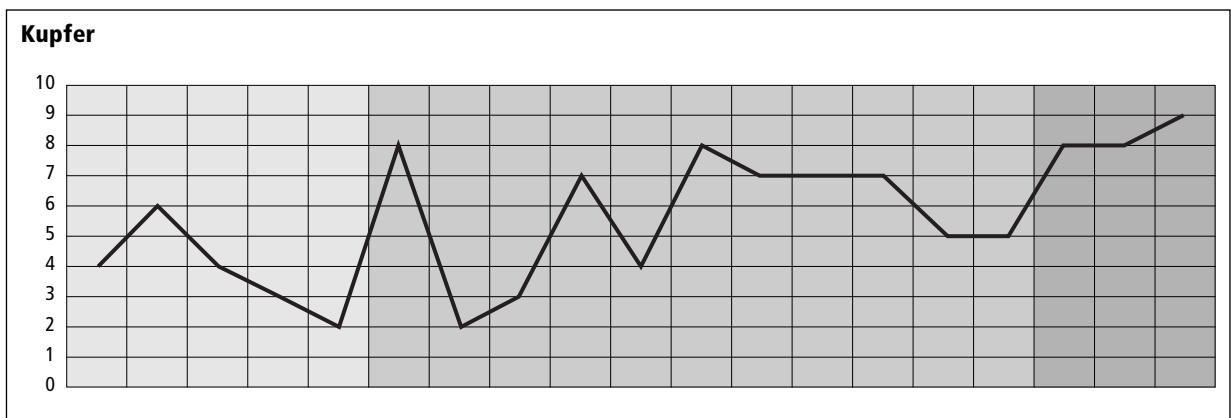


Produkt- und Ökoprofil von Metalldächern

Kurzfassung



Autoren:

Reto Coutalides (Projektleitung)

Katherin Fischer

Roland Ganz

Zürich, den 6. Juni 2000

Bau- und Umweltchemie

Reto Coutalides

Leutholdstrasse 12, CH-8037 Zürich

Telefon 01-440 72 11, Fax 01-440 72 13

www.wohngift.ch

Produkt- und Ökoprofil von Metaldächern

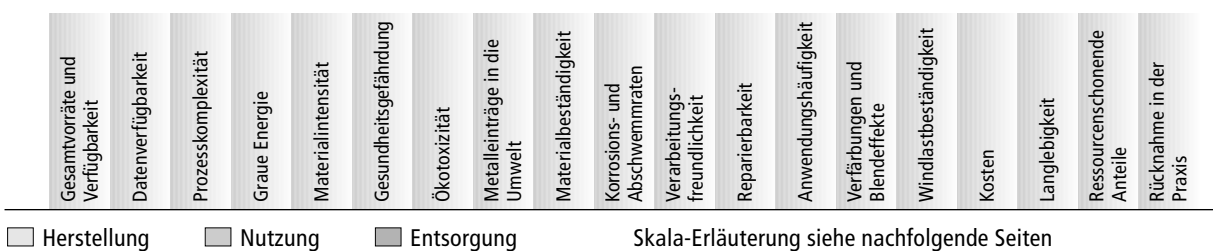
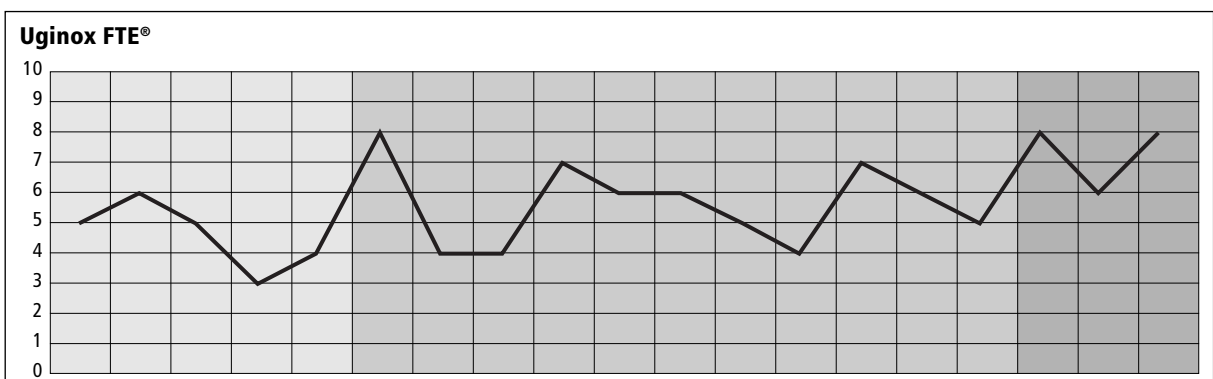
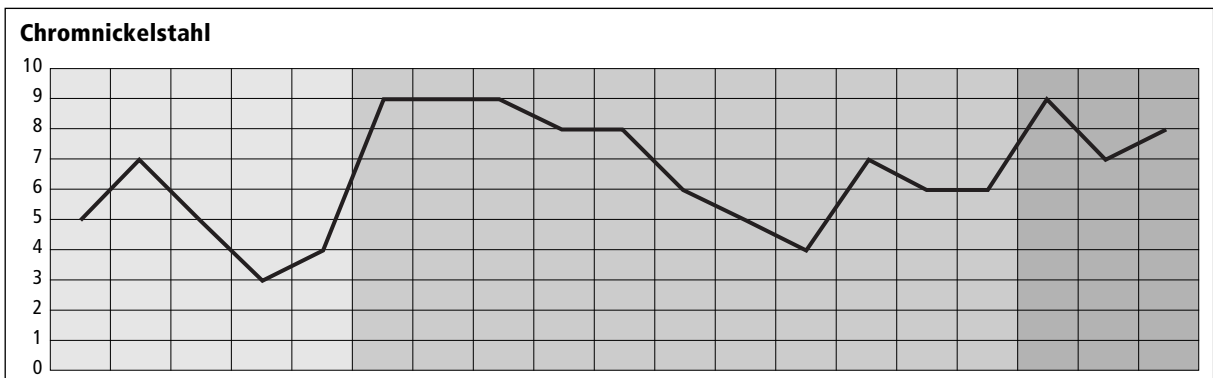
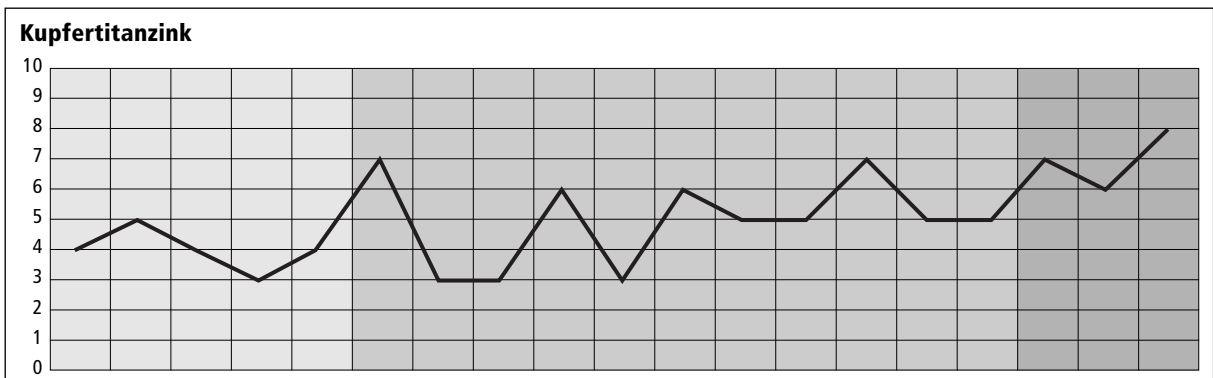
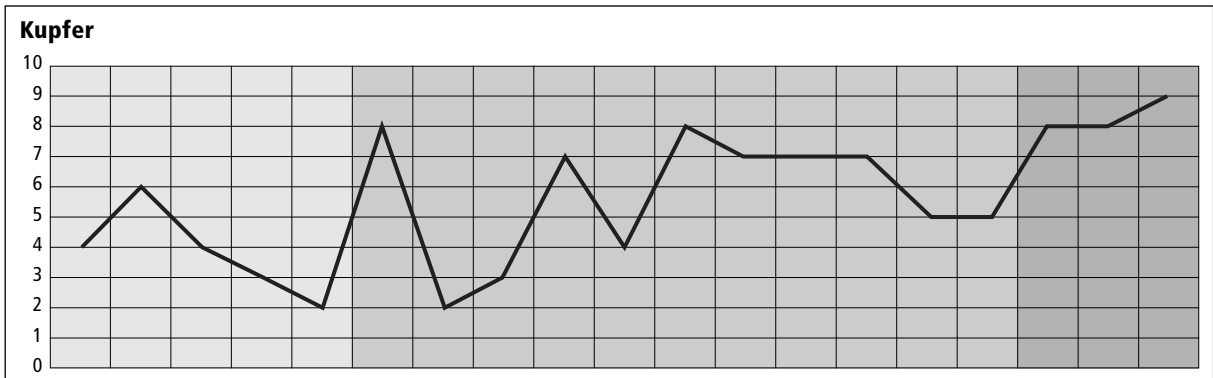
(Kupfer, Kupfertitanzink, Chromnickelstahl, Uginox FTE®)

