

## Empfehlungen KBOB / IPB für Bauherren und Planende

### Grossflächiger Einsatz

Wegen hohen Metall-Verlusten während der Nutzung wird der grossflächige Einsatz von Kupfer und Titanzink, insbesondere im Dachbereich, nicht empfohlen.

Die Metallabschwemmungen können zwar mit speziellen Filtersystemen weitestgehend zurückgehalten werden (siehe Beilage 3). Die Filtermaterialien müssen aber nach Erreichen der Adsorptionskapazität jeweils umweltgerecht entsorgt oder aufbereitet werden. Die gleiche Problematik besteht in grösserem Ausmass bei der Versickerung in Mulden und Sickerschächten. Aluminium und Chromnickelstahl sind bei unseren atmosphärischen Verhältnissen sehr korrosionsbeständig. Betrachtungen bezüglich grauer Energie sind wenig relevant.

### Kleinflächiger Einsatz

Für kleinflächige Anwendungen wie Dachrinnen und Ablaufrohre oder Einfassungen sind wenn möglich Werkstoffe mit einem besseren Abschwemmverhalten als dasjenige von Kupfer und Titanzink vorzuziehen (z.B. Chromnickelstahl, Werkstoff Nr. 1.4301 oder 1.4401). Es gibt aber technische und architektonische Gründe, wo auf Kupfer nicht verzichtet werden kann.

Auf den Einsatz von Blei soll verzichtet werden.

## Autoren\*/Informationen

- KBOB** <http://www.admin.ch/kbob>, Herausgeber Fachgruppe Nachhaltiges Bauen reinhard.friedli@bbl.admin.ch \*, Leiter alain.cuche@astra.admin.ch, Stellvertreter christoph.rentsch@buwal.admin.ch \* daniel.wachter@are.admin.ch ernst.ursenbacher@bbl.admin.ch fredri.fv.voegeli@sbb.ch jean-pierre.rosat@bbl.admin.ch \* markus.jaun@gr.admin.ch martin.stettler@bfe.admin.ch quetting@ethrat.ch urs.bueschlen@gst.admin.ch
- BUWAL** Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Sektion umweltgefährdende Stoffe urs.vonarx@buwal.admin.ch \*
- EAWAG** Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz Dübendorf markus.boller@eawag.ch \* michele.steiner@eawag.ch \*
- EMPA** Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Abteilung Korrosion/Oberflächenschutz, Dübendorf markus.faller@empa.ch \*

### Referenzen

Diverse weitergehende Publikationen von BUWAL, EAWAG und EMPA sind vorhanden und können direkt bei diesen Stellen angefordert werden.

## Recommandations KBOB / IPB aux maîtres de l'ouvrage et concepteurs

### Utilisation des métaux sur de grandes surfaces

*Vu leurs pertes élevées en particules métalliques pendant l'utilisation, il n'est pas recommandé d'utiliser du cuivre et du zinc titane sur des surfaces importantes, notamment pour les toitures.*

*Les particules délavées peuvent certes être retenues en grande partie par filtration (annexe 3), mais les filtres doivent, une fois leur saturation atteinte, être éliminés sans effets négatifs pour l'environnement. Une problématique similaire, mais plus étendue, se pose lors de l'écoulement des eaux dans des cuvettes ou des installations d'infiltration.*

*Sous notre climat, l'aluminium et l'acier au chrome sont très résistants à la corrosion. Quant à l'énergie grise, son rôle est marginal dans la comparaison.*

### Utilisation des métaux sur de petites surfaces

*Sur des surfaces restreintes, comme gouttières et tuyaux ou garnitures, on utilisera de préférence des matériaux ayant un taux de perte moins élevé que le cuivre et le zinc titane (par ex. acier au chrome, matériau n° 1.4301 ou 1.4401). Mais il y a des raisons techniques et architecturales qui font que l'on ne peut pas toujours renoncer au cuivre.*

*L'utilisation de plomb doit être supprimée complètement.*

## Auteurs\*/Informations

- KBOB** <http://www.admin.ch/kbob>, éditeur Groupe Construction durable reinhard.friedli@bbl.admin.ch \*, président alain.cuche@astra.admin.ch, suppléant christoph.rentsch@buwal.admin.ch \* daniel.wachter@are.admin.ch ernst.ursenbacher@bbl.admin.ch fredri.fv.voegeli@sbb.ch jean-pierre.rosat@bbl.admin.ch \* markus.jaun@gr.admin.ch martin.stettler@bfe.admin.ch quetting@ethrat.ch urs.bueschlen@gst.admin.ch
- OFEFP** Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, section produits dangereux pour l'environnement urs.vonarx@buwal.admin.ch \*
- EAWAG** Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux, Dübendorf markus.boller@eawag.ch \* michele.steiner@eawag.ch \*
- EMPA** Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche, section Corrosion, protection des surfaces, Dübendorf markus.faller@empa.ch \*

### Bibliographie

*Différentes publications de OFEFP, EAWAG et EMPA sont disponibles (en allemand) et peuvent être commandées directement auprès de ces offices.*

Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes  
Coordination des services fédéraux de la construction et de l'immobilier  
Coordinamento degli organi della costruzione e degli immobili della Confederazione  
Coordination of the Federal Construction and Properties Services

Interessengemeinschaft privater professioneller Bauherren  
Communauté d'intérêts des maîtres d'ouvrage professionnels privés  
Consorzio dei committenti privati professionali  
Association of professional Corporate Building Owners

EMPFEHLUNG RECOMMANDATION EMPFEHLUNG RECOMMANDATION EMPFEHLUNG  
Nachhaltiges Bauen Construction durable Nachhaltiges Bauen Construction durable Nachhaltiges Bauen Construction durable Nachhaltiges

## Metalle für Dächer und Fassaden Métaux pour toitures et façades

2001/1

### Wussten Sie schon...

...dass übermässige Metallgehalte in der Umwelt eine schädigende Wirkung haben können?

