

Das Programm ISOCORRAG: Ermittlung von Korrosivitätskategorien aus Massenverlustraten

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 32

bast

Das Programm ISOCORRAG: Ermittlung von Korrosivitätskategorien aus Massenverlustraten

von

Malgorzata Schröder

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 32

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M- Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, daß die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 88207:
Das Programm ISOCORRAG: Ermittlung von Korrosivitätsklassen aus Massenverlustaten

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon (0 22 04) 43 - 0
Telefax (0 22 04) 43 - 674

Redaktion

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax (04 71) 9 45 44 77

ISSN 0943-9293
ISBN 3-89701-534-X

Bergisch Gladbach, Mai 2000

Kurzfassung · Abstract

Das Programm ISOCORRAG: Ermittlung von Korrosivitätskategorien aus Massenverlustraten

Das Ziel des unter dem Namen ISOCORRAG bei der Arbeitsgruppe WG 4 "Classification of Corrosivity of Atmospheres" im ISO "International Organization for Standardization" /TC 156 "Corrosion of Metals and Alloys" erarbeiteten Programms ist, die in den internationalen Normen angegebenen Verfahren zur Charakterisierung der Korrosivität der Atmosphäre zu vergleichen und die Grenzwerte für die Zuordnung der Korrosivitätskategorien zu den verschiedenen Parametern zu revidieren.

Die Bundesrepublik Deutschland beteiligte sich an dem Programm mit einem Auslagerungsstand, der sich in Bergisch Gladbach bei der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) befindet.

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der Untersuchungen in Bergisch Gladbach und bisher unvollständige Ergebnisse der Auswertung im Rahmen der weltweiten Arbeit der ISO/TC 156/WG 4 vorgestellt.

The ISOCORRAG Programme: Determination of Corrosivity Categories from Rates of Mass Loss

The aim of the programme drawn up under the name of ISOCORRAG by work group WG 4 "Classification of Corrosivity of Atmospheres" in the ISO "International Organisation for Standardisation" /TC 156 "Corrosion of Metals and Alloys" is to compare the standardised procedures for classifying the corrosivity of atmospheres and to review the limit values for allocating the corrosivity categories to the various parameters.

The Federal Republic of Germany participated in the programme with an exposure frame situated at the Federal Highway Research Institute (BASt) in Bergisch Gladbach.

The present report contains the results of the investigations in Bergisch Gladbach and the evaluation results reached so far in the work of the ISO/TC 156/WG 4.

Inhalt

1	Einleitung	7
2	Ermittlung der Korrosivität von Umgebungsbedingungen in der Atmosphäre nach ISO 9223	7
3	Das ISOCORRAG-Programm	9
3.1	Allgemeines	9
3.1.1	Ermittlung von Korrosivitätskategorien aus Massenverlusten	9
3.1.2	Ermittlung von Korrosivitätskategorien anhand von gemessenen Daten der Umgebungsbedingungen	11
3.2	Das ISOCORRAG-Programm in Bergisch Gladbach	11
3.2.1	Auslagerung der Standardproben in Bergisch Gladbach	11
3.2.2	Messung der Klimadaten und der Luftverunreinigungen	11
3.2.3	Ergebnisse der Auslagerungen von Standardproben in Bergisch Gladbach ..	12
3.2.4	Auswertung	12
3.3	Das ISOCORRAG-Programm international	16
3.3.1	Auswertung des Gesamtprogrammes (einschließlich Bergisch Gladbach)	16
3.3.2	Vergleich zwischen den Drahtwendeln und Blechen als Standardproben	18
3.3.3	Korrelationen zwischen den gemessenen Daten der Umgebungsbedingungen und den Dickenabnahmen von Standardproben	18
4	Schlußfolgerungen	22
5	Zusammenfassung	23
6	Literatur	24

Abkürzungen

τ	Befeuchtungsdauer
ρ	Dichte [g/cm^3]
Δm	Massenverlust
\emptyset	Mittelwert
a	Jahr
A	Oberfläche
Al	Dickenabnahme von Standardproben aus Aluminium
C	Korrosivitätskategorie (früher Korrosivitätsklasse)
C1	unbedeutend
C2	gering
C3	mäßig
C4	stark
C5	sehr stark
Cu	Dickenabnahme von Standardproben aus Kupfer
D	Drahtwendeldurchmesser
d	Tag
F	Blechproben (engl. "flat")
Fe	Dickenabnahme von Standardproben aus unlegiertem Stahl
H	Drahtwendelproben (engl. "helix")
h	Stunde
m	Masse vor der Auslagerung [g]
r	Dickenabnahme
r_1	Dickenabnahmeraten der Blechproben
r_2	Dickenabnahmeraten der Drahtwendeln
s	Flächenbeaufschlagung durch Chloride
SAL	Flächenbeaufschlagung durch Chloride (engl. "salinity")
SO ₂	Konzentration des Schwefeldioxids in der Luft
t	Auslagerungsdauer
TOW	Befeuchtungsdauer (engl. "time of wettness")
Zn	Dickenabnahme von Standardproben aus Zink

1 Einleitung

Das Korrosionsverhalten ungeschützter oder geschützter Metalle (z.B. einer Stahlkonstruktion) ist von den korrosiven Belastungen abhängig. Korrosive Belastungen sind alle Umgebungsfaktoren, welche die Korrosion fördern. Die Korrosivität [1] der Atmosphäre, d.h. ihre Fähigkeit Korrosion zu verursachen, ist einer dieser Faktoren und einer der wichtigen Parameter bei der Auswahl von Korrosionsschutzmaßnahmen. Weitere Faktoren sind z.B. auch von der konstruktiven Gestaltung und der Nutzung des Objektes abhängig.

Die Abschätzung der Korrosivität der Atmosphäre allein anhand von exemplarischen Beschreibungen z.B. Land-, Stadt-, Industrie- oder Meeresatmosphäre ist unbefriedigend, weil subjektiv. In ISO 9223 [2] wurde die Einteilung der Atmosphären in fünf Korrosivitätskategorien (früher Korrosivitätsklassen) festgelegt (siehe Tabelle 1), und zwei Verfahren zu ihrer Charakterisierung wurden beschrieben. Ein Verfahren ist die Ermittlung von flächenbezogenen Massenverlusten bzw. Dickenabnahmen von Standardproben nach einer 1-jährigen Auslagerung. Ein anderes Verfahren ist die Analyse von bestimmten Klimadaten sowie vorkommender korrosiver Stoffe und ihrer Konzentration nach ISO 9225 [3].

Korrosivitätskategorie	Korrosivität
C1	unbedeutend
C2	gering
C3	mäßig
C4	stark
C5	sehr stark

Tabelle 1: Korrosivitätskategorien (C) nach ISO 9223 [2]

Bei beiden Verfahren sind in den Normen die Grenzwerte genannt, die die Umgebungsbedingungen in eine der Korrosivitätskategorien einstufen. Diese Grenzwerte wurden festgelegt auf der Grundlage von Erfahrungen der Mitglieder der Arbeitsgruppe ISO/TC 156/WG 4¹.

Unter dem Namen ISOCORRAG wurde daher im Frühjahr 1986 ein von der WG 4 erarbeitetes Programm begonnen. Das Ziel war, die nach ISO 9223 festgelegten Verfahren zur Charakterisierung der Korrosivität der Atmosphäre zu vergleichen

und die Grenzwerte für die Zuordnung der Korrosivitätskategorien zu den verschiedenen Parametern zu revidieren. Weiterhin sollten zwei Typen von Standardproben - Drahtwendeln und Blechproben miteinander verglichen werden.

Am ISOCORRAG-Programm beteiligten sich 13 Länder (siehe Tabelle 2). Es wurden insgesamt 51 Auslagerungsstände in verschiedenen Klimagebieten sowie Atmosphärentypen (Land-, Stadt-, Industrie- und Meeresatmosphäre) errichtet. Die Bundesrepublik Deutschland beteiligte sich an dem Programm mit einem Auslagerungsstand, der sich in Bergisch Gladbach bei der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) befindet.

Die Auswertung des ISOCORRAG-Programms in der ISO/TC 156/WG 4 ist noch nicht abgeschlossen. Die bisher vorliegenden Ergebnisse dieses Programms sind aber schon in die DIN EN ISO 12944-2 [1], eingeflossen, die sich mit der "Einteilung der Umgebungsbedingungen" zum Zwecke des Korrosionsschutzes von Stahlbauten durch Beschichtungen befasst.

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der Untersuchungen in Bergisch Gladbach und bisherige Ergebnisse der Auswertung im Rahmen der Arbeit der ISO/TC 156/WG 4 vorgestellt.

2 Ermittlung der Korrosivität von Umgebungsbedingungen in der Atmosphäre nach ISO 9223

Ein Verfahren zur Ermittlung der Korrosivität von Umgebungsbedingungen in der Atmosphäre ist die Verwendung von Standardproben nach ISO 9226 [4] aus Kupfer, Aluminium, Zink und Stahl, die am Standort eines Objektes ein Jahr lang ausgelagert werden. Da die einzelnen Werkstoffe der Standardproben auf verschiedene Stoffe der Atmosphäre unterschiedlich ansprechen, lassen sich über die Ermittlung von Dickenabnahmen bzw. flächenbezogenen Massenverlusten infolge Korrosion Aussagen über die Korrosivität der Umgebung machen. Die Zuordnung der Dickenabnahmen bzw. flächenbezogenen Massenverluste zu den Korrosivitätskategorien (C) nach ISO 9223 [2] ist in der Tabelle 3 gegeben.

Als Standardproben sind nach ISO 9226 [4] zwei Typen von Probekörpern möglich - Blechproben und Drahtwendelproben. Über die Ergebnisse der Auslagerungen von Blechproben gab es zur Zeit der Erarbeitung von ISO 9223 [2] internationale

¹ International Organization for Standardization/ Technical Committee 156 "Corrosion of Metals and Alloys/ Working Group 4 "Classification of Corrosivity of Atmospheres"

Land	Auslagerungsstand	Kode	Nr	Land	Auslagerungsstand	Kode	Nr
Argentinien	Iugazu	ARG1	1	Norwegen	Oslo	N1	26
	Camet	ARG2	2		Borregaard	N2	27
	Buenos Aires	ARG3	3		Birkenes	N3	28
	SanJuan	ARG4	4		Tananger	N4	29
	Jubay	ARG5	5		Bergen	N5	30
Kanada	Boucherville	CND1	6		Svanvik	N6	31
Tschechische Republik	Kašperské Hory	CS1	7	Spanien	Madrid	E1	32
	Praha	CS2	8		El Pardo	E2	33
	Kopisty	CS3	9		Lagos	E3	34
Deutschland	Bergisch Gladbach	D1	10		Baracaldo	E4	35
Finnland	Helsinki	SF1	11	Schweden	Stockholm	S1	36
	Otaniemi	SF2	12		Kattesand	S2	37
	Ahtari	SF3	13		Kvarvik	S3	38
Frankreich	St. Denis	F1	14	Großbritannien	Stratford	UK1	39
	Ponteau Martigues	F2	15		Fleet Hall	UK2	40
	Picherande	F3	16		Rye	UK3	41
	Saint Remy	F4	17		Crowthorne	UK4	42
	Salin de Giraud	F5	18	USA	Kure Beach	US1	43
	Ostende	F6	19		Newark	US2	44
	Paris	F7	20		Panama	US3	45
	Auby	F8	21		Point Reyes	US5	46
	Biarritz	F9	22		Los Angeles	US6	47
Japan	Tokyo	JAP1	23		GUS	Murmansk	SU1
	Choshi	JAP2	24	Batumi		SU2	49
	Okinawa	JAP3	25	Vladivostok		SU3	50
				Oymyakon		SU4	51