Kupfer und Zink sind in der Verwendung als Metalle weit verbreitet. Speziell bei Spenglerarbeiten im Dachbereich werden sie oft eingesetzt. In den letzten Jahren gerieten diese Schwermetalle vermehrt ins Schussfeld der Kritik. Vor allem Kupfer wurde stark kritisiert.

Zu ökologischen Gesamtbeurteilungen von Produkten und Werkstoffen können unterschiedliche Wege beschritten werden. Klassische Ökobilanzen sind meist sehr aufwändig und wegen fehlender oder nicht aktualisierter Daten von Fall zu Fall mehr oder weniger aussagekräftig und nachvollziehbar.

Mit Hilfe des vorliegenden Ökoprofiles werden in Bezug auf Metaldächer möglichst viele verschiedene Kriterien erfasst. Jedes Kriterium wird mit quantitativen Aussagen beschrieben. Die Aussagen bezüglich der verschiedenen Metalle werden einander gegenübergestellt und argumentativ einer Bewertung unterzogen. Dies führt schlussendlich zum Ökoprofil, welches als «Fieberkurve» die Stärken und Schwächen der Werkstoffe respektive Produkte in den jeweiligen Bereichen aufzuzeigen versucht. Zur Verbesserung der Lesbarkeit wurde auf Literaturverweise und Quellenangaben in der Kurzfassung verzichtet. In der Langfassung sind diese detailliert aufgeführt. Die Beurteilung der einzelnen Kriterien ist nur mit Hilfe der Langfassung nachvollziehbar. Die Langfassung kann zum Selbstkostenpreis von Fr. 90.– bei Bau- und Umweltchemie, Zürich, Tel. 01-440 72 11, Fax 01-440 72 13 bestellt werden.

Resultate im Überblick



Kriterienliste

Gesamtvorräte und Verfügbarkeit

Sowohl die Gesamtvorräte wie auch die Verfügbarkeit der einzelnen Metalle und der Legierungsbestandteile wurden zusammen bewertet. Mit der Verfügbarkeit wird angegeben, wie lange bei gleich bleibendem Verbrauch die abbauwürdigen Vorräte reichen werden. Sie berücksichtigt die bekannte Jahresproduktion von Erz und die nach heutiger Sicht ökonomisch abbauwürdigen Vorräte. Hohe Verfügbarkeit und grosse Gesamtvorräte werden mit einer hohen Note bewertet und umgekehrt.

Datenverfügbarkeit

Die Datenverfügbarkeit bezieht sich auf die öffentlich zugänglichen Daten zu Themen, die die Prozesskomplexität des ausgewählten Metalls betreffen. Eine hohe Verfügbarkeit der Daten wird mit einer hohen Note bewertet und umgekehrt.

Prozesskomplexität

Unter die Prozesskomplexität fallen alle an der Herstellung des Metalls beteiligten Prozesse wie Primärproduktion, Sekundärproduktion und Wiederverwertung von Reststoffen. Zusätzlich werden die Emissionen abgeschätzt und mit einbezogen, jedoch wird keine Bilanzierung vorgenommen. Einfache Prozesse werden mit einer hohen Note bewertet und umgekehrt.

Graue Energie

Es wurde der Energieaufwand der Metalle vom Abbau über die Gewinnung und Verarbeitung bis zum Fabrikator mit Hilfe von Literaturdaten verglichen. Eine relativ hohe graue Energie wird mit einer tiefen Note bewertet und umgekehrt.