### Metalle in der Umwelt

Jahrzehnte intensiver Wirtschaftsentwicklung hinterlassen Metallgehalte in Böden, Gewässern und Sedimenten. Die lange Lebensdauer von Metallen hat zur Folge, dass die Emissionen über Jahre andauern. Auch an den Gebäudehüllen erfolgt durch atmosphärische Schadstoffe und Witterungseinflüsse ein langsamer Oberflächenabtrag der Metallbleche, obwohl die Reduktion der Luftschadstoffgehalte in den letzten Jahren zu einer Verminderung der Abtragsrate geführt hat.

Zur Erhaltung einer möglichst intakten Umwelt – als zentrales Anliegen einer nachhaltigen Entwicklung – muss der Eintrag von gewissen Metallen in die Umwelt verringert werden, d.h. bei der Wahl der Metalle sind auch die Auswirkungen auf die Umwelt zu berücksichtigen.

Um genauere Angaben zu den Verlusten und zum Verbleib der von Gebäuden diffus in die Umwelt eingetragenen Metalle zu erhalten, sind von der EMPA und EAWAG umfangreiche Untersuchungen eingeleitet worden. Ab 1997 hat ein Autorenteam die Ergebnisse analysiert und daraus Empfehlungen abgeleitet (letzte Seite).

In dieser Empfehlung sind relevante Daten und das Belastungspotential der gebräuchlichsten Metalle gegenübergestellt, als Basis für Entscheide zu Gunsten einer nachhaltigen Entwicklung – auch wenn das Wissen zur Zeit noch lückenhaft ist.

Beilagen mit Detailinformationen zu: 1 TECHNIK, 2 UMWELT, 3 PRAXIS.

### Saviez-vous que...

...en concentration excessive, les métaux peuvent avoir des effets nocifs pour l'environnement?

### Métaux et environnement

*Durant plusieurs décennies, le développement économique intense a entraîné une augmentation des teneurs en métaux dans le sol, les cours d'eau et les sédiments. Comme les métaux ont une longue durée de vie, leurs émissions s'étendent sur des années. Les enveloppes métalliques des immeubles également sont soumises à une lente érosion due aux intempéries et à la pollution atmosphérique, même si cette dernière a diminué ces dernières années.*

*Pour préserver un milieu autant que possible intact – objectif primordial du développement durable – il importe de diminuer l'accumulation de certains métaux dans l'environnement. Ainsi, lors du choix d'un métal, il faut également tenir compte de sa charge polluante.*

*Afin d'obtenir des données plus précises sur les pertes et la durée des particules métalliques diffusées dans l'environnement, l'EMPA et l'EAWAG ont procédé à des recherches étendues. A partir de 1997, un groupe en a analysé les résultats et en a tiré des recommandations (dernière page).*

*La présente recommandation compare les principales caractéristiques et le potentiel de pollution des métaux les plus usités, ce qui permet de prendre des décisions qui tiennent compte du développement durable – même si les connaissances dans ce domaine présentent encore des lacunes.*

Annexe avec détails sur: 1 TECHNIQUE, 2 ENVIRONNEMENT, 3 PRATIQUE.



Fassadenverkleidung in Titanzink am Jüdischen Museum Berlin, 1998, Architekt Daniel Libeskind Architectural Studio, Berlin. Revêtement en zinc titane des façades du musée juif de Berlin, 1998, architecte Daniel Libeskind Architectural Studio, Berlin.

### Weltvorrat

Die Angaben sind berechnet aus den genau erkundeten und zur Zeit ökonomisch gewinnbaren Vorräten in Relation zur jährlichen Erzfördermenge. Quelle: World resources 1996–97; a report by the World Resources Institute www.wri.org.

### Erzmenge pro Tonne Metall

Um 1 t Kupfer zu erhalten, müssen insgesamt rund 145 t Erze gefördert werden (\*Zahlen nicht verfügbar). Je höher die Fördermenge, desto höher die Abfallmengen aus den Folgeprozessen, die umweltverträglich entsorgt werden müssen.

Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Geologisches Jahrbuch, Reihe H, Heft SH 10, 1999 www.bgr.de.

### Lebensdauer / Nutzungszeit

Die Lebensdauer ist abhängig vom Korrosionsverhalten und von der Verarbeitung (Beilage 1).

Metalle zählen zu den langlebigen Materialien und sind in der Regel zu 100 % rezyklierbar.

– Technische Lebensdauer:

Erfahrungswerte nach EMPA/SSIV (Schweizerischer Spenglermeister- und Installateur-Verband) – Nutzungszeit nach AFB (neu BBL): durchschnittliche Lebensdauer von Bauteilen (Dächer), in der die Metalle erfahrungsgemäss im Einsatz sind.

### Graue Energie

Energie welche notwendig ist, um ein Metallblech herzustellen (die Datenlage ist schlecht, \*Zahlen nicht verfügbar).

Quelle: BUWAL SRU Nr. 307. Ökologische Bewertung mit Hilfe der grauen Energie, 1999.