Tabelle 2: Auslagerungsstände des ISOCORRAG-Programms

Korrosivitätskategorie	Dickenabnahmen in [µm], bzw. flächenbezogene Massenverluste in [g/m ²] von Standardproben			
	Unlegierter Stahl [µm]	Zink [µm]	Kupfer [µm]	Aluminium [g/m ²]
C1	< 1,3	< 0,1	< 0,1	vernachlässigbar
C2	1,3 bis 25	0,1 bis 0,7	0,1 bis 0,6	< 0,6
C3	> 25 bis 50	> 0,7 bis 2,1	> 0,6 bis 1,3	0,6 bis 2
C4	> 50 bis 80	> 2,1 bis 4,2	> 1,3 bis 2,8	> 2 bis 5
C5	> 80 bis 200	> 4,2 bis 8,4	> 2,8 bis 5,6	> 5 bis 10

Tabelle 3: Zuordnung von Dickenabnahmen bzw. flächenbezogenen Massenverlusten zu den Korrosivitätskategorien (C) nach ISO 9223 [2]

Erfahrungen. Die Drahtwendelproben entsprechen DIN 50 917-1 [5] (inzwischen zurückgezogen und durch DIN EN ISO 8565 ersetzt). Ihr Vorteil liegt darin, dass unabhängig von ihrer Befestigung ihre ganze Oberfläche nahezu gleichmäßig bewittert wird. Dagegen wird bei den Blechproben eine Seite immer stärker bewittert als die andere. An die Befestigung der Blechproben sind daher strikte Vorgaben geknüpft. Die Blechproben sind nach Süden auszurichten unter einem Winkel von 45° zur Vertikalen. Dies ist auf einem Freibewitterungsstand einfach, aber z.B. an der Unterseite der orthotropen Fahrbahnplatte einer Stahlbrücke praktisch kaum durchführbar.

Zur Einstufung der Korrosivität anhand von Aluminiumstandardproben werden flächenbezogene Massenverluste [g/m^2] anstelle von Dickenabnahmen [μm] angegeben. Die Angabe der Dickenabnahmen von Aluminium ist nicht sinnvoll, weil Aluminium an der Atmosphäre eine stabile Oxidschicht bildet. Die Korrosionserscheinung am Aluminium ist Lochfraß und nicht gleichmäßiger Flächenabtrag, wie bei unlegiertem Stahl, Zink und Kupfer. Die Lochtiefe wäre ein besseres Maß für die Beschreibung der Korrosionserscheinung bei Aluminium, die Auslagerungsdauer von einem Jahr ist aber zu kurz, um dabei auswertbare Ergebnisse zu bringen.

Wenn sich bei der Auswertung der an einem Ort ausgelagerten Standardproben aus den verschiedenen Metallen unterschiedliche Korrosivitätskategorien ergeben, entscheidet der Anwender über die maßgebende Korrosivitätskategorie. Diese Entscheidung hängt von dem Werkstoff ab, aus dem das Objekt/Produkt besteht. In den meisten Fällen wird bei unterschiedlichen Korrosivitätskategorien die höhere Korrosivitätskategorie angenommen.

Ein anderes Verfahren zur Ermittlung der Korrosivität ist die Bewertung der Flächenbeaufschlagung durch Schwefeldioxid (p wie "pollutions") und Chloride (s wie "salinity") nach ISO 9225 [3], sowie der Zeitdauer, in der die Oberfläche befeuchtet bleibt, der sog. Befeuchtungsdauer (τ). Die direkte Messung der Befeuchtungsdauer ist mit speziellen Messgeräten möglich, vereinfacht wird sie jedoch geschätzt als die Zeitdauer, in der gleichzeitig die relative Luftfeuchtigkeit $> 80\%$ und die Temperatur $> 0^\circ\text{C}$ beträgt.

In Tabelle 4 ist die Klassifikation der Flächenbeaufschlagung durch Chloride, der Flächenbeaufschlagung durch Schwefeldioxid und der Befeuchtungsdauer angegeben. Die Kategorien s_3 und p_3

sind nach oben begrenzt. Wenn die Werte für s und p höher sind als in den Kategorien s_3 und p_3 angegeben, dann fallen die Umgebungsbedingungen nicht mehr unter den Anwendungsbereich der ISO 9223 [2].

Anhand der drei Parameter p , s , τ und der Tabelle 5 können die Korrosivitätskategorien für verschiedene Metalle abgeschätzt werden.

Befeuchtungsdauer (τ) [$\text{h}\cdot\text{a}^{-1}$]	Kategorien τ
$\tau \leq 10$	τ_0
$10 < \tau \leq 250$	τ_1
$250 < \tau \leq 2500$	τ_2
$2500 < \tau \leq 5500$	τ_3
$5500 < \tau$	τ_4
Flächenbeaufschlagung durch Chloride (s) [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$]	Kategorien s
$s \leq 3$	s_0
$3 < s \leq 60$	s_1
$60 < s \leq 300$	s_2
$300 < s \leq 1500$	s_3
Flächenbeaufschlagung durch Schwefeldioxid (p) [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$]	Kategorien p
$p \leq 10$	p_0
$10 < p \leq 35$	p_1
$35 < p \leq 80$	p_2
$80 < p \leq 200$	p_3

Tabelle 4: Kategorien der Befeuchtungsdauer (τ), der Flächenbeaufschlagung durch Chloride (s) und der Flächenbeaufschlagung durch Schwefeldioxid (p) nach ISO 9223 [2]

3 Das ISOCORRAG-Programm

Grundlage zu diesem Programm ist die von der ISO/TC 156/WG 4 erarbeitete Unterlage mit dem Titel "The collaborative testing programme ISOCORRAG" [6].

3.1 Allgemeines

3.1.1 Ermittlung von Korrosivitätskategorien aus Massenverlusten

Für das ISOCORRAG-Programm wurden zwei Typen von Probekörpern - Drahtwendeln und Bleche aus unlegiertem Stahl, Zink, Kupfer und Aluminium - benötigt. Ein Probekörpersatz bestand aus vier Drahtwendeln der unterschiedlichen Werkstoffe, die auf einer Halterung befestigt waren, und vier einzelnen Blechproben aus den gleichen Werkstoffen wie die Drahtwendeln.

Unlegierter Stahl															
	τ_0			τ_1			τ_2			τ_3			τ_4		
	$s_0 - s_1$	s_2	s_3												
$p_0 - p_1$	1	1	1/2	1	2	3/4	2/3	3/4	4	3	4	5	3/4	5	5
p_2	1	1	1/2	1/2	2/3	3/4	3/4	3/4	4/5	4	4	5	4/5	5	5
p_3	1/2	1/2	2	2	3	4	4	4/5	5	5	5	5	5	5	5
Zink und Kupfer															
	τ_0			τ_1			τ_2			τ_3			τ_4		
	$s_0 - s_1$	s_2	s_3												
$p_0 - p_1$	1	1	1	1	1/2	3	3	3	3/4	3	4	5	3/4	5	5
p_2	1	1	1/2	1/2	2	3	3	3/4	4	3/4	4	5	4/5	5	5
p_3	1	1/2	2	2	3	3/4	3	3/4	4	4/5	5	5	5	5	5
Aluminium															
	τ_0			τ_1			τ_2			τ_3			τ_4		
	$s_0 - s_1$	s_2	s_3												
$p_0 - p_1$	1	2	2	1	2/3	4	3	3/4	4	3	3/4	5	4	5	5
p_2	1	2	2/3	1/2	3/4	4	3	4	4/5	3/4	4	5	4/5	5	5
p_3	1	2/3	3	3/4	4	4	3/4	4/5	5	4/5	5	5	5	5	5

Tabelle 5: Abschätzung der Korrosivitätskategorie anhand von Kategorien der Befeuchtungsdauer (τ), der Flächenbeaufschlagung durch Chloride (s) und der Flächenbeaufschlagung durch Schwefeldioxid (p) nach ISO 9223 [2]

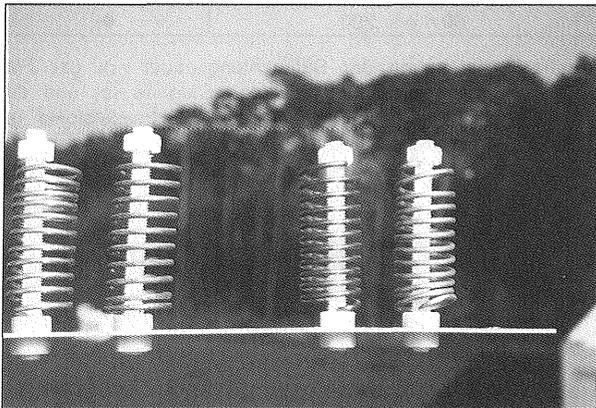


Bild 1: Drahtwendeln aus Zink, unlegiertem Stahl, Kupfer und Aluminium



Bild 2: Auslagerungsstand auf dem Dach des BASt-Gebäudes

Die Blechproben hatten die Abmessungen 50 mm x 100 mm x 1 mm. Die Drahtwendelproben wurden aus 1 m langen Drahtstücken mit einem Durchmesser von 3 mm durch Aufwickeln auf einen Docht von 24 mm Durchmesser hergestellt und mit Kunststoffschrauben auf einer Probenhalterung befestigt (siehe Bild 1). Vorgesehen waren 6 Auslagerungen jeweils über 1 Jahr (bezeichnet mit 1.1 bis 1.6), eine über 2 Jahre (2.1), eine über 4 Jahre (4.1) und eine über 8 Jahre (8.1). Dabei lag der Beginn der Auslagerung bei den Proben 1.1 bis 1.6

abwechselnd im Frühling und im Herbst innerhalb von 2½ Jahren. Für jede Auslagerungsperiode wurden je Wendeln und Bleche 3 Probesätze vorgesehen. Vor der Auslagerung wurden die Proben zum Entfetten in Methanol getaucht und mit einem Fön getrocknet. Die Proben wurden auf 0,001 g gewogen, und die Masse wurde registriert. Danach wurden die Drahtwendelproben auf die Träger montiert. Die Blechproben wurden einzeln auf einem Freibewitterungsstand befestigt, und nach Süden ausgerichtet unter einem Winkel von 45° zur Vertikalen.

Nach der Auslagerung wurden die Standardproben wie folgt (nach ISO 8407 [7]) gebeizt:

- Kupfer in 5%iger Schwefelsäure,
- Zink in 5%iger Essigsäure;
- Stahl in 10%iger Salzsäure mit ca. 3,5% Zusatz von Inhibitor (Hexamethylentetramin);
- Aluminium in Phosphorsäure mit Chromtrioxid.

Nach dem Beizen wurden die Proben mit vollentsalztem Wasser gespült, mit einem Fön getrocknet, auf 0,001 g gewogen und die Massen registriert. Die Beizvorgänge wurden bei Zink, Kupfer und Aluminium wiederholt bis keine Massenabnahme mehr zu verzeichnen war.

Die Dickenabnahmeraten (r_1) für die **Blechproben** wurden wie folgt berechnet:

$$r_1 = \frac{\Delta m}{A \cdot \rho \cdot t} \cdot 10 \quad [\mu\text{m/a}] \quad (1)$$

Dabei sind:

Δm	Massenverlust [mg]
A	Oberfläche [cm ²]; hier: $A = 100 \text{ cm}^2$
t	Auslagerungsdauer in Jahren [a]
ρ	Dichte [g/cm ³]

$$\begin{aligned} \rho_{\text{Fe}} &= 7,86 \text{ g/cm}^3 \\ \rho_{\text{Cu}} &= 8,96 \text{ g/cm}^3 \\ \rho_{\text{Zn}} &= 7,20 \text{ g/cm}^3 \\ \rho_{\text{Al}} &= 2,70 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

Die Dickenabnahmeraten (r_2) für die **Drahtwendeln** wurden wie folgt berechnet:

$$r_2 = 0,25 \frac{\Delta m \cdot D}{m \cdot t} \quad [\mu\text{m/a}] \quad (2)$$

Dabei sind:

Δm	Massenverlust [mg]
D	Drahtwendeldurchmesser [mm]; hier $D = 3 \text{ mm}$
m	Masse vor der Auslagerung [g]
t	Auslagerungsdauer in Jahren [a]

Aus den Dickenabnahmeraten wurden für die Aluminiumstandardproben durch Multiplizieren mit der Dichte des Aluminiums (ρ_{Al}) die flächenbezogenen Massenverlustraten [$\text{mg m}^{-2} \text{a}^{-1}$] ermittelt.

