

# Kartierung von Toleranzgrenzwerten der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Materialien unter ARC/INFO

Frank Anshelm und Thomas Gauger

Am Institut für Navigation der Universität Stuttgart wird im Auftrag des Umweltbundesamtes das Forschungsvorhaben „Kartierung von Toleranzgrenzwerten der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Materialien in Deutschland“ bearbeitet. Ein Ziel des Projekts ist die Erstellung von Karten, die die Wirkung von Luftverunreinigungen auf Materialien in Deutschland in ihrer räumlich differenzierten Ausprägung darstellen. Bei der Erstellung der Karten, sowie bei der Durchführung der den Karten zugrunde liegenden Berechnungen spielt die Anwendung Geographischer Informationssysteme eine gewichtige Rolle.

## Rahmen und Inhalte des Forschungsvorhabens

Das Forschungsvorhaben „Kartierung von Toleranzgrenzwerten der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Materialien in Deutschland“ ist eingebunden in Forschungsaktivitäten des „International Co-operative Programme on Effects on Materials, including Historic and Cultural Monuments (ICP Materials)“. Im Rahmen dieses unter dem Dach der UN-ECE (Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen) koordinierten Programms werden wissenschaftliche Grundlagen der Schadstoff-Rezeptor-Wirkungsbeziehungen zwischen Klima- und Luftschadstoffparametern einerseits und der Korrosion, respektive Verwitterung von an Kunst- und Bauwerken verwendeten Materialien andererseits erarbeitet (Nagel und Gregor 1998). Die deutschen Aktivitäten auf dem Gebiet der Kartierung von Critical Loads & Levels werden vom Umweltbundesamt in Berlin zusammengeführt.

Die Kartierungsarbeiten orientieren sich an einem von der Sonderarbeitsgruppe „Kartierung“ erarbeiteten Methodenhandbuch (Umweltbundesamt 1996), in welchem die Leitlinien der Kartierung von Critical Levels & Loads verbindlich festgelegt sind. Anhand der darin entwickelten Vorgaben wurde das in Abbildung 1 dargestellte Verfahrensschema erarbeitet. Das Verfahrensschema beschreibt den Arbeitsablauf bis zum derzeitigen Stand der Bearbeitung des Forschungsvorhabens.

Grundlage der Kartierungsarbeiten sind die Ergebnisse eines achtjährigen Expositionsversuchs, bei dem an 39 Standorten in Europa und Nordamerika Proben verschiedener an Kunst- und Bauwerken verwendeter Materialien den an den jeweiligen Standorten herrschenden Klima- und Luftschadstoffbedingungen ausgesetzt wurden. Aus den Ergebnissen des Expositionsversuchs konnten **Dosis-Wirkungsfunktionen** abgeleitet werden, die die Zusammenhänge zwischen der Immission beziehungsweise Deposition von Luftschadstoffen, klimatischen Faktoren und den an den Materialien aufgetretenen Korrosionsschäden quantitativ beschreiben (UN ECE 1998). Darüber hinaus wurde aus den Ergebnissen des achtjährigen Expositionsversuchs auf die natürlichen **Hintergrundkorrosionsraten** der verschiedenen Materialien geschlossen. Die Hintergrundkorrosionsraten geben die Größenordnung der Korrosionsschäden wieder, die unter quasi natürlichen Bedingungen, das heißt unter Ausschluß anthropogener Einflüsse auftreten würden. Mit der Berücksichtigung der Hintergrundkorrosionsraten wird der Tatsache Rechnung getragen, daß Korrosionsschäden selbst in Reinluftgebieten auftreten, die Korrosion mithin auch ein natürlicher, in der korrosiven Wirkung der Atmosphäre begründeter Vorgang ist. Innerhalb des UN ECE ICP on Materials wurde beschlossen, das unterste 10. Perzentil aller im Zuge des Materialexpositionsprogramms beobachteten Korrosionsraten als Hintergrundkorrosionsrate ( $K_{10}$ ) festzulegen.