### Abtragsrate (Definition vgl. DIN 50905)

Die durchschnittlich pro Jahr in Korrosionsprodukte umgewandelte Metallmenge. Ein Teil davon wird abgeschwemmt, der andere Teil stellt die Schutzschicht (Patina) dar, Einheit g/(m<sup>2</sup> a).

### Abschwemmrate (nicht genormt)

Derjenige Anteil der Abtragsrate, der den effektiv mit dem Meteorwasser in Form fester und gelöster Stoffe abgeschwemmten Korrosionsprodukten entspricht, Einheit g/(m<sup>2</sup> a).

Daten Kupferfassade siehe Beilage 3.

### Belastungspotential (Modellrechnung)

Von Metalloberflächen freigesetzte Metalle werden mit dem abfliessenden Regenwasser wegtransportiert. Das Belastungspotential ist ein Mass für die zu erwartende Metallbelastung von Böden und Gewässern durch Metallbleche im Zeitraum ihrer Lebensdauer. Es berücksichtigt einerseits das Korrosionsverhalten der Bleche und andererseits das Transport- und Anreicherungsverhalten der emittierten Metalle in der Umwelt sowie ihre ökologische Wirkung. Durch den Vergleich berechenbarer Anreicherungs- werte mit Beurteilungswerten kann das Belastungspotential abgeschätzt werden.

Je nach Art der Regenwasserableitung wird die Umwelt unterschiedlich mit Metallen belastet.

Bleche in:	Kupfer <sup>1)</sup> a) blank b) vorpatin. <b>Cuivre <sup>1)</sup></b> a) brut b) prépatiné	Aluminium legiert <b>Aluminium allié</b>	Titanzink a) blank b) vorpatin. <b>Zinc titane</b> a) brut b) prépatiné	Chrom- nickelstahl 18/8 <b>Acier au chrome nickel 18/8</b>	Chrom- stahl verzinkt <b>Acier au chrome étamé</b>	Blei <b>Plomb</b>	<b>Matériaux:</b>	
Kriterien:	Einheit						Unité	
<b>Weltvorrat</b>	a	Cu 33	Al 222	Ti 42 Zn 20	Cr 312 Ni 51	Cr 312 Sn 45	Pb 18	<b>Réserves mondiales</b> a
<b>Erzmenge</b>	t/t Metall	145,4	4,5	*	Cr 5,2 Ni 72	Cr 5,2 Fe 2,6	*	<b>Quantité de minéral</b> t/t métal
<b>CH-Verbrauch</b> Quelle: SSIV								<b>Consommation CH</b> ASMFA
Dach/Fassade	t/a	a) 12000 b) 75	7000	4500	1500	1100	500	<b>Toiture/façade</b> t/a
<b>Materialkennwerte</b>								<b>Caractéristiques</b>
Dichte	t/m <sup>3</sup>	8.93	2.7	7.2	7.7	7.7	11.4	<b>Densité</b> t/m <sup>3</sup>
Ausdehnungskoeff.	mm/m <sup>°K</sup>	0.017	0.024	0.021	0.018	0.011	0.029	<b>Coeff. de dilatation</b> mm/m <sup>°K</sup>
Wärmeleitfähigkeit λ	W/mK	330	180	109	12-13	26	30	<b>Coefficient** λ</b> W/mK
<b>Lebensdauer</b>	a							<b>Durée de vie</b> a
Techn. Lebensdauer	SSIV	150	150	100	200	100	300	<b>Durée technique</b> ASMFA
Nutzungszeit	AFB/BBL	50	40	50	50	50	40	<b>Utilisation</b> OCF
<b>Graue Energie</b>	GJ/t							<b>Energie grise</b> GJ/t
Ohne Recyclinganteil		105	203	89	97	*	34	<b>sans recyclage</b>
Mit Recyclinganteil	%	55%: 43	100%: 18	*	*	*	50%: 18	<b>avec un taux de recyclage de</b>
<b>Abtragsrate <sup>2)</sup> Dächer</b>	g/(m <sup>2</sup> a)	8.0	0.3	5.0	< 0.1	Sn 0.07	11.3	<b>Taux de perte par corrosion <sup>2)</sup></b> g/(m <sup>2</sup> a)
<b>Abschwemmrate <sup>3)</sup> Dächer</b>	g/(m <sup>2</sup> a)	1.8	0.03	3.6	< 0.1	< 0.1	6.8	<b>Taux de perte par érosion <sup>3)</sup></b> g/(m <sup>2</sup> a)
<b>Belastungspotential (Dächer, ohne Filtermassnahmen)</b>								<b>Potentiel de pollution (Toits, sans mesures de filtration)</b>
Landwirtschaftliche Böden durch Klärschlamm-Austrag	<b>stark fort</b>	gering <i>faible</i>	mittel <i>moyenne</i>	gering <i>faible</i>	gering <i>faible</i>	<b>stark fort</b>	Terrains agricoles épandage des boues d'épuration	
Fliessgewässer	<b>stark fort</b>	gering <i>faible</i>	mittel-stark <i>moyenne-forte</i>	gering <i>faible</i>	gering <i>faible</i>	<b>stark fort</b>	Cours d'eau	
Boden von Muldenanlage bei mässiger Metallbelegung	<b>stark fort</b>	gering <i>faible</i>	<b>stark fort</b>	gering <i>faible</i>	gering <i>faible</i>	<b>stark fort</b>	Sols des cuvettes, dans le cas d'un taux de pollution faible	

<sup>1)</sup> Auch mit Zinnüberzug erhältlich: dieses zeigt eine geringe Zinn-Abschwemmrate, während der Nutzungsdauer nimmt die anfänglich geringe Kupferabschwemmrate kontinuierlich zu.

