

**Verringerung der Dicke von Titanzink  
bei Dachdeckungen und Wandbekleidungen im Hochbau  
aufgrund atmosphärischer Korrosion**

**Vergleichende Betrachtung der Ergebnisse aus den  
Untersuchungsverfahren**

- Dickenmessung mit der Ultraschall-Prüftechnik**
- Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag**

Von der Fakultät für  
Architektur und Landschaft  
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
zur Erlangung des Grades  
Doktor der Ingenieurwissenschaften  
(Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von

**Dipl.-Ing. Wolf-Hagen Pohl**

geboren am 6. April 1939 in Hirschberg/Schlesien

**2014**

Erster Gutachter: Universitätsprof. Dipl.-Ing. Alexander Furche

Zweiter Gutachter: Universitätsprof. Dr. rer. nat. Carla Vogt

Tag der Promotion (mündliche Prüfung): 20. 05. 2014



Gutachterliche Untersuchungen im Rahmen meiner Tätigkeit als Professor für Bauphysik und Baustoffkunde am Institut für Baukonstruktion und Entwerfen, Fachbereich Architektur der Universität Hannover haben zu Vorüberlegungen für diese Arbeit geführt.

Augrund mehrerer Forschungsaufträge der Firma Rheinzink GmbH und Co. KG. Datteln an die Universität Hannover konnte der Umfang der vorliegenden Arbeit erweitert werden. Meine Außerdienststellung im Jahre 2003 erlaubte mir, diese Forschungsvorhaben noch umfassender und intensiver zu bearbeiten und auszuwerten. Dabei standen im Fokus meiner Arbeit die Dickenmessung mit der Ultraschall-Prüftechnik, die Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag und die vergleichende Betrachtung der Ergebnisse aus beiden Untersuchungsverfahren.

Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. A. Furche, Institut für Entwerfen und Konstruieren, Fakultät für Architektur und Landschaft, Leibniz Universität Hannover, in seiner Funktion als Vertreter des Faches Baustoffkunde in Lehre und Forschung, danke ich für die Bereitschaft diese Arbeit zu betreuen. Ihm verdanke ich wertvolle Ratschläge.

Frau Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Carla Vogt, Institut für Anorganische Chemie, Naturwissenschaftliche Fakultät, Leibniz Universität Hannover, gilt mein Dank für die Unterstützung bei der Weiterentwicklung des Themas dieser Arbeit, für die vielen wertvollen Hilfen und den damit verbundenen Diskussionen mit ihr und ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Bei Frau Stella Kittel bedanke ich mich für die mehr als vierhundert, mit großer Akribie erstellten Analysen im Rahmen der Bestimmung der Zinkfrachten. Frau Dr. Petra Kühn-Stoffers gilt mein Dank für ihre Mithilfe bei der statistischen Bewertung der Messdaten aus den Ultraschall-Untersuchungen.

Ein Dank gilt auch Herrn Prof. Dr.-Ing. Erich Krüger, Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Angewandte Bautechnik, mit dem ich in größeren Abständen über die Entwicklung meiner Arbeit diskutiert habe. Seine Anregungen haben zum Fortschritt und zum „Abrunden“ der Arbeit beigetragen.

Mein Dank gilt den Mitarbeitern des Niedersächsischen Landesamts für Ökologie für die Bereitstellung der umfangreichen Messdaten aus dem Bereich Luftschadstoffe.

Der Firma Rheinzink danke ich für ihre engagierte Unterstützung im Rahmen der verschiedenen Forschungsvorhaben, verbunden mit erweiterten Einblicke in die Geschichte des Werkstoffes Zink und in die Stationen der Herstellung von Titanzink und seiner Anwendung im Hochbau.

Nicht zuletzt auch ein Dank an meine Kinder Pirko und Wibke, die mir im Rahmen der Ultraschall-Messungen der Objekte vor Ort geholfen haben. Sie haben auch die Übertragung der sehr umfangreichen Messdaten in das EDV-gestützte Auswertungsprogramm kontrolliert.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Frau und Kollegin Dipl.-Ing. Architektin Renate Pohl, die mich auf allen Stationen dieser Arbeit nicht nur vor Ort fachlich hilfsbereit, sondern darüber hinaus auch menschlich verständnisvoll begleitet und unterstützt hat. Sie hat die Fertigstellung dieser Arbeit leider nicht mehr erleben können.

In liebevoller Erinnerung und Dankbarkeit widme ich ihr diese Arbeit.

### **Drei deutsche und englische Schlagworte zum Inhalt**

Titanzink

Zinkfrachten

Ultraschallmessungen

titanium zinc

runoff rate

ultrasonic measurement

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<b>Abstract in deutscher und englischer Sprache</b>	8
<b>1 Allgemeines und bautechnischer Hintergrund</b>	12
1.1 Titanzink im Hochbau	12
1.2 Herstellung von Zink bzw. Titanzink und technische Daten	16
1.2.1 Historische Betrachtung	16
1.2.2 Gegenwärtiger Herstellungsprozess von Zink	16
1.2.3 Heutiger Herstellungsprozess von Titanzink	17
1.2.4 Oberflächenqualitäten der Metallbänder und Tafeln aus Titanzink	22
1.2.5 Technische Daten von Titanzink	24
1.3 Konstruktionsprinzipien von Dächern und Wänden im Hochbau mit Deckung bzw. Bekleidung aus Titanzink	25
<b>2 Zielsetzungen der Untersuchung und Methode</b>	28
2.1 Allgemeines	28
2.2 Zielsetzungen für das Untersuchungsverfahren „Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag“	30
2.3 Zielsetzungen für das Untersuchungsverfahren „Dickenmessung mit der Ultraschall-Prüftechnik“	31
2.4 Methode	31
2.4.1 Untersuchungsverfahren „Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag“	31
2.4.2 Untersuchungsverfahren „Dickenmessung mit der Ultraschall-Prüftechnik“	33
<b>3 Ultraschall-Prüftechnik</b>	34
3.1 Allgemeines	34
3.2 Ultraschall-Wanddickenmessgerät CL 304 und Prüfköpfe	35
3.3 Einfluss der Oberflächenbeschaffenheiten der Dachdeckung bzw. der Wandbekleidung aus Titanzink	41
3.4 Einfluss der Anisotropie von Titanzink	43
<b>4 Ultraschall-Wanddickenmessungen an 56 Objekten</b>	44
4.1 Zusammenstellung der untersuchten Objekte und Zeitdaten der Messungen	44
4.2 Bezeichnungen der Mess-Stationen an den Gebäuden	45
4.3 Einflussgrößen Schallgeschwindigkeit, Betriebstemperatur des Messgerätes, Temperatur der Metalldeckung und thermische Expansion von Titanzink	49
4.4 Ablauf der Messungen	51

4.5	Einfluss der Metalltemperatur auf die Ultraschall-Präzisionsmessungen	53
4.5.1	Ermittlung des thermischen Expansionskoeffizienten $\alpha$ für Titanzink senkrecht zur Oberfläche der Metallbänder	54
4.5.2	Ermittlung der temperaturabhängigen Korrekturwerte Dickenmessungen an Probetafeln in einer Klimakammer	57
4.5.3	Möglichkeiten der Berücksichtigung des Temperatureinflusses beim Messvorgang bzw. bei der Auswertung der Messergebnisse	69
4.6	Bestimmung der Bezugstemperatur („Nullpunkt“) für die Auswertung der Messungen	72
4.7	Zusammenfassung mehrerer Dachflächen eines Gebäudes mit gleichen Randbedingungen zu einer Gesamtfläche für die statistische Auswertung	74
4.8	Allgemeine Angaben zur Ermittlung des Vertrauensbereichs der Mittelwerte und der Dickenänderung pro Jahr	75
4.9	Angaben zur Zeitkorrektur („Normierung“)	80
4.10	Objektbeispiel: Gebäude Nr. 14, Lehrbäckerei, Bad Zwischenahn OT Rostrup	82
4.11	Zusammenfassung von Auswertungsergebnissen der 56 Objekte	82
<b>5</b>	<b>Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag - Freibewitterungsversuche in Hannover-Herrenhausen (Standort A) und Hannover-Langenhagen (Standort B)</b>	92
5.1	Freibewitterungsversuch Hannover-Herrenhausen (Standort A) (27.11.1990 bis 19.10.2003)	92
5.1.1	Allgemeine Angaben zum Standort A und Werte für Schadstoffe der Luft	92
5.1.2	Kennzeichnung und Anordnung der Versuchsflächen	98
5.1.3	Aufbau der Versuchsflächen, Vorgehensweise bei der Untersuchung, der Probenentnahmen und der Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag Erster Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 21.12.1993	99
5.1.4	Allgemeine Ausführungen Zweiter Versuchsabschnitt: 22.12.1993 bis 19.10.2003	105
5.1.5	Vorbemerkungen und Periodendauer Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003	107
5.1.6	Auswertung der Ergebnisse für Zinkfrachten und Niederschlag Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003	109
5.1.7	Zusammenhang zwischen Zinkfrachten und Orientierung der Dachflächen Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003	117
5.1.8	Zusammenhang zwischen Zinkfrachten und Niederschlag Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003	118
5.1.9	Zusammenhang zwischen Zinkfrachten, Luftschadstoffen (SO <sub>2</sub> - NO <sub>2</sub> - NO <sub>x</sub> ) und Gesamtdeposition (Staub - Sulfat - Nitrat - Chlorid) Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003	123
5.1.10	Zusammenhang zwischen Zinkfrachten und Dachneigung Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003	134
5.1.11	Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit - walzblank und vorbewittert blaugrau Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003	137