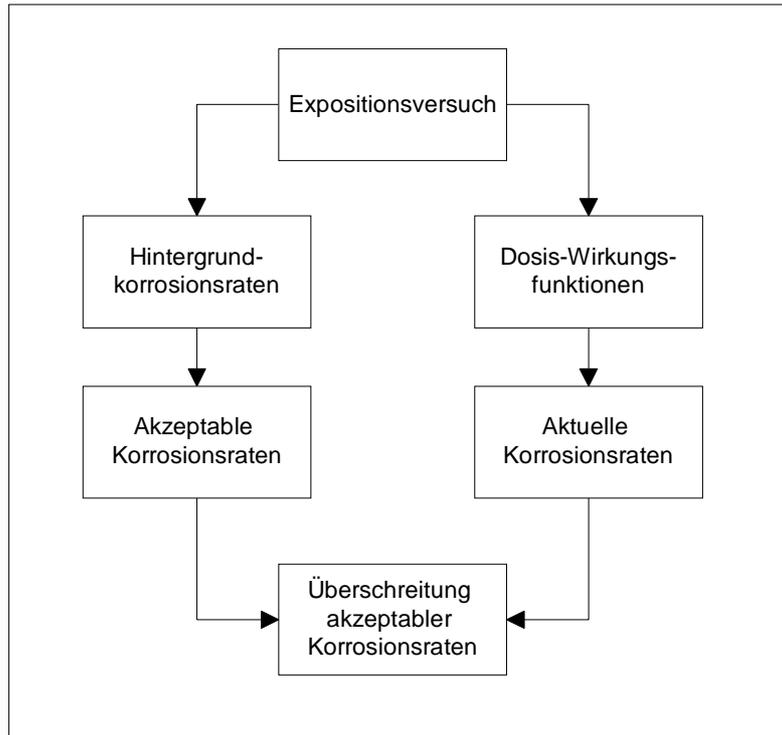


Abb. 1: Verfahrensablauf bis zum derzeitigen Stand der Bearbeitung des Forschungsvorhabens.

Durch Anwendung der Dosis-Wirkungsfunktionen können für die verschiedenen Materialien **aktuelle Korrosionsraten** ( $K_{act}$ ) berechnet werden. Sie kennzeichnen die an den jeweiligen Materialien unter aktuellen Klima- und Luftschadstoffbedingungen zu beobachtende Korrosion. Unter Einbeziehung der Hintergrundkorrosionsraten wurden für die verschiedenen Materialien **akzeptable Korrosionsraten** ( $K_{acc}$ ) ermittelt. Sie sind als Vielfache der Hintergrundkorrosionsraten ( $K_{10}$ ) definiert und lassen sich gemäß  $K_{acc} = K_{10} \cdot n$  berechnen. Der Gewichtungsfaktor „n“ soll gemäß Umweltbundesamt (1996) Werte zwischen 1,2 und 2 annehmen können. Akzeptable Korrosionsraten dienen der Kennzeichnung der Grenze zwischen der gerade noch akzeptablen und der nicht mehr zu tolerierenden Schädigung eines Materials durch Luftverunreinigungen. Die Lage der Akzeptanzgrenze wird in starkem Maße von den volkswirtschaftlichen Kosten bestimmt, die durch die Korrosionsschäden entstehen. Die Aufgabe einer ersten Abschätzung der durch Korrosionsvorgänge entstehenden **volkswirtschaftlichen Schäden** wurde als Unterauftrag an das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart vergeben.