Zum Zwecke der Ermittlung von Korrosivitätskategorien wird nachfolgend nicht mehr von flächenbezogenen Massenverlustraten bzw. Dickenabnahmeraten, sondern von flächenbezogenen Massenverlusten bzw. Dickenabnahmen gesprochen. Die

Dauer der dafür vorgesehenen Auslagerung ist auf genau 1 Jahr festgelegt, und zur Ermittlung der Korrosivität spielen die Raten der Korrosionsverluste keine Rolle. Darüber hinaus ist es nicht zulässig, die von längeren oder kürzeren Auslagerungsdauern ermittelten Werte der Dickenabnahmen bzw. flächenbezogenen Massenverlusten auf 1 Jahr zu extrapolieren.

3.1.2 Ermittlung von Korrosivitätskategorien anhand von gemessenen Daten der Umgebungsbedingungen

Gleichzeitig mit den Auslagerungen von Standardproben wurden die Flächenbeaufschlagungen durch Chloride und Schwefeldioxid (meistens nach ISO 9225 [3]) gemessen. Außerdem wurde die Befeuchtungsdauer (Lufttemperatur $> 0^\circ\text{C}$, relative Luftfeuchtigkeit $> 80\%$) registriert.

3.2 Das ISOCORRAG-Programm in Bergisch Gladbach

3.2.1 Auslagerung der Standardproben in Bergisch Gladbach

Der Auslagerungsstand der BAST befindet sich auf dem Dach der Zeile B des BAST-Gebäudes in Bergisch Gladbach-Bensberg (150°59'N, 7°07'E). Das BAST-Gebäude liegt am südlichen Stadtrand, direkt an der BAB A 4 und am Königsforst, einem ausgedehnten Waldgebiet. Ca. 15 km westlich bzw. nordwestlich von Bensberg liegen Industriezentren der Stadt Köln und der Stadt Leverkusen. Das Dach befindet sich ca. 11 m über dem Gelände (113 m über NN).

Die Blechproben wurden einzeln auf einem Freibewitterungsstand befestigt. Sie wurden nach Süden ausgerichtet unter einem Winkel von 45° zur Vertikalen. Die Drahtwendelproben wurden mit den Trägern senkrecht an einem Geländer befestigt. Das Geländer und der Freibewitterungsstand sind der Witterung frei ausgesetzt. Zu berücksichtigen ist jedoch ein Eingangsturm von ca. 2,15 m Durchmesser und ca. 2,50 m Höhe, der sich ca. 3 m vom Auslagerungsstand und 1 m vom Geländer entfernt befindet und somit einen Windschatten für die Süd-West-Richtung ergeben kann.

3.2.2 Messung der Klimadaten und der Luftverunreinigungen

Die Klimadaten Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit wurden, ebenfalls auf dem Dach, kontinuierlich gemessen (jeweils nach 15 Minuten

wurden die Werte registriert). Diese Messungen erfolgten durch das Referat V 3 "Immisionsschutz, Landschaftspflege" der BAST. Die für die ISOCORRAG-Dokumentation erforderlichen Monatsstatistiken über o.g. Werte sowie Anzahl der Stunden im Monat, in denen bei einer Lufttemperatur über 0°C die Luftfeuchtigkeit den Wert von 80% überschritten hat (Befeuchtungsdauer), wurden von dem o.g. Referat bezogen und den Ergebnissen zugeordnet.

Die Luftverunreinigungen durch Chloride und Sulfate wurden mit der Immissions-Raten-Mess-Apparatur (IRMA) nach VDI 3794, Blatt 1 [8] erfasst (Bild 3). Das Prinzip des IRMA-Verfahrens beruht auf der Reaktion der zu bestimmenden Schadstoffe mit einer geeigneten Absorptionsflüssigkeit (hier eine Natriumhydroxid-Lösung mit dem Zusatz von Ethylenglycol, der in Sommermonaten die Verdunstungsgeschwindigkeit erheblich verlangsamt und in den Wintermonaten als Frostschutz dient). Die Flüssigkeit wird dabei an der Außenseite eines zylindrischen Trägerkörpers - der eigentlichen Messfläche - umgepumpt, der dabei zusätzlich durchtränkt wird. Diese Flüssigkeit wird mit dem Trägerkörper alle zwei Wochen ausgetauscht. Die Gehalte der sich in der Absorptionslösung angesammelten Reaktionsprodukte werden im Laboratorium ermittelt und auf die Messfläche bezogen. Die Flächenbeaufschlagungsrate wird dabei in $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ angegeben.

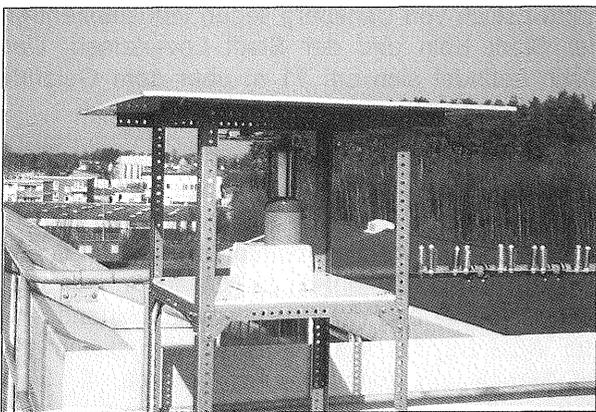


Bild 3: Immissions-Raten-Mess-Apparatur (IRMA) zur Erfassung von Luftverunreinigungen

3.2.3 Ergebnisse der Auslagerungen von Standardproben in Bergisch Gladbach

In der Tabelle 6 sind die Ergebnisse der Messungen nach Auslagerung der Standardproben über 1 Jahr erfasst. Für diese 6 Auslagerungen sind jeweils drei Einzelergebnisse der Dickenabnahmen

[μm] bzw. flächenbezogene Massenverluste [g m^{-2}], ihr Mittelwert (\emptyset) und die Korrosivitätskategorie (C), ermittelt nach ISO 9223 (siehe Tabelle 3), angegeben.

Bei Aluminiumstandardproben wurden seit Oktober 1990 Massenzunahmen statt Massenabnahmen registriert. Deswegen wurden einige Aluminiumstandardproben ungebeizt für eventuelle Untersuchungen zur Klärung dieses Phänomens aufbewahrt.

In der Tabelle 7 sind die Ergebnisse der Auslagerungen der Standardproben über 2, 4, 8 und 10 Jahre erfasst. Die Auslagerung über 10 Jahre wurde in Bergisch Gladbach zusätzlich zum ISOCORRAG-Programm durchgeführt. Für diese 4 Auslagerungen sind jeweils drei Einzelergebnisse der ermittelten flächenbezogenen Korrosionsraten als Dickenabnahmeraten in [$\mu\text{m/a}$] bzw. flächenbezogene Massenverlustraten in [$\text{g m}^{-2} \text{a}^{-1}$] und ihr Mittelwert (\emptyset) angegeben. Die Korrosivitätskategorien wie in Tabelle 6 können hier nicht angegeben werden, weil die Ermittlung von Korrosivitätskategorien an eine Auslagerungsdauer von genau 1 Jahr gebunden ist.

3.2.4 Auswertung

Die Korrosivitätskategorien, die über die Dickenabnahmen von Standardproben bei den Auslagerungen über 1 Jahr in Bergisch Gladbach ermittelt worden sind, schwanken zwischen unbedeutend C1 bis stark C4. Sie liegen vorwiegend bei mäßig C3.

Die C1-Korrosivitätskategorie wurde nur anhand von Aluminiumstandardproben ermittelt, die hauptsächlich auf Chloride reagieren. Die Chloride kommen z.B. in einer Meeresatmosphäre bzw. direkt an Straßen durch Tausalzstreuung vor. Die Belastung durch Chloride am Auslagerungsstand in Bergisch Gladbach ist unbedeutend.

Die Aluminiumproben wurden letztlich in der Auswertung nicht berücksichtigt, weil das Beizen Probleme brachte (siehe Tabelle 7). Trotz des mehrfachen Beizens in Salpetersäure oder/und Phosphorsäure wurden Massenzunahmen registriert. Es wird vermutet, dass sich auf der Metalloberfläche Salze gebildet haben, die durch Beizen nicht mehr gelöst werden konnten. Von den anderen Auslagerungsorten wurden Massenzunahmen bei Aluminium nicht gemeldet. In Bergisch Gladbach wurden die Standardproben vor der Auslagerung kurzzeitigen Beizvorgängen unterzogen, wie in DIN 50 917-1 [5] vorgeschrieben war. Im ISOCORRAG-Programm ist ein Beizvorgang vor der Auslagerung nicht vorgesehen. Möglicherweise wurde durch das

Beizen eine sehr reaktionsfähige Oberfläche der Aluminiumproben erzeugt, wodurch sich eine sehr dicke und widerstandsfähige Oxidschicht gebildet hat. Bevor der Frage nachgegangen werden konnte, stand schon bei der Bearbeitung von DIN

EN ISO 12944-2 [1] fest, dass im Bereich des Korrosionsschutzes von Stahlbauten keine Standardproben aus Aluminium verwendet werden. Deswegen wurde auf die Klärung dieser Frage hier verzichtet.

Auslagerungsnummer	Auslagerungszeit	Dickenabnahmen [μm], bzw. flächenbezogene Massenverluste [g/m^2] (nach dem ersten Jahr der Auslagerung) und ermittelte Korrosivitätskategorien (C)								
		Blechproben				Drahtwendelproben				
		Stahl [μm]	Zink [μm]	Kupfer [μm]	Aluminium [g/m^2]	Stahl [μm]	Zink [μm]	Kupfer [μm]	Aluminium [g/m^2]	
1.1	06.88 - 05.89	1.	37,3	2,7	0,91	0,41	55,3	2,1	1,16	1,03
		2.	39,8	2,5	1,09	0,38	63,6	1,9	1,12	0,89
		3.	38,5	3,3	0,95	0,65	53,6	3,0	1,10	1,84
		Ø	38,5	2,8	0,98	0,48	57,5	2,3	1,13	1,25
		C	C3	C4	C3	C1	C4	C4	C3	C2
1.2	11.88 - 10.89	1.	40,5	2,7	0,78	0,30	66,3	2,9	1,03	0,65
		2.	40,0	2,6	0,82	0,32	49,8	3,2	1,06	0,68
		3.	40,8	2,7	0,85	0,43	64,3	3,1	1,01	0,62
		Ø	40,4	2,7	0,82	0,35	60,2	3,1	1,03	0,65
		C	C3	C4	C3	C1	C4	C4	C3	C2
1.3	06.89 - 05.90	1.	35,8	1,6	1,08	1,32	41,9	1,9	1,62	2,86
		2.	36,5	1,5	1,03	1,30	37,4	2,0	1,61	2,67
		3.	33,6	1,6	1,15	1,30	42,1	1,8	1,51	2,94
		Ø	35,3	1,5	1,09	1,31	40,4	1,9	1,58	2,83
		C	C3	C3	C3	C2	C3	C3	C4	C3
1.4	11.89 - 10.90	1.	38,0	0,9	0,32	0,00	56,2	1,0	0,42	-0,05*
		2.	37,1	1,0	0,34	-0,32*	52,6	0,7	0,37	-0,03*
		3.	37,2	0,9	0,33	-0,22*	51,4	1,1	0,35	-0,03*
		Ø	37,4	1,0	0,33	-0,18*	53,4	0,9	0,38	-0,04*
		C	C3	C3	C2		C4	C3	C2	
1.5	06.90 - 05.91	1.	31,8	0,9	0,31	-0,70*	44,2	1,2	0,33	-0,14*
		2.	32,4	0,9	0,26	-0,86*	45,0	1,3	0,26	-0,14*
		3.	31,3	0,9	0,27	-0,73*	62,7	1,1	0,91	0,00
		Ø	31,8	0,9	0,28	-0,77*	50,6	1,2	0,50	-0,14*
		C	C3	C3	C2		C4	C3	C2	
1.6	11.90 - 10.91	1.	34,6	0,7	0,09		42,5	1,2	0,09	-0,11*
		2.	33,3	0,7	0,13		53,7	1,3	0,07	-1,11*
		3.	33,4	0,7	0,26		55,3	1,1	0,09	-1,13*
		Ø	33,8	0,7	0,16		50,5	1,2	0,08	-0,78*
		C	C3	C2	C2		C4	C3	C1	

* Massenzunahme

Tabelle 6: Ergebnisse der Auslagerungen von Standardproben in Bergisch Gladbach über 1 Jahr.