<sup>2)</sup> Abtragsgeschwindigkeiten M. Faller und P. Richner: Oberflächen-Polysurface 39 (1998) No 3, S. 7-11 (Gültigkeit Mittelland)

<sup>3)</sup> M. Faller, EMPA, Baumetall 4/2001, Seite 52

<sup>1)</sup> Egalement disponible avec surface étamée: cet étamage présente un faible taux d'érosion, le taux d'érosion du cuivre, initialement faible, augmente continuellement au cours de la durée d'utilisation

<sup>2)</sup> Vitesses de corrosion M. Faller et P. Richner: Polysurface 39 (1998) No 3, P. 7-11 (valables pour le Plateau suisse)

<sup>3)</sup> M. Faller, LFEM, Baumetall 4/2001, page 52

### Potentiel de pollution (calcul modèle)

Les métaux libérés de la surface du métal sont transportés par l'eau pluviale. Le potentiel de pollution donne la dimension de la charge de métal prévisible dans les sols et les eaux pendant la durée de vie du métal. Elle tient compte d'une part de la réaction des matériaux à la corrosion et, d'autre part, du comportement au cours du transport et de l'accumulation des métaux émis dans l'environnement ainsi que de leur effet écologique. En comparant différentes valeurs d'accumulation calculables avec les valeurs d'appréciation, on peut estimer le potentiel de pollution. L'environnement est pollué de façon différente par les métaux, en fonction du genre de l'évacuation de l'eau de pluie.

### Réserves mondiales

Chiffres calculés à partir des réserves explorées et qui en ce moment sont économiquement exploitables par rapport à l'extraction annuelle. Référence: World resources 1996-97; a report by the World Resources Institute www.wri.org.

### Quantité de minéral par tonne de métal

Pour obtenir 1 t de cuivre il faut extraire 145 t de minéral (\*chiffres non disponibles).

Source: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Geologisches Jahrbuch, Reihe H, Heft SH 10, 1999 www.bgr.de.

### Durée de vie / durée d'utilisation

La durée de vie dépend de la corrosion et du façonnage qui diffèrent d'un métal à l'autre (voir annexe 1). Les métaux ont une longue durée de vie et ils sont en général recyclables à 100 %.

– Durée de vie technique: valeurs empiriques selon LFEM / ASMFA (Association suisse des maîtres ferblantiers et appareilleurs)

– Durée d'exploitation d'après OCF (maintenant OFCL): durée d'utilisation moyenne des éléments de construction (toitures) dans les bâtiments.

### Energie grise

La quantité d'énergie nécessaire à la production des tôles en métal (\*chiffres non disponibles).

Source: OFEFP Cahier de l'environnement n° 307. Appréciation écologique à l'aide de l'énergie grise, 1999.

**Taux de perte par corrosion (Définition selon DIN 50905)**

Quantité annuelle moyenne de métal transformée en produits de corrosion. Une partie est délavée, l'autre partie forme la couche de protection (patine), unité g/(m<sup>2</sup>/a).

**Taux de perte par érosion (sans norme)**

Partie du taux de perte par corrosion délavée par les eaux pluviales sous forme de produits de corrosion solides ou en solution, unité g/(m<sup>2</sup> a).

\*\* coefficient de conductibilité thermique

Les voies de transport suivantes sont possibles:

### Évacuation par le système unitaire:

accumulation dans les boues d'épuration, c'est-à-dire dans la couche supérieure des terrains agricoles. En 1998, 40% des boues d'épuration ont servis d'engrais. Ce mode d'évacuation devrait disparaître ces prochaines années.

### Évacuation par le système séparatif:

pointes de concentration dans les eaux, accumulation dans les sédiments.

### Évacuation par infiltration:

– dans les cuvettes: accumulation en surface  
– dans les installations: accumulation en profondeur.  
Des remarques sur la charge polluante des tôles métalliques se trouvent dans l'annexe 2 (résumé).

**TECHNIK Die folgenden Angaben gelten für die Schweiz.  
Voraussetzung: Fachgerechte Planung, Konstruktion und Verarbeitung.**