5.1.12	Masse der anhaftenden Korrosionsprodukte Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003	141
5.2	Freibewitterungsversuch in Hannover-Langenhagen (Standort B) Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013	147
5.2.1	Allgemeine Angaben zum Standort B und zur Durchführung der Untersuchungen	147
5.2.2	Ergebnisse für Zinkfrachten und Niederschlag - Standort B Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013	149
5.3	Problemstellung bei der Auswertung im Hinblick auf partikuläres Zink	156
5.4	Zusammenfassung der Mess- und Auswertungsergebnisse für die Standorte Hannover-Herrenhausen (Standort A) und Hannover-Langenhagen (Standort B)	158
5.4.1	Ergebnisse für Zinkfrachten und Niederschlag	158
5.4.2	Ergebnisse für die fest anhaftenden Korrosionsprodukte und Gesamtabtrag	164
<b>6</b>	<b>Vergleichende Betrachtung der Ergebnisse der Untersuchungsverfahren</b>	
	- Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik - Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag	170
6.1	Vorbemerkungen	170
6.2	Objekt 54 mit vier Freibewitterungs-Versuchsflächen Hannover-Herrenhausen (Standort A) Hannover-Langenhagen (Standort B) Auswertungsergebnisse der Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik	172
6.3	Auswertung und Beurteilung der Ergebnisse der beiden Untersuchungsverfahren Objekt 54 mit vier Freibewitterungs-Versuchsflächen	198
<b>7</b>	<b>Schlussbetrachtung und Ausblick</b>	202
<b>8</b>	<b>Anhang</b>	206
8.1	Objektbeispiel Gebäude Nr.: 14, Lehrbäckerei, Bad Zwischenahn OT Rostrup	206
8.2	Kartenmaterial	235
<b>9</b>	<b>Quellen- und Literaturverzeichnis</b>	238
<b>10</b>	<b>Abbildungsnachweise</b>	241
	<b>Lebenslauf</b>	242
	<b>Eidesstattliche Erklärung</b>	243

## Abstract in deutscher und englischer Sprache

Die Bestimmung der Verringerung der Dicke von Dachdeckungen bzw. Wandbekleidungen von Gebäuden aus Metall durch atmosphärische Korrosion ist aus verschiedenen Gründen sehr wichtig, z. B. um:

- o Die Dauer der Funktionstüchtigkeit von Bauteilen bestimmen zu können - ein technischer und ein ökonomischer Aspekt,
- o Werte für den Eintrag von Korrosionsprodukten in die Umwelt angeben zu können - ein ökologischer Aspekt.

In dieser Arbeit wird das Metall Titanzink untersucht. Für die Beurteilung der oben genannten Aspekte ist u. a. die Ermittlung des jährlichen, flächenbezogenen Masseverlustes über Zinkfrachten im Regenwasser, Angabe in  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , bzw. die Verringerung der Dicke der Metallschicht, Angabe in  $\text{mm}/\text{a}$  bzw. in  $\mu\text{m}/\text{a}$ , erforderlich.

In der Fachliteratur befinden sich eine Vielzahl von Untersuchungen über die Korrosionsmechanismen und die Größenordnung von Zinkfrachten. Allerdings resultieren viele Ergebnisse nur aus kurz- bis mittelfristigen Untersuchungszeiten (ein bis etwa zehn Jahre) und partiell auch aus Zeiten mit hohen Schadstoffbelastungen der Luft. Diese Belastungen haben sich in der Bundesrepublik Deutschland und auch in anderen europäischen Ländern in den letzten zwei Jahrzehnten deutlich verringert. Es war daher erforderlich, aktuelle Werte für den Zinkabtrag, verursacht durch die atmosphärische Korrosion, zu ermitteln.

**Das erste Ziel** dieser Arbeit ist daher, aktuelle Werte für den Zinkabtrag zu bestimmen. Hierfür sind „zeitnahe“ Langzeitversuche erforderlich. Dafür wurden an den Standorten Hannover-Herrenhausen (27.11.1990 bis 19.10.2003) und in Hannover-Langenhagen (20.10.2003 bis 19.10.2013) Freibewitterungsversuche durchgeführt. Die Dauer des Langzeitversuchs betrug insgesamt 8363 Tage, bzw. 22,9123 Jahre.

Die Freibewitterungsversuche bestanden aus vier nach Westen orientierte Dachflächen. Jede dieser Flächen, in der Größe von  $4 \text{ m}^2$ , wurde mit zwei Scharen in Doppel-Stehfalztechnik eingedeckt. Jeweils zwei Dachflächen waren  $7^\circ$  bzw.  $45^\circ$  geneigt. In beiden Dachneigungsgruppen wurde Titanzink mit den Oberflächenqualitäten „walzblank“ und „vorbewittert blaugrau“ verwendet.

Die Zinkionenkonzentrationen im aufgefangenen Niederschlagswasser (Mischproben aus jeweils zwei Monaten) wurden mit Hilfe der Atom-Absorptions-Spektrometrie (AAS) bzw. der Plasma-Emissions-Spektrometrie (ICP-AES) bestimmt; multipliziert mit der jeweiligen Niederschlagsmenge ergibt sich die Zinkfracht in  $\text{g}/\text{m}^2$  pro Versuchsfläche und Periode.

Die Zinkfrachten können, flächen- und zeitbezogen, unabhängig von dem vorliegenden chemischen Bindungszustand, auf den elementaren Zustand umgerechnet werden. Für die Betrachtung der Dickenabnahme - Angabe z. B. in  $\text{mm}/\text{a}$  bzw. in  $\mu\text{m}/\text{a}$  - geschieht dies über die Dichte von Titanzink mit  $7,2 \text{ g}/\text{cm}^3$ .

Vom Niedersächsischen Landesamt für Ökologie (NLÖ), wurden dem Autor dieser Arbeit die umfangreichen Messergebnisse von den im Stadtgebiet von Hannover verteilten Mess-Stationen für Luftschadstoffe (SO<sub>2</sub>-NO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub>) und Gesamtdeposition für Staub - Sulfat - Nitrat - Chlorid für die Auswertung zur Verfügung gestellt.

**Das zweite Ziel** dieser Arbeit ist, verschiedene Einflüsse mit zu untersuchen und zwar die Einflüsse aus den:

- o Materialspezifischen Eigenschaften  
(Oberflächenqualität „walzblank“ bzw. „vorbewittert blaugrau“),
- o Dachneigungen (flache und steile Neigung, hier 7° und 45°), nach Westen orientiert  
(Hauptwindrichtung in Hannover),
- o Schadstoffbelastungen  
(Luftschadstoffe aus der Atmosphäre),
- o Niederschlagsereignissen.

**Das dritte Ziel** dieser Arbeit ist, zu untersuchen, ob, bzw. unter welchen Randbedingungen sich die Veränderungen der Dicke der Dachdeckungen bzw. der Wandbekleidungen aus Titanzink auch mit der Ultraschall-Prüftechnik verlässlich genau bestimmen lassen.

Die Dickenmessung mit der Ultraschall-Prüftechnik, mit einer für den speziellen Fall bekannten Schallgeschwindigkeit, basiert auf der Messung der Laufzeit eines extrem kurzen Schallimpulses in der Schicht des zu prüfenden Materials. Die Schallgeschwindigkeit wird u. a. auch von der Temperatur der zu prüfenden Materialschicht beeinflusst. Diese temperaturabhängige Veränderung der Schallgeschwindigkeit ist die wesentlichste Einflussgröße bei der Dickenmessung.

Zur Bestimmung dieser Einflussgröße, mussten temperaturabhängige Korrekturwerte für Titanzink ermittelt werden. Hierzu wurden in einer Klimakammer umfangreiche Messungen an Titanzinktafeln verschiedener Dicken und Oberflächenqualitäten bei verschiedenen Metalltemperaturen durchgeführt.

