimeter des angrenzenden Betons mit PCB im Konzentrationsbereich von einigen Hundert bis einigen Tausend mg/kg verunreinigt. Bezogen auf die Masse der PCB in der FDM beträgt diese Kontamination der Anschlussbauteile jedoch weniger als 1 Promille. Gemäss der PCB-Richtlinie [1] ist es in der Regel nicht zwingend notwendig, die PCB-kontaminierten Anschlussbauteile mit den PCB-haltigen FDM zu entfernen, es sei denn, die im Sanierungsprojekt formulierten Ziele (z. B. Einhaltung der Richtwerte für die PCB in Innenraumlufte) liessen sich ohne die Entfernung der sekundär mit PCB kontaminierten Bauteile nicht erreichen oder bautechnische bzw. arbeitshygienische Anforderungen würden dies verlangen.

Nach der Neuverfugung findet infolge Rückdiffusion von PCB aus der Fugenflanke allmählich eine Kontamination der neuen Fugendichtungsmasse statt. Diese Rückdiffusion kann durch das Aufbringen eines Schutzanstriches gebremst, aber nicht verhindert werden. Der Schutzanstrich hat auch eine verzögerte Abgabe von PCB an die Raumlufte zur Folge und kann demnach im Innenbereich von Interesse sein. Dazu sind auf dem Markt spezielle Produkte auf der Basis von Acryl-, Epoxid- oder Alkydharz erhältlich.

In bestimmten Fällen (z. B. bei Rückbau oder Teilrückbau von Gebäuden) kann es aus bautechnischen Gründen sinnvoll sein, PCB-belastete Teile der Bausubstanz im Bereich der Fugenflanken von angrenzendem PCB-freiem Material abzutrennen. Hierfür eignen sich elektromechanische Werkzeuge wie Kreissägen oder Schlitzfräsen mit Diamantblatt oder Höchstdruck-Strahlverfahren. In solchen Fällen hat die Materialtrennung zwingend mit einem Sicherheitsabstand von mindestens einem Zentimeter im nicht kontaminierten Bauteil zu erfolgen und es müssen geeignete Massnahmen zur Bewältigung der Staubproblematik bzw. zur Rückhaltung der Strahlmittel getroffen werden.

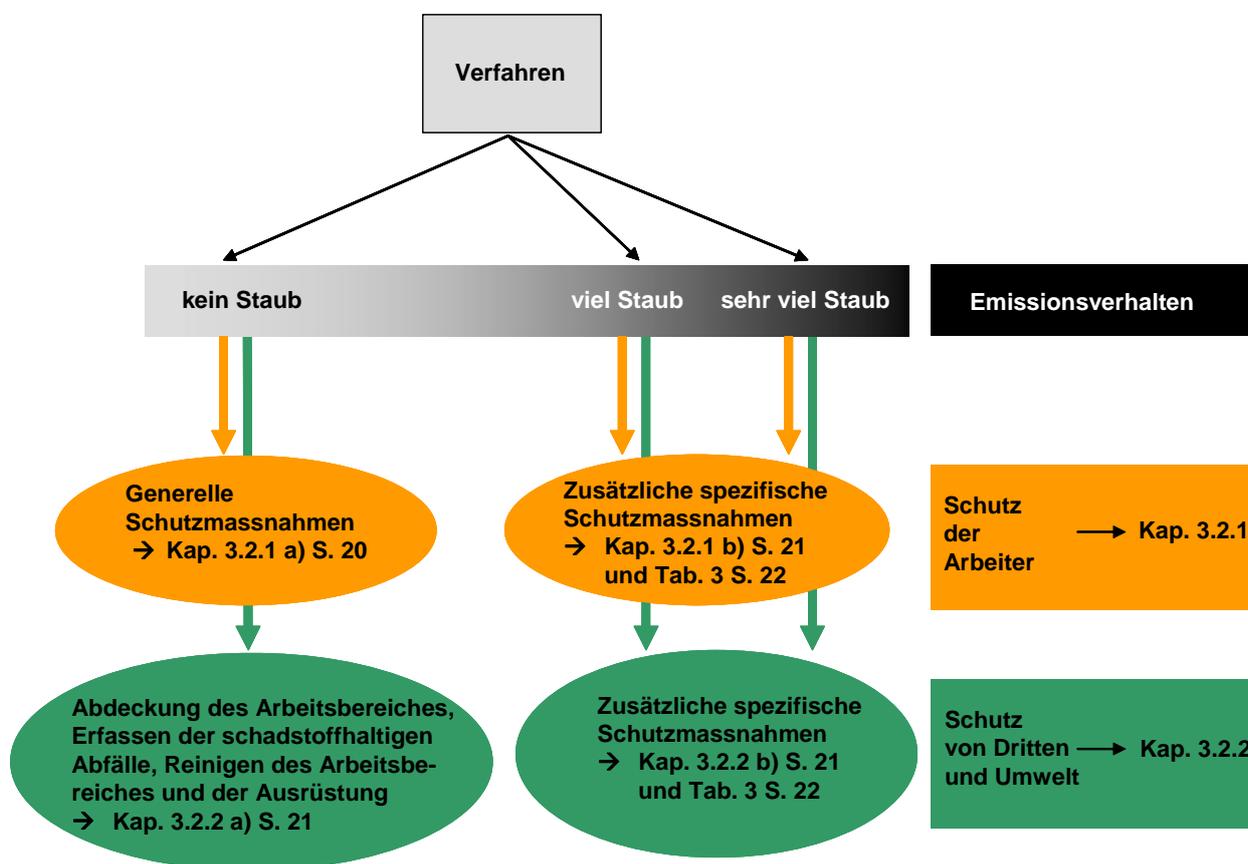
Nicht geeignete Werkzeuge, Maschinen und Verfahren

Nicht empfohlen zur Entfernung von FDM oder zur Reinigung der Fugenflanken werden grundsätzlich alle elektromechanischen Werkzeuge welche schleifend arbeiten, dadurch viel Staub erzeugen und eine unkontrollierbare Erwärmung oder Hitzeentwicklung zur Folge haben und somit die Gefahr einer Bildung von PCDD/F nicht ausgeschlossen werden kann. Beispiele für solche Geräte sind Winkelschleifer, Mauernutfräsen, Kreissägen und Schlitzfräsen. Stichsägen und Säbelsägen führen bei spröden FDM ebenfalls zu Staubemissionen und Hitzeentwicklung, und zudem verkleben die Sägeblätter bei elastischen FDM.

3.2 Schutzmassnahmen

Die Anforderungen an die Schutzmassnahmen richten sich nach der Gefährdungssituation welche vor allem von der verfahrensbedingten Staubeentwicklung abhängig ist. Damit die Schutzmassnahmen auf ein Minimum beschränkt werden können, sind vorzugsweise Werkzeuge und Verfahren zu wählen, die zu möglichst geringen Staubbelastungen führen. Grundsätzlich sollen die Schutzmassnahmen den direkten Personenschutz (Arbeiter), den Schutz der Gebäudenutzer und Dritter (z. B. Passanten oder Kinder) und den Schutz der Umgebung des Sanierungsobjektes gewährleisten sowie allgemeine Massnahmen zur Arbeitssicherheit und Arbeitshygiene umfassen. Wer sich an diese Empfehlung hält, hat die Gewissheit, dass die erwähnten Schutzinteressen nach heutigem Kenntnisstand optimal gewährleistet werden. Andere Lösungen sind je nach Fall nicht ausgeschlossen. Es ist jedoch nachzuweisen, dass diese Methoden ein vergleichbares Schutzniveau gewährleisten.

Abbildung 2: Übersicht über die Schutzmassnahmen



Allgemeine Schutzmassnahme:

Beim Herausschneiden der Fugenmaterialien sollten diese unverzüglich an Ort und Stelle in geeignete Behältnisse (z.B. verschliessbare PE-Eimer mit PE-Innensack) abgefüllt werden, um ein Vertreten der Fugenreste auf dem Boden zu verhindern.