Durch Vergleich der aktuellen Korrosionsraten mit den akzeptablen Korrosionsraten können innerhalb Deutschlands diejenigen Gebiete, in denen die akzeptablen Korrosionsraten überschritten werden von den Räumen unterschieden werden, in denen die aktuellen Korrosionsraten unter den akzeptablen Korrosionsraten liegen. Zukünftig sollen auf europäischer Ebene **Toleranzgrenzwerte für die Wirkung von Luftverunreinigungen auf Materialien** erarbeitet werden, das heißt es sollen Werte der Luftschadstoff-Immission, beziehungsweise – Deposition bestimmt werden, die nicht überschritten werden dürfen, da ansonsten Materialschäden und damit Kosten in einem nicht mehr zu tolerierenden Ausmaß entstehen würden. Die zu erarbeitenden Toleranzgrenzwerte sollen sich an dem in den achtziger Jahren im Rahmen der europäischen Luftreinhaltepolitik entwickelten **Critical Levels- und Loads-Konzept** rezeptororientierter ökologischer Belastungsgrenzen orientieren (siehe hierzu den

rezeptororientierter ökologischer Belastungsgrenzen orientieren (siehe hierzu den Beitrag "Gauger Th und Anshelm F: Kartierung kritischer Luftbelastungen unter ARC/INFO" in diesem Heft).

### Kartenbeispiele

Die Abbildungen 2 bis 4 zeigen einige der im Zuge des oben beschriebenen Projekts erstellten Karten. Sämtliche Berechnungen wurden mit **ARC/INFO 7.2.1 unter Digital Unix 4.0b** durchgeführt. Die Layouts der Karten wurden mit **ArcView 3.0a** erstellt.

In Abbildung 2 ist die SO<sub>2</sub>-Immission in Deutschland für die Jahre 1993, 1994 und 1995, sowie die Lage der SO<sub>2</sub>-Meßstationen, für die im jeweiligen Jahr Meßwerte zur Verfügung standen, dargestellt. Die Koordinaten der SO<sub>2</sub>-Meßstationen, sowie die an den Stationen gemessenen SO<sub>2</sub>-Immissionswerte wurden in ARC/INFO eingelesen, um daraus zunächst die in der unteren Kartenreihe dargestellten Point-Coverages zu generieren. Um ausgehend von den Punktdaten der Point-Coverages zu den in der oberen Reihe dargestellten Rasterkarten (Grids) der SO<sub>2</sub>-Immission zu gelangen, mußte für jeden Jahrgang eine räumliche Interpolation durchgeführt werden. Hierzu wurde unter ARC/INFO das Kriging-Verfahren angewendet. Die an den SO<sub>2</sub>-Meßstationen gemessenen Werte der SO<sub>2</sub>-Immission dienten als Stichprobe, mit Hilfe derer die SO<sub>2</sub>-Immission an denjenigen Punkten innerhalb Deutschlands geschätzt wurden, für die keine gemessenen Werte vorlagen. Die Karten haben eine Auflösung von 1 · 1 km, das heißt für jede Rasterzelle von 1 km<sup>2</sup> Größe wurde ein Wert der SO<sub>2</sub>-Immission berechnet. Schließlich wurden die interpolierten Karten der SO<sub>2</sub>-Immission der Einzeljahre 1993, 1994 und 1995 (Abb. 2, obere Reihe) zu einer Karte der mittleren SO<sub>2</sub>-Immission für die Periode 1993-1995 (Abb. 3) verschnitten.