Unter Verwendung dieser Werte wurde ein Prüf- und Auswertungskonzept für das Untersuchungsverfahren „Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik“ entwickelt. Mit Hilfe dieses Konzeptes wurden Ultraschall-Wanddickenmessungen an 55 Gebäuden, bundesweit verteilt, durchgeführt und ausgewertet. Die vier Dachflächen des Freibewitterungsversuchs, an denen die Größenordnungen der Zinkfrachten bestimmt worden sind, wurden auch mit der Ultraschall-Prüftechnik in einem Zeitraum von 16,3 Jahren messtechnisch untersucht.

Das durchgeführte Vorhaben - Messungen an denselben Versuchsflächen mit zwei verschiedenen Untersuchungsverfahren - gestattet über den Vergleich der Messwerte eine abgesicherte Bewertung hinsichtlich der Eignung des Messverfahrens „Ultraschall- Prüftechnik“.

## Abstract

It is important to determine the extent in which atmospheric corrosion reduces the thickness of roofing material as well as metal cladding for a number of reasons including:

- o Determining the period in which building material can remain functional – a technical and an economical aspect,
- o Recording processes of corrosive material for environmental purposes – an ecological aspect.

This study investigates the metal titanium zinc. In order to evaluate these aspects it is necessary to establish the yearly reduction in surface mass due to the runoff of zinc particles caused by rain water, given in  $\text{g}/(\text{m}^2\text{a})$ , as well as the reduction in thickness of the metal surface itself, given in  $\text{mm}/\text{a}$  or  $\mu\text{m}/\text{a}$  accordingly.

A large number of studies on corrosion processes and the eroding rate of zinc exist. Many of these results, however, are based on a short or medium term duration (one to ten years) and, in part, have been carried out in periods when the levels of air pollution had been high. Air pollution in Germany has reduced significantly in the previous two decades. New results on the release of zinc due to atmospheric corrosion were, therefore, required.

**The first aim** of this study is to obtain current data on the release of zinc. In this respect, up-to-date scientific results from a long term investigation are necessary.

Outdoor exposure tests were carried out in two locations, namely, Hanover-Herrenhausen (27/11/1990 to 19/10/2003) and Hanover-Langenhagen (20/10/2003 to 19/10/2013). The period of this long term investigation was 8363 days or 22.9123 years.

The objects for the outdoor exposure tests were four roofs facing west. Each surface had an area of  $4\text{m}^2$  and was covered with two panels using double standing seam technology. Two of these had an inclination of  $7^\circ$  resp.  $45^\circ$ . Different finishes of titanium zinc, namely, brightly rolled and pre-weathered blue-grey were used in both inclination groups.

The concentration of zinc ions in precipitation samples was determined with atom absorption spectrometry (AAS) and plasma emission spectrometry (ICP-AES). By multiplying this by the level of precipitation, the amount of zinc ions in  $\text{g}/\text{m}^2$  per surface for a given period was determined.

Taking the surface and time period into account, the elemental stage can be calculated from the amount of zinc ions regardless of the chemical bonds. In regard to the measurements of thickness, given in  $\text{mm}/\text{a}$  and  $\mu\text{m}/\text{a}$  accordingly, the titanium zinc had a density of  $7.2\text{g}/\text{cm}^3$ .

For the evaluation of the results, measurements of air polluting substances ( $\text{SO}_2$ - $\text{NO}_2$ - $\text{NO}_x$ ) as well as the total deposition of dust, sulphate, nitrate and chloride particles at the experimental stations in Hanover were made available from the State Office for Ecology in Lower Saxony, Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ).



**The second aim** of this study is to investigate additional aspects that have an influence on:

- o characteristics of the material (surface finishes brightly rolled and pre-weathered blue-grey),
- o roof inclination (flat and steeply sloping, 7° and 45°) facing west,
- o air pollution,
- o precipitation

**The third aim** of this study is to determine whether the ultrasonic measurement method is reliable in measuring the thickness of titanium zinc roofing and cladding and the conditions necessary for this.

The ultrasonic measurement method, which is used to determine thickness, is based on the measurement of rapid acoustic pulses that are sent through the layers of the material under examination – the exact acoustic velocity of this material is known.

The acoustic velocity is influenced, amongst other factors, by the temperature of the layers of material. This change in the acoustic velocity due to temperature is the main determining factor in the measurement of the thickness.

In order to establish this determining factor, correction values based on temperature for titanium zinc had to be ascertained. Complex measurements were carried out in a climate chamber on titanium zinc panels with varying thicknesses and surface finishes at different temperatures.

Based on these results, a concept for the examination and evaluation in determining thickness using the ultrasonic measurement method was developed. This was used for ultrasonic measurements on the cladding of 55 buildings throughout Germany. The four roofs used for the outdoor exposure tests on the release of zinc ions were also examined with this ultrasonic measurement method over a period of 16.3 years.

The completion of these investigations - two different methods on the same experimental surfaces - allowed an accurate evaluation of the adequacy of the ultrasonic measurement method which was based on a comparison of both results.

# 1 Allgemeines und bautechnischer Hintergrund

## 1.1 Titanzink im Hochbau

Bei der Entscheidung für den Einsatz von Metall bzw. bei der Planung und Ausführung von Wandbekleidungen und Dachdeckungen mit Metall, z. B. aus Kupfer, Aluminium, Edelstahl und Titanzink, sind neben anderen auch die folgenden, technischen Eigenschaften von Bedeutung:

- o die Präzision der Produkte in der Zusammensetzung (Legierung) und Abmessung,
- o die Präzision in der Verarbeitung der Produkte am Gebäude mit Hilfe verschiedener Techniken, wie z. B. schuppenförmige Überlappungen, verschiedene Falzverbindungen, „Klippverbindungen“ und Löten,
- o gute Verformbarkeit, d. h. gute Anpassbarkeit an gekrümmte Flächen,
- o das geringe Gewicht aufgrund minimaler Dicke,
- o der sehr geringe Wartungsaufwand, verbunden mit einer relativ großen funktionstüchtigen Standzeit (Langlebigkeit).

Diese beispielhaft angeführten Eigenschaften gestatten gegenüber den anderen, den so genannten „klassischen“ Materialien, wie Steinplatten, Schiefer, Holzschindeln, Dachziegeln usw. eine besondere Gestaltungsvielfalt, z. B. in der Ausbildung des oberen Abschlusses eines Gebäudes, dem Dach bzw. ganzer Dachlandschaften. Dies belegen historische und neuzeitliche Gebäude, z. B. die Abbildungen 1 bis 6. Im Rahmen der in diesem Abschnitt nur kurz zu behandelnden Thematik gilt es dabei nicht nur der isolierten Betrachtung, dem Gebäude als „Solitär“, einen entsprechenden Stellenwert einzuräumen. Es sind darüber hinaus auch die städtebaulichen Aspekte eines Gebäudes („Ensemble“), d. h. die Addition und Kombination von Gebäuden zu einem übergeordneten Ganzen in der Stadt von gleichermaßen wichtiger Bedeutung anzuführen.

*„Es kommt nun darauf an, was in einem Enviroment in diesem Sinne bewirkt, bewusst durch Planung ins Spiel zu bringen, dass die so gestaltete Situation in dem Menschen etwas „auslöst“, was zu einer Übereinstimmung mit dieser „Umgebung“ führt, die ein Gefühl der Ruhe und Zufriedenheit, aber auch eine Anregung von Phantasie und Vorstellungskraft sein kann.“ [Lit. 46].*

Diese hier aus verständlichen Gründen nur kurz angesprochene Thematik beinhaltet weiterhin auch die Aspekte:

- o Konstruktion und Detail als Elemente, welche die „Form“ mitbestimmen,
- o Homogenität, Einheit in der Vielfalt von verwendeten Materialien, („in der Beschränkung zeigt sich der Meister“),
- o Charakter,
- o Identität von außen und innen und von Gebäude und Umwelt.

Die Form, die Konstruktion und die Gestaltung bedingen sich wechselseitig hinsichtlich der Wahl des Werkstoffes für die Gebäudehülle. Die in diesem Abschnitt nur skizzenhaft angerissenen Aspekte sollen dazu dienen, den in dieser Arbeit behandelten technischen/umwelttechnischen Aspekt in einen größeren Kontext einzubinden. Es folgen einige ausgewählte Beispiele, Abbildungen 1 bis 6, von mit Titanzink ausgerüsteten, gestalteten Gebäuden (Wandbekleidungen und Dachdeckungen).



**Abbildung 1:** Wallraff-Richartz-Museum / Museum Ludwig und Konzerthalle in Köln.  
 Architekten: Busmann & Haberer; BDA, Köln. © Rheinzink.



**Abbildung 2:** Wohnhaus „The Bird“ CZ-Kuncice pod Ondrejnikem.  
 Architekt: Atelier Simona - projekce a inženýrská činnost, s.r.o., CZ-Ostrava. © Rheinzink.





**Abbildung 3:** Berlin Museum, Jüdisches Museum.  
Architekt: Daniel Libeskind, Architectural Studio, Berlin. © Rheinzink.



