

# Kupfer-Bindekapazität von Entwässerungssystemen von Kupferdächern

## Regenwasserkupferkonzentrationen eines Entwässerungssystems und eines Parkplatzes



Yolanda Hedberg, Pia Dromberg,  
Inger Odnevall Wallinder

*Der Lehrstuhl für Oberflächen- und Korrosionswissenschaft an der Königlich Technischen Hochschule (KTH) in Stockholm hat in den letzten 15 Jahren umfassende interdisziplinäre Feld- und Laborstudien bezüglich des Korrosions- und Abschwemmungsprozesses von Kupfer von Dächern und Fassadenmaterial durchgeführt. Es wurde gezeigt, dass verschiedene Materialoberflächen im Entwässerungssystem, des Bürgersteigs, der Kanalisation bzw. der Kontakt mit Erde oder Kalkstein bereits direkt am Gebäude als effektive Senken für das freigesetzte Kupfer dienen. Außerdem können diese Oberflächen die Bioverfügbarkeit des Kupfers drastisch reduzieren. Eine wirklichkeitsrelevantere und besser situationsangepasste rechtliche Regelung wäre deshalb von großem Nutzen.*

Metalle im Außeneinsatz oxidieren spontan in Kontakt mit Wasser und Luft. Unterschiedliche Luftverschmutzung führt dabei zu unterschiedlichen Korrosionsprodukten, was die Zusammensetzung, die Dicke, die Farbe und die Barriereigenschaften betrifft. Bei Kupfer als Dach- oder Fassadenmaterial bildet sich normalerweise eine schwarzbraune Patina mit dem Oxid  $\text{Cu}_2\text{O}$  als Haupt-

komponente. In der Gegenwart von  $\text{SO}_2$  als Luftverschmutzung oder Chloriden in marinen Gebieten ist dieses Oxid oft mit einer grünen Patina, aus verschiedenen Kupfersulfaten oder Kupferchloriden, bedeckt. Beide Arten fungieren als effektive Barriere und führen zu einer verringerten Korrosions- und Abschwemmungsrate, weshalb Kupferdächer von Bauten im 16. und 17. Jahrhundert immer noch in Takt sind.

Während atmosphärische Korrosionswissenschaft eine relativ lange Tradition hat, sind Studien über Abschwemmung von Metaldächern und -fassaden jünger. Am Lehrstuhl für Oberflächen- und Korrosionswissenschaft an der KTH in Stockholm forscht

man interdisziplinär seit 1995 an Kupferabschwemmungen und den zugrunde liegenden Mechanismen, der abgeschwemmten Menge, Veränderungen der Bioverfügbarkeit und der Verbreitung in die Umgebung. Es wurde deutlich, dass die Abschwemmungsraten deutlich niedriger sind als die Korrosionsraten, die oft als Grundlage für Abschätzungen von Dispositionen von Kupfer in die Umwelt herangezogen werden. Basierend auf realen Daten für die Kupferabschwemmung wurde ein Modell (BLM, biotic ligand model) entwickelt, das z. B. für Architekten und Juristen zur Bestimmung der totalen Kupferfreisetzung eines Bauwerks verwendet werden kann.

### Abschwemmung von Kupferdächern in Stockholm

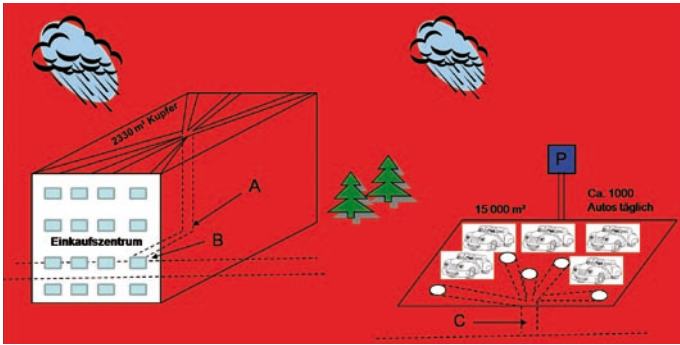
Seit mehr als zwölf Jahren werden am Lehrstuhl für Oberflächen- und Korrosionswissenschaft in Stockholm Daten über die Kupferabschwemmung von Modellkupferoberflächen gesammelt. In Stockholm wird bei ca. 500 mm Regen jährlich (Mittelwert) zwischen 1 und 1,3 g Kupfer per Jahr und  $\text{m}^2$  freigesetzt. Bei einer totalen Kupferdachfläche von ca. 623 000  $\text{m}^2$  in Stockholm entspricht das etwa einer jährlichen Freisetzung von 650 kg Kupfer. Die Freisetzung aus dem Verkehr mit 5700 kg und dem Wasserleitungssystem mit 4000 kg Kupfer sind dabei allerdings weitaus höher.