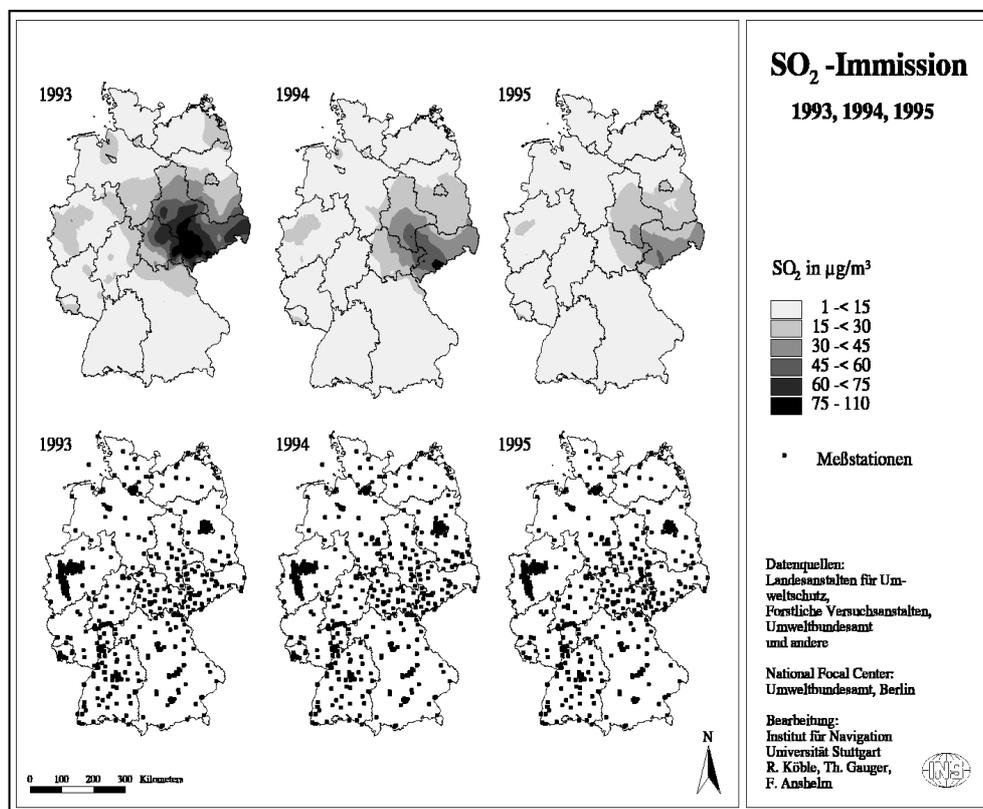


Abb.2: SO<sub>2</sub>-Immission in Deutschland 1993, 1994, 1995 und Lage der SO<sub>2</sub>-Meßstationen.

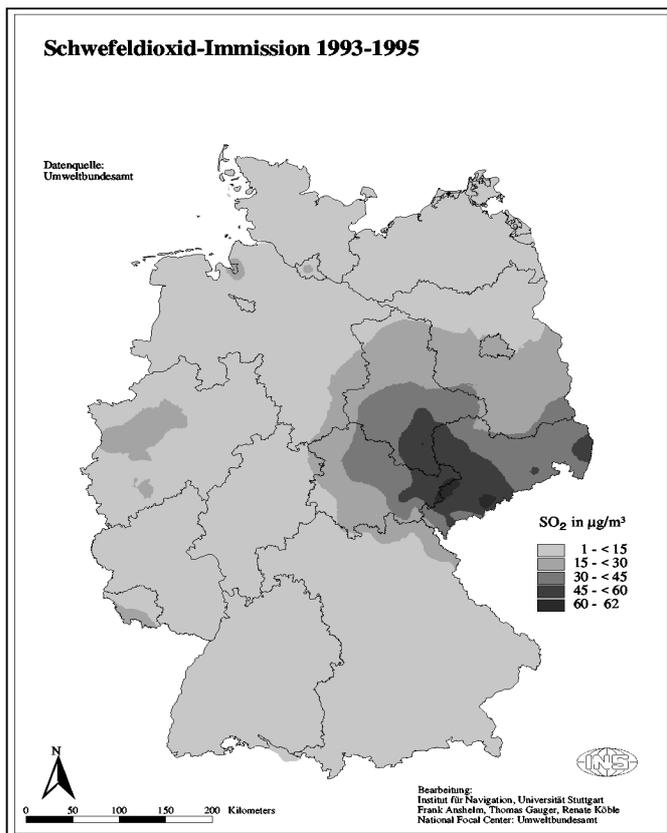


Abb.3: SO<sub>2</sub>-Immission in Deutschland 1993-1995

Analog zur Erstellung der Karte der mittleren SO<sub>2</sub>-Immission der Periode 1993-1995 wurden für denselben Zeitraum Rasterkarten der mittleren Ozon-Immission, der mittleren Chlorid-Konzentration im Niederschlag und der mittleren Protonen-Konzentration im Niederschlag berechnet. Die Grids zu den Jahresmitteln der Klimaparameter Temperatur, Niederschlag und Relative Luftfeuchte konnten beim Deutschen Wetterdienst akquiriert werden.