**Abbildung 4:** Olympic Sports Centre, Jinan, China.  
Architekt: China Construction (Shenzhen) Design International, Shenzhen, China. © Rheinzink.





**Abbildung 5:** Palais Lumière, Kultur- und Kongresszentrum, F-Evian. Sanierung mit reichhaltiger Ornamentik. Architekten: M. Spitz, F-Colmar, Francois Chatillon, architecte du patrimoine, F-Ferney Voltaire. © Rheinzink.



**Abbildung 6:** Tschuggen Berggasthaus, Arosa, Schweiz. Architekt: Prof. Mario Botta, Lugano, Schweiz. © Rheinzink.

## 1.2 Herstellung von Zink bzw. Titanzink und technische Daten

### 1.2.1 Historische Betrachtung

Zink kommt in der Natur ausschließlich in Form von Verbindungen vor. Zinkerze - als solche wurden sie noch nicht erkannt - wurden zur Herstellung der Legierung „Messing“ verwendet. So sind Gegenstände aus Messing aus Assyrien und Babylonien aus dem 3. vorchristlichen Jahrtausend bekannt. In Indien wurde um 1200 n. Chr. metallisches Zink hergestellt. Marco Polo berichtete von der Herstellung von Zinkoxid in Persien.

*„Im Jahre 1374 wurde Zink durch die Hindus als neues Metall, das achte zu jener Zeit, erkannt. Es gab bereits damals eine begrenzte Zinkproduktion und einen entsprechenden Handel.“ [Lit. 45].*

In Europa (etwa zu Beginn der christlichen Zeitrechnung) war das „Zyprische Erz“ bekannt, aus dem „falsches Silber“ gewonnen wurde. „Forschungsarbeit“ auf diesem Gebiet leisteten später die Alchimisten bei der Herstellung von Messing - auf der Suche nach einer Herstellung von Gold aus anderen Materialien.

*„Auch wenn Zink seitdem beispielsweise bei der Herstellung von Messing eingesetzt wurde, so vergingen dennoch viele Jahrhunderte, bis es als Metall identifiziert werden konnte. Der Begriff „Zink“ etablierte sich erst im 17. Jahrhundert mit der Wiederentdeckung des Materials.“ [Lit. 45].*

Mitte des 18. Jahrhunderts konnten der deutsche Chemiker Markgraf und der Schwede von Swab metallisches Zink auf verschiedenen Wegen herstellen. Auf die Herstellungsprozesse aus historischer Sicht, soll hier nicht weiter eingegangen werden. Im 18. Jahrhundert nahm in England die erste Zinkhütte Europas ihre Produktion auf. Unter Verwendung des Walzverfahrens durch Hobson und Sylvester wurden Anfang des 19. Jahrhunderts Walzwerke in Lüttich/Liege und in Oberschlesien errichtet.

Im Jahre 1805 hatte man ein Verfahren entwickelt, mit dem sich Zink bei 100 °C bis 150 °C zu einem glatten Blech walzen ließ. Mit diesem so genannten Paketwalzverfahren wurden Tafeln in der Standardabmessung von ca. 1 m · 2 m hergestellt. Mitte des 20. Jahrhunderts wurde dieses Verfahren durch verbesserte Herstellungsprozesse abgelöst.

### 1.2.2 Gegenwärtiger Herstellungsprozess von Zink

Das wichtigste Zinkmineral ist die Zinkblende (ZnS). Zinkminerale enthalten weiterhin auch Blei, Kupfer, Silber, Eisen und Mangan. In der Nähe der Lagerstätten werden die Erze in mehreren Arbeitsschritten zu Konzentrationen aufbereitet. Hieraus entsteht das Ausgangsmaterial für die anschließende Verhüttung. Ein wichtiges Verfahren ist die Zinkelektrolyse. Hierbei wird in folgenden Schritten Feinzink erzeugt:

- o Röstung,
- o Laugung und Laugenreinigung,
- o Elektrolyse, hierbei wird das Zink aus der Neutrallauge an der Kathode ausgeschieden,
- o Umschmelzung der Kathoden zu Zinkblöcken.



### Haupteinsatzgebiete von Zink:

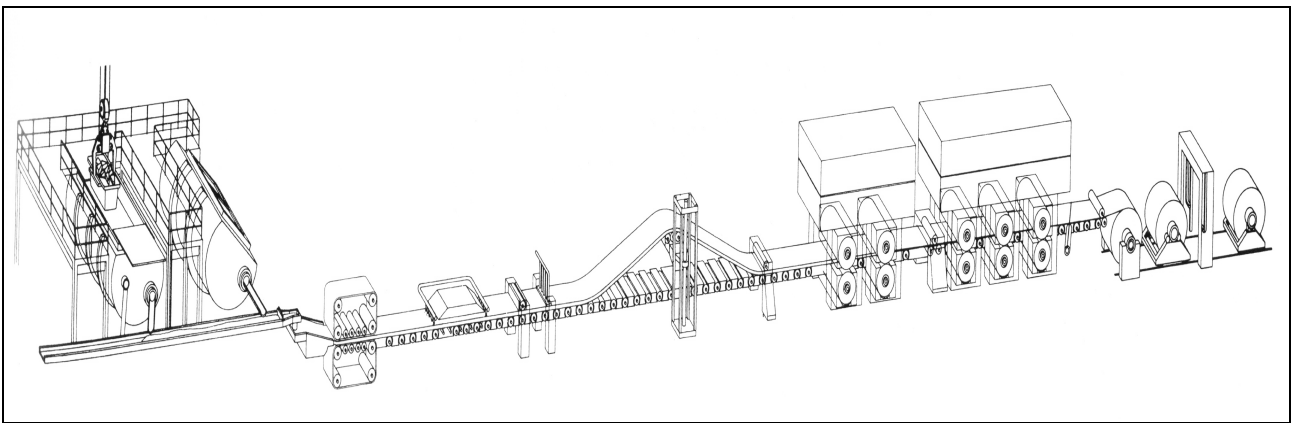
- o im Bauwesen in Form von Blechen und Halbzeugen, hier im Bereich der Wandbekleidung und Dachdeckung und zur Dachentwässerung (Rinnen, Fallrohre),
- o als Bestandteil von Legierungen (z. B. zusammen mit Kupfer entsteht Messing) und zusammen mit Aluminium werden Druckgussteile hergestellt,
- o im Bereich des Korrosionsschutzes von Stahlteilen, hier kommt z. B. das so genannte „Feuerverzinken“ zum Einsatz,
- o als Zusatz, z. B. im Bereich der medizinischen und pharmazeutischen Industrie in Form von Zinkoxid, Zinkstaub und als Spurenelement.

### 1.2.3 Heutiger Herstellungsprozess von Titanzink

Der Grundwerkstoff für die Herstellung von Titanzink ist das Elektrolyt-Feinzink gemäß DIN EN 1179 mit einem Reinheitsgrad von 99,995 %. Für das legierte Material Titanzink macht die Euro-Norm DIN EN 988 präzise Vorgaben, z. B. legt sie die maximal erlaubte Abweichung von der Nenndicke bei Tafeln und Bändern mit max. +/- 0,030 mm fest. Dieser Wert wird für die Produkte der Firma RHEINZINK nach dem Quality Zinc Kriterienkatalog auf 0,02 mm verringert.

Dem Grundwerkstoff Elektrolyt-Feinzink werden in dem Legierungsprozess geringe Anteile von Titan (0,06 bis 0,2 %), Kupfer (0,08 bis 1,0 %) und Aluminium ( $\leq 0,015$  %) zugemischt. Diese Legierungsbestandteile verändern die materialtechnologischen Eigenschaften des Zinks positiv. Dies gilt für die technischen Aspekte bei der späteren Verwendung des Titanzinks im Hochbau und die spätere Patinabildung hinsichtlich der Farbgebung des Materials gleichermaßen.

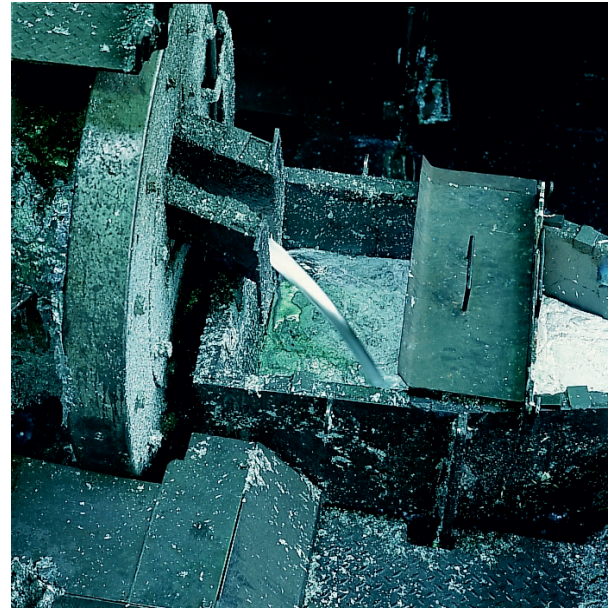
Die Herstellung von Titanzinkbändern geschieht bei der Firma RHEINZINK durch den Einsatz des kontinuierlichen Breitband-Gieß-Walz-Verfahrens; Prinzipdarstellung des Verfahrens siehe Abbildung 7. Die Schritte dieses Verfahrens werden nachfolgend beschrieben und in den Abbildungen 8 bis 12 dargestellt, [nach Lit. 40].