Um entscheidende Aussagen über die potenzielle wirkliche Gefahr von Kupferfreisetzung in die Umwelt und vor allem für sensible Organismen (Wasserorganismen) treffen zu können, muss allerdings die chemische Form des freigesetzten Kupfers in Betracht gezogen werden. Allgemein gilt, dass nur sogenannte labile Kupferionen, also freie Kupferionen ( $\text{Cu}^{2+}$ ) und schwach komplexierte Kupferionen, z. B.  $\text{Cu}(\text{OH})^+$ , potenziell schädlich sein können. Organisch stark gebundene Kupferionen sind dagegen nur wenig bioverfügbar. In verschiedenen Studien wurde gezeigt, dass

### Danksagung

Vielen Dank an den Umweltmilliardenfond der Stadt Stockholm, Stockholm Vatten VA AB, und das europäische Kupferinstitut (ECI) für die finanzielle Unterstützung.

**Autoren:** Dipl.-Ing. Yolanda Hedberg, Prof. Inger Odnevall Wallinder, Ph.D., Königlich Technische Hochschule (KTH), Lehrstuhl für Oberflächen- und Korrosionswissenschaft, Stockholm; Pia Dromberg, Stockholm Vatten VA AB, Stockholm



**Bild 1:** Probenentnahmestellen des Kupferdachs (A), internes Entwässerungssystem (B), anschließend 50 m Betonrohr, und des Parkplatzes (C)

Kupferionen sehr schnell und in unmittelbarer Nähe des Gebäudes zum Großteil mit organischen Spezies komplexieren und/oder am Beton oder Kalkstein anhaften und nicht weiter transportiert werden.

## Vergleich der Abschwemmungen von Dach und Parkplatz

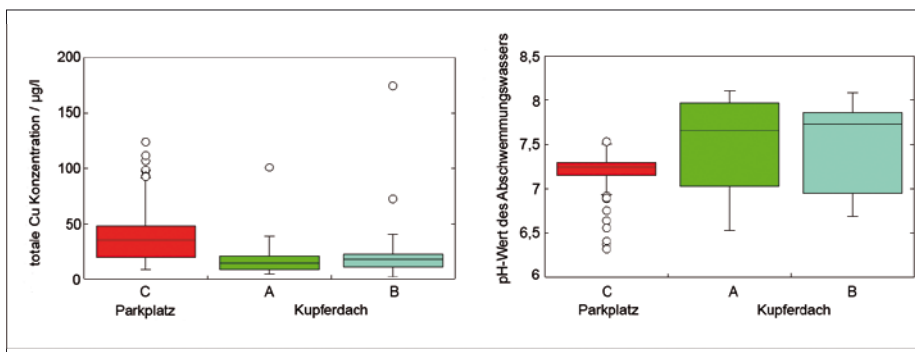
In einer neuen Studie in Stockholm wurden die Kupferkonzentrationen und die chemische Form des Kupfers in einem Entwässerungssystem eines Kupferdachs eines Einkaufszentrums (ca. 2330 m<sup>2</sup>) mit dem Regenabwasser eines Parkplatzes verglichen. Sowohl das Einkaufszentrum als auch der Parkplatz liegen ca. 8 km südlich von Stockholm. Regenwasserproben wurden am Ende des internen Entwässerungssystems des Einkaufszentrums (bestehend aus Gusseisen und Beton), Platz „A“, und kurz vor dem Münden in die allgemeine Kanalisation, Platz „B“, gesammelt. Zum Vergleich wurden Regenwasserproben von einem Parkplatz untersucht, Platz „C“ (Bild 1).

Die Kupferkonzentrationen im Abschwemmwasser des Kupferdachs an Platz A und weiteren 50 m Betonrohr (Platz B) lagen mit Mittelwerten von 15 und 18 µg/l Kupfer nahe beieinander (Bild 2). Dabei wurden jeweils die höchsten Kupferkonzentrationen am Anfang eines Niederschlags gemessen, danach sind die Kupferkonzentrationen stark abgefallen. Die Kup-

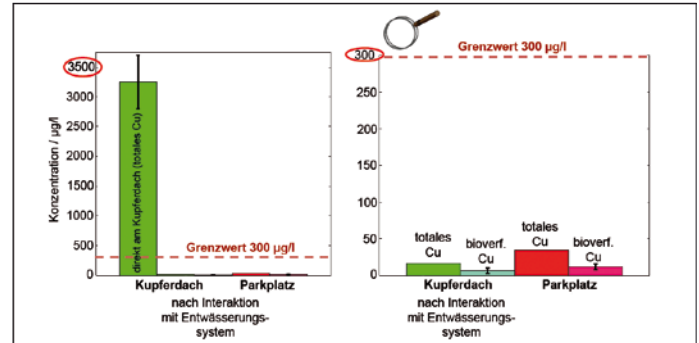
ferkonzentrationen hingen außerdem von der Länge der trockenen Zeit vor dem Niederschlag und der Regenintensität ab. Die gemessenen Kupferkonzentrationen an Platz A und B sind ungefähr 200-mal niedriger als direkt am Kupferdach zu erwarten wäre, wenn man jährliche Mittelwerte von Kupferabschwemmungen in Stockholm aus früheren Studien zugrunde legt und diese auf dieses Kupferdach überträgt (Bild 3).