Materialintensität

Die Materialintensität der einzelnen Metalle wurde mit Hilfe von Literaturdaten verglichen. Mit Hilfe der Materialstärken, wie sie im Warmdachsystem eingesetzt werden, und der Lebensdauer wurde eine Materialintensität pro Service-Einheit (MIPS) berechnet. Eine relativ hohe MIPS wird mit einer tiefen Note bewertet und umgekehrt.

Gesundheitliche Aspekte

Hier wird die mögliche Wirkung der Metalle auf lebende Organismen während der Nutzung betrachtet. Eine hohe potentielle Aufnahme/Anreicherung im Organismus wird mit einer tiefen Note bewertet und umgekehrt.

Ökotoxizität

Die Ökotoxizität umfasst in dieser Arbeit toxikologische Auswirkungen der Metalle auf die Umweltkompartimente Wasser und Boden. Dabei werden die Einflüsse auf Pflanzen, aquatische und Bodenorganismen unter Berücksichtigung der Grenz- und Richtwerte respektive Qualitätsziele der Metalle in der Umwelt angeschaut. Eine hohe Ökotoxizität wird mit einer tiefen Note bewertet und umgekehrt.

Metalleinträge in die Umwelt

Bei diesen Kriterien wurden die Stoffmengen, die über Abwässer in Oberflächengewässer und Klärschlämme respektive über den Klärschlamm in die Böden gelangen, angeschaut. Zusätzlich untersuchte man die Anreicherung in Versickerungsböden. Dabei unterschied man nach Versickerungsart. Ein hoher Austrag in die Umwelt und eine rasche Anreicherung in den Versickerungsböden wird mit einer tiefen Note bewertet und umgekehrt.

Materialbeständigkeit

Bei der Materialbeständigkeit wird geschaut, wie lange ein Blechdach in der Praxis hält. Dazu werden neben den praxisnahen Erfahrungen auch die speziellen Probleme der einzelnen Metalle in Bezug auf Korrosion beurteilt. Ein korrosionsfestes Metaldach wird mit einer hohen Note bewertet und umgekehrt.

Korrosions- und Abschwemmraten

Es wurden die Korrosions- und Abschwemmraten der verschiedenen Metalle angeschaut. Eine relativ hohe Korrosions- und Abschwemmraten wurde mit einer tiefen Note bewertet und umgekehrt.

Verarbeitungsfreundlichkeit

Bei der Verarbeitungsfreundlichkeit werden die Metalle nach der praktischen Verwendbarkeit, nach möglichen konstruktiven Einschränkungen und auf die Verletzungsgefahr hin beurteilt. Weiche, gut formbare Metalle ohne Verarbeitungseinschränkungen und ohne erhöhte Verletzungsgefahren werden mit einer hohen Note bewertet und umgekehrt.

Reparierbarkeit

Jedes Metallblech wird auf die Reparierbarkeit hin untersucht. Einfaches Reparieren wird mit einer hohen Note bewertet und umgekehrt.

Anwendungshäufigkeit

Die Anwendungshäufigkeit wird aufgrund der Praxis, d. h. welches Metall von Spenglern wie häufig benutzt wird, und aufgrund von Verkaufszahlen ermittelt. Eine hohe Anwendungshäufigkeit wird mit einer hohen Note bewertet und umgekehrt.

Verfärbung, Blendeffekte

Grundlage für die Beurteilung sind die Eigenschaften der Metalle, die Verfärbungen und Blendeffekte bestimmen. Ein gegen Verfärbungen resistentes Metall ohne Blendeffekte wird mit einer hohen Note bewertet und umgekehrt.

Windlastbeständigkeit

Grundlage für die Beurteilung der Windlastbeständigkeit ist die Bestimmung der Versagensgrenze eines Kompaktdaches mit einer Stehfalzeindeckung und verschiedenen Metallabdeckungen. Eine hohe Windlastbeständigkeit wird mit einer hohen Note bewertet und umgekehrt.

Kosten

Sowohl die reinen Materialkosten wie auch die Kosten für ein fertiges Dach werden für die Beurteilung berücksichtigt. Tiefe Kosten werden mit einer hohen Note bewertet und umgekehrt.

Langlebigkeit

Die theoretische Lebensdauer und die Nutzungszeit, d. h. diejenige Zeit, in welcher das Dach benutzt wird, werden zusammen bewertet. Die Daten stützen sich zum Teil auf Erfahrungen und Schätzungen von Spenglern, zum Teil auch auf Literaturquellen. Eine hohe Langlebigkeit wird mit einer hohen Note bewertet und umgekehrt.

Ressourcenschonende Anteile

Die ressourcenschonenden Anteile umfassen in erster Linie den Anteil von Altschrott (keine Produktionsabfälle) im neuen Produkt oder Rohprodukt. Es wird davon ausgegangen, dass mit steigendem Recyclatanteil die Umweltbelastung sinkt. Ein relativ hoher Recyclatanteil im obigen Sinne wird mit einer hohen Note bewertet und umgekehrt.

Rücknahme in der Praxis

Die Rücknahme in der Praxis wird aufgrund von Erfahrungen von Spenglern und Alltmetallhändlern beurteilt. Eine gute Rücknahme in der Praxis wird mit einer hohen Note bewertet und umgekehrt.

Erläuterungen

Begrenzte Verfügbarkeit

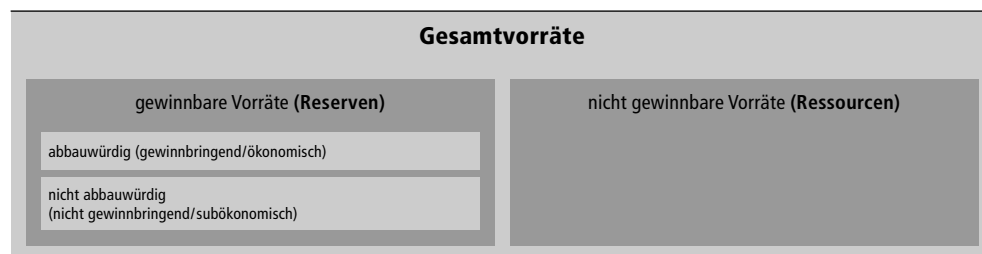


Abb. 1: Erklärung zum Begriff Vorrat.