3.2.1 Schutz der Arbeiter

Die Massnahmen betreffen den Schutz vor gasförmigen und partikelgebundenen PCB. Der MAK-Wert der SUVA [4] beträgt für

PCB mit Chlor-Gehalt von 42%	1 mg/m ³
PCB mit Chlor-Gehalt von 54%	0.5 mg/m ³

Je nach Auswahl der Werkzeuge (siehe Kapitel 3.1) ist mit gas- und/oder partikelgebundenen PCB in der Umgebungsluft zu rechnen. Die PCB-Konzentrationen können bei Verwendung von stark Staub erzeugenden Werkzeugen in bestimmten Situationen über den MAK-Werten liegen (Beispiel für die Abschätzung im Rahmen einer Probesanierung in einem Schulgebäude gemäss [5]), ebenso die CO₂-Konzentrationen beim Trockeneis-Strahlen. Deshalb ist es unerlässlich, im Falle des Einsatzes von Staub erzeugenden Verfahren angemessene Massnahmen zum Schutz der Arbeitenden (Personenschutz ausrüstung = PSA) vorzusehen. Die Schutzmassnahmen sollen die Einnahme von PCB durch Einatmen, durch orale Aufnahme und/oder Aufnahme durch die ungeschützte Haut verhindern. Da PCB die Haut leicht zu durchdringen vermögen, ist dem Hautschutz besondere Beachtung zu schenken. Die nachfolgend aufgelisteten generell gültigen Schutzmassnahmen gelten immer beim Umgang mit PCB-haltigen Materialien:

a) Generell gültige Personenschutzmassnahmen beim Umgang mit PCB-haltigen Materialien

Baustellen sind so einzurichten, dass die allgemeinen Hygienemassnahmen eingehalten werden können. Bei jeglichem Umgang mit PCB-haltigen Materialien sind folgende Massnahmen zu treffen:

- **Tragen von Handschuhen und Hautschutz:** Es sind die Anforderungen bezüglich Beständigkeit für mechanische Arbeiten und Schutz vor dem Eindringen von PCB durch die Haut zu beachten. Hierzu sind z.B. Chemikalienschutzhandschuhe aus Nitrilkautschuk (NBR) besonders gut geeignet. Bei Arbeiten mit Lösemittel (z.B. Reinigen von nicht-porigen Untergründen) muss abgeklärt werden, ob die Handschuhe für das betreffende Lösemittel geeignet sind, und wie lange die Handschuhe für das betreffende Lösemittel benutzt werden können (Durchbruchzeit). Eine Hilfe bieten die Prüfergebnisse nach DIN/EN 374 Teil 3, weitere Informationen www.bvh.de;
- **Tragen von Schutzbrillen:** Bei sämtlichen Arbeiten zur Entfernung von FDM und Reinigen von Fugenflanken;
- Essen, Trinken und Rauchen in der Arbeitszone ist zu unterlassen;
- Hände sind vor der Pause zu waschen. Um Schädigungen der Haut vorzubeugen, sind geeignete Hautschutz- und Pflegemittel zur Verfügung zu stellen;
- Bei Arbeiten mit Staubentwicklung sind Duschköglichkeiten und getrennte Garderoben für Arbeits- und Freizeitkleider zu organisieren;
- Bei Arbeiten mit Lösemittel (z.B. Reinigen von nicht porigen Untergründen wie Metall etc.) sind Atemschutzgeräte mit Filter der Leistungsklasse 3 einzusetzen;
- In Fällen umfangreicher PCB-Sanierungen und wiederkehrenden Arbeiten mit PCB-haltigen Materialien ist mit dem Bereich Arbeitsmedizinische Prophylaxe der SUVA Luzern zwecks Abklärung arbeitsmedizinischer Vorsorgeuntersuchungen Kontakt aufzunehmen.

b) Spezifische Schutzmassnahmen

Werden PCB-haltige Materialien und Abfälle bearbeitet und zerkleinert, ergeben sich je nach angewandten Verfahren und Werkzeugen erhöhte Gefahren, denen mit geeigneten Schutzmassnahmen zu begegnen ist. In Tabelle 3 auf Seite 22 sind die Schutzmassnahmen in Abhängigkeit von der Gefahrensituation dargestellt.

3.2.2 Schutz von Dritten und Umwelt

Beim Schutz von Drittpersonen und der Umwelt während den Sanierungsarbeiten geht es grundsätzlich darum, die Umgebung – im Innenbereich die an die Sanierungszone angrenzenden Räume und im Aussenbereich das unmittelbare Umfeld vor einer Kontamination mit PCB-haltigen Stäuben und Gasen zu schützen. Wichtigstes Kriterium für die Selektion der Schutzmassnahmen ist die verfahrensbezogene Staubentwicklung. Die nachfolgend aufgelisteten generell gültigen Schutzmassnahmen gelten immer beim Umgang mit PCB-haltigen Materialien:

a) Generell gültige Umgebungsschutzmassnahmen beim Umgang mit PCB-haltigen Materialien

Bei jeglichem Umgang mit PCB-haltigen Materialien sind folgende Massnahmen zu treffen:

Innenbereich:

- **Abdecken** des Arbeitsbereiches mit Kunststoff-Folien, z.B. aus PE-Recyclat;
- **Abfüllen** der entfernten FDM unmittelbar an der Ausbaustelle in verschliessbare stabile Behälter wie beispielsweise so genannte Fiberdrums oder PE-Eimer mit PE-Innensack;
- **Regelmässige Reinigung** des Arbeitsbereiches inkl. Werkzeuge und Maschinen mit einem Industriestaubsauger und Filter der Staubklasse M (geprüft nach EN 60335-2-69 Anhang AA), Feuchtreinigung zur Entfernung von Partikel;
- **Sachgerechte Entsorgung** der kontaminierten Schutzbekleidungen (Handschuhe und Schutzanzüge), Filter von Absauggeräten und Reinigungshilfsmittel in der Sanierungszone oder in der Dekontaminationsschleuse gemäss Kapitel 5. Die Entsorgung geschieht mit den gleichen Gefässen und auf dem gleichen Weg wie die übrigen PCB-haltigen Abfälle.

Aussenbereich:

- **Abdeckung** des Bodens vor Fassaden im Sockelbereich mit gleitsicheren Planen mindestens auf Gerüstbreite, an den Rändern 10 cm umgeschlagen, am Gebäude dicht angeschlossene Auffangfolie, um allfällig herunterfallende Teile der Fugendichtungsmassen auffangen und damit eine Verschmutzung des Bodens zu verhindern;
- **Einhausung** des Baugerüsts im Bereich der Arbeiten mit einer reissfesten Staubschutzplane;
- **Gerüstgänge** im Bereich der Arbeiten mit einem rutschfesten Vlies bis an die Fassadenoberfläche dicht abdecken, um das Herunterfallen von Teilen der Fugendichtungsmassen möglichst zu vermeiden.

b) Spezifische Schutzmassnahmen

Werden PCB-haltige Materialien und Abfälle bearbeitet und zerkleinert, ergeben sich je nach angewandten Verfahren und Werkzeugen erhöhte Gefährdungspotenziale. In der nachfolgend angeführten Tabelle 3 sind die Zusammenhänge dargestellt:

Tabelle 3: Gefahrensituationen und spezifische Schutzmassnahmen

Gefahrensituation			Schutzmassnahmen	
Arbeitsschritte	Werkzeug / Maschine	Emissionen	Zum Schutz der Arbeiter	Zum Schutz von Dritten und Umwelt
Herausschneiden elastischer FDM	<ul style="list-style-type: none"> • Universalmesser • Elektro-Fugenschneider 	Kein Staub	Generell gültige Schutzmassnahmen (siehe 3.2.1 a), Seite 20)	Generell gültige Schutzmassnahmen (siehe 3.2.2 a), Seite 21)
Entfernen teilweise spröder FDM	<ul style="list-style-type: none"> • Universalmesser • Elektro-Fugenschneider • Stechbeitel • Spachtel • manueller Schaber 	Grobstaub	Zusätzlich zu generell gültigen Schutzmassnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Atemschutzgerät: ¹⁾ <ul style="list-style-type: none"> ➢ Halbmaske mit Filter P2 oder ➢ Partikel filtrierende Halbmaske FFP2 	Zusätzlich zu generell gültigen Schutzmassnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Innenbereich: Staubdichte Abschottung oder Luftumwälzung über Entstaubungsgerät mit Filter ⁴⁾ • Aussenbereich: Staubdichte Einhausung ⁴⁾
Reinigen glatter und rauer Fugenflanken mit elastischen FDM				
Entfernen spröder FDM	<ul style="list-style-type: none"> • Elektroschaber • Hammer und Meissel • Drahtbürste • Elektro-Fugenschneider mit Diamantmesser bzw. Diamantschleifgerät • Nadelhammer 	Viel Staub	Zusätzlich zu generell gültigen Schutzmassnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Atemschutzgerät: ¹⁾ <ul style="list-style-type: none"> ➢ Halb- oder Vollmasken mit Filter A2-P3 oder ➢ Partikel filtrierende Halbmaske FFP3 • Schutzanzug ³⁾ • Staubabsaugung an der Quelle: ²⁾ <ul style="list-style-type: none"> ➢ Staubabsaugung direkt am Werkzeug oder ➢ Absaugung durch Zweitperson mit Industriestaubsauger mit Filter der Klasse M 	Zusätzlich zu generell gültigen Schutzmassnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Innenbereich: Staubdichte Abschottung ⁴⁾ mit Unterdruck und mindestens 6-fachem Luftwechsel ⁵⁾ über Filter ins Freie • Aussenbereich: Staubdichte Einhausung ⁴⁾
Reinigen glatter und rauer Fugenflanken mit elastischen und spröden FDM				
Reinigen glatter und rauer Fugenflanken	• CO ₂ -Trockeneis-Strahlen	Sehr viel Staub und CO₂ ; mit hohem Anteil an Feinstaub	Zusätzlich zu generell gültigen Schutzmassnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Atemschutzanzug und Isoliergerät mit Frischluftversorgung 	Zusätzlich zu generell gültigen Schutzmassnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Innenbereich: Staubdichte Abschottung ⁴⁾ mit Unterdruck und mindestens 6-fachem Luftwechsel ⁵⁾ über Filter ins Freie • Aussenbereich: Staubdichte Einhausung ⁴⁾ mit mindestens 6-fachem Luftwechsel ⁵⁾ und Unterdruck über Filter ins Freie
Entfernen FDM durch Frässchnitt ausserhalb Fugenflanke	• Fräsinstrumente	Sehr viel Staub mit hohem Anteil an Feinstaub	Zusätzlich zu generell gültigen Schutzmassnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Atemschutzgerät: ¹⁾ <ul style="list-style-type: none"> ➢ Vollmaske mit Filter P3 oder FFP3 • Schutzanzug ³⁾ • Staubabsaugung an der Quelle mit Industriestaubsauger und Filter der Klasse M ²⁾ 	Zusätzlich zu generell gültigen Schutzmassnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Innenbereich: Staubdichte Abschottung ⁴⁾ • Aussenbereich: Staubdichte Einhausung ⁴⁾

Legende zu Tabelle 3:

- 1) Atemschutzgeräte:** Die folgenden Bezeichnungen sind der DIN EN-Normierung entnommen. Man unterscheidet zwischen **Filtergeräten**, welche die Schadstoffe in der Umgebungs- bzw. Atemluft mittels Gas-, Partikel- oder Kombinationsfilter reinigen, und **Isoliergegeräte**, welche den Arbeiter unabhängig von der Umgebungsatmosphäre mit Frischluft versorgen. Weiter unterscheidet man zwischen **Voll-, Halb-** (Mund, Nase und Kinn umfassend) **und Viertelmasken** (Mund und Nase umfassend), welche je mit einem separaten Partikelfilter der Klasse P1 (4-Faches des Grenzwertes), P2 (10-Faches des Grenzwertes) oder P3 (30-Faches des Grenzwertes) verbunden werden (DIN EN 143). Schliesslich unterscheidet man zwischen Masken mit Filter (siehe oben) und sog. **Partikel filtrierenden Halbmasken**, welche ganz oder überwiegend aus dem Filtermaterial bestehen, durch das die Einatemluft strömt, oder bei dem das Hauptfilter einen untrennbaren Teil des Gerätes darstellt. Dieser Typ Filter wird mit FFP1, FFP2, FFP3 bezeichnet. Schliesslich gibt es auch Filtergeräte welche kombiniert gegen Partikel, Gase und Dämpfe wirken (z. B. Atemschutzgerät A2-P2, welches neben dem Partikelfilter Klasse P2 auch organische Gase und Dämpfe mit Siedepunkt > 65 °C abscheidet).

Bei der Auswahl des geeigneten Atemschutzgerätes spielen der Tragkomfort und die Tragakzeptanz eine entscheidende Rolle. Atemwiderstand und Gewicht sind entscheidende Kriterien. Partikelfilter oder eine Partikel filtrierende Halbmaske dürfen nicht von mehreren Personen (Infektionsgefahr) und nicht länger als einen Arbeitstag benutzt werden. Die Filter und Masken sind gemäss Kapitel 5 zu entsorgen.

- 2) Absaugung an der Quelle:** Die Absaugung erfolgt entweder durch einen zweiten Arbeiter oder direkt am Werkzeug mit einem Industriestaubsauger, welcher mit einem Abscheider ausgerüstet ist. Staubsauger müssen nach [6] geprüft sein. Die Filter der Staubklasse M (Durchlassgrad max. 0,1 %, empfohlen für Staub mit MAK > 0,1 mg/m³, geprüft nach EN 60335-2-69 Anhang AA) sind besonders geeignet. Die gefilterte Abluft ist mit einem Schlauch direkt ins Freie zu führen. Beim Wechseln der Filter und der Staubsammelgefässe ist darauf zu achten, dass keine Kontamination ausserhalb der Sanierungszone stattfindet (das heisst Wechsel innerhalb der Sanierungszone, möglichst geringe Exposition der Arbeiter beim Wechseln, z.B. durch einfaches Abschnüren des Sammelgefässes beim Wechsel).

3) Einweg- oder Mehrwegschutzanzug

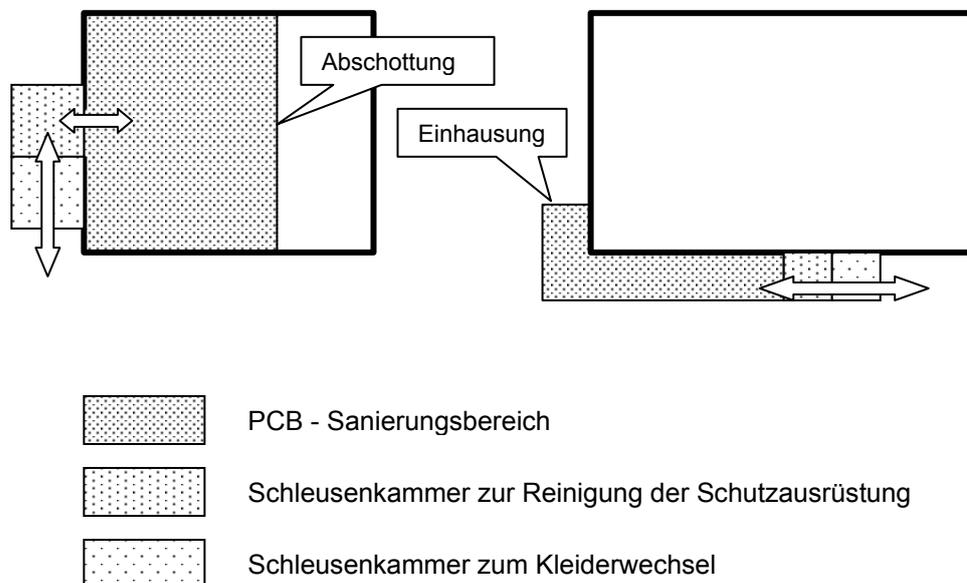
In der Praxis haben sich weisse, möglichst reissfeste Overall's als Schutzanzüge bewährt (z. B. Tyvek, Du Pont). Die Schutzanzüge müssen mit einer Kapuze versehen sein. Die Abschlüsse an Armen und Beinen müssen dicht anliegen. Bei hoher Belastung mit Feinstaub sind partikeldichte Schutzanzüge zu tragen. Damit Einweganzüge nicht zerreißen, sollen sie zwei Nummern zu gross getragen werden. Verschmutzte Overalls sind täglich zu wechseln.