	Kupfer	Aluminium	Titanzink	Chromnickelstahl Chromstahl	Blei
<b>Eigenschaften</b>	<p>beständiges Material, weich, aber zäh</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• auch mit Zinnüberzug erhältlich</li> <li>• vorgewitterte Bleche haben nur ästhetische Wirkung</li> </ul>	<p>blank, weich</p> <p>Qualitäten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reinalu</li> <li>• Alu-Mangan</li> <li>• Alu-Magnesium</li> </ul> <p>blank und eloxiert erhältlich</p>	<p>legiertes Zink mit 0,2 – 1 % Cu und 0,1 – 0,2 %Ti weist stark verbesserte mechanische Eigenschaften gegenüber Feinzink auf</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vorgewitterte Bleche haben nur eine ästhetische Wirkung</li> </ul>	<p>hohe Festigkeit</p> <p><b>Cr-Ni-Stahl:</b> hochlegiert, sogenannte nichtrostend (z.B. Werkstoff Nr. 1.4301)</p> <p><b>Cr-Stahl verzinkt:</b> (früher verbleit) Zinnüberzug erzeugt matte Oberfläche</p>	<p>mechanische Kennwerte ungünstig, wird seit Jahrhunderten mit Erfolg im Bau eingesetzt (z.B. Rom: Pantheon, Petersdom, Venedig: Markusdom)</p>
<b>Verarbeitung</b>	einfach, sehr gut verformbar	sehr gut verformbar	infolge Kaltsprüdigkeit bei Temperaturen unter 10° C sind entsprechende Massnahmen nötig	Beim Verarbeiten, (z.B. Kaltumformen) sind spezielle Werkzeuge einzusetzen.	infolge hoher Toxizität sind Vorsichtsmassnahmen nötig (SUVA-Publikation, Januar 1995)
<b>Korrosionsverhalten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bildet Schutzschicht aus Cu-Oxiden (Patina)</li> <li>• an der Luft praktisch unbegrenzt haltbar</li> </ul> <p><b>Kupfer verzinkt:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zinnüberzug: wird mit der Zeit abgetragen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• guter Schutz durch Ausbildung passivierender Deckschichten</li> <li>• Kontakt mit edleren Metallen v.a. Cu schädlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• guter Schutz durch fest haftende Deckschicht aus basischem Zinkcarbonat, Verletzungen selbst heilend</li> <li>• Kontakt mit edleren Metallen schädlich</li> </ul>	<p>beide Qualitäten: bei spezifischen Medien, z.B. Streusalz, empfindlich für lokale Korrosion</p> <p><b>Cr-Stahl verzinkt:</b> Zinnüberzug wird mit der Zeit abgetragen</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe Korrosionsbeständigkeit durch dichte, fest haftende und schwer lösliche Deckschicht</li> </ul>
<b>+ Stärken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe Fehlertoleranz</li> <li>• unempfindlich auf Kondenswasserbildung und gegen alkalisch reagierende Stoffe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr beständige Passivschicht</li> <li>• gezielte Farbgebung durch Anodisieren möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• reflexionsarme Oberfläche (geringer Blendeffekt)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr beständige Passivschicht</li> <li>• unempfindlich auf Kondenswasser, Säuren und Basen</li> </ul>	
<b>- Schwächen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• empfindlich auf starke Säuren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lochkorrosion: Kalk, Zement, Beton wirken zerstörend v.a. in der Erhärtungsphase</li> <li>• regelmässige Reinigung sinnvoll (Fassade)</li> <li>• wird von alkalisch reagierenden Stoffen angegriffen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stauende Nässe hinter dem Blech kann zu raschem Materialverlust führen</li> <li>• empfindlich auf starke Basen und Säuren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• je nach Pflege, Atmosphäre und Oberflächengüte ist eine Beeinträchtigung des Aussehens möglich</li> <li>• regelmässige Reinigung sinnvoll (Fassade)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• muss gegen alkalische Baustoffe (z.B. nicht erhärtetem Zement) geschützt werden</li> <li>• wird rasch aufgelöst von eingedrungener und eingeschlossener Feuchtigkeit</li> </ul>

**TECHNIQUE** Les données suivantes sont valables pour la Suisse.  
**Conditions: études, montage et façonnage dans les règles de l'art.**

	<b>Cuivre</b>	<b>Aluminium</b>	<b>Zinc-titane</b>	<b>Acier au chrome</b>	<b>Plomb</b>
<b>Caractéristiques</b>	<p>matériau résistant, ductile mais tenace</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• aussi disponible avec revêtement d'étain</li> <li>• les tôles prépatinées n'ont qu'un effet esthétique</li> </ul>	<p>brillant, ductile,</p> <p>qualités:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• alu pur</li> <li>• alu-manganèse</li> <li>• alu-magnésium brillant ou anodisé</li> </ul>	<p>le zinc allié avec 0,2 – 1 % Cu et 0,1 – 0,2 %Ti présente des caractéristiques mécaniques nettement améliorées par rapport au zinc affiné</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• les tôles prépatinées n'ont qu'un effet esthétique</li> </ul>	<p>résistance élevée</p> <p><b>acier Cr-Ni:</b> fortement allié, "acier inox" (par ex. no 1.4301)</p> <p><b>acier Cr étamé:</b> (autrefois plombé) couche d'étain donnant une surface mate</p>	<p>caractéristiques mécaniques défavorables, utilisé avec succès dans la construction depuis des siècles (p. ex. Panthéon et Dôme St-Pierre à Rome, Dôme St-Marc à Venise)</p>
<b>Façonnage</b>	<p>simple, formage très aisé</p>	<p>formage très aisé</p>	<p>du fait de sa fragilité à froid aux températures inférieures à 10°C, mesures adéquates nécessaires</p>	<p>exige un outillage spécial pour le façonnage (par ex. formage à froid)</p>	<p>toxicité élevée, mesures de précaution nécessaires (publication de la CNA jan.95)</p>
<b>Comportement à la corrosion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• formation d'une couche protectrice d'oxydes de Cu (patine)</li> <li>• durabilité pratiquement illimitée à l'air libre</li> </ul> <p><b>Cuivre étamé:</b> l'étamage s'érode avec le temps</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bonne protection par formation d'une couche passive</li> <li>• contact avec métaux plus nobles nuisible, surtout Cu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• couche fortement adhérente de carbonate de zinc basique, autoréparation en cas de blessure</li> <li>• contact avec métaux plus nobles nuisible</li> </ul>	<p>les deux types: dans certains milieux spécifiques, par ex. chlorure, sensible à la corrosion locale</p> <p><b>Acier Cr étamé:</b> étamage s'érode avec le temps</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• résistance élevée à la corrosion par couche protectrice compacte, fortement adhérente et très peu soluble</li> </ul>
<b>+ Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tolérance élevée aux erreurs</li> <li>• insensible à l'eau de condensation et aux matières à réaction alcaline</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• couche passive très résistante</li> <li>• choix de couleur par anodisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• surface peu réfléchissante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• couche passive très résistante</li> <li>• insensible à la condensation, acides et bases</li> </ul>	
<b>- Faiblesses</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sensible aux acides forts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• corrosion perforante: action destructive de la chaux, du ciment et du béton, surtout durant la phase de durcissement</li> <li>• nettoyage régulier conseillé (façade)</li> <li>• est attaqué par les matières à réaction alcaline</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• l'humidité stagnante derrière le revêtement peut conduire à une perte rapides de matériau</li> <li>• sensible au bases et acides forts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• suivant l'entretien, l'atmosphère et l'état de la surface, dégradation de l'aspect possible</li> <li>• nettoyage régulier conseillé (façade)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• doit être protégé des éléments alcalins (par ex. ciment frais)</li> <li>• est vite dissous par l'humidité enfermée</li> </ul>