Die Rasterkarten der verschiedenen Klima- und Luftschadstoffparameter wurden entsprechend der aus den Ergebnissen des achtjährigen Expositionsversuchs ermittelten Dosis-Wirkungsfunktionen miteinander verrechnet. Nähere Informationen zu den Dosis-Wirkungsfunktionen sind Anshelm et al. (1998) und UNECE (1998) zu entnehmen.

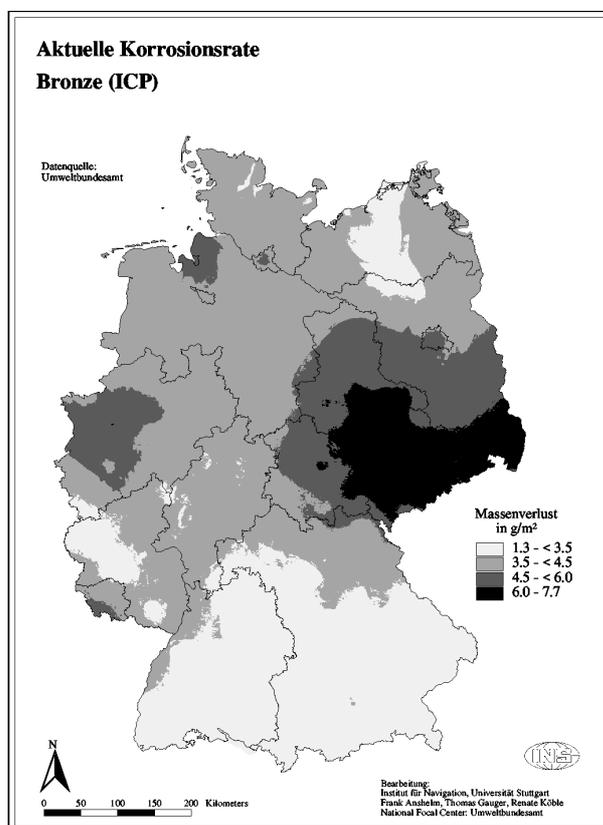


Abb. 4: Aktuelle Korrosionsrate–Bronze

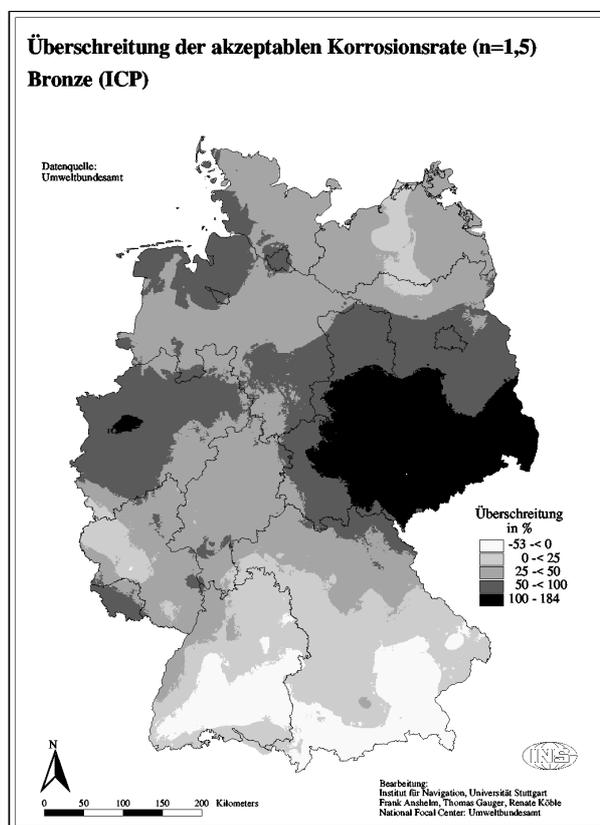


Abb. 5: Überschreitung der akzeptablen Korrosionsrate-Bronze.