4) Abschottungen und Einhausungen

Abschottungen (Abbildung 3) sind staubdichte Abgrenzungen von PCB-belasteten Innenbereichen von Gebäuden, die sog. Sanierungszonen. Es sollen nicht zu grosse Bereiche abgeschottet werden. In Innenräumen haben sich in der Praxis Sanierungszonen von maximal 300 bis 400 m² bewährt. Sie können aus starren Plattenmaterialien gebaut werden oder aus Folien auf Rahmenkonstruktionen. Schottungen müssen aus starker Folie, z.B. PE-Recyklatfolien (0,2-0,5 mm) überlappend gebaut werden (Verklebung mit Industrieklebeband z.B. aus Aluminium). Die Dichtheit der Schottung wird mit Rauchstäbchen oder mit der Tracergas-Methode stichprobenweise überprüft.

Einhausungen (Abbildung 3) werden in der Regel bei PCB-Aussensanierungen an Gebäudeteilen eingesetzt. Die Bauart ist ähnlich der Abschottungen im Innenbereich der Gebäude. Es muss jedoch der Wind- und Wetterschutz speziell berücksichtigt werden. Bei Arbeiten zur Entfernung von PCB-haltigen FDM in Aussenfassaden haben sich auf die Gerüstmasse abgestimmte mobile Gerüsthäuben von 15 bis 20 m² als geeignet erwiesen. Es können auch grössere Kompartimente (je nach Objekt-, Ausmass und Art der Sanierungsarbeiten) abgeschottet werden, z.B. Abschottungen auf Normgerüsten mit Schienen.

Abbildung 3: Abschottung und Einhausung mit Dekontaminationsschleusen



5) Kontrollierter Luftwechsel und Dekontaminationsschleusen

Staub erzeugende Verfahren erfordern die Abschottung des Arbeitsbereiches und einen kontrollierten Luftwechsel. Der Sanierungsbereich sollte bei den Staub erzeugenden Arbeiten immer von Luft durchströmt werden, um die Exposition der Arbeitenden so niedrig wie möglich zu halten und ein Absetzen von PCB-belasteten Stäuben und Feinstäuben auf den Oberflächen zu vermeiden. Die Zuluft wird im Bereich des Schleusenzuganges in den Raum geführt. Die Absaugung erfolgt durch ein leistungsfähiges Gebläse über einen Vorfilter im Raum und einen Abluffilter, wobei das Gebläse mit dem Abluffilter auch ausserhalb des Raumes, z. B. auf einem Dach installiert werden kann. Die belastete Abluft sollte dabei von

der Emissionsquelle auf dem kürzesten Weg nach aussen geführt werden. Im Idealfall soll der abgeschottete Raum diagonal oder lateral mit Luft durchströmt werden. Die Geräte müssen mindestens einen 6-fachen Luftwechsel erzeugen und sind mit einem Staubfilter der Klasse M und optional mit einem Aktivkohlenfilter (falls relevante Emissionen von gasförmigen PCB zu erwarten sind) ausgerüstet. Beim Einsatz von Aktivkohlenfilter ist abzuklären, ob mit dem gewählten Gerät ein 6-facher oder höherer Luftwechsel möglich ist.

Folgende Anforderungen müssen eingehalten werden:

- Nachweis des Unterdruckes, mindestens 10 Pa;
- Nachweis der Funktionsfähigkeit der Staubabscheidung;
- Zugang über 2-Kammer-Personen/Materialschleusen;
- Staubfreie Entfernung des PCB-belasteten Schutt-Materials;
- Zutritt zur Sanierungszone über Schleusen:
- **2-Kammerschleusen:** Schleusenordnung nach Aussen: 1. Kammer: Reinigung des Materials an der Oberfläche, 2. Kammer: Deponieren des sauberen Materials. Im Falle von sehr viel Staub ist eine **Dreikammerpersonenschleuse** vorzusehen: Reihenfolge der Kammern aus der Richtung des Arbeitsbereiches: 1. Kammer: Reinigung der Arbeitsbekleidung, 2. Kammer: Reinigung der Haut: Hände, Gesicht evtl. mit Dusche, 3. Kammer: Ankleidung mit Strassenkleider).

6) Kontrollierte Luftumwälzung über Filter oder Frischluftzufuhr

Bei wenig Staub erzeugenden Verfahren im Innenbereich und in geschlossenen Räumen bis 100 m² kann anstelle einer Abschottung eine kontrollierte Luftumwälzung im Sanierungsbereich mit einem Luftumwälzgerät erfolgen, welches nach [6] geprüft und mit einem Staubfilter der Klasse M ausgerüstet ist. Das Umwälzgerät soll jeweils möglichst nahe bei den Sanierungsarbeiten positioniert werden.

3.2.3 Weitere Arbeitsschutzmassnahmen

Andere Gefahren als PCB sind nicht Gegenstand dieser Publikation. Es sei an dieser Stelle jedoch auf zwei nahe liegende Gefahren hingewiesen:

- Bei Arbeiten mit hohen Quarzstaubemissionen ist zu beachten, dass der MAK-Wert für Quarz von 0,15 mg/m³ [4] unter Umständen überschritten wird.
- Je nach verwendeten elektrischen oder chemisch/physikalischen Methoden sind zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen nach Angaben der Gerätehersteller bzw. Chemikalienhersteller (z. B. für Lösungsmittel gemäss Sicherheitsdatenblatt) einzuhalten.

3.2.4 Reinigung des PCB-belasteten Arbeitsbereiches

Die Reinigung des Arbeitsbereiches nach dem Entfernen der PCB-belasteten Fugendichtungen erfolgt je nachdem, ob die Arbeiten stark oder nicht Staub erzeugend durchgeführt wurden:

Nicht Staub erzeugende Verfahren:

Die Reinigung erfolgt in zwei Stufen. Zuerst wird eine trockene Grobreinigung mittels Industriestaubsauger für Stäube der Staubklasse M (geprüft nach [6]) im Arbeitsbereich durchgeführt. Danach erfolgt die Feinreinigung mit feuchtem Lappen oder Mopp.

Staub erzeugende Verfahren:

Die Reinigung erfolgt wiederum in zwei Stufen. Zuerst wird der gesamte abgeschottete Arbeitsbereich trocken mittels Industriestaubsauger gereinigt (geprüft nach [6]). Danach erfolgt Feuchtwischen mit geeignetem Gerät (geprüft nach [6]). Eine zu nasse Reinigung führt dazu, dass die PCB bei der Anwendung von Wasser und Reinigungsmitteln in die Poren des Untergrundes eindringen.

Waschwasser und Hilfsmittel für die Reinigung sind wie folgt zu entsorgen: Sedimentierte Feststoffe, Filter und Filterrückstände wie die übrigen PCB-haltigen Abfälle in die KVA oder SAVA, das überstehende Waschwasser in die Schmutzwasser-Kanalisation.