### UMWELT: Erläuterungen zur Umweltbelastung von Metallblechen

Erhebungen im Tösstal haben ergeben, dass auf Dächern ca. 2.3 m<sup>2</sup> Kupferblech pro Person verlegt sind. Beim Misch- sowie Trennsystem wurde für Vergleichszwecke angenommen, dass jeweils 3 m<sup>2</sup> entsprechendes Blech pro Person verbaut sind. Ausgehend von den Abschwemmraten der einzelnen Bleche werden die durch die Metallverluste entstehenden Umweltbelastungen berechnet. In der Praxis wird heute das Dachwasser über verschiedene Wege entsorgt. Aufgrund neuer Gewässerschutzvorschriften wird in Zukunft der Anteil der Dachwasserversickerung zunehmen.

Berechenbare Werte	Einheit	Kupfer blank/vorpatin.	Aluminium legiert	Titanzink blank/vorpatin.	Chromnickelstahl	Chromstahl verzinkt	Blei
<b>Mittlere Gehalte im Dachwasser</b>		µg/l					
- mit 5 % Flächenanteil Metall am Dach (Rinnen und Rohre)		90	1.5	180	Cr: 3.5 Ni: 4.5	Cr: 3.5 Sn: 3.5	340
- mit 100 % Metall am Dach		1800	30	3600	Cr: 70 Ni: 90	Cr: 70 Sn: 70	6800
<b>Dachwasserbedingte Klärschlamm-Gehalte</b>	<b>mg/kg</b>	175	1	315	Cr: 7 Ni: 6	Cr: 7 Sn: 5	695
Mittlere Klärschlammgehalte 1999 in der Schweiz zum Vergleich		341	13'600	930	Cr: 74 Ni: 32	Cr: 74 Sn: 20	95
<b>Jährliche Gehaltszunahme</b>	<b>mg/kg</b>						
- im Untergrund bei der Schachtversickerung (5% Metall am Dach)		1.8	0.03	3.6	Cr: 0.07 Ni: 0.09	Cr: 0.07 Sn: 0.07	6.8
- im Oberboden bei der Muldenversickerung (5 % Metall am Dach)		3.2	0.05	6.4	Cr: 0.13 Ni: 0.16	Cr: 0.13 Sn: 0.13	12.1

#### Ableitung über die Mischkanalisation

Der Weg des Dachabflusses über die Mischkanalisation ist heute noch der am meisten verbreitete. Ein grosser Teil der abgetragenen Schwermetalle gelangt somit in die Kläranlagen, wo er der chemischen Eigenschaften der Metalle wegen grösstenteils mit dem Klärschlamm aus dem Abwasser abgetrennt wird. Die Tabellenwerte "dachwasserbedingte Klärschlammgehalte" zeigen, in welchem Masse Bleche im Aussenbereich von Bauten zur Abwasserbelastung beitragen. Die Werte basieren auf den Annahmen, dass alles Dachwasser in ARAs gelangt und in der Abwasserreinigung 27 kg Klärschlamm-Trockensubstanz pro Person und Jahr anfallen. Der Vergleich mit Klärschlamm-Gehalten zeigt, dass Bleibleche bereits in geringen Mengen sofort zur wichtigsten Quelle von Blei im Abwasser würden. In Wirklichkeit wird aber wenig Blei verbaut. Beim Kupfer weisen realistische Blechflächenanteile den heute erheblichen Beitrag kupferhaltiger Oberflächen an die Cu-Belastung des kommunalen Abwassers nach. Die Verwertung des Klärschlammes als Dünger wird voraussichtlich in den nächsten Jahren wegfallen. Bis dahin gilt die Einschätzung des Belastungspotentials für landwirtschaftliche Böden in der Tabelle auf der Mittelseite. Cu- und Zn-Gehalte im Abwasser bei Regenwetter sind gegenüber Trockenwetter erhöht. Mischwasserüberläufe bei Regen tragen bedeutend zur diffusen Cu- und Zn-Belastung von Gewässern bei.