Die Messungen der Umgebungsbedingungen am Auslagerungsort Bergisch Gladbach (siehe Tabelle 4 und Tabelle 8) ergaben:

- s_0 für die Beaufschlagung durch Chloride ($s_0 \leq 3 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$),
- p_1 für die Beaufschlagung durch Schwefeldioxid ($10 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1} < p_1 \leq 35 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) und
- τ_4 für die Befeuchtungsdauer ($2500 \text{ h a}^{-1} < \tau_4 \leq 5500 \text{ h a}^{-1}$).

Bei dieser Parameterkombination (τ_4 , p_1 , s_0) ergibt sich entsprechend ISO 9223 [2] (siehe auch Tabelle 6) durch Schätzung für jede der vier Standardproben die Korrosivitätskategorie C 3.

Demnach ist die Atmosphäre des Auslagerungsortes Bergisch Gladbach-Bensberg als mäßig korrosiv zu bezeichnen, was mit dem vorwiegend ermittelten Wert C 3 der Standardproben gut übereinstimmt.

In den Diagrammen 1 bis 6 sind die Zusammenhänge zwischen den Drahtwendeln und den Blechen als Standardproben wiedergegeben. In den Diagrammen 1 bis 3 wurden die Dickenabnahmen der Drahtwendelproben über die Dickenabnahmen der Blechproben für unlegierten Stahl, Zink und Kupfer nach der Auslagerung über 1 Jahr dargestellt. Die Regressionsgeraden zwischen den Dik-

kenabnahmen der Drahtwendelproben (y) und den Dickenabnahmen der Blechproben (x) ergaben wie folgt:

$$\text{für unlegierten Stahl, Korrelationskoeffizient } r=0,63 \\ y = 1,38x + 2,80 \quad (3)$$

$$\text{für Zink, Korrelationskoeffizient } r=0,91 \\ y = 0,80x + 0,50 \quad (4)$$

$$\text{für Kupfer, Korrelationskoeffizient } r=0,97 \\ y = 1,35x - 0,04 \quad (5)$$

Die Diagramme 4 bis 6 zeigen, dass die Dickenabnahmen, insbesondere von Zink und Kupfer-Standardproben, nach einjähriger Auslagerung mit der Zeit geringer geworden sind, was auch auf die durch den verstärkten Umweltschutz zurückgegangene Korrosionsbelastung der Atmosphäre zurückgeführt werden kann.

Die Diagramme 7 bis 9 zeigen, dass die jährlichen Korrosionsraten im ersten Jahr einer Auslagerung höher liegen als die jährlichen Korrosionsraten der über einen längeren Zeitraum ausgelagerten Standardproben.

Die Ergebnisse machen deutlich, dass die Dickenverlusten der Drahtwendelproben in den meisten Fällen größer sind als die der Blechproben.

Auslagerungsnummer	Auslagerungszeit	Dickenabnahmeraten bzw. flächenbezogene Massenverlusten [g/m^2]								
		Blechproben				Drahtwendelproben				
		Stahl [$\mu\text{m/a}$]	Zink [$\mu\text{m/a}$]	Kupfer [$\mu\text{m/a}$]	Aluminium [$\text{g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$]	Stahl [$\mu\text{m/a}$]	Zink [$\mu\text{m/a}$]	Kupfer [$\mu\text{m/a}$]	Aluminium [$\text{g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$]	
2.1	06.88 - 05.90	1.	25,4	1,3	0,66	0,01	40,6	1,8	0,87	0,54
		2.	25,5	1,4	0,71	0,02	34,5	1,5	0,83	0,62
		3.	25,3	1,3	0,73	0,02	37,1	1,6	0,87	0,59
		Ø	25,4	1,3	0,70	0,02	37,4	1,6	0,86	0,59
4.1	06.88 - 05.92	1.	18,9	0,9	0,40	-0,07*	26,6	1,3	0,39	
		2.	20,6	0,9	0,42	-0,07*	28,8	1,2	0,82	
		3.	20,4	0,9	0,42	-0,08*	28,5	1,0	0,34	
		Ø	20,0	0,9	0,41	-0,07*	27,9	1,2	0,52	
8.1	06.88 - 05.96	1.	12,4	0,9	0,42	-0,08*	15,2	1,3	0,53	0,10
		2.	12,4	0,9	0,41	-0,08*	15,2	1,4	0,51	0,09
		3.	12,2	0,9	0,40	-0,08*	15,6	1,4	0,52	0,09
		Ø	12,3	0,9	0,41	-0,08*	15,3	1,4	0,52	0,10
10.1	06.88 - 05.98	1.	13,4	1,0	0,38	-0,03*	15,3	1,2	0,48	-0,86*
		2.	13,0	0,9	0,39	0,02	13,8	1,2	0,46	0,12
		3.	13,9	0,9	0,38	-0,02*				
		Ø	13,4	0,9	0,38	-0,01*	14,6	1,2	0,47	-0,37*

* Dickenzunahme

Tabelle 7: Ergebnisse der Auslagerungen von Standardproben in Bergisch Gladbach über 2, 4, 8 und 10 Jahre.

Auslagerungsnummer	Auslagerungszeit	Temperatur [°C]	Relative Luftfeuchtigkeit [%]	Flächenbeaufschlagung		Befeuchtungsdauer [h]
				SO ₂ [mg·m ⁻² ·d ⁻¹]	Cl ⁻ [mg·m ⁻² ·d ⁻¹]	
1.1	06.88 - 05.89	10,35	78	18,69	2,14	4773
1.2	11.88 - 10.90	10,80	77	17,90	1,35	4686
1.3	06.89 - 05.90	11,07	75	12,30	1,57	4426
1.4	11.89 - 10.90	10,81	74	10,84	2,12	4257
1.5	06.90 - 05.91	9,59	74	14,07	1,72	3746
1.6	11.90 - 10.91	9,70	74	15,53	1,03	3714

Tabelle 8: Klima- und Luftverunreinigungsdaten in Bergisch Gladbach während der Auslagerungen über 1 Jahr. Die Temperaturen und die Werte für die relative Luftfeuchtigkeit sind Jahres-Mittelwerte, ermittelt aus den monatlichen Mittelwerten. Die Flächenbeaufschlagungswerte sind Jahres-Mittelwerte, ermittelt aus den Messwerten der Messungen über einen Zeitraum von je zwei Wochen. Die Befeuchtungsdauer ist die Summe der Stunden während der Auslagerungsperiode, an der bei einer Temperatur über 0°C die relative Luftfeuchtigkeit die 80% überschritten hat.

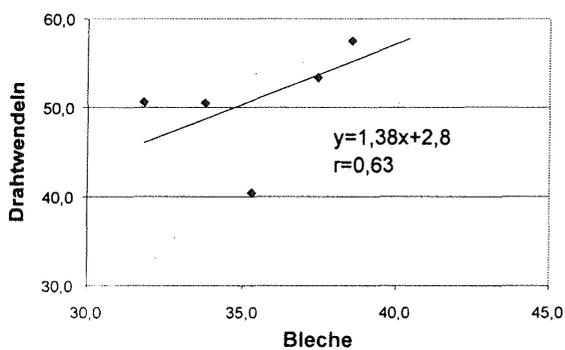


Diagramm 1: Dickenabnahmen von Drahtwendelproben als Funktion von Dickenabnahmen der Blechproben aus unlegiertem Stahl nach 1 Jahr Auslagerung in Bergisch Gladbach

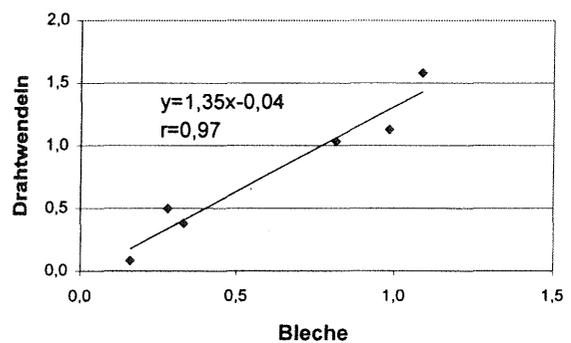


Diagramm 3: Dickenabnahmen von Drahtwendelproben als Funktion von Dickenabnahmen der Blechproben aus Kupfer nach 1 Jahr Auslagerung in Bergisch Gladbach

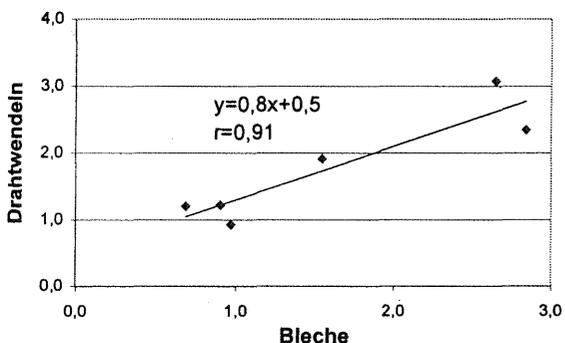


Diagramm 2: Dickenabnahmen von Drahtwendelproben als Funktion von Dickenabnahmen der Blechproben aus Zink nach 1 Jahr Auslagerung in Bergisch Gladbach

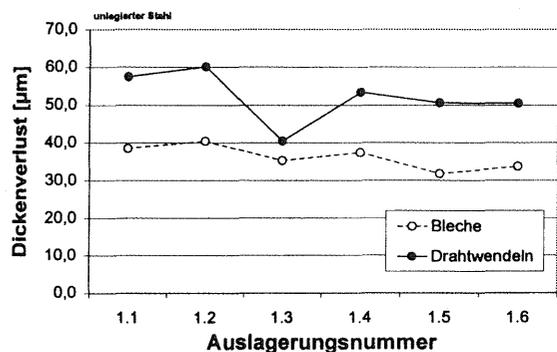


Diagramm 4: Dickenabnahmen von Standardproben aus unlegiertem Stahl in aufeinanderfolgenden 6 Einjahresauslagerungen in Bergisch Gladbach (1988 bis 1991)