Grundsätzlich wird mit der Rohstoffverfügbarkeit angegeben, wie lange bei gleich bleibendem Verbrauch die abbauwürdigen Vorräte reichen werden. Die unten dargestellte Verfügbarkeit berücksichtigt die bekannte jährliche Weltproduktion von Erz und die nach heutiger Sicht ökonomisch abbauwürdigen Vorräte. Ein Vergleich der verschiedenen Metalle zeigt, dass die Verfügbarkeit von Eisenerz mit 81 Jahren am höchsten ist. Die Verfügbarkeit von Zink (21 Jahre) ist im Vergleich mit derjenigen des Kupfers (35 Jahre) um 40% kleiner, im Vergleich mit Eisen um 75%.

Die Verfügbarkeit von Kupfer liegt bei 35 Jahren, wobei die Gesamtvorräte rund achtmal grösser sind als die abbauwürdigen Vorräte. Gut ein Viertel der Gesamtvorräte lagern in der Tiefsee. Der Abbau dieser Vorräte wird als problematisch betrachtet. Bei Zink liegt die Verfügbarkeit mit 21 Jahren tiefer als bei Kupfer. Auch die Gesamtvorräte sind kleiner, doch ist die Jahresproduktion von Erz ebenfalls kleiner. Zudem wird Zink nicht in Tiefseelagerstätten gefunden.

Bei der Bewertung von Chromnickelstahl müssen die Verfügbarkeit und die Gesamtvorräte an Eisen sowie von Chrom und Nickel in Betracht gezogen werden. Für Eisen liegt die Verfügbarkeit bei 81 Jahren, deutlich höher als bei Kupfer und Zink. Die Gesamtvorräte sind rund zehnmals grösser als die abbauwürdigen Vorräte. Bei Chrom sind die Gesamtvorräte mehr als doppelt so gross wie diejenigen an Kupfer.

	Gehalt in Erdkruste (%)	Stelle der häufigsten Elemente	Gesamt-vorräte (Mio. t)	Ressourcen ¹⁾ (Mio. t)	Reserven ²⁾ (Mio. t)	abbau-würdige Vorkommen ³⁾ (Mio. t)	Jahres-produktion ⁴⁾ (Mio. t)	Verfügar-keit ⁵⁾ (Jahre)
Kuper	0.006	25	2752	1500(700) ⁶⁾	552	330	9.3 (1992)	35
Zink	0.007	24	2330	2000	330	150	7.2 (1992)	21
Eisen	4.7	4	885 000	800 000	k. A.	85 000	1044 (1997)	81
Chrom	0.02	21	6200	4500	1700	k. A.	13.5 (1991)	–
Nickel	0.015	23	810	110(700) ⁶⁾	k. A.	k. A.	0.86 (1992)	–
Zinn	0.0035	49	37	27	10	k. A.	0.21 (1991)	–

Tab. 1: Vergleich Gehalt, Vorräte, Produktion und Verfügbarkeit.

- 1) geschätzte, noch nicht gewinnbare Lagerstätten
- 2) bezieht sich auf die gewinnbaren Vorräte
- 3) Vorkommen, die zu den heutigen Bedingungen technisch und ökonomisch gewinnbar sind
- 4) Jahresproduktion von Erz mit entsprechendem Referenzjahr
- 5) abbauwürdige Vorkommen mit Berücksichtigung der angegebenen Jahresweltproduktion
- 6) in Klammern die geschätzten maritimen Lagerstätten (Manganknollen)

Nickel lagert vor allem in der Tiefsee und nur ein Bruchteil kann auf herkömmliche Art an Land gewonnen werden. Zudem sind die Gesamtvorräte geringer als bei den oben erwähnten Metallen.

Uginox FTE® ist ein reiner Chromstahl mit einer Zinnbeschichtung. Diese ist allerdings sehr dünn und so fällt Zinn bei der Beurteilung der Gesamtvorräte und Verfügbarkeit von Uginox FTE® nicht ins Gewicht.



Abb. 2: Eisenerz.



Abb. 3: Stahlabstich.

Herstellung

Die weitaus grösste Zahl an Publikationen ist zu Eisen und Stahl öffentlich zugänglich. Vor allem die Problematik der Reststoffverwertung in der Stahl- sowie Edelstahlherstellung wird ausführlich diskutiert und verschiedene Lösungsvorschläge sowie bereits realisierte Lösungen sind beschrieben. Auch sind verschiedene Daten zu Emissionsfaktoren veröffentlicht.

Die Kupfer- und Zinkherstellung wird ebenfalls ausführlich beschrieben. Weniger klar wird die Reststoffverwertung ausgeleuchtet, insbesondere in der Zinkindustrie. Ebenfalls wenig Daten sind zu den Emissionsfaktoren der beiden Nichteisenmetallindustrien zu finden.

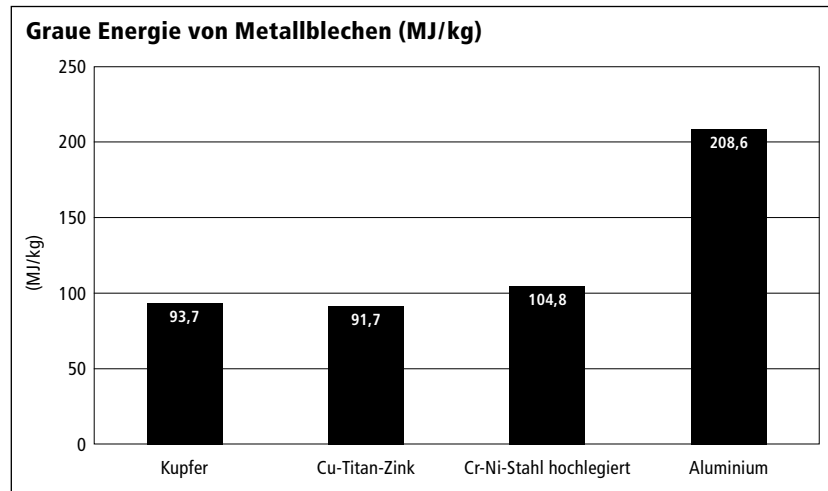
Im Vergleich zu Chromnickelstählen sind zu der speziellen Problematik von Uginox FTE® betreffend Recycling und Emissionen weniger Daten verfügbar.