#### Ableitung über Trennsystem (Regenwasserkanal)

Durch die Einleitung von Dachabwässern via Trennsystem tragen die von Metalloberflächen freigesetzten Metalle direkt zur Belastung von Fliessgewässern bei. Die Belastung kann aufgrund der regional grossen Unterschiede der Verdünnungsverhältnisse und der enormen Dynamik der Regenabflüsse stark variieren. Metalle in Dachabflüssen weisen in der Regel zu Beginn des Regens gegenüber dem Mittelwert eine bis zu 100-fach höhere Konzentration auf. In Fliessgewässern liegen sie mehr oder weniger an Schwebstoffe gebunden vor, die bei abnehmender Wassergeschwindigkeit sedimentieren. Beim nächsten Regenereignis werden dann die Sedimente aufgewirbelt und weiterverfrachtet. Der an einer Messstelle gemessene Metall-Gehalt zeigt also aktuelle wie zurückliegende Belastungen. Die Klassierung der Bleche in der Tabelle auf der Mittelseite basiert auf dem Vergleich des gerechneten frachtgemittelten dachwasserbedingten Gehalts in kleinen und mittelgrossen Fliessgewässern mit den "Anforderungen an Fliessgewässer" gemäss Gewässerschutzverordnung. Berücksichtigt wurde, dass in der Praxis nur rund 1/4 des Dachwassers direkt in Gewässer gelangt. Der grösste Teil der heutigen Schwermetall-Einträge in Gewässer stammt aus diffusen Quellen wie Dach- und Strassenabwasser. Die Bedeutung der Schwermetall-Belastung in schweizerischen Fliessgewässern zeigt folgende Reihenfolge: Kupfer > Zink > Nickel, Blei, Chrom.

### Ableitung in Versickerungsanlagen

Die Gewässerschutzgesetzgebung verlangt, Dachwasser wenn möglich versickern zu lassen. Die von Metallflächen freigesetzten Schwermetalle gelangen je nach Art der Versickerung und Beschaffenheit der Sickermedien in den Boden, in den nicht wassergesättigten oder sogar in den wassergesättigten Untergrund. Die Schwermetalle im Sickerwasser werden bei fachgerechter Konstruktion der Anlagen in den Sickermedien grösstenteils zurückgehalten. Im Grundwasser können sie deshalb nur in geringen Konzentrationen nachgewiesen werden. Es kommt jedoch zu einer Schwermetallanreicherung in den Versickerungshorizonten, die sich i.d.R. nur langsam in die Tiefe verlagert. Dachwasser kann man grundsätzlich über den Boden von Muldenanlagen oder über den nicht wassergesättigten Untergrund von Versickerungsanlagen versickern lassen. Bei der Beurteilung der Schwermetallanreicherung ist zu berücksichtigen, dass die von den entwässerten Flächen abgeschwemmten Stoffe im Durchschnitt auf einer bei Mulden- 10-fach und bei Sickeranlagen 20-fach kleineren Fläche aufkonzentriert werden. Die Tabellenwerte "Jährliche Gehaltszunahme" zeigen die zu erwartende Zunahme der Metallkonzentrationen im Boden und Untergrund in mg Metall pro kg Material. Der Berechnung wurde ein Blechanteil von 5% der Dachfläche zugrundegelegt. Zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Beschaffenheit wurde bei Mulden ein Anreicherungshorizont von 0.2 m und bei Sickeranlagen ein solcher von 0.5 m angenommen. Boden in Muldenanlagen gilt nicht als Boden nach der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo, 1998) und die Richtwerte zur Bodenfruchtbarkeit sind nicht anwendbar. Solche Böden müssen nach Ablauf der Betriebsdauer gemäss Vorgaben der Technischen Verordnung über Abfälle (TVA) entsorgt werden. Sie dürfen nicht mehr als Boden verwertet werden. Auch Untergrund von Versickerungsanlagen ist in kurzer Zeit derart kontaminiert, dass er nach TVA als verschmutzter Aushub gilt und entsprechend behandelt werden muss.

### ENVIRONNEMENT:

#### **Remarques sur les charges polluantes des tôles métalliques (résumé)**

*Des sondages dans la région du Tösstal, ont relevé que la surface des toits correspond à environ 2.3 m<sup>2</sup> de cuivre par personne. On a alors admis à titre comparatif que, tant pour le système unitaire que pour le système séparatif, 3 m<sup>2</sup> de tôle sont posés par personne. Les charges pour l'environnement ont été calculées à partir des taux de perte des différents métaux. Dans la pratique, l'eau des toits est évacuée par différentes voies. Dorénavant, en raison des nouvelles prescriptions, une plus grande partie de l'eau des toits sera évacuée par des installations d'infiltration.*

#### **Evacuation par le système unitaire**

*En période de pluie, l'eau contient plus de cuivre et de zinc qu'en période sèche. Les déversoirs d'orage en cas de pluie contribuent significativement à la diffusion du cuivre et du zinc dans les cours d'eau.*

#### **Evacuation par le système séparatif (canalisation d'eau pluviale)**

*Les charges actuelles de métaux lourds dans les eaux proviennent essentiellement d'origines dispersées tel que l'eau des toits et des routes. L'ordre d'importance de ces charges dans les cours d'eau de suisse est le suivant: cuivre > zinc > nickel, plomb, chrome.*

#### **Evacuation par infiltration**

*En principe, l'eau des toits peut être évacuée dans les couches supérieures du sol par cuvettes d'infiltration ou dans les couches inférieures du sol non saturé d'eau par des installations d'infiltration.*