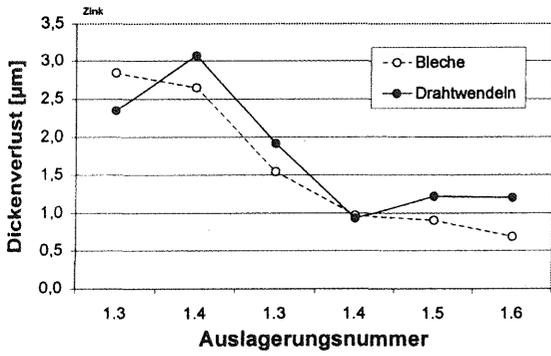


Diagramm 5: Dickenabnahmen von Standardproben aus Zink in aufeinanderfolgenden 6 Einjahresauslagerungen in Bergisch Gladbach

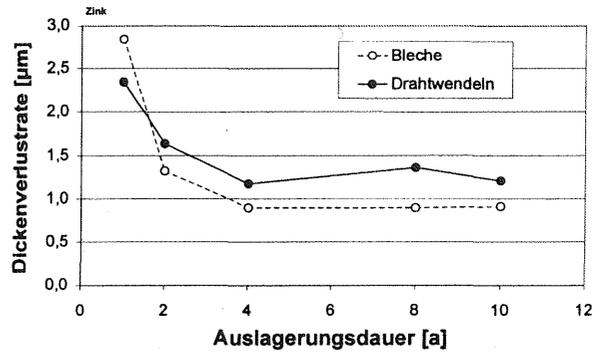


Diagramm 8: Dickenabnahmeraten von langfristig ausgelagerten Standardproben aus Zink am Auslagerungsort in Bergisch Gladbach

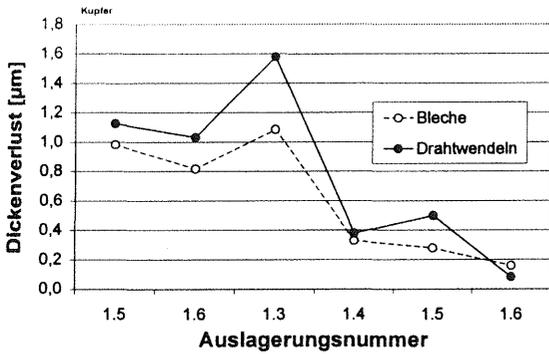


Diagramm 6: Dickenabnahmen von Standardproben aus Kupfer in aufeinanderfolgenden 6 Einjahresauslagerungen in Bergisch Gladbach

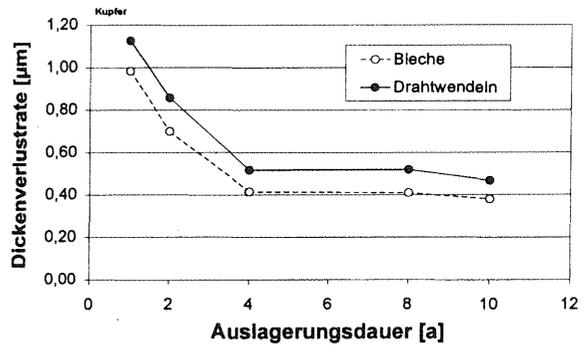


Diagramm 9: Dickenabnahmeraten von langfristig ausgelagerten Standardproben aus Kupfer am Auslagerungsort in Bergisch Gladbach

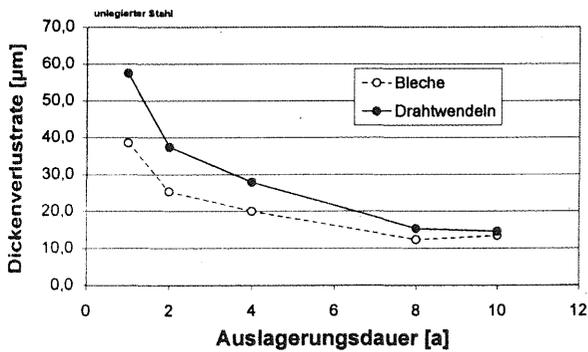


Diagramm 7: Dickenabnahmeraten von langfristig ausgelagerten Standardproben aus unlegiertem Stahl am Auslagerungsort in Bergisch Gladbach

3.3 Das ISOCORRAG-Programm international

3.3.1 Auswertung des Gesamtprogrammes (einschließlich Bergisch Gladbach)

Die Auswertung des internationalen ISOCORRAG-Programms führen die Mitglieder der Arbeitsgruppe ISO/TC 156/WG 4 unter der Leitung des Prager Sekretariats durch. Bis jetzt sind die Ergebnisse aller Auslagerungen über 1 Jahr und die für diesen Zeitraum zugehörigen Daten über die Umgebungsbedingungen an die Mitglieder der WG 4 verteilt und weitgehend ausgewertet worden. Die allgemeinen statistischen Werte für die Daten des ISOCORRAG-Programms sind in der Tabelle 9 enthalten.

Messgröße	Anzahl der Messwerte	Minimumwert	Median	Maximumwert	Mittelwert	Standardabweichung	Variationskoeffizient
TOW	304	206	3770	8097	3820	1413	0,37
SO ₂	304	0,9	15,3	214,6	25,1	28,9	1,15
SAL	298	0,3	6,0	1093,0	74,3	154,1	2,07
Fe F	279	0,4	35,6	373,5	41,3	32,1	0,78
Fe H	271	0,79	51,40	369,00	61,43	46,64	0,76
Zn F	289	0,13	1,56	19,98	2,15	2,30	1,07
Zn H	267	0,50	2,30	22,90	3,25	2,94	0,90
Cu F	288	0,07	1,33	7,15	1,59	1,05	0,66
Cu H	279	0,08	1,86	15,99	2,48	2,08	0,84
Al F	289	0,00	0,31	2,20	0,45	0,42	0,93
Al H	272	0,02	0,60	16,10	1,14	2,05	1,80

Tabelle 9: Allgemeine statistische Werte für die Daten des ISOCORRAG-Programms. Die Abkürzungen sind wie folgt:

TOW - Befeuchtungsdauer (engl. "time of wetness") [h/a]
SO₂ - Konzentration des Schwefeldioxids in der Luft¹ [µg/m³]
SAL - Flächenbeaufschlagung durch Chloride (engl. "salinity") [mg m⁻² d⁻¹]
Fe - Dickenabnahme von Standardproben aus unlegiertem Stahl [µm]
Zn - Dickenabnahme von Standardproben aus Zink [µm]
Cu - Dickenabnahme von Standardproben aus Kupfer [µm]
Al - Dickenabnahme von Standardproben aus Aluminium [µm]
F - Blechproben (engl. "flat")
H - Drahtwendelproben (engl. "helix")

Fe F	C1	C2	C3	C4	C5	> C5	Insgesamt
Häufigkeit	6	70	136	40	26	1	279
%	2,2	25,1	48,7	14,3	9,3	0,4	100
Fe H	C1	C2	C3	C4	C5	> C5	Insgesamt
Häufigkeit	1	45	81	76	64	4	271
%	0,4	16,6	29,9	28,0	23,6	1,5	100
Zn F	C1	C2	C3	C4	C5	> C5	Insgesamt
Häufigkeit	0	37	169	53	26	4	289
%	0,0	12,8	58,5	18,3	9,0	1,4	100
Zn H	C1	C2	C3	C4	C5	> C5	Insgesamt
Häufigkeit	0	6	109	104	28	20	267
%	0,0	2,2	40,8	39,0	10,5	7,5	100
τ	τ ₁	τ ₂	τ ₃	τ ₄	τ ₅		Insgesamt
Häufigkeit	0	1	48	210	45		304
%	0,00	0,33	20,13	6,71	14,8		100
s	s ₀	s ₁	s ₂	s ₃	>s ₃		Insgesamt
Häufigkeit	99	119	60	20	0		298
%	33,22	39,93	20,13	6,71	0		100
p	p ₀	p ₁	p ₂	p ₃	>p ₃		Insgesamt
Häufigkeit	127	123	43	11	0		304
%	41,78	40,46	14,14	3,62	0		100

Tabelle 10: Häufigkeitsverteilung der Messwerte des ISOCORRAG-Programms auf die Korrosivitätskategorien und die Kategorien der Befeuchtungsdauer und Flächenbeaufschlagung durch Chloride und Schwefeldioxid

¹ Die Flächenbeaufschlagung durch Schwefeldioxid (P_d) und ihre volumetrische Bestimmung in der Luft (P_e) gelten für die Zwecke der ISO 9223 als Equivalent, wobei P_d ≈ 0,8 P_e.

In der Tabelle 10 ist die Häufigkeitsverteilung der Messwerte auf die Korrosivitätskategorien und die Kategorien der Befeuchtungsdauer und Flächenbeaufschlagung durch Chloride und Schwefeldioxid dargestellt (siehe auch Diagramme 10 bis 14). Die Umgebungen mit niedriger Befeuchtungsdauer (τ_1) oder sehr starker Flächenbeaufschlagung durch Chloride (s_3) und durch Schwefeldioxid (p_3) sind unter den ISOCORRAG-Daten gar nicht vertreten. Es dominieren die Umgebungen mit hoher Befeuchtungsdauer (τ_4) und niedrigen Flächenbeaufschlagungen durch Chloride (s_0, s_1, s_2) und durch Schwefeldioxid (p_0, p_1, p_2). Es gibt aber durchaus viele erfasst Messwerte mit starker und sehr starker Korrosivität, und sogar Messwerte, die außerhalb des Anwendungsbereiches der ISO 9223 [2] liegen.

Um die beim ISOCORRAG-Programm schwach repräsentierten Umgebungskategorien zukünftig verstärkt bei der Auswertung zu berücksichtigen, wird an einer Erweiterung der Datenbasis gedacht. Eine solche Erweiterung ermöglicht z.B. das Programm MICAT (Ibero-American Map of Atmospheric Corrosiveness). Dieses Programm wurde unter der Obmannschaft des Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), Spanien 1988, begonnen. Zweck von MICAT ist es, eine Korrosivitätskarte von Mittel- und Südamerika aufzustellen, und die Zusammenhänge zwischen den Korrosionserscheinungen und Umgebungseinflüssen zu untersuchen. Die Vorgehensweise beim MICAT-Programm basiert ebenfalls auf ISO 9223, gleicht also der Vorgehensweise beim ISOCORRAG-Programm.

Die Auswertung des ISOCORRAG-Programms betrifft hauptsächlich zwei Themen:

- Korrelationen zwischen den Daten über Umgebungsbedingungen und Dickenabnahmen von Standardproben
- Vergleich zwischen den Drahtwendel- und Blechproben als Standardproben.

Das erste Thema wird international unter der Leitung des tschechischen Mitglieds der ISO/TC 156/WG 4, Frau Dr. Knotkova, das zweite Thema unter der Leitung des USA-Mitgliedes, Herr Dr. Dean, bearbeitet. In den Abschnitten 3.3.2 und 3.3.3 werden die bisher vorliegenden Ergebnisse dargestellt, die den Stand Oktober 1998 der umfangreichen Auswertungen wiedergeben, und den Dokumenten N 330 [10] und N 329 [11] der ISO/TC 156/WG 4 entnommen wurden.

3.3.2 Vergleich zwischen den Drahtwendeln und Blechen als Standardproben

Die Dickenabnahmen der Blech- und Drahtwendelproben für alle vier Metalle korrelieren stark miteinander. Die Regressionsanalyse der logarithmisch transferierten Daten zeigt, dass die Dickenabnahmen der Drahtwendelproben aus unlegiertem Stahl und Kupfer proportional zu den Dickenabnahmen der entsprechenden Blechproben sind. Der durchschnittliche Proportionalitätsfaktor der Drahtwendeln zu den Blechproben beträgt für unlegierten Stahl 1,4 und für Kupfer 1,45. Der durchschnittliche Proportionalitätsfaktor für die Drahtwendelproben aus Zink und Aluminium im Vergleich zu Blechproben beträgt 1,87. Dieser Proportionalitätsfaktor wächst mit höheren Dickenabnahmen. Mit wachsender Flächenbeaufschlagung durch Sulfate vergrößert sich bei den Standardproben aus Zink der Unterschied zwischen den Dickenabnahmen der Drahtwendeln im Vergleich zu den Blechproben. Einen ähnlichen Effekt verursacht die Flächenbeaufschlagung durch Chloride beim Kupfer und beim Aluminium.