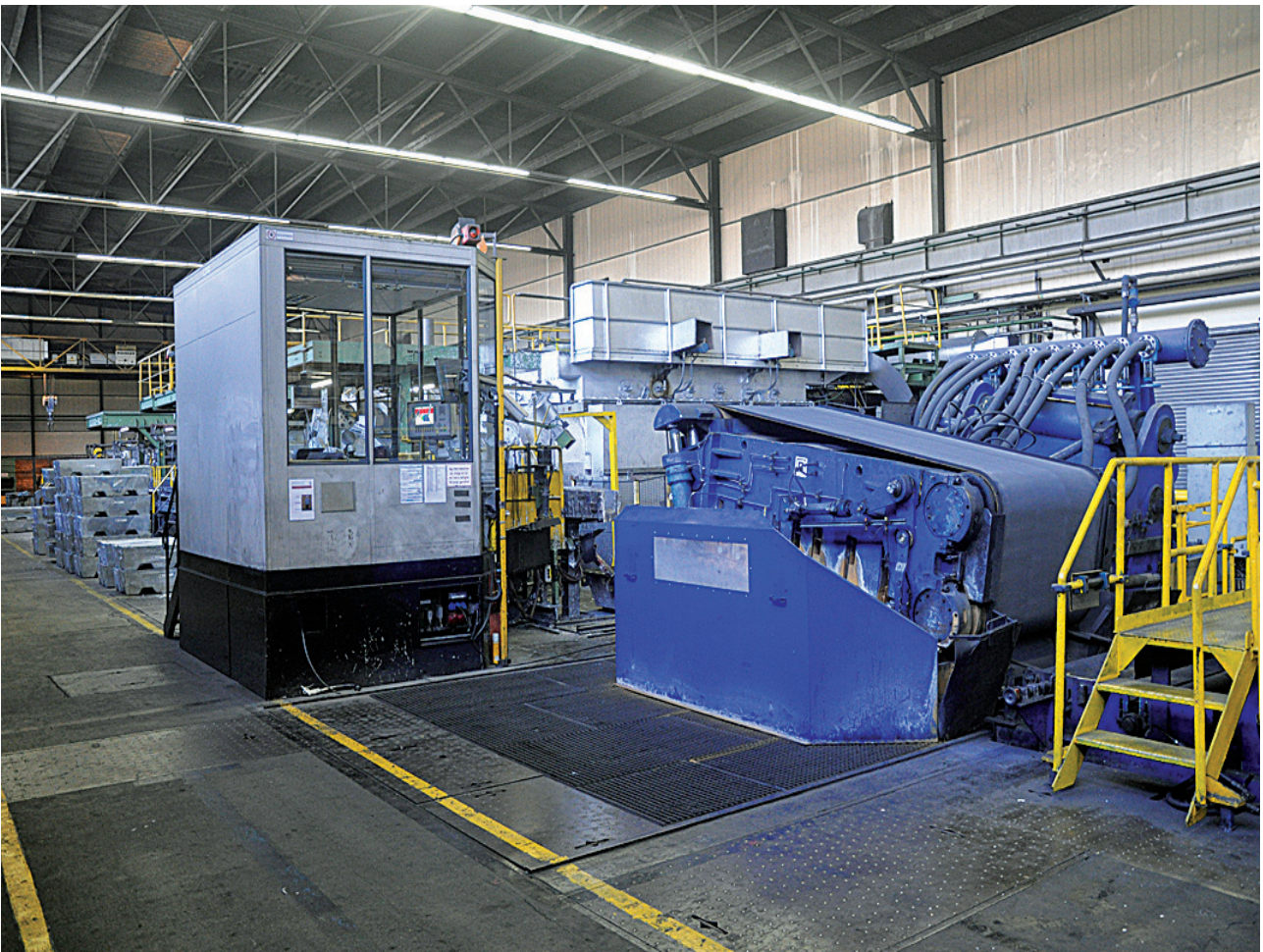
**Abbildung 7:** Prinzipdarstellung des Breitband-Gieß-Walzverfahrens, Weg des flüssigen Metalls bis zum Coil. © Rheinzink.



**Abbildung 8:** Abguss der Vorlegierung aus dem Induktionstiegelofen in eine Gussform.  
© Rheinzink.



**Abbildung 9:** Die Legierung wird bei 500 bis 550 °C zur Gießmaschine geleitet.  
© Rheinzink.



**Abbildung 10:** In der Gießmaschine wird die Legierung bei gleichzeitiger Abkühlung „in Form“ gebracht.  
© Rheinzink.





**Abbildung 11:** Fünf Walzgerüste im Überblick. © Rheinzink.



**Abbildung 12:** Aufwickeln des fertig gewalzten Materials zu 20 to schweren Großcoils am Ende der Walzstraße. © Rheinzink.

### **Schritt 1: Vorlegieren**

In einem Induktions-Tiegelofen wird bei einer Temperatur von ca. 760 °C eine Vorlegierung aus Feinzink, Kupfer (0,08 bis 1,0 %), Titan (0,06 bis 0,2 %) und einem sehr geringen Anteil von Aluminium ( $\leq 0,015$  %) hergestellt. Es entstehen die so genannten Vorlegierungsblöcke.

### **Schritte 2: Schmelzen**

Bei Temperaturen von ca. 550 °C werden in Induktionsöfen das Feinzink und die Vorlegierungsbestandteile geschmolzen. Bei diesem Vorgang durchmischen Induktionsströme die Schmelze bis sie nach fertiger Durchmischung in die Gießmaschine ausgegossen wird.

### **Schritt 3: Gießen**

In der Gießmaschine wird die Homogenisierung der Legierung weiter gefördert und „stabilisiert“. Ein geschlossener Wasserkreislauf kühlt die Legierung unter den Schmelzpunkt ab. Dabei bildet sich ein fester Gussstrang aus.

### **Schritt 4: „Zwischenstation 1“**

Hier wird der Gussstrang zwischen den Stationen „Gießen“ und „Walzen“, d. h. zwischen der Gießmaschine und den Walzgerüsten weiter abgekühlt. An den so genannten Schlingentürmen werden geringfügige Differenzen in der Geschwindigkeit des Gussstranges ausgeglichen.

### **Schritt 5: Walzen**

Die Walzstraße besteht aus fünf Walzgerüsten mit je zwei Walzenpaaren. Jedes Walzenpaar reduziert die Dicke des Werkstoffs um etwa 50 %. In der Walzstraße wird der Werkstoff mit einer speziell eingestellten Emulsion gekühlt und geschmiert. Durch das Zusammenwirken von Druck und Kühlung werden neben der stufenweisen Dickenreduzierung auch metallurgische Eigenschaften positiv beeinflusst, wie z. B. Duktilität, Zugfestigkeit und Zeitstandsfestigkeit. Während des Walzens werden alle wichtigen Daten über eine Messwerterfassungsanlage permanent aufgezeichnet und kontrolliert.