3.2.5 Organisatorische Schutzmassnahmen

3.2.5.1 Information

- Betroffene Kreise wie Werk- oder Schulleitung, Behörden (zuständige kantonale Behörden für Umweltschutz und Arbeitnehmerschutz¹, Suva), Ereignisdienste sind über die Ziele, Art und Dauer der Sanierungstätigkeit sowie Verhaltensregeln zu orientieren. Vor umfangreichen Sanierungen sollte mit dem Bereich Arbeitsmedizinische Prophylaxe (AMP) der SUVA abgeklärt werden, ob arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen notwendig sind.
- Erstellen einer Betriebsanweisung und Alarmliste (Ereignisdienste, Spital, Rettungsflugwacht, Tox-Zentrum, nächster Arzt, Polizei, zuständige Behörden, Bauleitung) für die verantwortlichen Projektleiter und das Baustellenpersonal (Standort: Personal-/Bürocontainer).
- Präsenzkontrolle der auf der Baustelle anwesenden Personen.
- Schulung der beteiligten Handwerker vor Ort (in Sprachen, die für Ausführende geläufig sind).

3.2.5.2 Zugangsregelung

Während den Sanierungsarbeiten ist auf eine strikte Zugangsregelung zu achten. Ein Zutritt von Unbefugten in die kontaminierten Zonen (z.B. während der Nacht) ist durch entsprechende Sicherungsmassnahmen zu unterbinden.

3.2.5.3 Absperrung

Die Sanierungszone innerhalb des Gebäudes ist abzusperren und zu kennzeichnen.

¹ Eine Liste der zuständigen Koordinationspersonen der Kantone ist unter www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_produkte/themen/pcb/index.html abrufbar

3.2.5.4 Kontrollkonzept

Das Kontrollkonzept beinhaltet

- a) Kontrolle der Arbeitsausführung, der eingesetzten Werkzeuge, Verfahren und Schutzmassnahmen;
- b) Kontrolle der Sicherheitsmassnahmen;
- c) Kontrolle der Abfalltrennung und Entsorgung;
- d) Erfolgskontrolle der Sanierungsmassnahmen bzw. Überprüfung, ob die im Sanierungsprojekt formulierten Ziele erreicht worden sind.

3.2.5.5 Durchführung der Kontrollen vor Ort

a) Kontrolle der Schutzmassnahmen

- Kontrolle der Luftwechselrate täglich;
- Kontinuierliche Überwachung des Unterdruckes in der Sanierungszone während den PCB-emittierenden Arbeiten falls Unterdruck notwendig

b) Erfolgskontrolle der Sanierungsmassnahmen im Innenbereich

Generelle Erfolgskontrolle: Durch Augenschein visuell und anhand von Planunterlagen prüfen, ob alle PCB-Quellen entfernt worden sind, insbesondere die Rückstände der FDM an den Fugenflanken.

Die Kontrollmessung der Innenraumluft nach Sanierungen wegen Richtwertüberschreitungen erfolgt gemäss Vorgaben der PCB-Richtlinie [1], Anhang 6, Seiten 36, 37 und Anhang 7, Seite 45, letzter Abschnitt.

c) Erfolgskontrolle der Sanierungsmassnahmen im Aussenbereich

Generelle Erfolgskontrolle: Durch Augenschein visuell und anhand von Planunterlagen prüfen, ob alle PCB-Quellen entfernt worden sind.

4 Entfernung PCB-haltiger Anstriche

Die Sanierungsziele, welche der Entfernung von PCB-haltigen Anstrichen und Beschichtungen zu Grunde gelegt werden müssen, sind grundsätzlich analog denjenigen für FDM (siehe Kapitel 2). So können bauliche oder bautechnische Sanierungen beispielsweise zum Ziel haben, alterungs- oder nutzungsbedingte Schäden an der Bausubstanz zu beheben, ein Gebäude an veränderte Nutzungsbedürfnisse anzupassen oder die Gebäudehülle mit einer verbesserten Wärmedämmung auszustatten, damit unnötige Energieverluste vermieden werden. Im Unterschied zu PCB-haltigen FDM sind mitunter viel grössere Kontaktflächen zwischen PCB-haltigen Beschichtungen und Umgebungsluft sowie den darunter liegenden Bauteilen zu berücksichtigen. Deshalb sind spezielle Anforderungen an die Entfernung oder Immobilisierung von PCB-Restbelastungen in den gestrichenen bzw. beschichteten Bauteilen zu definieren. Dies gilt in besonderem Mass für PCB-haltige Beschichtungen in Innenräumen.

Grundsätzliches:

Die Entfernung PCB-haltiger Anstriche muss so erfolgen, dass

- sich Werkzeug und behandelte Materialoberflächen nicht über 80 °C erwärmen;
- möglichst wenig Staub erzeugt wird;
- bei wasserbasierten Strahlverfahren keine Aerosole diffus in die Umgebungsluft entweichen;
- Abwasser nicht unkontrolliert abfliessen oder versickern kann.

Das bestgeeignete Verfahren wird vorzugsweise in einem Pilotversuch evaluiert. Massgebend sind u. a. die Beschaffenheit des Untergrundes, die Lage der Fläche (Wand, Boden, Decke, Anzahl Ecken und Kanten), die Oberflächenbeschaffenheit (glatt, rau; Materialhärte) und das Sanierungsziel (tolerierter PCB-Restgehalt).

In der nachfolgenden Tabelle 4 sind Verfahren aufgeführt, mit denen PCB-haltige Beschichtungen sowie relevante Sekundärkontaminationen der angrenzenden Bauteile entfernt werden können und die sich gemäss Literaturangaben sowie Auskunft von Sanierungsexperten in der Praxis für bestimmte Anwendungsfälle bewährt haben.

Tabelle 5 enthält diejenigen Verfahren bei denen die Quelle nicht entfernt wird, sondern die Abgabe von PCB an die Raumluf durch eine Beschichtung gestoppt oder zumindest reduziert wird. Es handelt sich dabei in jedem Fall nur um eine Notlösung für eine Übergangszeit, weil die PCB-Belastung in der Bausubstanz verbleibt bzw. nur sehr langsam abnimmt. Die PCB-Belastung sollte auf jeden Fall dokumentiert sein, damit bei einem späteren Abbruch oder einer Sanierung die besonderen Sicherheitsmassnahmen getroffen werden können.

In Tabelle 6 sind diejenigen Verfahren, die aus heutiger Sicht als nicht geeignet beurteilt werden, aufgelistet.

Tabelle 4: Geeignete Verfahren zur Entfernung PCB-haltiger Anstriche und Beschichtungen