Zum Vergleich wurde die Kupferkonzentration vom Regenwasser eines Parkplatzes gemessen. In diesem Abschwemmwasser war mehr Kupfer enthalten mit einem Mittelwert von 35 µg/l (Bild 2).

Wenn man das bioverfügbare Kupfer bestimmt, das im Gegensatz zur totalen Kupferkonzentration nur denjenigen Bruchteil des Kupfers beschreibt, der auch tatsächlich aufnehmbar und damit potenziell schädlich sein kann für z. B. Wasserorganismen, zeigt sich, dass nur ein Teil des gemessenen Kupfers bioverfügbar ist, sowohl für Abschwemmwasser vom Kupferdach als auch vom Parkplatz. Den bioverfügbaren Anteil des Kupfers kann man entweder durch das MinteqA2-Modell (Ligandenmodell in wässrigen Lösungen) bestimmen, oder man kann ihn mithilfe einer Polarographie direkt messen. Das letztere wurde für zwei Stichproben, eine Abschwemmprobe des Kupferdachs und eine des Parkplatzes, durchgeführt und zeigte, dass nur ein kleiner Teil des Kupfers bioverfügbar war. Dies stimmte mit den Ergebnissen des



**Bild 2:** Kupferkonzentrationen (links) und der pH-Wert (rechts) von Abschwemmungsproben des Parkplatzes (C), und des Kupferdaches (A und B); die farbigen Rechtecke zeigen den Mittelwert und 50 % der inneren Werte (vereinzelte außerhalb liegende Werte sind als Punkte dargestellt)



**Bild 3:** Vergleich von Kupferkonzentrationen (total und bioverfügbar) von Kupferabschwemmung direkt am Kupferdach (geschätzt aus früheren Studien), nach Interaktion im Entwässerungssystem (A und B) und von einem Parkplatz (C) (für ausgewählte Proben), und dem Grenzwert von 0,3 mg/l (Indirekteinleitungsverordnung)

MinteqA2-Modells für einige ausgewählte Proben überein. Der bioverfügbare Anteil war  $6,6 \pm 3,7 \mu\text{g/l}$  für Abschwemmproben des Kupferdachs und  $12 \pm 3,8 \mu\text{g/l}$  für Proben des Parkplatzes (Bild 3).

Bild 3 zeigt außerdem den Vergleich mit der typischen Abschwemmkonzentration direkt am Kupferdach und den in einigen Bundesländern geltenden Grenzwerten von 0,3 mg/l für Kupfer für die Einleitung von Abwasser in die öffentliche Kanalisation. Sowohl der Mittelwert der totalen Kupferkonzentration als auch der bioverfügbare Anteil liegen darunter. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass selbst ein 2330 m<sup>2</sup> großes Kupferdach noch in direkter Nähe des Gebäudes Abschwemmkonzentrationen unter den niedrigsten geltenden Grenzwerten haben kann. Als „Filter“ reicht das eigene Entwässerungssystem, in diesem Fall aus Gusseisen und Beton, vollkommen aus.

## Entwässerungssysteme als Senke für Kupferemissionen

Die Ergebnisse eines Vergleichs von Abschwemmwasser von einem 2330 m<sup>2</sup> großen Kupferdach nach Interaktion mit dem internen Entwässerungssystem und Abschwemmwasser eines Parkplatzes zeigen deutlich, dass das Entwässerungssystem (aus Gusseisen und Beton) als effektive Senke für Kupfer dient. Mehr Kupfer wurde vom Parkplatz abgeschwemmt als vom großen Kupferdach, mit Kupferkonzentrationen deutlich niedriger als die strengsten geltenden Grenzwerte in Deutschland vorgeben. Externe Filter sind deshalb nicht nötig. Für die Berechnung von abgeschwemmtem Kupfer sollte folglich die reale Situation, einschließlich der Bioverfügbarkeit des Kupfers, berücksichtigt werden.

### Langversion

Eine Langversion dieses Beitrages inklusive weiterführender Links und Literaturhinweisen finden Sie auf der wlb-Homepage [www.wasser-luft-und-boden.de](http://www.wasser-luft-und-boden.de) unter der Rubrik „Whitepaper“.