### **Schritt 6: Aufwickeln**

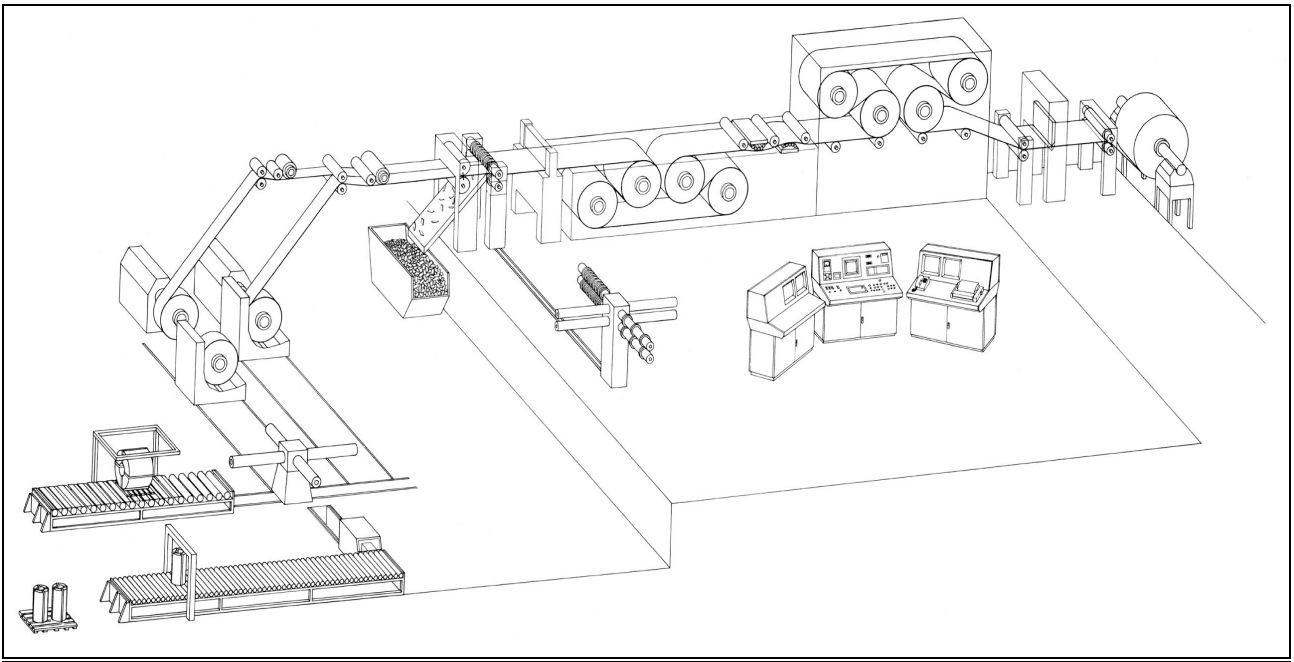
Nachdem der Walzstrang das fünfte Walzgerüst passiert hat - jetzt hat er seine vorgesehene Nennstärke erreicht - wird das Titanzinkband auf einer Spindel zu einem so genannten Großcoil aufgewickelt. Wenn das Coil nahezu sein Höchstgewicht (20 Tonnen) erreicht hat, folgt in einem sehr kurzen Zeitabschnitt ein „fliegender Wechsel“: Eine Schlagschere kappt das Titanzinkband, das fertige Coil wird abgesenkt, eine neue Aufwickelspindel eingesetzt und das Titanzinkband aus der Walzstraße wird wieder in diese Spindel eingefädelt.

### **Schritt 7: „Zwischenstation 2“**

Das Großcoil hat zu diesem Zeitpunkt noch eine Temperatur von etwa 100 °C. Bevor es weiter bearbeitet werden kann, muss es in einer Zwischenlagerung auf Raumtemperatur auskühlen.

### **Schritt 8: Recken und Schneiden**

Jeder Walzvorgang von Dünoblechen erzeugt Spannungen in dem Produkt, die für die spätere Anwendung beseitigt werden müssen. Um diese Spannungen abzubauen, wird das Titanzinkband in einem weiteren Prozess gestreckt, mehrfach gebogen und gerichtet, siehe Abbildung 13. Anschließend kann es dann längs und quer geteilt werden, beispielsweise zu Tafeln in verschiedenen Abmessungen für Dächer und/oder Fassaden bzw. zu Dachentwässerungsprodukten. Auf Kundenwunsch wird es auch zu einem „Kleincoil“ aufgewickelt. Schritte 1 bis 8 nach [Lit. 40].



**Abbildung 13:** *Prinzipdarstellung der Streck-Biege-Richtanlage, Abbau von Spannungen, Teilung in gewünschte Abmessungen längs und quer, Zuführung der weiteren Verarbeitung. © Rheinzink.*

### **Verwendung von Titanzink nach Rückbau von Bauteilen bzw. des ganzen Gebäudes**

Das Recycling von Metallen ist heute wichtiger denn je. Es verringert zum einen die zu deponierenden Stoffmengen und zum anderen schont es Ressourcen und verringert im weitesten Sinne auch Umweltbelastungen.

Bei dem Metall Titanzink bleibt nach seiner Nutzung, z. B. als Wandbekleidungs- oder Dachdeckungsmaterial, nichts als Reststoff zum Deponieren übrig. Der gesamte Schrott kann einer Aufbereitung und Wiederverwendung zugeführt werden. Titanzink ist ohne Qualitätsverlust beliebig oft recycelbar [Lit. 40].

## 1.2.4 Oberflächenqualitäten der Metallbänder und Tafeln aus Titanzink

Für die Anwendung im Bauwesen (Wandbekleidung, Dachdeckung und als Produkt zur Dachentwässerung) werden die Bleche in verschiedenen Oberflächenqualitäten hergestellt, z. B. die beiden nachfolgend erläuterten, in den Freibewitterungs-Versuchen verwendeten Qualitäten.

### **Oberflächenqualität „walzblank“**

Bei diesen Produkten erfolgt keine „Vorbehandlung“ im Werk. Erst durch die Freibewitterung bildet sich an der äußeren walzblanken Oberfläche eine blaugraue Schutzschicht (fest anhaftende Korrosionsprodukte) aus, die so genannte Patina. Der Aufbau dieser Schutzschicht verläuft in mehreren Schritten. Mit dem Sauerstoff der Luft bildet sich Zinkoxid. Kommt danach Wasser hinzu (Regen bzw. Wasser aus einer Tauwasserbildung), so bildet sich das Zinkhydroxid.

Dieses wird durch das Kohlendioxid der Luft in basisches Zinkkarbonat, in die so genannte Patina, umgewandelt. Neben dem basischen Zinkkarbonat können je nach der Beschaffenheit der umgebenden Atmosphäre weitere Inhaltstoffe „eingebaut“ werden. Durch diese Gegebenheit kann sich das farbliche Erscheinungsbild der äußeren Oberfläche - in Bezug auf den Vergleich von Gebäuden an verschiedenen Standorten - geringfügig unterscheiden.

Die Geschwindigkeit der Patinabildung ist einerseits abhängig von der Neigung der Flächen (Veränderung der Größe der rezeptiven Fläche für Niederschlag und Tauwasserbildung) und andererseits auch von den Klimabedingungen des Standortes. Dieser Prozess kann bei dieser Oberfläche bis zu einer vollständigen Patinabildung aus optischer Sicht mehrere Jahre dauern.

Dies bedeutet am Anfang der Lebensdauer eine stetige Veränderung in dem optischen Erscheinungsbild eines Gebäudes. Die bei den so genannten Dünoblechen unvermeidlichen unterschiedlichen Lichtreflexionen (Betonung der Welligkeit) verschwinden aber mit dem fortschreitenden Patinierungsprozess. Ist dieser optische Veränderungsprozess in dem äußeren Erscheinungsbild nicht erwünscht, so kann das „vorbewittert blaugraue“ Material verwendet werden.

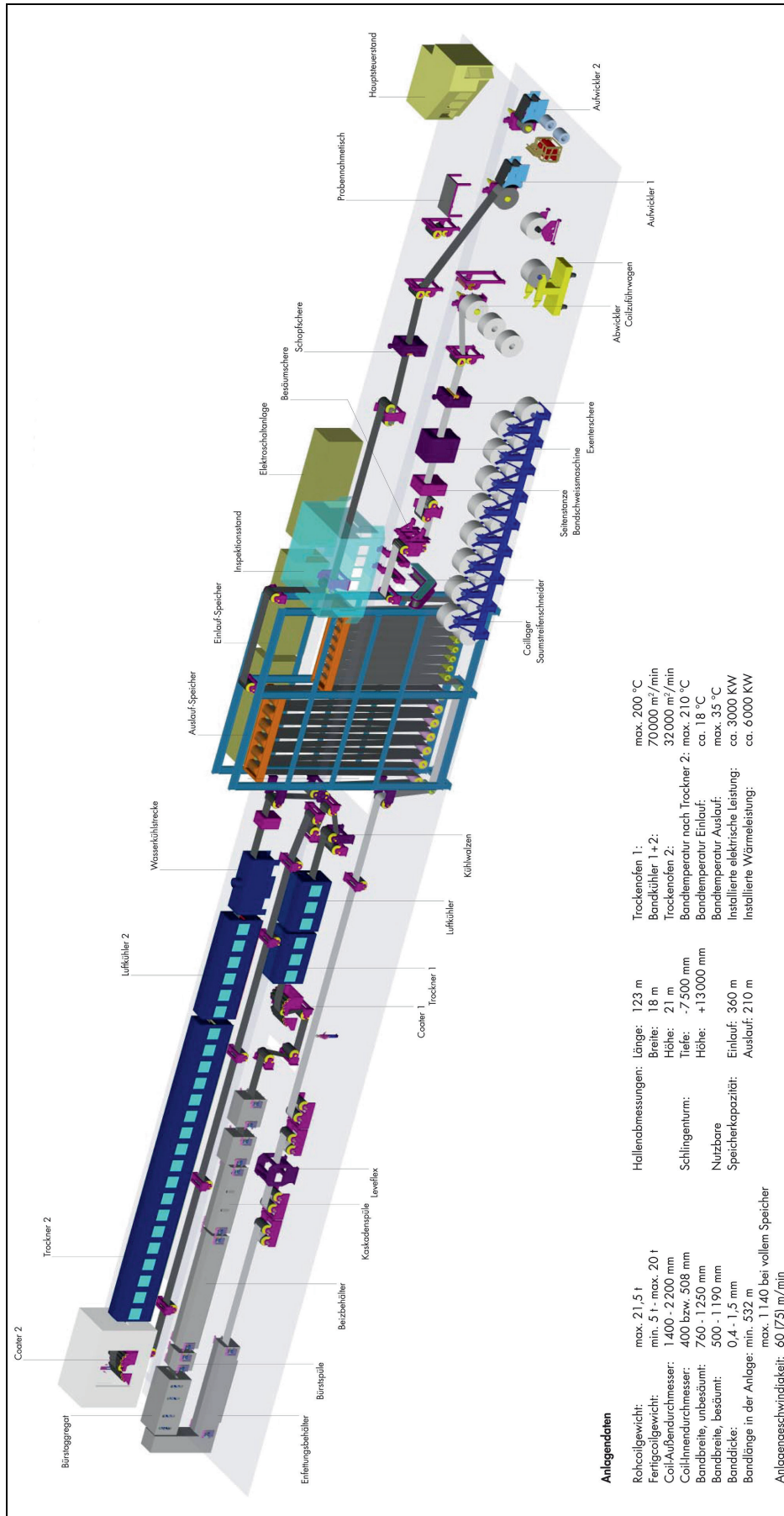
### **Oberflächenqualität „vorbewittert blaugrau“**