Verfahren	Beschreibung	Eignung	Bemerkungen; Vor- und Nachteile	erforderliche Schutz- ausrüstung
Demontage und Ersatz (oder Entfernung der Beschichtung)	Demontierbare Elemente mit PCB-Anstrichen ohne Staubentwicklung entfernen und 1) entsorgen oder 2) entfernen des Anstrichs mittels Verfahren, die dem Stand der Technik entsprechen (Lösungsmittelbasiertes Ablaugen oder Strahlverfahren in geschlossenen Anlagen)	1) geeignet für z.B. Holztäfer 2) Geeignet für demontierbare Teile, z.B. Heizkörper	Keine Staubentwicklung	Handschuhe resistent gegen Chemikalien (siehe Tabelle 5) und evtl. Schutzanzug bei Demontagearbeiten
Mechanisches Abfräsen unter Haube, mit Absaugung	Mit einem Fräskopf, der sich unter einer Haube befindet, wird die oberste Schicht mit dem Anstrich in einstellbarer Tiefe abgetragen. Das Fräsgut und der Staub werden abgesaugt und in einem Filter abgeschieden. Referenzverfahren für Fräsen an der Wand: GSU mbH Berlin	besonders geeignet für Bodenflächen, aber auch für Wände aus nicht zu harten Materialien, d.h. geeignet für Gips, Putz, Kalksandstein, Holz; nicht geeignet für harten Beton	- grosse Flächenleistung - nur Fräsgut fällt zur Entsorgung an (kein Strahlmittel) - günstig - häufig nicht ganz staubfrei	Personenschutz: Staubmaske Bedarf einer Abschottung. Geregelter Luftwechsel mit Filter muss im Einzelfall geprüft werden.
Hochdruckwasserstrahlen im Freistrah	Wasser wird als Strahlmittel mit einer von Hand geführten Strahlanze unter hohem Druck direkt auf die Fassadenoberfläche appliziert.	geeignet für grossflächige, harte Flächen wie Beton	- grosse Flächenleistung - starke Durchfeuchtung der Oberflächen - kommt nur für Aussenwände oder Behandlung von Bauteilen an Rückbauobjekten in Frage - Einhausung sowie Vorkehrungen zur Erfassung des Spritzwassers und Vor-Ort-Aufbereitung des Abwassers sind zwingend notwendig	Abschottung des Sanierungsbereiches Personenschutz: Wasser- und reissfest Schutzkleidung, Vollschutzmaske Abwasserfassung und Vor-Ort-Reinigung mit 3-Kammersedimentationsbecken und Aktivkohlenfilter; gereinigtes Abwasser kann anschliessend in Schmutzwasserkanalisation eingeleitet werden

Fortsetzung Tabelle 4

Verfahren	Beschreibung	Eignung	Bemerkungen; Vor- und Nachteile	erforderliche Schutz- ausrüstung
Wasserstrahlhochdruck- Verfahren unter Glocke (ca. 2000 bar), mit Ab- saugung	Die Reinigung erfolgt durch einen Hochdruck- Wasserstrahl, der aus rotierenden Düsen unter ei- ner Glocke austritt. Die Glocke wird an die Wand- fläche gepresst (Unterdruck unter Glocke) und der Wassernebel und das abgetragene Material mit einer Absaugung aus der Glocke gesaugt und in einem Filter abgetrennt. Das Wasser kann nach Filterung und Reinigung mit Aktivkohle der Kanali- sation zugeführt werden.	vor allem für harte Flächen wie Beton geeignet	<ul style="list-style-type: none"> - sehr gute Reinigungs- leistung, keine PCB-Rück- stände mehr; - weiche Materialien (Gips- karton, Sandstein) können beschädigt werden - starke Durchfeuchtung der Oberflächen - sehr aufwändig 	i. d. R. keine Personen- schutzmassnahmen und keine Abschottung mit Raumabsaugung erforder- lich
Wasserstrahl-Verfahren mit Krake (ca. 80 bar), mit Absaugung	Funktioniert ähnlich wie das Hochdruckwasser- strahlverfahren, aber das Wasser wird mit geringe- rem Druck kalt oder bis 80°C heiss unter einer fla- chen Haube, die an die Wand gepresst wird, appli- ziert. Der Nebel und das abgetragene Material werden abgesaugt und in einem Filter abgeschie- den. Das Wasser kann nach Filterung und Reini- gung mit Aktivkohle der Kanalisation zugeführt werden.	auch für weichere Grund- materialien wie Gips, Kalk- sandstein und Holz geeignet	<ul style="list-style-type: none"> - geringere Tiefenreinigung als Hochdruckverfahren; ge- ringfügige Restbelastung ist nicht auszuschliessen - günstiger als Hochdruck- verfahren 	i. d. R. keine Personen- schutzmassnahmen und keine Abschottung mit geregeltem Luftwechsel erforderlich
Manuelles Abschlagen	Anstrich wird mit der darunter liegenden Schicht abgeschlagen.	für kleinere Flächen mit An- strichen auf Putz, Gips, Zementüberzug, etc. geeig- net	<ul style="list-style-type: none"> - kein apparativer Aufwand - geringe Flächenleistung - Staubentwicklung 	<ul style="list-style-type: none"> - Staubmaske, staub- dichter Einweg- Schutzanzug; - Abschottung, ev. mit Raumabsaugung und Filter, erforderlich
Trockeneis-Strahlen	Strahlen mit CO ₂ -Trockeneis	kleinflächige, kantige bzw. verwinkelte Bauteile	<ul style="list-style-type: none"> - schonend für den Unter- grund - gute Reinigungsleistung - teuer (insb. wegen den auf- wändigen Schutzmassnah- men) 	<ul style="list-style-type: none"> - Personenschutz mit Isoliergeräten - Abschottung, Unter- druck und kontrollierter Luftwechsel

Fortsetzung Tabelle 4

Verfahren	Beschreibung	Eignung	Bemerkungen; Vor- und Nachteile	erforderliche Schutz- ausrüstung
Ablaugen oder Abbeizen	Der Anstrich wird konventionell mit einem geeigneten Ablauge- oder Abbeizmittel gelöst und dann mechanisch von der Oberfläche abgestossen oder abgekratzt.	für kleinere demontierbare Flächen mit glatter Oberfläche wie z.B. Heizkörper geeignet	<ul style="list-style-type: none"> - kein apparativer Aufwand - PCB-Restbelastung bleibt in den Poren des Untergrundes - vom Einsatz halogener Lösungsmittel sollte aus arbeitshygienischen Gründen abgesehen werden 	Schutzhandschuhe beständig gegen Lösemittel, Säuren und Laugen ¹⁾ , Schutzanzug ²⁾ , gute Raumdurchlüftung; evtl. Atemschutzmaske mit Aktivkohlefilter

¹⁾Es gibt kein Material für Schutzhandschuhe welches gegen alle Lösemittel beständig ist. Am ehesten haben sich NBR (Nitrilkautschuk) bewährt. Durchbruchzeiten können sehr kurz sein. Handschuhe können in der Regel nicht mehrfach benutzt werden.

²⁾Schutzanzüge müssen gegenüber den verwendeten Chemikalien beständig und reissfest sein

Tabelle 5: Verfahren zum Absperren von PCB-haltigen Anstrichen und Beschichtungen, ohne Entfernen der PCB-Quelle

Verfahren	Beschreibung	Eignung	Bemerkungen; Vor- und Nachteile
Tapeten/Folien	Tapeten haben durch den Einsatz von Kunststoff- und Aluminiumfolien entweder absperrende Wirkung oder durch zugesetzte Aktivkohle adsorbierende Wirkung.	Aktivkohlentapete hat Rückhaltevermögen > 99% und niedrige Belastungen im Raum zur Folge	<ul style="list-style-type: none"> - kein apparativer Aufwand - PCB-Belastung verbleibt in der Aktivkohle, muss überwacht werden; - zeitlich begrenzte Wirksamkeit des Adsorbens (i. d. R. wenige Jahre)
Anstrichstoffe	Erfahrungen mit Dispersionsfarben und Sperranstrichen wie Alkydharze, Acrylharze, Polyurethane, Epoxidharze und Naturharze. Anstriche müssen je nach Höhe der Belastung ausgewählt werden. Es muss gewährleistet sein, dass Anstrich als Diffusionsbremse wirkt, und dass nach einer gewissen Zeit kein Durchbruch der PCB-Belastung erfolgt.	PCB-Abgabe an den Raum wird verzögert	<ul style="list-style-type: none"> - kein apparativer Aufwand - PCB-Belastung verbleibt in der Wand, muss überwacht werden - Emission von PCB wird nur verzögert, nicht verhindert

Tabelle 6: Nicht geeignete Verfahren

Verfahren	Begründung
<p>Niederdruck-Feuchtstrahlverfahren im Freistrahl (Granuläres Strahlgut wird mit einer von Hand geführten Strahlzange mit Druckluft unter Niederdruck (3-4 bar) auf die Oberfläche appliziert. Ein dosierbarer Wassereinlass an der Düse befeuchtet den Luftstrom und die behandelte Oberfläche, was die Staubentwicklung etwas reduziert.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - zu grosse Staubentwicklung und dadurch PCB-Verfrachtung - Gefahr der Verschleppung von PCB mit dem Strahlmittel - unvollständige Entfernung der PCB-haltigen Beschichtung - Abschottung mit Unterdruckregime erforderlich - Strahlgut muss zusammen mit PCB-Abfall entsorgt werden; grosse Mengen von Sonderabfall

5 Entsorgung PCB-haltiger Abfälle aus der Sanierung von Fugendichtungen und Anstrichen

Gemäss der PCB-Richtlinie [1] ist im Rahmen der Projektplanung neben dem Schutzkonzept auch ein Entsorgungskonzept zu erarbeiten, das den Umgang mit allen auf der Baustelle anfallenden Abfällen regelt (s. auch SIA-Empfehlung 430, Entsorgung von Bauabfällen).