Alle drei Produktionsverfahren sind gut etabliert und gleichen sich im allgemeinen Ablauf (Erzförderung – Erzaufbereitung – Verhüttung – Raffination – Herstellung von Halbprodukten). Die verschiedenen Metallherstellungen unterscheiden sich allerdings sehr in Bezug auf die Herstellungsverfahren. Diese sind zum Teil auch innerhalb desselben Metallindustriezweiges verschieden. Dadurch werden Vergleiche zwischen der Kupfer, Zink- und Stahlindustrie erschwert. Eines kann aber mit Sicherheit gesagt werden: Die Herstellung eines Metallbleches von der Erzförderung über die Energiebereitstellung bis hin zur Walztechnik ist ein arbeits- und energieintensiver sowie ein aufwändiger Prozess.

Graue Energie

Die graue Energie ist ein Vergleichskriterium für Materialien und Baustoffe. Es werden damit die Umweltbelastungen durch den Energie-Input und die damit verbundenen Emissionen bei der Herstellung des Baustoffes, vom Rohstoffabbau bis zum Fabrikator des letzten Verarbeitungsschrittes, bewertet. Die graue Energie ist somit eine Schlüsselgrösse innerhalb von Ökobilanzen. Die Daten zur grauen Energie sind unvollständig und je nach Quelle sehr verschieden.

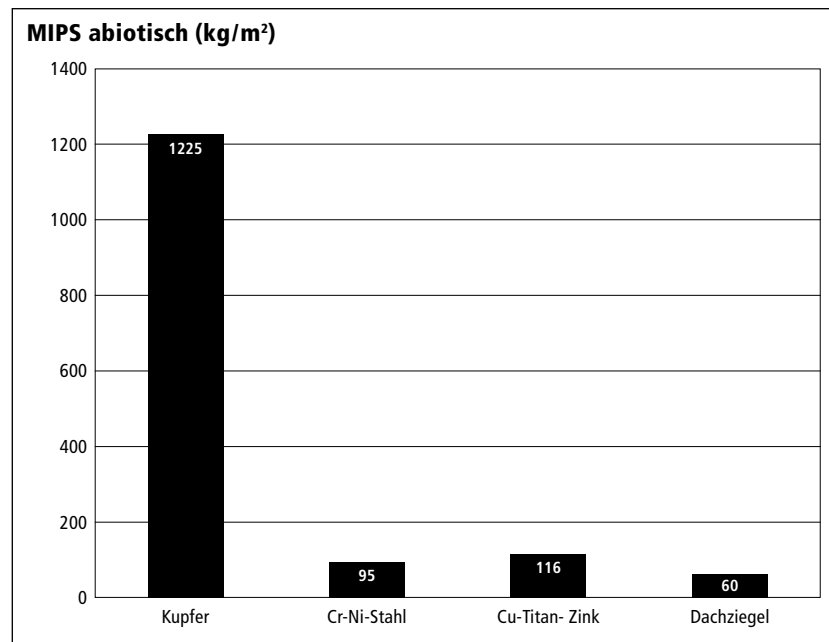
Die oben genannten Metallbleche sind als Dachbedeckung generell eine energieintensive Variante. Dachziegel aus Ton brauchen nur einen Bruchteil der Energie. Die graue Energie pro Quadratmeter Dachfläche für Metalle liegt gegenüber Dachziegeln um den Faktor 4 bis 5 höher.



Tab. 2: Vergleich der Grauenergiewerte verschiedener Metalle.

Materialintensität

Die Materialintensität bei der Gewinnung und Herstellung eines Materials kann über den Materialinput (MI) erfasst werden. Man geht davon aus, dass mit steigendem Materialinput für die Herstellung und Gewinnung eines Materials oder Produktes die Umweltbelastung entsprechend zunimmt.



Tab. 3: Vergleich der Materialintensitäten pro Service-Einheit (MIPS). Übliche Materialstärken berücksichtigt.

Kupfer weist mit Abstand die grösste Materialintensität auf, gefolgt von Zink und hochlegiertem Stahl. Dachziegel sind gegenüber hochlegiertem Stahl und Kupfer-Titan-Zink pro Quadratmeter deutlich weniger materialintensiv. Die Materialintensität von Zink ist gegenüber Dachziegeln etwa doppelt so hoch.



Abb. 4: Kupfermine.

Gesundheitliche Aspekte

Kupfer und Zink sind für Organismen lebenswichtige Elemente. Sie können aber weit über das physiologisch Notwendige hinaus in Organismen angereichert werden. Der Grad der Akkumulation wird entscheidend durch die biologische Verfügbarkeit der Elemente bestimmt. In Organismen akkumulierte Schwermetalle können toxische Wirkungen entfalten, indem sie z. B. das Enzymsystem deaktivieren oder die Funktion der biologischen Membran beeinträchtigen.

Vergleicht man die Zink- und Kupfermengen, die über das Trinkwasser aufgenommen werden können, so müsste ein Erwachsener zwischen 280 bis 350 Liter Wasser trinken, um die maximal tolerierbare tägliche Aufnahme zu erreichen. Die Unterschiede zwischen Kupfer und Zink fallen dabei nicht ins Gewicht. Von hochlegierten Chromnickelstählen ist keine Gesundheitsgefährdung zu erwarten.

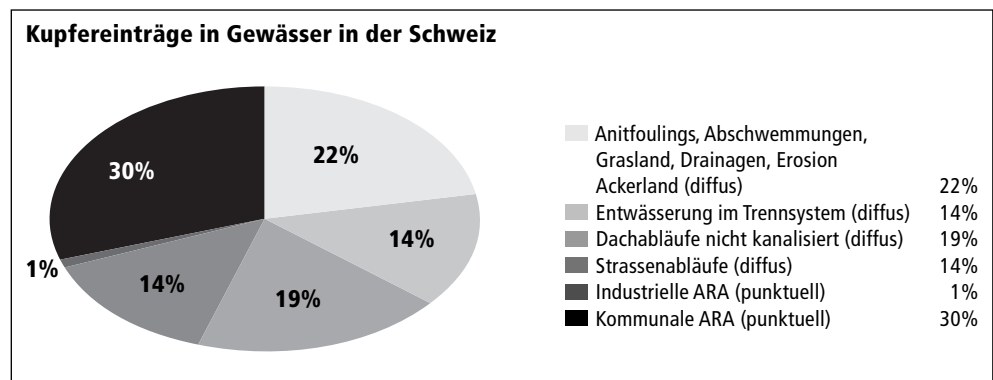
Ökotoxikologie

Sowohl Kupfer- wie auch Zinkdächer weisen aus ökotoxikologischer Sicht Nachteile auf. Die Metall-einträge in die Umwelt, ausgelöst durch Kupfer- und Zinkdächer, müssen als relevant angesehen werden. Insbesondere das relativ kurzfristige Erreichen der Richt- und Sanierungswerte der Böden bei Versickerungsanlagen ist zu bedenken.