Bei dieser Oberflächenbeschaffenheit besteht von „Anfang an“, das, aus optischer Sicht, fast fertige Erscheinungsbild. Dies wird durch ein spezielles Verfahren erreicht, siehe Abbildung 14. In einer Beizanlage erhalten die Metallbänder (sie werden hierfür von einem Großcoil abgewickelt) eine Veränderung der Oberfläche, die sowohl in Farbe als auch in der Struktur schon vor dem Einbau in die Gebäudehülle der einer natürlich bewitterten Oberfläche sehr ähnlich ist.

Diese Behandlung beeinträchtigt in keiner Weise die Verarbeitbarkeit der Metallbänder. So sind z. B. das Falzen und Löten ohne Einschränkung möglich. Die weitere Patinabildung erfolgt bei dieser Oberflächenqualität in ähnlichen Schritten, wie schon bei der Beschreibung des „walzblanken“ Materials ausgeführt.

Für beide Oberflächenqualitäten gilt: Die Zinkkarbonatschicht (Patina) ergänzt sich bei einer Oberflächenbeschädigung (z. B. Kratzer) oder Abtrag - hervorgerufen durch die atmosphärische Korrosion - durch einen, diesem Abtrag entsprechenden „Verbrauch“ von Zink [Lit.28].





**Abbildung 14:** Anlage zur „Vorbewitterung“ des walzblanken Materials im Werk - Prinzipdarstellung © Rheinzink..

## 1.2.5 Technische Daten von Titanzink

### Physikalische Eigenschaften (Werkstoffdicke bis 1 mm)

Dichte	7,2	g/cm <sup>3</sup>
Wärmeleitfähigkeit	109	W/(m · K)
Spezifische Wärmekapazität	398	J/(kg · K)
Elektrische Leitfähigkeit	17	m/(Ω · mm <sup>2</sup> )
Schmelzpunkt	418	°C
Rekristallisationsgrenze	> 300	°C
Thermischer Expansionskoeffizient $\alpha$		
in Walz-Längsrichtung	22,0	10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
in Walz-Querrichtung	17,0	10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
in Dickenrichtung	49,5	10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Elastizitätsmodul	≥ 80000	N/m <sup>2</sup>
Emissionsgrad (zwischen 0 °C und 100 °C)		
Oberflächenbeschaffenheit „walzblank“ (Bewittert nach zwei Jahren)	0,757	
Oberflächenbeschaffenheit „vorbewittert blaugrau“	0,23	
Absorptionsgrad		
Oberflächenbeschaffenheit „walzblank“	0,35	
Oberflächenbeschaffenheit „walzblank“ (Bewittert nach zwei Jahren)	0,856	
Oberflächenbeschaffenheit „vorbewittert blaugrau“	0,687	
Nicht magnetisch		
Nicht brennbar		

### Mechanische Eigenschaften (gemessen in Längsrichtung)

0,2 % (Dehn) Grenze R <sub>p 0,2</sub>	min. 130	N/mm <sup>2</sup>
Zugfestigkeit R <sub>m</sub>	min. 170	N/mm <sup>2</sup>
Bruchdehnung A <sub>10</sub>	≥ 60	%
Bleibende Dehnung (Zeitstandsversuch)	< 0,1	%
Vickershärte HV	≥ 45	

### Gewichtstabelle

Unter Verwendung der Dichte von 7,2 g/cm<sup>3</sup> ergeben sich für die aufgeführten Nenndicken für 1m<sup>2</sup> Deckungsmaterial folgende gerundete Werte:

Nenndicke 0,7 mm 5,0 kg/m<sup>2</sup> - Nenndicke 0,8 mm 5,8 kg/m<sup>2</sup> - Nenndicke 1,0 mm 7,2 kg/m<sup>2</sup>

Die oben aufgeführten technischen Daten wurden aus [Lit. 40] entnommen und teilweise in der Dimensionsangabe von Eigenschaften vereinheitlicht.

### 1.3 Konstruktionsprinzipien von Dächern und Wänden im Hochbau mit Deckung bzw. Bekleidung aus Titanzink

Aus bauphysikalischer/baukonstruktiver Sicht lassen sich zwei Konstruktionsprinzipien unterscheiden:

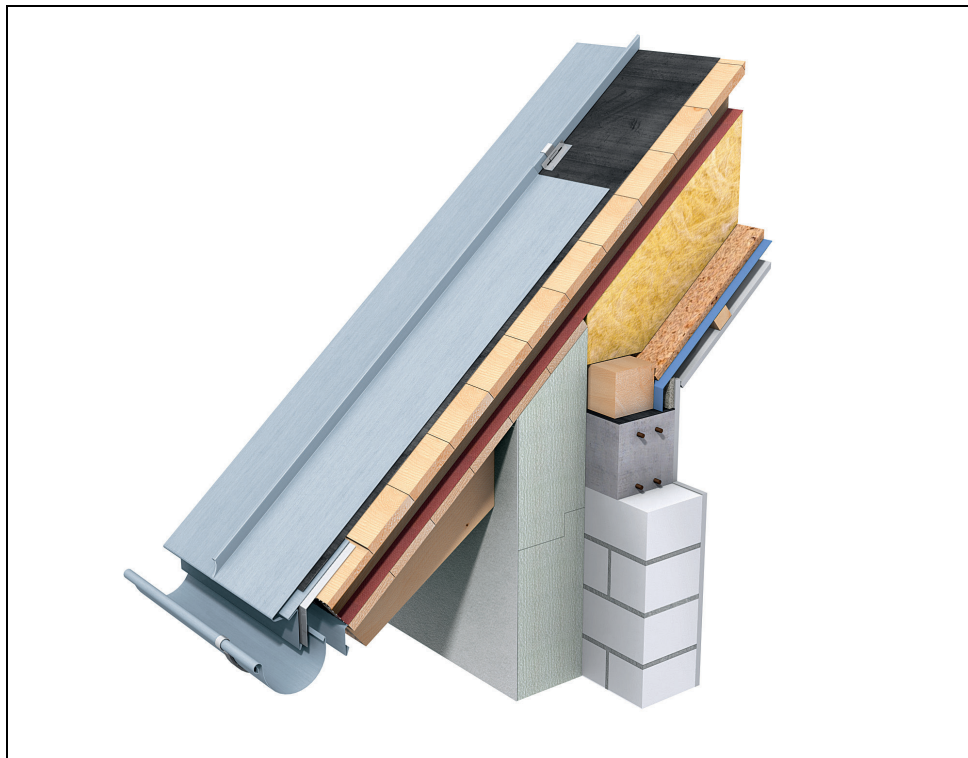
- o belüftete Konstruktionen  
und
- o nicht belüftete Konstruktionen.