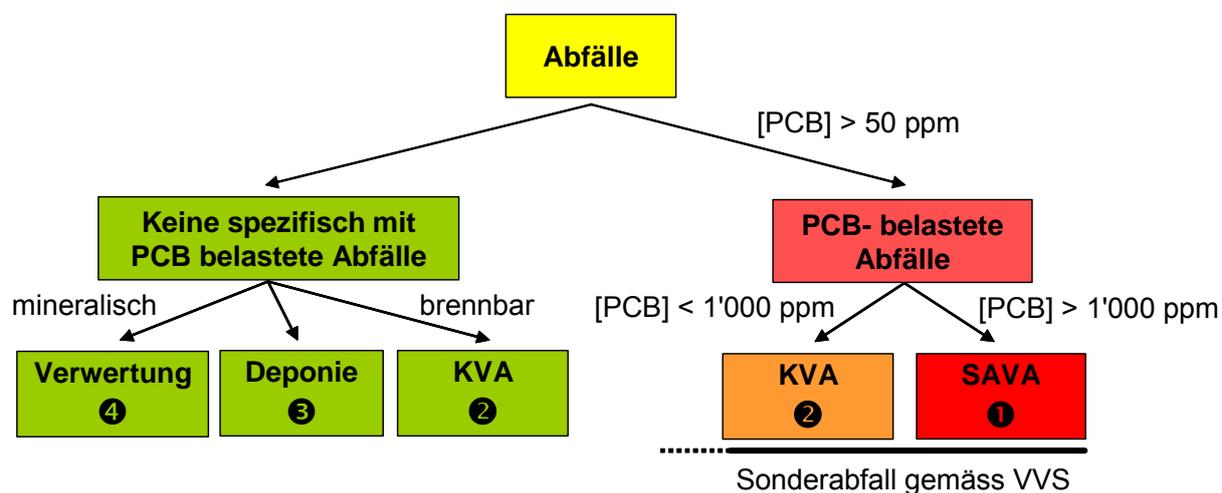
Voraussetzung für die gemäss Abfallgesetzgebung festgelegte sachgemässe Entsorgung ist eine sorgfältige Auftrennung der Abfälle, so dass die einzelnen Abfallkategorien auf die korrekten Entsorgungswege geleitet werden können. Dies geschieht am besten vor Ort auf der Baustelle.

Wurden bei der Analyse der Fugendichtungsmassen und/oder Beschichtungen (Anstriche) auf PCB keine Gehalte von mehr als 50 ppm festgestellt, sind im Rahmen von Erneuerungen oder Rückbauten keine speziellen Massnahmen erforderlich. Massgebend sind in diesem Fall die geltenden rechtlichen Bestimmungen über Arbeitssicherheit, Abfalltrennung und Entsorgung von Bauabfällen und die ergänzenden Richtlinien des Bundes.

Fallen bei Erneuerungen oder Rückbauten Bauabfälle an, die keine PCB-Belastung aufweisen, sind diese gemäss den generellen abfallrechtlichen Bestimmungen zu entsorgen.

Für die Entsorgung PCB-belasteter Abfälle enthält die PCB-Richtlinie [1] zusätzliche Vorgaben. Mit PCB belastete Abfälle gelten bei der Handhabung und beim Transport als **Gefahrgüter** und **Sonderabfälle**.

Abbildung 4: Übersicht über die Entsorgungswege für PCB-belastete und andere Abfälle



Einzelnen Entsorgungswegen sind evtl. Behandlungs- oder Aufbereitungsstufen vorgeschaltet. Die rechtskonforme Weiterleitung der in diesen Anlagen entstehenden Fraktionen ist Sache der Anlagenbetreiber.

Mit PCB belastete Abfälle sind in dicht schliessenden, bauartgeprüften Gebinden, mit UN 3432 und Gefahrzettel nach Muster 9 gekennzeichnet, als Sonderabfall (Code 3060) unter Einhaltung

der Bestimmungen über den Verkehr mit Sonderabfällen (VVS) und des Gefahrgutrechts (ADR/SDR, GGBV) zu entsorgen.

Für die gemäss Abbildung 4 vorgegebenen Entsorgungswege gibt Tabelle 7 nähere Informationen.

Tabelle 7: Detailangaben zu den Entsorgungswegen für bestimmte Kategorien von Abfällen

Entsorgungsweg	Abfälle	
<p>1</p> <p>SAVA</p> <p>Sonderabfallverbrennungsanlage</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fugendichtungsmassen - Hinterfüllmaterialien (Stopfprofile) - mineralische Abfälle, die Rückstände von PCB-haltigen FDM im Prozentbereich enthalten (aus der Reinigung von Fugenflanken zum Beispiel) - Abfälle aus der Entfernung von PCB-haltigen Anstrichen 	<p>← in dicht schliessenden Gefässen →</p> <p>Sonderabfall nach VVS</p>
<p>2</p> <p>KVA¹⁾</p> <p>Kehrichtverbrennungsanlage</p>	<ul style="list-style-type: none"> - nachweislich schwach belastete Fugendichtungsmassen (gemessene PCB-Gehalte in FDM < 1'000 ppm) - Hinterfüllmaterialien, die Rückstände von schwach PCB-haltigen FDM enthalten (d.h. nachweislich weniger als 1'000 ppm in FDM) - andere brennbare Abfälle (Staubfilter, Aktivkohlefilter, Schutz-/Reinigungs-ausrüstung sowie sekundär kontaminierte brennbare Baumaterialien wie Holz und Kunststoffe, Möbel, Bodenbeläge und brennbare Einrichtungsgegenstände) 	
<p>3</p> <p>Deponie</p>	<ul style="list-style-type: none"> - nicht verwertbare mineralische Abfälle: auf Inertstoffdeponie (belastete oder unbelastete FDM vorgängig entfernt) - mineralische Abfälle, die Rückstände von schwach PCB-haltigen FDM enthalten: auf Reaktordeponie (zum Beispiel aus der Reinigung von Fugenflanken mit nachweislich weniger als 1'000 ppm in FDM) 	<p>Abfalldeklaration²⁾</p>
<p>4</p> <p>Verwertung</p>	<ul style="list-style-type: none"> - nicht mit PCB belastete mineralische Bauabfälle (Betonabbruch oder Mischabbruch) (FDM vorgängig entfernt) - Metalle, die nicht in Kontakt mit stark belasteten Fugendichtungsmassen standen bzw. von denen anhaftende PCB-haltige Fugendichtungsmassen vollständig entfernt sind 	

1) KVA, die dazu über eine **VVS-Empfängerbewilligung** des Standortkantons verfügt.
Mit dem KVA-Betreiber ist im Einzelfall vorgängig abzuklären, welche Abfälle (Art des Abfallmaterials, PCB-Belastung und Mengen) angeliefert werden dürfen und welche Gebinde (Art und Grösse) zulässig sind.