In sehr feuchten Klimaten mit hoher Konzentration an korrosiven Stoffen kann es zu höheren Dickenabnahmen der Blechproben als bei Drahtwendelproben kommen. Z.B. liegen bei dem Auslagerungsstand Panama, USA, bei einer Befeuchtungsdauer von über 7500 h/a (τ_5), einer Flächenbeaufschlagung durch Chloride von fast $650 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (s_3) und einer solchen durch Schwefeldioxid von $50 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ (p_2) die Dickenabnahmen von Blechproben bei unlegiertem Stahl (um den Faktor 1,26) und Zink (um den Faktor 2,3) deutlich höher als bei den Drahtwendeln. Durch die starken Regenfälle werden die korrosiven Stoffe von der ganzen Oberfläche einer Drahtwendelprobe vermutlich besser entfernt als z.B. von der Unterseite einer Blechprobe.

3.3.3 Korrelationen zwischen den gemessenen Daten der Umgebungsbedingungen und den Dickenabnahmen von Standardproben

Ziel dieser Untersuchung ist die Überprüfung, inwieweit die anhand von Umgebungsbedingungen (Tabellen 4 und 5) abgeschätzte Korrosivität der aus Dickenabnahmen ermittelten Korrosivität (Tabelle 3) entspricht. Dazu wurden umfangreiche Korrelations- und Regressionsuntersuchungen durchgeführt, und zwar zwischen den Dickenabnahmen von Standardproben und den Variablen TOW, SO₂ und SAL:

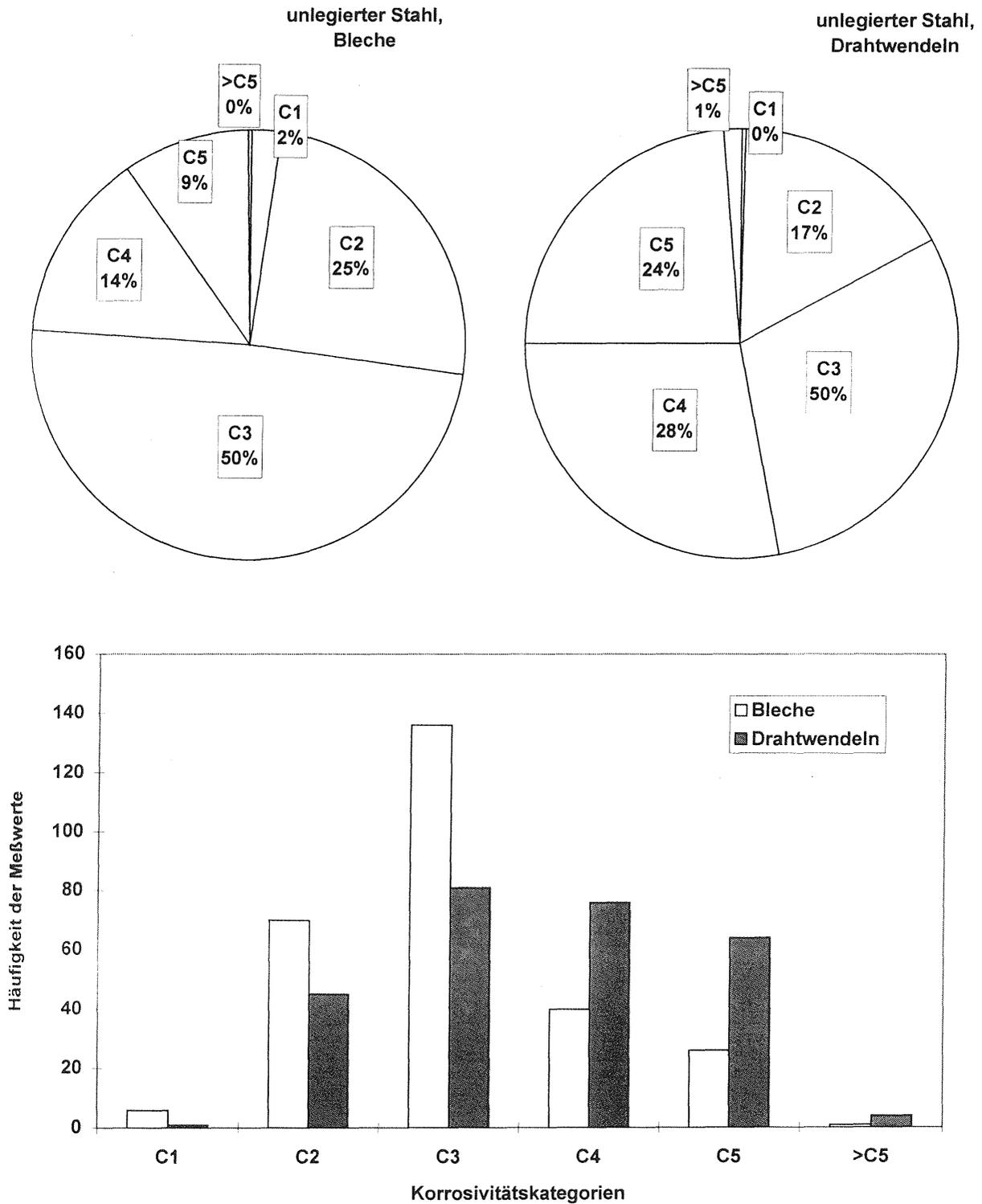


Diagramm 10: Häufigkeitsverteilung der Messwerte des ISOCORRAG-Programms für unlegierten Stahl auf die Korrosivitätskategorien C1 bis C5 nach ISO 9223 [2]

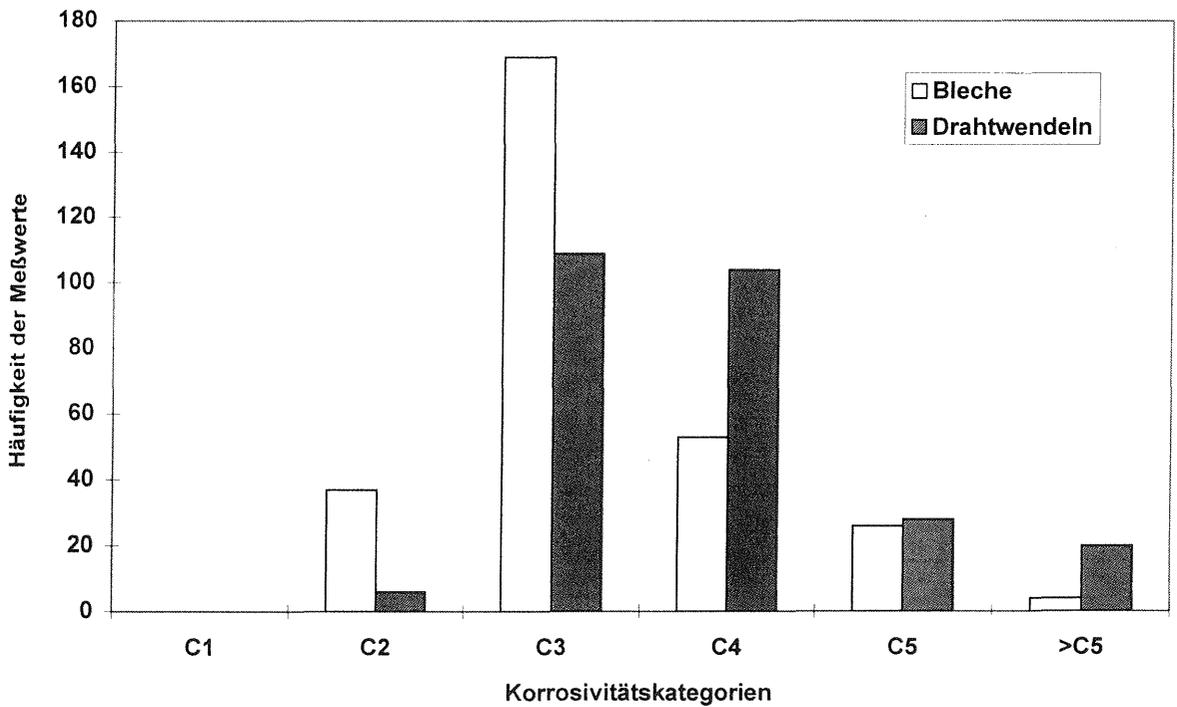
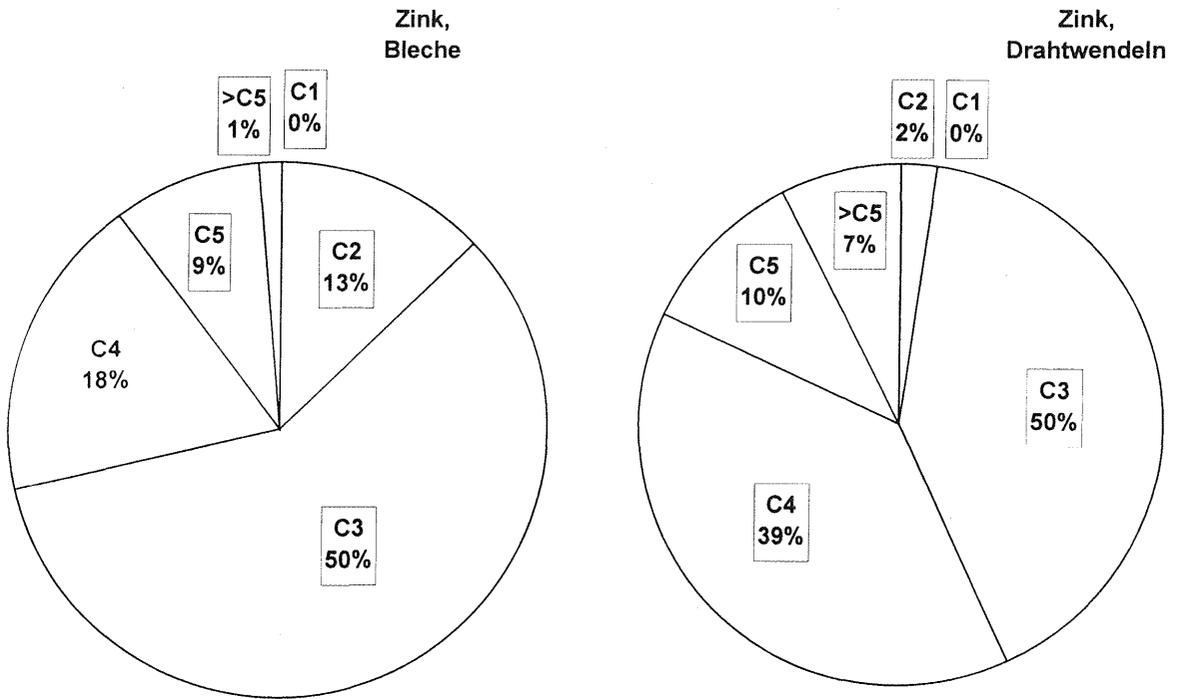


Diagramm 11: Häufigkeitsverteilung der Messwerte des ISOCORRAG-Programms für Zink auf die Korrosivitätskategorien C1 bis C5 nach ISO 9223 [2]