Hochlegierte Chromnickelstahlbleche sind aufgrund ihrer Beständigkeit sowie der sehr tiefen Korrosions- und Abschwemmraten aus ökotoxikologischer Sicht zu empfehlen. Verzinnete Chromstahlbleche wie Uginox FTE® weisen mittlere Korrosions- und tiefe Abschwemmraten auf. Die tiefen Grenzwerte bezüglich der Einleitung von Zinn in Gewässer lassen sie jedoch kritisch bewerten.

Eintrag	Kupfer (t/a)	Anteil (%)	Kommentar
Punktquellen			
Einträge kommunale ARA	30	29%	Dachablaufwasser hat einen gewissen Anteil daran (Mischwasserentwässerung), Anteil Meteorwasser 25–35%, Anteil Dachabläufe 20–30%
Einträge industrielle ARA	>1		
Punktquellen total	31	30%	
Diffuse Quellen			
Strassenabläufe	15	14%	Dachabläufe Dächer, Höfe, Strassen
Dachabläufe nicht kanalisiert	20	19%	
Entwässerung im Trennsystem	15	14%	
Diffuse Quellen total	73	70%	
Gesamteinträge	104	100%	

Tab. 4: Grobabschätzungen zu Kupfereinträgen in Gewässer in der Schweiz.



Tab. 5: Kupfereinträge.

Bodenbelastung durch Versickerung

Momentan ist der Anteil der Entwässerung mit dezentralen Versickerungsanlagen noch verschwindend klein. Im Sinne einer nachhaltigen Wassernutzung sollen aber die Wasserkreisläufe möglichst klein gehalten und Meteorwasser nicht mehr in die öffentliche Kanalisation eingeleitet, sondern womöglich an Ort und Stelle des Anfalls versickert werden.

Beim Versickern von Dachwasser von Kupfer- und Zinkdächern werden die Richtwerte bezüglich Kupfer und Zink innert kürzester Zeit (< 6 Jahre) überschritten. Die Sanierungswerte werden je nach Versickerungsart und Abschwemmrage innerhalb von < 80 Jahren erreicht resp. überschritten, d. h. die Böden werden innerhalb dieser Zeit so stark mit Kupfer bzw. Zink kontaminiert, dass sie saniert werden müssen.

Legende	Cu-Dach	Zink-Dach
Zeit bis Sanierungswert erreicht bei Oberbodenversickerung	10 Jahre (6–13 J.)	11 Jahre (7–23 J.)
Zeit bis Richtwert erreicht bei Unterbodenversickerung	< 1–2 J.	< 2–6 J.
Zeit bis Sanierungswert erreicht bei Unterbodenversickerung	33 Jahre (22–45 J.)	39 Jahre (26–80 J.)

Tab. 6: Zeit bis zur Erreichung der VSBo-Richtwerte bzw. -Sanierungswerte bei Versickerung des Dachwassers.

VSBo-Sanierungswerte: Kupfer: 1000 mg/kg Boden;

Zink: 2000 mg/kg Boden

Annahmen: Versickerungsfläche = 6% der zu entwässernden Dachfläche, Akkumulationstiefe bei Unterbodenversickerung: 1m, Dichte Boden = 1.3 kg/dm³, Abschwemmrate für Cu 0.26 µm/a und Zn 0.56 µm/a



Abb. 5: Auswirkungen der Schwermetallgehalte im Boden (vor allem Zink) auf das Wachstum der Wintergerste.

Metalleinträge in die Umwelt

Zirka 30% der gesamten Kupfergesamtfrachten in den Kläranlagen stammen von Dächern. Der Anteil der Dächer am Eintrag der Zinkgesamtfrachten liegt unter dem von den Kupferdächern bei etwa 20%. Die Kupfermenge, die durch Klärschlamm auf die Felder gelangt, beträgt nur etwa 2% der Menge, die durch Mineral-, Hof- und Abfalldünger in der Landwirtschaft auf die Felder gelangt. Beim Zink sind es etwa 6.5%.

Drastischer sieht die Belastung der Ober- und Unterböden durch Dachabflusswasser von Metaldächern aus. Bei der Muldenversickerung sind die Sanierungswerte bei Kupfer- und Zinkdächern in 10 Jahren erreicht, bei Schacht- und Rigolenversickerung in 33 respektive 39 Jahren.

Die Metalleinträge in die Umwelt, ausgelöst durch Kupfer- und Zinkdächer, müssen als relevant angesehen werden.

Hochlegierte Chromnickelstahlbleche sind aufgrund ihrer Beständigkeit sowie der sehr tiefen Korrosions- und Abschwemmraten aus ökotoxikologischer Sicht zu empfehlen. Auch verzinnnte Chromstahlbleche haben einen Austrag, der bei Versickerungsanlagen (Muldenversickerung) relevant ist. Kritische Bodenkonzentrationen können schon nach wenigen Jahrzehnten erreicht sein.

Korrosion

Die Materialbeständigkeit hängt in erster Linie von der Verarbeitung ab. Fachmännisch ausgeführte Dachdeckungen aus Metall sind im Allgemeinen beständig. Dazu gehört allerdings auch die Kenntnis aller möglichen, mit dem Metall in Kontakt tretenden aggressiven Verbindungen.