2) Für die Ablagerung auf einer Deponie im Kanton Basel-Landschaft ist eine **Zulassungsbestätigung** erforderlich. Diese wird aufgrund einer **Abfalldeklaration** (Formular bei den kantonalen Fachstellen erhältlich oder unter www.bl.ch → Bau, Umwelt, Verkehr → Formulare → Abfalldeklaration) ausgestellt, die bei der kantonalen Fachstelle des Herkunftskantons der Abfälle einzureichen ist.

AG:	Abteilung Umweltschutz Entfelderstrasse 22, 5001 Aarau	Tel.: 062 – 835 33 60	Fax: 062 – 835 33 69
BS:	Amt für Umwelt und Energie Postfach, 4019 Basel	Tel.: 061 – 639 22 22	Fax: 061 – 639 23 23
BL:	Amt für Umweltschutz und Energie Postfach, 4010 Liestal	Tel.: 061 – 925 55 05	Fax: 061 – 925 69 8
SO:	Amt für Umwelt Werkhofstrasse 5, 4509 Solothurn	Tel.: 032 – 627 24 47	Fax: 032 – 627 76 93

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Richtlinie PCB-haltige Fugendichtungsmassen, Vollzug Umwelt, BUWAL, 2003, Bestell-Nummer VU-4013
- [2] Empfehlungen PCB in Fugendichtungsmassen / Grundlagen Umgang mit PCB-haltigen Fugendichtungsmassen 2004/4, Hrsg. Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes (KBOB), Koordinationsgruppe Nachhaltigkeit im öffentlichen Bau (eco-bau) und Interessengemeinschaft privater professioneller Bauherren (IPB), 2004
- [3] D. Zöltzer, Universität Stuttgart, pers. Mitteilung 2004
- [4] Grenzwerte am Arbeitsplatz 2003; Maximale Arbeitsplatzkonzentrationswerte gesundheitsgefährdender Stoffe (MAK-Werte). Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva), Luzern; Januar 2003
- [5] Jehle et al.: Bericht Testsanierung St. Alban-Schulhaus Basel, Mumpf, 2003
- [6] Vgl. Maschinen zur Beseitigung gesundheitsgefährlicher Stäube - Positivliste: www.BIA-handbuchdigital.de/sg5/d/10210/inhalt.html unter der Kennzahl 510'210
- [7] G. Zwiener: Polychlorierte Biphenyle in Gebäuden. Eigenschaften, Verwendung, Sanierung. VDI-Seminar „Sanierung kontaminierter Innenräume“, 30.11.2000 Mannheim.
- [8] I. Bleeker, F. Tilkes, A.B. Fischer, S. Harpel, Th. Eikmann. Bewertung von PCB-Sanierungen in Hessen, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
- [9] K. Grönhardt: Aufbau von Schadstoffinventaren für kontaminierte Innenräume bzw. Gebäudeteile. VDI-Seminar „Sanierung kontaminierter Innenräume“, 30.11.2000 Mannheim.
- [10] Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie), Mitteilungen des Deutschen Institutes für Bautechnik DIBt 2/1995
- [11] Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie Nordrhein-Westfalen) 1996
- [12] Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie Hessen) 1993
- [13] W. Eckrich: PCB-Sekundärkontaminationen – Massnahmen auf der Baustelle. VDI-Seminar „Sanierung kontaminierter Innenräume“, 30.11.2000 Mannheim.
- [14] D. Zöltzer: Sanierung einer PCB-belasteten Schule. Mitteilung der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg, Stuttgart Seite 425 ff
- [15] H. Fromme, B. Köppl, M. Meyer und M. Bork: Sanierungsstrategien PCB-belasteter Gebäude. VDI-Berichte 22/1994
- [16] Roland Arnet, Kant. Labor Aargau, Persönliche Mitteilung 2003
- [17] PCB-Sanierung der Grund- und Hauptschule Geradstetten, Gemeinde Remshalden, Bericht von UHST GmbH, www.uhst.de
- [18] K.Fengler: PCB-Sanierung im Hochbau, Technische Mitteilung 86 (1993) Heft 3
- [19] Urs K. Wagner, ETI Umwelttechnik AG, mündl. Mitteilung an der Besichtigung in Chur vom 9. Januar 2003 und Fachtagung der SGAH vom 12. März 2003 in Fribourg
- [20] Anita Binz-Deplazes, PCB: Untersuchungen in kantonalen und städtischen Gebäuden und erste Sanierungen, Zürcher Umweltpraxis Nr. 29, 2002
- [21] R. Blessing: Messstrategie und Messmethoden. VDI-Seminar „Sanierung kontaminierter Innenräume“, 30.11.2000 Mannheim.
- [22] H. Gugerli, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, Persönliche Mitteilung 2003
- [23] Urs K. Wagner, ETI Umwelttechnik AG, Chur, Persönliche Mitteilung 2003
- [24] Piet de Boer, Neosys AG Gerlafingen, Persönliche Mitteilung 2004

Bildernachweis

Fotos auf der Titelseite: AUE BL, CH-4410 Liestal und Michel Rauser, Novartis AG, Basel

Abbildungen Tabelle 2, Seite 12

- Universalmesser
oben (Stanley-Messer): AUE BL, CH-4410 Liestal
Mitte und unten (Martor-Messer): Meier Arbeitstechnik, CH-5610 Wohlen; www.martor.com
- Stechbeitel: Neosys AG, CH-4563 Gerlafingen

Abbildungen Tabelle 2, Seite 13

- Schaber: Neosys AG, CH-4563 Gerlafingen
- Drahtbürsten: Zeintra AG, CH-9501 Will; www.zeintra.ch
- Stockhammer und Aufsatz: Neosys AG, CH-4563 Gerlafingen

Abbildungen Tabelle 2, Seite 14

- Elektro-Fugenschneider: Fein Präzisionswerkzeuge (Suisse) AG, CH-8953 Dietikon; www.fein.ch
- Elektroschaber: Robert Bosch AG, CH-4501 Solothurn; www.bosch.ch

Abbildungen Tabelle 2, Seite 15

- Nadelhammer: Séchy Schweisstechnik AG, CH-8606 Nänikon; www.sechy.ch
- Stichsäge: Robert Bosch AG, CH-4501 Solothurn; www.bosch.ch
- Diamantschleifgerät: Dieter Zöltzer, Universität Stuttgart

Abbildungen Tabelle 2, Seite 16

- Trockeneis-Strahlgerät Cryonomic: Zeintra AG, CH-9501 Wil; www.zeintra.ch

Abbildungen Anhang, Seite 37

- Fein Präzisionswerkzeuge (Suisse) AG, CH-8953 Dietikon; www.fein.ch

Abbildungen Anhang, Seite 38

- Robert Bosch AG, CH-4501 Solothurn; www.bosch.ch

Anhang: Werkzeug-Zubehör

Zubehör zum Elektro-Fugenschneider für das Herausschneiden der Fugenmassen und Reinigen der Fugenflanken



Elektro-Fugenschneider mit auswechselbarem oszillierendem Messer



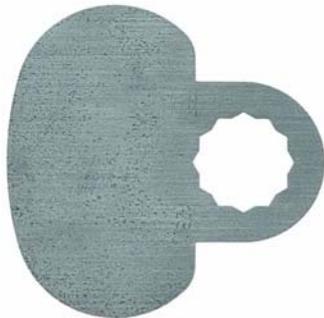
Handschutz



Universelles Messer für normale Kittfugen



Langform Messer für tiefe Fugen



Pilzform Messer für weiche Kittmasse



Segmentform Messer für Eckbereiche



Reinigungsmesser zum reinigen der Fugenflanken, diamantbeschichtet

Anhang: Werkzeug-Zubehör (Fortsetzung)

Zubehör zur Elektro-Stichsäge für das Herausschneiden der Fugenmassen und Reinigen der Fugenflanken



Elektro-Stichsäge mit integrierter Staubabsaugung



Messerklinge mit Wellenschliff



Messerklinge mit geradem Schliff



Klinge zur Reinigung der Fugenflanken