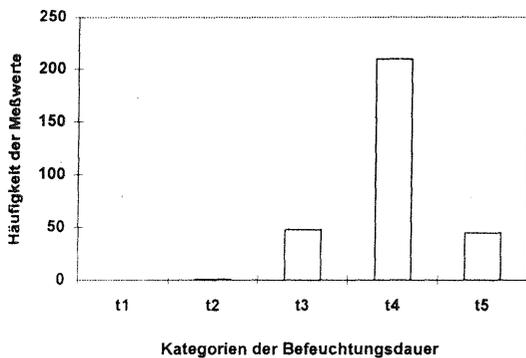


Diagramm 12: Häufigkeitsverteilung der Messwerte des ISOCORRAG-Programms für Befeuchtungsdauer auf die Kategorien nach ISO 9223 [2]

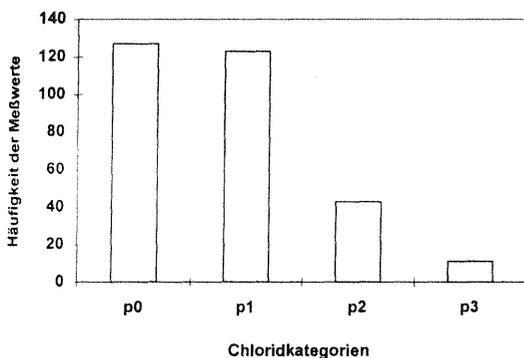


Diagramm 13: Häufigkeitsverteilung der Messwerte des ISOCORRAG-Programms für die Flächenbeaufschlagung durch Chloride auf die Kategorien nach ISO 9223 [2]

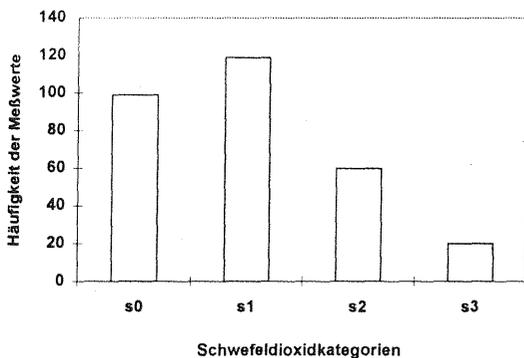


Diagramm 14: Häufigkeitsverteilung der Messwerte des ISOCORRAG-Programms für die Flächenbeaufschlagung durch Schwefeldioxid auf die Kategorien nach ISO 9223 [2]

TOW - Befeuchtungsdauer (engl. "time of wetness") [h/a]

SO₂ - Flächenbeaufschlagung durch Schwefeldioxid [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

SAL - Flächenbeaufschlagung durch Chloride (engl. "salinity") [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$].

Dabei wurden nicht nur direkte Korrelationen, sondern auch die Korrelationen der logarithmisch transferierten Daten bzw. Daten als Produkt (z.B. SAL·TOW) ermittelt.

Daraus wurde eine optimierte Regressionsfunktion ermittelt:

$$\ln r = a + b_1 \cdot \text{SO}_2 + b_2 \cdot \ln \text{SAL} + b_3 \cdot \ln \text{TOW} \quad (6)$$

wobei a , b_1 , b_2 und b_3 Parameter sind und r die Dickenabnahme der Standardproben ist.

Diese optimierte Regressionsfunktion gilt für alle Standardproben, wobei für jeden Werkstoff andere Parameter a , b_1 , b_2 und b_3 errechnet worden sind.

Es wurden dann weitere Berechnungen mit der Regressionsfunktion (6) durchgeführt. Für alle Tripel der Kategorien der Umgebungsbedingungen (τ_n , s_k , p_m ; bei $n=1$ bis 5, $m=0$ bis 4, $k=0$ bis 4) wurden für unlegierten Stahl, Zink, Kupfer und Aluminium das Minimum und das Maximum der Dickenabnahmen der Blechproben berechnet. Daraus wurden die theoretisch möglichen Korrosivitätskategorien nach Tabelle 3 in dem Intervall vom Minimum bis zum Maximum der Dickenabnahme bestimmt. Z.B. bei τ_3 , s_2 , p_1 wurde das Minimum der Dickenabnahme für unlegierten Stahl mit $15,74 \mu\text{m}$ und das Maximum mit $58,96 \mu\text{m}$ errechnet. D.h., dass bei τ_3 , s_2 , p_1 und unlegiertem Stahl drei Korrosivitätskategorien - C2, C3 und C4 - möglich sind. Ähnliche Ergebnisse, d.h. drei Korrosivitätskategorien innerhalb eines Tripels der Kategorien der Umgebungsbedingungen, wiederholen sich. Zu schmalere Intervallen zwischen dem Minimum und dem Maximum der Dickenabnahme kommt man durch engere Intervalle der Kategorien τ , s und p , z.B. bei Verdoppelung der Anzahl jeder Kategorie.

Diese Ergebnisse bestätigen die Möglichkeit, die Korrosivität auch über die Umgebungsbedingungen abzuschätzen. Jedoch ist dies eher durch eine mathematische Funktion wie (6) als durch die Kategorien der Umgebungsbedingungen wie in Tabelle 5 erreichbar.

4 Schlußfolgerungen

Die Korrosivitätskategorien, die über die Dickenabnahmen von Standardproben bei den Auslagerungen über 1 Jahr in Bergisch Gladbach ermittelt worden sind, schwanken zwischen unbedeutend C1 bis stark C4. Sie liegen vorwiegend bei mäßig C3. Die Messungen der Umgebungsbedingungen am Auslagerungsort Bergisch Gladbach ergaben die Korrosivitätskategorie C3.

Anhand der Ergebnisse aus Bergisch Gladbach ist festzustellen, dass die Dickenverlusten der Drahtwendelproben in den meisten Fällen größer sind als die der Blechproben. Nach je einjähriger Auslagerung sind die Dickenabnahmen mit der Zeit geringer geworden, was auch auf die durch den verstärkten Umweltschutz in der Bundesrepublik Deutschland zurückgegangene Korrosionsbelastung der Atmosphäre zurückgeführt werden kann. Die jährlichen Korrosionsraten im ersten Jahr einer Auslagerung liegen höher als die gemittelten jährlichen Korrosionsraten der über einen längeren Zeitraum ausgelagerten Standardproben.

Die Auswertung der internationalen Daten des ISOCORRAG-Programms hat die Erkenntnis bestätigt, dass die Auslagerung von Drahtwendelproben in der Regel, aber insbesondere im gemäßigten Klima, zur Ermittlung von signifikant höheren flächenbezogenen Massenverlusten führt als die der Blechproben. Oft wirkt sich dieser Unterschied zwischen den Drahtwendel- und den Blechproben so aus, dass die Atmosphäre einer höheren Stufe in der Korrosivitätskategorien-Skala zugeordnet werden muss. Dieses ist im Bezug auf die Bemessung des Korrosionsschutzsystems z.B. nach DIN EN ISO 12944-5 [13] bedeutend. Darüber hinaus sind die Blechproben an einem bereits bestehenden Objekt in der vorgeschriebenen Form nur schwer auszulagern.

Werden diese Ergebnisse des ISOCORRAG-Programms auf den aktuellen Normungsstand bezogen, sind folgende Aspekte bedeutend:

- Die zurückgezogene DIN 55928-1 [12] und die neue, sie ersetzende DIN EN ISO 12944-2 [1] empfehlen insbesondere bei großen Objekten die Ermittlung der Korrosivität durch die Auslagerung von Standardproben. Die Standardproben nach DIN 55928-1 [12] waren die Drahtwendeln nach DIN 50917-1 [5]. Die Standardproben nach DIN EN ISO 12944-2 [1] entsprechen der ISO 9226 [4], sind also Bleche oder Drahtwendeln. Es bleibt dem Anwender überlassen, welcher Typ von Standardproben angewendet wird.
- Die Korrosivität der Atmosphäre, ermittelt durch die Auslagerung der Standardproben nach DIN EN ISO 12944-2 [1], entspricht dem Ortsklima, wie es in DIN 55928-1 [12] definiert war, d.h. den Umgebungsbedingungen, die um das Objekt im Umkreis von ca. 1000 m herrschen. Für das Korrosionsverhalten eines Bauteiles ist aber das Kleinklima entscheidend. Das Kleinklima sind die Umgebungsbedingungen direkt am Bauwerk im Grenzbereich zwischen Bauteiloberfläche und umgebender Atmosphäre, die oft durch die konstruktive Gestaltung des Bauwerks oder seine Nutzung erst entstehen. Das Kleinklima ist selbstverständlich auch vom Ortsklima abhängig. Die DIN EN ISO 12944-2 [1] beschreibt zwar einige Sonderbelastungen, die die Korrosionsbelastungen erhöhen, also das Kleinklima beeinflussen, z.B. durch Kondenswasserbildung oder mechanische Belastung durch Splittanprall, sie sind in der Norm jedoch nur informativ. In welcher Weise diese Sonderbelastungen die Auswahl von Korrosionsschutzsystemen beeinflussen, ist jedoch dem Normanwender überlassen. Es wird nicht deutlich, dass die Sonderbelastungen nicht in den Korrosivitätskategorien erfasst und zusätzlich zu berücksichtigen sind. Auch dieser Punkt ist bei der Dimensionierung der Korrosionsschutzsysteme nach DIN EN ISO 12944-5 [13] zu beachten.

Die Ergebnisse des ISOCORRAG-Programms bestätigen ebenfalls die Möglichkeit, die Korrosivität auch über die Umgebungsbedingungen abzuschätzen. Jedoch ist dies eher durch Anwendung einer mathematischen Funktion als durch die Kategorien der Umgebungsbedingungen gemäß ISO 9223 [2] erreichbar.

5 Zusammenfassung

Unter dem Namen ISOCORRAG wurde im Frühjahr 1986 ein von der Arbeitsgruppe ISO/TC 156/WG 4² erarbeitetes Programm begonnen. Das Ziel war, die nach ISO 9223 [2] festgelegten Verfahren zur Charakterisierung der Korrosivität der Atmosphäre zu vergleichen und die Grenzwerte für die Zuordnung der verschiedenen Korrosivitätskategorien zu den Parametern zu revidieren. Ein Verfahren ist die Ermittlung von flächenbezogenen Massenverlusten bzw. Dickenabnahmen von Standardproben aus unlegiertem Stahl, Zink, Kupfer und Aluminium nach einer 1-jährigen Auslagerung. Ein anderes Verfahren ist die Analyse von bestimmten Messwerten der Umgebungsbedingungen, insbesondere Befeuchtungsdauer sowie vorkommender korrosiver Stoffe (hier Schwefeldioxid und Chloride) und ihrer Konzentration nach ISO 9225 [3]. Weiterhin sollten zwei Typen von Standardproben - Drahtwendeln und Blechproben - verglichen werden.

Am ISOCORRAG-Programm beteiligten sich 13 Länder. Es wurden insgesamt 51 Auslagerungsstände in verschiedenen Klimagebieten sowie Atmosphärentypen (Land-, Stadt-, Industrie- und Meeresatmosphäre) errichtet.

Grundlage zu diesem Programm ist die von der ISO/TC 156/WG 4 erarbeitete Unterlage mit dem Titel "The collaborative testing programme ISOCORRAG" [6]. Vorgesehen waren 6 Auslagerungen von Standardproben jeweils über 1 Jahr, eine über 2 Jahre, eine über 4 Jahre und eine über 8 Jahre. Vor der Auslagerung wurden die Proben entfettet, getrocknet und gewogen. Nach der Auslagerung wurden die Standardproben nach ISO 8407 [7] gebeizt, gespült, getrocknet und gewogen. Die Dickenabnahmen bzw. flächenbezogenen Massenverluste wurden berechnet. Gleichzeitig mit den Auslagerungen von Standardproben - Blech- und Drahtwendelproben - wurden die Flächenbeaufschlagungen durch Chloride und Schwefeldioxid (nach ISO 9225 [3]) gemessen. Außerdem wurde die Befeuchtungsdauer (Lufttemperatur > 0°C, relative Luftfeuchtigkeit > 80%) registriert.