Zink ist betreffend der Anfälligkeit auf Korrosion verglichen mit Kupfer und rostfreiem Stahl weniger beständig. Vor allem die Anfälligkeit gegenüber Weissrost und die Gefahr von Kontaktkorrosion wirken sich auf die Bewertung negativ aus. Zusätzlich ist in der Praxis vor allem in Bezug auf Zink von Bauschäden an Metalldeckungen die Rede. Kupfer ist ein relativ beständiges Metall, jedoch mit Einschränkungen bezüglich Ammoniak und Säuren. Rostfreier Stahl ist im Allgemeinen am beständigsten, auch gegen aggressivere Verbindungen. Einzig die chlorinduzierte Korrosion wird negativ beurteilt. Uginox FTE® wird in Bezug auf die reine Zinnbeständigkeit und das Verhalten bei Verletzung der Zinnschicht hin beurteilt.

Korrosion von Metaldächern

Aus ökotoxikologischer Sicht sind die wichtigsten Belastungspfade von Metaldächern bei der Gewinnung der betreffenden Metalle (Staubemissionen bei mechanischen Verfahren, Wasserbelastung bei Laugungsverfahren), der Verhüttung und Weiterverarbeitung (Rauch- und Staubemissionen und belastete Abwässer) sowie während der Nutzung (Korrosion) anzusiedeln. Bei der Entsorgung fallen die nicht recycelten Abfällen, die in Deponien gelagert werden (belastete Sickerwässer), ins Gewicht.

Aus den Tabellen ist ersichtlich, dass prozentual vom eigentlich korrodierten Material beim Zink etwa 60% auch wirklich abgeschwemmt wird. Beim Kupfer liegt die Zahl etwa bei 24% und bei Chromnickelstahl und verzinntem Chromstahl bei ca. 3–5%.

Der Korrosionsprodukteverlust von Zink gegenüber Kupfer ist innerhalb von vier Jahren rund 2.5-mal grösser. Die Abschwemmraten von Chromnickelstahl werden um den Faktor >100 tiefer eingeschätzt, als diejenigen von Zink und Kupfer. Etwas schwieriger ist die Korrosion von Chromstahl, im Speziellen von Uginox FTE®, zu beurteilen, da wir vom Hersteller keine Angaben bezüglich Korrosionsraten erhielten. Die Abschwemmraten für die verzinneten Chromstahlbleche wurden uns mit 0.01 µm/a vom Hersteller angegeben. Für die Beurteilung werden die Abschwemmraten herangezogen. Höchste mittlere Abschwemmraten haben Kupfertitanzinkbleche, gefolgt von Kupferblechen. Eine mittlere Stellung nehmen verzinnete Bleche wie Uginox FTE® ein. Für hochlegierte Chromnickelstähle liegen die Abschwemmraten deutlich unter 0.01 µm/a.

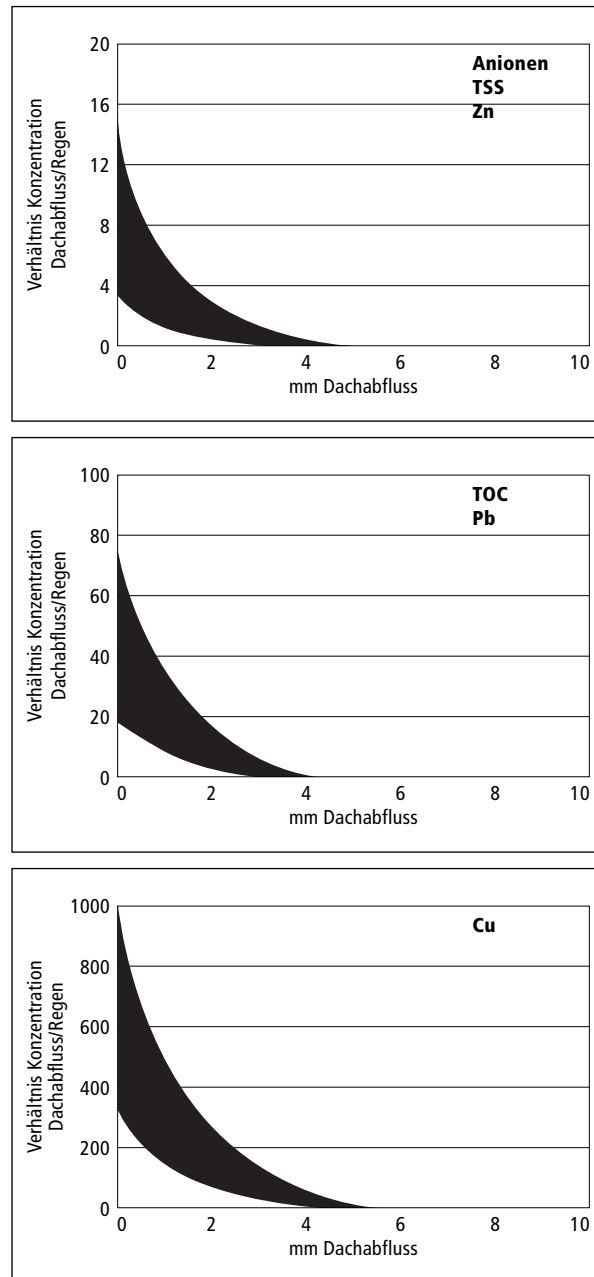


Abb. 6: Klassifizierung der First-flush-Effekte.

	$\mu\text{m/a}$		$\text{g/m}^2\text{a}$	
	Zink	Kupfer	Zink	Kupfer
Dübendorf	0.41	0.22	2.89	1.96
Härkingen	0.84	0.24	5.99	2.18
Cadenzao	0.74	0.39	5.24	3.52
Davos	0.27	0.19	1.93	1.73
Min./Max.	0.27–0.84	0.19–0.39	1.93–5.99	1.73–3.52
Durchschnitt	0.56	0.26	4.01	2.35

Tab. 7: Abschwemmraten pro Jahr ($\mu\text{m/a}$), ($\text{g/m}^2\text{a}$)

Annahmen: Nach 4 Jahren findet keine nennenswerte Verringerung der Korrosionsgeschwindigkeit mehr statt. Dichte Kupfer: 8.94 kg/dm^3 ; Dichte Zink: 7.13 kg/dm^3 . Korrosionsprodukteverlust Kupfer: 25%; Korrosionsprodukteverlust Zink: 60%.

	Korrosionsraten ($\mu\text{m/a}$)	Abschwemmraten ($\mu\text{m/a}$)
Kupfer	1.05	Cu: 0.26
Titanzink	0.94	Zn: 0.56
Chromnickelstahl Schätzung	< 0.01	Cr: < 0.01 Ni: < 0.01
Chromstahl verzinkt	Sn: 0.3	Cr: > 0.01 Sn: 0.01

Tab. 8: Korrosion und Abschwemmraten.