Die in Abbildung 4 dargestellten Kartierungsergebnisse basieren auf der Anwendung einer aus Resultaten des achtjährigen Expositionsversuchs abgeleiteten Dosis-Wirkungsfunktionen für das Material Bronze. Die aktuelle jährliche Korrosionsrate wird als Massenverlust in g/m<sup>2</sup> angegeben. Höchste aktuelle Korrosionsraten sind in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt, relativ geringe aktuelle Korrosionsraten in Bayern und Baden-Württemberg zu verzeichnen. Die Verteilung der Gebiete mit hohen, beziehungsweise niedrigen aktuellen Korrosionsraten orientiert sich stark an den räumlichen Mustern der SO<sub>2</sub>-Immission. Damit wird der aus den Ergebnissen des achtjährigen Expositionsversuchs abgeleiteten großen Bedeutung des Luftschadstoffs SO<sub>2</sub> für das Korrosionsverhalten von Bronze Rechnung getragen. Die Forschungsarbeiten zu den Dosis-Wirkungsfunktionen sind noch nicht abgeschlossen. Die hier vorgestellten Resultate (Abb. 4 und 5) sind daher als vorläufige Zwischenergebnisse zu werten.

Abbildung 5 zeigt die prozentuale Überschreitung einer akzeptablen Korrosionsrate für das Material Bronze. Als akzeptable Korrosionsrate wurde in diesem Testlauf der 1,5-fache Wert der natürlichen Hintergrundkorrosionsrate definiert. Während in Baden-Württemberg und Bayern die aktuelle jährliche Korrosionsrate um bis zu 53 % unter der als akzeptabel definierten Marke bleibt, wird im Süden der neuen Bundesländer und im Ruhrgebiet die akzeptable Korrosionsrate um mehr als 100 % überschritten. Die Ermittlung der Flächenanteile mit Über-, beziehungsweise Unterschreitung der akzeptablen Korrosionsrate für Bronze ergab, daß die akzeptable Korrosionsrate (1,5-fache Hintergrundkorrosionsrate) während der Periode 1993-1995 auf 92 % der Fläche der BRD überschritten wurde. Definiert man hingegen den 2-fachen Wert der natürlichen Hintergrundkorrosionsrate als akzeptable Korrosionsrate, so verringert sich der Flächenanteil mit Überschreitungen der akzeptablen Korrosionsrate auf 68,3 % der Gesamtfläche der BRD. Auf diese Weise können unter ARC/INFO verschiedene Szenarien durchgespielt werden. Analog dazu ließe sich beispielsweise auch ermitteln, wie sich eine flächendeckende Reduzierung der SO<sub>2</sub>-Immission um x % auf die Überschreitung bestimmter Toleranzgrenzwerte in verschiedenen Regionen Deutschlands auswirken würde. Für Immissionsminderungsszenarien dieser Art sollten jedoch die Ergebnisse weiterer Forschungen auf dem Gebiet der Dosis-Wirkungsfunktionen abgewartet werden.

#### **Literatur:**

- Anshelm F, Droste-Franke B, Gauger Th, Köble R und Mayerhofer P (1998): Endbericht zum Forschungsvorhaben FKZ 108 07 034 „Kartierung von Toleranzgrenzwerten der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Materialien in Deutschland“. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin.
- Nagel H-D und Gregor H-D (Eds.,1998): Ökologische Belastungsgrenzen – Critical Loads & Levels.- Berlin/Heidelberg. Springer. 320 S.
- Umweltbundesamt (1996): Manual on methodologies for Mapping Critical Loads/Levels and geographical areas where they are exceeded. Umweltbundesamt, Texte 71/96. Berlin. 144 S.
- UN ECE (1998): International co-operative programme on effects on materials, including historic and cultural monuments. Report No. 30: Statistical Analysis of 8 year materials exposure and acceptable deterioration and pollution levels.- Swedish Corrosion Institute, Stockholm.