*Toutefois, en peu de temps, les couches inférieures du sol des installations d'infiltration sont contaminées à tel point, que, selon l'OTD, elles constituent un matériau d'excavation pollué qui doit être traité selon les prescriptions.*

### PRAXIS: Ergebnis der Messungen an der Kupferfassade der METAS-Erweiterungsbauten in Bern-Wabern

Aufgrund einer Nutzwertanalyse (QFD) verschiedener Fassadenverkleidungen wurde für die Erweiterungsbauten des Bundesamtes für Metrologie und Akkreditierung (METAS) eine Verkleidung in vorbewittertem Kupfer gewählt. Im Bewusstsein der ökologischen Nachteile wurde eine effiziente Lösung gesucht, um das im abtropfenden Fassadenwasser enthaltene Kupfer wirksam zurückzuhalten. Zum Einsatz gelangt eine neuartige, das Gebäude umlaufende Filterschicht aus Eisenhydroxid und Kalksand.

Damit der Wirkungsgrad des Adsorbiermaterials beurteilt werden kann, sind Angaben zum abtropfenden Fassadenwasser und Ablaufdaten der Filterschicht notwendig. Diese Informationen wurden mit der installierten Messanlage zugänglich gemacht. Gemessen wurden Menge und Konzentration des Fassadenwassers vor und nach Durchlaufen der Filterschicht. Neben dem Wirkungsgrad lässt sich somit auch die Kupfer-Abschwemmrate der Fassade berechnen.



Die im Zeitraum von Dezember 1999 bis April 2001 durchgeführten Messungen ergaben folgende Werte: Die Kupferkonzentrationen im Fassadenwasser variieren je nach Regenereignis und erreichen Maximalwerte bis 100 mg/l. Eine Stabilisierung auf einem Niveau von 1 bis 2 mg pro Liter Fassadenwasser ist jedoch erkennbar. Die auf ein Jahr extrapolierten Abschwemmraten der West- und Südfassaden betragen 0.25 g/(m<sup>2</sup> a) bzw. 0.2 g/(m<sup>2</sup> a). Im Vergleich zu Dächern sind diese Abschwemmraten ca. achtmal kleiner. Die Filterschicht weist einen sehr hohen Wirkungsgrad von meist über 98 % auf.

Auf Grund der vorliegenden Daten kann einwandfrei festgestellt werden, dass sich der Einsatz der gewählten Filterschicht zum Kupferrückhalt bestens bewährt. Die EAWAG erwartet, dass die Kapazität des Filters in etwa mit der Nutzungsdauer der Fassade zusammenfällt.

Das Messprojekt ist eine Zusammenarbeit zwischen dem Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung (METAS), Bern-Wabern, der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), Dübendorf, und dem Bundesamt für Bauten und Logistik (BBL), Bern.

**Bezugsquelle** für den vollständigen Zwischenbericht Juni 2001:

EAWAG, Überlandstrasse 133, CH-8600 Dübendorf, [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)

**Adresse METAS:** Lindenweg 50, CH-3003 Bern-Wabern, [www.metas.ch](http://www.metas.ch)

## PRATIQUE: résultats des mesures effectuées sur façade de cuivre du nouveau bâtiment METAS à Berne-Wabern

Selon une analyse portant sur la valeur utile de différents types de façade, on a choisi, pour le bâtiment de l'Office fédéral de métrologie et d'accréditation (METAS), un revêtement en cuivre prépatiné. Vu les inconvénients de cette matière du point de vue de l'environnement, un moyen efficace pour la rétention du cuivre s'écoulant de la façade a été étudié. On a opté alors pour une couche d'absorption nouvelle, composée de granulés d'hydroxyde et de sable calcaire, mise en place le long de la façade.

Pour connaître le pouvoir d'absorption de ce matériau, un dispositif de mesure, fournissant les données nécessaires, d'une part sur l'eau qui s'écoule de la façade et d'autre part, sur l'eau sortant de la couche d'absorption, a été installé. On a mesuré alors la quantité et la concentration de l'eau provenant de la façade avant et après son passage à travers la couche de filtrage. On peut calculer ainsi, en plus de l'efficacité de cette couche, le taux d'érosion de la façade.



Les mesures effectuées entre décembre 1999 et avril 2001 ont les résultats suivants: les concentrations de cuivre par événement varient et atteignent des valeurs maximales de 100 mg/l. Une stabilisation à un niveau de 1-2 mg par litre d'eau de façade est cependant prévisible. Les valeurs d'érosion des façades ouest et sud, calculées pour une année, se montent à 0.25 et 0.20 g/(m<sup>2</sup> a) et sont environ huit fois inférieures à celles du toit. Quant à la couche de filtrage, elle présente une très bonne rétention, la plupart du temps supérieure à 98 %.

Ces données confirment d'ores et déjà que la mise en place d'une couche spéciale d'absorption pour la rétention du cuivre constitue un bon choix. EAWAG s'attend à ce que l'efficacité du filtre diminue à peu près en fonction de la durée d'utilisation de la façade.

Cette étude résulte de la collaboration entre l'Office fédéral de métrologie et d'accréditation (METAS), Berne-Wabern, l'Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (EAWAG), Dubendorf, et l'Office fédéral des constructions et de la logistique (OFCL), Berne.

Commande du rapport intermédiaire complet de juin 2001:

EAWAG, Überlandstrasse 133, CH-8600 Dubendorf, [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)

Adresse METAS: Lindenweg 50, CH-3003 Berne-Wabern, [www.metas.ch](http://www.metas.ch)