Verarbeitungsfreundlichkeit

Kupfer ist in der Verarbeitung ein unkompliziertes Metall. Es lässt sich gut formen, gut löten und für alle Konstruktionen einsetzen. Kupfertitanzink ist zwar weich, doch schlägt sich die Temperaturempfindlichkeit und Bildung von Ermüdungsrissen negativ auf die Benotung aus. Chromnickelstahl und Uginox FTE® sind wegen der Härte und der erhöhten Verletzungsgefahr etwas schwieriger zu verarbeiten.

Reparierbarkeit

Metallabdeckungen lassen sich reparieren. Im Fall von Kupfer sind dabei keine grösseren Probleme zu erwarten. Zink reisst gerne, falls dieselbe Stelle mehrmals gebogen wird. Chromnickelstahl ist hart und dementsprechend ist die Öffnung des Falzes schwieriger zu handhaben. Generell sollte die Ursache des Defektes abgeklärt werden. Sind generelle Mängel des Daches oder des Unterbaus (Dampfsperre) für den Defekt verantwortlich, reicht eine örtliche Reparatur nicht aus.

Anwendungshäufigkeit

	Tonnen / Jahr
Kupfer	12 000
Kupfertitanzink	4 500
Chromnickelstahl	1 500
Chromstahl verzinkt	1 100

Tab. 9: Geschätzter Verbrauch an Metall für Dächer und Fassaden.

Kupfer wurde und wird am häufigsten im Dach- und Fassadenbereich eingesetzt. Je nach Schätzung ist heute zwischen 3- und 7-mal mehr Kupfer im Baubereich eingesetzt als Zink. Heute wird noch rund zweieinhalbmal mehr Kupferblech für den Baubereich verkauft als Zink. Der Gesamtanteil von Metalldächern im Vergleich zu Ziegeleindeckungen macht jedoch nur einen kleinen Teil aus. Chromnickelstahl und Uginox FTE® werden mit je rund 10% des Kupferverbrauchs eher selten verbaut. Sie dürften aber nach Einschätzung von Spenglern in Zukunft mehr an Bedeutung gewinnen.

Langlebigkeit

Metalldächer sind im Allgemeinen langlebige Konstruktionen, immer vorausgesetzt, dass keine Baumängel in Konstruktion oder Verarbeitung vorliegen. Bekanntestes Beispiel der Langlebigkeit sind Kupferdächer alter Kirchtürme, die ohne Probleme 300 Jahre alt sein können. Die Lebensdauer der Metalldächer muss jedoch unter Berücksichtigung der heute verwendeten Materialstärken und der aggressiveren atmosphärischen Bedingungen bewertet werden.

Chromnickelstahl wird als das langlebigste Metall im Dachbereich angeschaut, gefolgt von Kupfer und Uginox FTE®. Kupfertitanzink wird von allen verglichenen Metallen als das am wenigsten langlebige Metall eingestuft.

Recycling

Metalle sind nicht unbeschränkt verfügbar. Zudem ist deren Herstellung mit grossem Energieaufwand verbunden. Dies sind zwei Gründe, warum die Wiederverwertung sowohl im Bereich des Altmetalls wie auch im Bereich der Reststoffe eine Rolle spielt.

Altmetalle wie Dachbleche werden je nach Reinheit direkt wieder eingeschmolzen. Im Fall von Kupfer werden sie vor allem in der Herstellung von Legierungen verwendet. Zinkbleche werden ebenfalls in Legierungen wieder verwertet, zusätzlich auch in der Verzinkerei. Rostfreie Stahlbleche, insbesondere Chromnickelstahlbleche, werden direkt eingeschmolzen und können wieder zu Dachblech verarbeitet werden.

Ein Vergleich der Schrottpreise zeigt, dass sich insbesondere das Sammeln von Kupfer für den Spengler auszahlt.

Rücknahme in der Praxis

Die Rücknahme alter Metallschrotte ist in der Schweiz gewährleistet. Vor allem bei Kupfer unterstützt der relativ hohe Schrottpreis, den die Spengler von den Altmetallhändlern erhalten, die Sammeldisziplin. Selbst bei normalem Stahlschrott, der dem Spengler nichts einbringt, kann von einer guten Sammeldisziplin ausgegangen werden. Die Entsorgungswege und die Logistik bei der Rückführung der Altmetalle sind transparent.



Abb. 7: Piscine Guyancourt.

	durchschnittlicher Schrottpreis für Spengler ¹⁾ (Fr. / kg)	durchschnittlicher Schrottpreis im Grosshandel ²⁾ (Fr. / kg)	Neupreis Bleche für Spengler ³⁾ (Fr. / kg)	LME-Preis ⁴⁾ (Fr. / kg)	Recyclingquote ⁵⁾
Kupfer	0.50 – 1.20	1.60 – 2.40	4.20	2.45	38 %
Zink	0 – 0.55	0.90	4.–	1.65	17 %
Stahl	0	0.06	keine Angaben	kein Handel	38 %
Chromnickelstahl	0 – 0.60	0.90	3.30	11.00 ⁷⁾	25 %
Uginox FTE ⁶⁾	0 – 0.60	0.06 – 0.90	5.60	kein Handel	keine Angaben

Tab. 10: Vergleich der Metallschrott- und Metallpreise sowie der Recyclingquoten.

- 1) durchschnittliche Preise für sauberen Altschrott, Daten beziehen sich auf die Monate September/Oktober 1999, abhängig von LME und Reinheit
- 2) Preise im Grosshandel, Daten beziehen sich auf die letzten Monate, abhängig von LME und Reinheit
- 3) ungefährender Handelspreis am 19.10.1999 für Bleche in Bedachungsqualität (bei Bezugsmenge von 1 t)
- 4) Preise für Cash-buyer an der London Metal Exchange vom 18.10.1999 (Cu: Kathoden, Drahtbarren; Zn: > 99.995%)
- 5) für dieses Projekt angenommene Recyclingquote
- 6) Uginox FTE[®] wird dem rostfreien Stahlschrott oder dem Eisenschrott (Stahl) beigegeben, dementsprechend unterschiedlicher Preis
- 7) Nickelpreis (bei Chromnickelstahl wird nur Nickel an der LME gehandelt)