Die Bundesrepublik Deutschland beteiligte sich an dem Programm mit einem Auslagerungsstand, der sich in Bergisch Gladbach bei der Bundesanstalt

für Straßenwesen (BASt) befindet. Das BASt-Gebäude liegt am südlichen Stadtrand, direkt an der BAB A 4 und am Königsforst, einem ausgedehnten Waldgebiet. Ca. 15 km westlich bzw. nordwestlich von Bensberg liegen Industriezentren der Stadt Köln und der Stadt Leverkusen.

Die Klimadaten Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit wurden kontinuierlich gemessen. Die Luftverunreinigungen durch Chloride und Sulfate wurden in Bergisch Gladbach mit der Immissions-Raten-Mess-Apparatur (IRMA) nach VDI 3794, Blatt 1 [8] erfasst.

Die Korrosivitätskategorien, die über die Dickenabnahmen von Standardproben bei den Auslagerungen über 1 Jahr in Bergisch Gladbach ermittelt worden sind, schwanken zwischen unbedeutend C1 bis stark C4. Sie liegen vorwiegend bei mäßig C3. Die Messungen der Umgebungsbedingungen am Auslagerungsort Bergisch Gladbach und deren Auswertung ergaben nach Umrechnung die Korrosivitätskategorie C3.

Die Ergebnisse in Bergisch Gladbach machen deutlich, dass die Dickenverluste der Drahtwendelproben in den meisten Fällen größer sind als die der Blechproben. Nach je einjähriger Auslagerung sind die Dickenabnahmen mit der Zeit geringer geworden, was auch auf die durch den verstärkten Umweltschutz zurückgegangene Korrosionsbelastung der Atmosphäre zurückgeführt werden kann. Die jährlichen Korrosionsraten im ersten Jahr einer Auslagerung liegen höher als die jährlichen Korrosionsraten der über einen längeren Zeitraum ausgelagerten Standardproben.

Die internationale Auswertung des ISOCORRAG-Programmes führen die Mitglieder der Arbeitsgruppe ISO/TC 156/WG 4 unter der Leitung des Prager Sekretariats durch. Diese Auswertung ist noch nicht abgeschlossen, es liegen jedoch bereits Teilergebnisse vor.

Die Auswertung des ISOCORRAG-Programms konzentriert sich hauptsächlich auf zwei Themen:

- Korrelationen zwischen den gemessenen Daten der Umgebungsbedingungen und den Dickenabnahmen von Standardproben
- Vergleich zwischen den Drahtwendel- und Blechproben als Standardproben.

Die bisher vorliegenden Ergebnisse des ISOCORRAG-Programms bestätigen die Möglichkeit, die Korrosivität auch über die Umgebungsbedingungen abzuschätzen. Jedoch ist dies eher durch die Anwendung einer mathematischen

²International Organization for Standardization/
Technical Committee 156 "Corrosion of Metals and Alloys/
Working Group 4 "Classification of Corrosivity of Atmospheres"

Funktion als durch die Kategorien der Umgebungsbedingungen erreichbar.

Die Auslagerung von Drahtwendelproben führt in der Regel zur Ermittlung von signifikant höheren flächenbezogenen Massenverlusten als die der Blechproben. Oft wirkt sich dieser Unterschied zwischen den Drahtwendel- und den Blechproben so aus, dass die Atmosphäre einer höheren Stufe in der Korrosivitätskategorien-Skala zugeordnet werden muss. Dieses ist im Bezug auf die Wahl des Korrosionsschutzsystems z.B. gemäß DIN EN ISO 12944-5 [13] bedeutend, da sich andere Korrosionsschutzsysteme ergeben. Die Sonderbelastungen, z.B. durch Kondenswasserbildung oder mechanische Belastung durch Splittanprall, sind nicht in den Korrosivitätskategorien erfasst und müssen darüber hinaus zusätzlich berücksichtigt werden.

6 Literatur

- [1] DIN EN ISO 12944-2: 1998, Beschichtungstoffe; Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme; Teil 2: Einteilung der Umgebungsbedingungen
- [2] ISO 9223 :1992, Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification
- [3] ISO 9225: 1992, Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Measurement of pollution
- [4] ISO 9226: 1992, Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity
- [5] DIN 50 917-1: 1979 (zurückgezogen), Korrosion der Metalle; Naturversuche; Freibewitterung
- [6] ISO/TC 156/WG 4, N 131: "The collaborative testing program ISOCORRAG"
- [7] ISO 8407: 1991, Corrosion of metals and alloys- Removal of corrosion products from corrosion test specimens
- [8] VDI 3794, BLATT 1: Bestimmung von Immissions-Raten; Bestimmung der Immissionsrate mit Hilfe des IRMA-Verfahrens
- [9] ISO 9224: 1992, Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Guiding values for the corrosivity categories
- [10] ISO/TC 156/WG 4, N 330, Comparison of flat panel corrosion rates to helix corrosion rates, Sheldon W. Dean
- [11] ISO/TC 156/WG 4, N 329, Derivation of corrosivity categories from environmental data, Verification of the system applied in ISO 9223
- [12] DIN 55928-1:1991 (zurückgezogen), Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Allgemeines, Begriffe, Korrosionsbelastungen
- [13] DIN EN ISO 12944-5: 1998, Beschichtungstoffe; Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme; Teil 5: Beschichtungssysteme

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

B 1: Realkalisierung karbonatisierter Betonrandzone H. Budnik, T. Laakkonen, A. Maaß, F. Großmann 28 Seiten, 1993	kostenlos	B 11: Fahrbahnbeläge auf Sohlen von Trogbauwerken R. Wruck 44 Seiten, 1996	DM 23,00
B 2: Untersuchungen an Fertigteilbrücken BT 70/ BT 700 H. Haser 68 Seiten, 1993	kostenlos	B 12: Temperaturmessungen bei der Verbreiterung der Rodenkirchener Brücke W. Goebel 96 Seiten, 1996	DM 30,00
B 3: Temperaturunterschiede an Betonbrücken H. Knabenschuh 64 Seiten, 1993	kostenlos	B 13: Strukturanalyse von Beton Entwicklung eines Verpreßverfahrens mit fluoreszierendem Harz H.-P. Gatz, P. Gusia 28 Seiten, 1996	DM 21,00
B 4: Merkblatt zur Entnahme repräsentativer Strahlschuttproben MES-93 16 Seiten, 1993	DM 17,00	B 14: Verhalten von Fahrbahnübergängen aus Asphalt infolge Horizontallasten J. Krieger, E. Rath 112 Seiten, 1997	DM 31,00
B 5: Spezielle Probleme bei Brückenbauwerken in den neuen Bundesländern H. Haser, R. Kaschner 44 Seiten, 1994	DM 22,50	B 15: Temperaturbeanspruchung im Beton und Betonersatz beim Einbau von Abdichtungen F. Großmann, J. Budnik, A. Maaß 88 Seiten, 1997	DM 28,00
B 6: Zur Berechnung von Platten mit schwacher Querbewehrung R. Kaschner 44 Seiten, 1995	DM 22,50	B 16: Seilverfüllmittel - Mechanische Randbedingungen für Brückenseile M. Eilers, A. Hemmert-Halswick 288 Seiten, 1997	DM 53,00
B 7: Erprobung von dichten lärmindernden Fahrbahnbelägen für Brücken S. Sczyslo 56 Seiten, 1995	DM 24,00	B 17: Bohrverfahren zur Bestimmung der Karbonatisierungstiefe und des Chloridgehaltes von Beton H.-P. Gatz, P. Gusia, M. Kuhl 48 Seiten, 1997	DM 26,50
B 8: Untersuchungen am Brückenbelag einer orthotropen Fahrbahnplatte J. Krieger, E. Rath 140 Seiten, 1995	DM 34,00	B 18: Erprobung und Bewertung zerstörungsfreier Prüfmethode für Betonbrücken J. Krieger, M. Krause, H. Wiggenhauser 143 Seiten, 1998	DM 32,00
B 9: Anwendung von zerstörungsfreien Prüfmethoden bei Betonbrücken J. Krieger 60 Seiten, 1995	DM 25,00	B 19: Untersuchung von unbelasteten und künstlich belasteten Beschichtungen Instandhaltung des Korrosionsschutzes durch Teileerneuerung - Entwicklung eines Meßverfahrens M. Schröder 23 Seiten, 1998	DM 21,00
B 10: Langzeituntersuchungen von Hydrophobierungsmitteln A. Maaß, B. Krieger 60 Seiten, 1995	DM 24,00	B 20: Reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl M. Eilers, W. Ritter 46 Seiten, 1998	DM 24,00
		B 21: Windlasten für Brücken nach ENV 1991-3 J. Krieger 19 Seiten, 1998	DM 20,00

- | | | | |
|--|-----------------|--|-----------------|
| <p>B 22: Algorithmen zur Zustandsbewertung von Ingenieurbauwerken
 P. Haardt
 42 Seiten, 1999</p> | <p>DM 22,50</p> | <p>B 32: Das Programm ISOCORRAG: Ermittlung von Korrosivitätskategorien aus Massenverlust-raten
 M. Schröder
 26 Seiten, 2000</p> | <p>DM 22,00</p> |
| <p>B 23: Bewertung und Oberflächenvorbereitung schwieriger Untergründe
 Instandhaltung des Korrosionsschutzes durch Teil-erneuerung
 M. Schröder, S. Sczyslo
 31 Seiten, 1999</p> | <p>DM 21,00</p> | | |
| <p>B 24: Erarbeitung einer ZTV für reaktionsharzgebundene Dünnbeläge auf Stahl
 Untersuchungen zur Empfindlichkeit der verschiedenen RHD-Belagsysteme unter ungünstigen Einbaubedingungen
 M. Eilers, G. Stoll
 25 Seiten, 1999</p> | <p>DM 21,00</p> | | |
| <p>B 25: Konzeption eines Managementsystems zur Erhaltung von Brücken- und Ingenieurbauwerken
 P. Haardt
 52 Seiten, 1999</p> | <p>DM 24,00</p> | | |
| <p>B 26: Einsatzmöglichkeiten von Kletterrobotern bei der Bauwerksprüfung
 J. Krieger, E. Rath, G. Berthold
 18 Seiten, 1999</p> | <p>DM 20,00</p> | | |
| <p>B 27: Dynamische Untersuchungen an reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen
 M. Eilers, W. Ritter, G. Stoll
 32 Seiten, 1999</p> | <p>DM 21,50</p> | | |
| <p>B 28: Erfassung und Bewertung von reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen auf Stahl
 M. Eilers
 28 Seiten, 2000</p> | <p>DM 21,00</p> | | |
| <p>B 29: Ergänzende Untersuchungen zur Bestimmung der Karbonatisierungstiefe und des Chloridgehaltes von Beton
 H.-P. Gatz, B. Quaas
 36 Seiten, 2000</p> | <p>DM 23,00</p> | | |
| <p>B 30: Materialkonzepte, Herstellungs- und Prüfverfahren für elutionsarme Spritzbetone
 F. Heimbecher
 33 Seiten, 2000</p> | <p>DM 21,50</p> | | |
| <p>B 31: Verträglichkeit von reaktionsharzgebundenen Dünnbelägen mit Abdichtungssystemen nach den ZTV-BEL-ST
 M. Eilers, G. Stoll
 24 Seiten, 2000</p> | <p>DM 21,00</p> | | |
-
- Zu beziehen durch:**
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, Telefax (04 71) 9 45 44 88