#### Belüftete Dachkonstruktionen

Werden Metalldächer nach diesem Prinzip ausgeführt, so lässt sich der Aufbau bzw. die Wirkungsweise wie folgt beschreiben. Die Titanzinkdeckung kann aufgrund ihrer Materialeigenschaften nicht „selbsttragend“ ausgeführt werden. Sie benötigt als Auflage für die Metaldeckung eine tragfähige Unterkonstruktion, so dass sich folgender Aufbau ergibt:

- o Zwischen der Titanzinkdeckung, Trennlage und Tragschicht (Holzschalung bzw. Holzwerkstoffplatte) einerseits und der Wärmedämmschicht und weiteren, innen liegenden Funktionsschichten, z. B. die Dampfbremse/Dampfsperre andererseits, wird eine Luftschicht angeordnet („Belüftungsebene“), die über Öffnungen mit der Außenluft verbunden ist.
- o Die Durchströmung dieser Luftschicht soll sicherstellen, dass Feuchtigkeit, die über verschiedene Transportmechanismen in den Dachaufbau gelangt ist, in die Außenluft abgeführt wird, bevor sie sich schädigend auf die Materialien der Dachkonstruktion auswirken kann.

Eine mögliche Schichtenfolge der belüfteten Konstruktion ist in Abbildung 15 dargestellt.



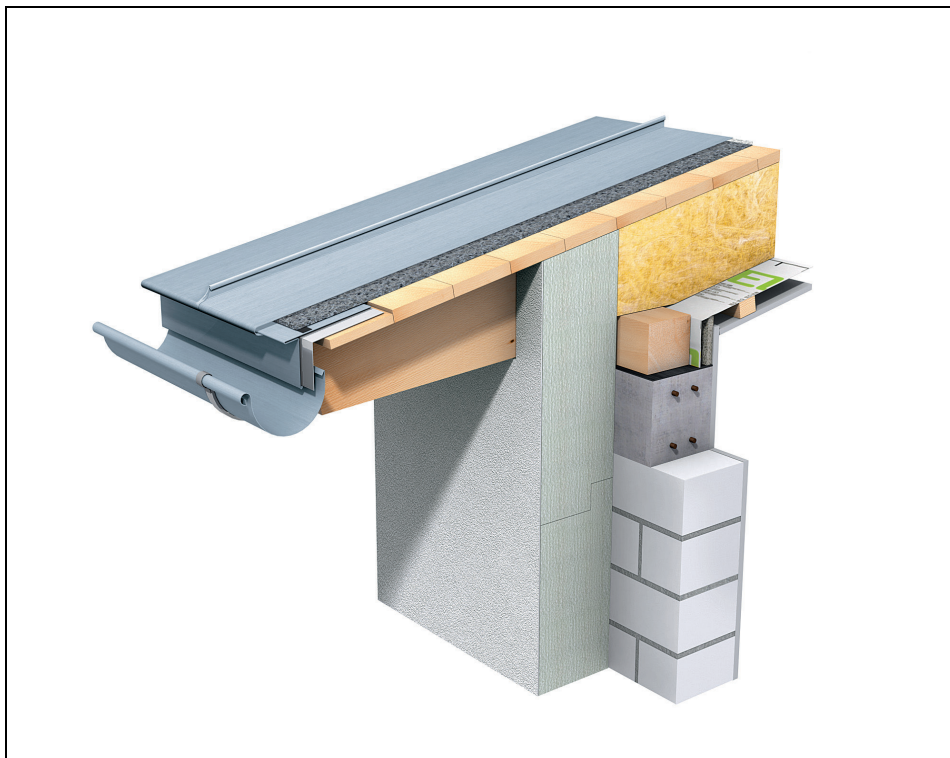
**Abbildung 15:** Aufbau einer belüfteten Dachkonstruktion mit Titanzinkdeckung. © Rheinzink.

## Nicht belüftete Dachkonstruktionen

Werden Metalldächer nach diesem Prinzip ausgeführt, so lässt sich der Aufbau bzw. die Wirkungsweise wie folgt kurz beschreiben:

- o Zwischen der Titanzinkdeckung, Trennlage, Tragschicht und den weiteren Funktionsschichten, z. B. Wärmedämmschicht und Dampfbremse/Dampfsperre, wird **keine** belüftete Schicht angeordnet. Je nach Konstruktionsart übernimmt die Wärmedämmschicht (druckfest) oder eine andere Funktionsschicht (z. B. eine Holzschalung) das sichere Auflagern der Titanzinkdeckung (Tragschicht).

Eine mögliche Schichtenfolge der nicht belüfteten Konstruktion ist in Abbildung 16 dargestellt.



**Abbildung 16:** Aufbau einer nicht belüfteten Dachkonstruktion mit Titanzinkdeckung. © Rheinzink.

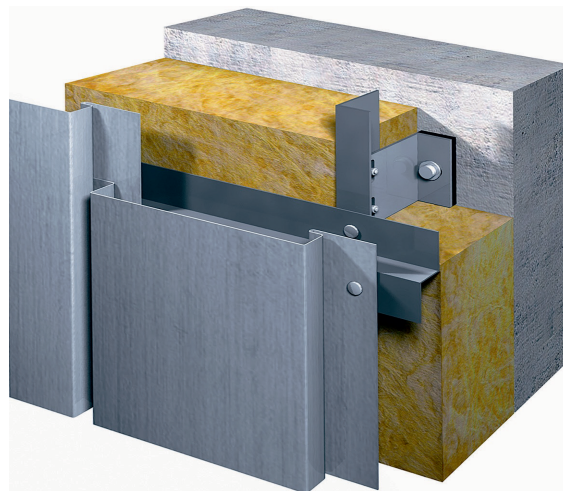
## Wandkonstruktionen

Wandbekleidungen werden überwiegend nach dem belüfteten Konstruktionsprinzip ausgeführt. Für die Unterkonstruktion werden - je nach Erfordernis - Holzprofile bzw. Metallbauteile (z. B. auf Grund von brandschutztechnischen Vorschriften) verwendet. Für die Bekleidung steht eine große Anzahl von Titanzinkprofilen zur Verfügung. Sie ermöglichen eine große Gestaltungsvielfalt, z. B. durch den Einsatz von:

- o Bahnen (z. B. in Stehfalz- bzw. in Winkel-Stehfalztechnik miteinander verbunden),
- o Paneelen (vertikal-, schräg-, bzw. horizontal verlaufend),
- o Wellprofilen,
- o Trapezprofilen,
- o Kassetten,
- o Rauten,
- o Sonderformen, objektbezogen entwickelt und hergestellt, z. B. Photovoltaik Elemente.



Zwei Beispiele für den Aufbau von Wandkonstruktionen sind in Abbildung 17 dargestellt.



---

**Abbildung 17:** Beispiele für den Aufbau einer Wandkonstruktion mit Bekleidung aus Titanzink - Paneeldeckung mit mehrteiliger Unterkonstruktion aus Holz (oben) und mehrteiliger metallener Unterkonstruktion (unten). © Rheinzink.

### **Baukonstruktive/bauphysikalische und anwendungstechnische Erfordernisse bei der Auswahl des Konstruktionsprinzips**

Bei der Auswahl des Konstruktionsprinzips sind bestimmte Merkmale und Erfordernisse zu beachten, wie z. B.:

- o Aufbau der Unterkonstruktion,
- o je nach Konstruktionsprinzip sind bestimmte Funktionsschichten zwingend erforderlich,
- o eventuell ist eine regensichere Abdeckung bei längeren Arbeitspausen erforderlich,
- o Planung des Baustellenablaufs.

Ausführliche Angaben hierzu sind z. B. in [Lit.40] aufgeführt. Sie geben Hilfestellung im Rahmen der Entscheidungsfindung für ein langfristig funktionstüchtiges Außenbauteil.

## 2 Zielsetzungen der Untersuchung und Methode

### 2.1 Allgemeines

Das Dach eines Gebäudes ist durch seine exponierte Lage im Gebäude - im Vergleich mit anderen Außenbauteilen - einer besonders großen Beanspruchung durch Niederschlag ausgesetzt. Für Dachdeckungen aus Metall sind neben der o. a. Beanspruchung, die thermischen Belastungen - bedingt durch solare Einstrahlung und Unterkühlungsvorgänge infolge des Strahlungsaustausches mit dem nächtlichen Himmel - sowie die atmosphärische Korrosion die wesentlichsten Beanspruchungen.

Beim Entscheidungsprozess hinsichtlich des Einsatzes von Metallen als Bedachungsmaterial, z. B. Kupfer, Blei, Aluminium, Edelstahl, werden neben anderen Kriterien (z. B. gestalterischer Aspekt) auch die Dauer der Funktionstüchtigkeit, die Langlebigkeit (der technische und ökonomische Aspekt) und der Eintrag von Metallverbindungen in die Umwelt - in diesem Zusammenhang über Zinkfrachten im Regenwasser (der ökologischer Aspekt) - als Kriterien herangezogen.

Seit mehr als 100 Jahren ist die atmosphärische Korrosion bei Metallbedachungen Gegenstand sowohl grundlagenorientierter als auch anwendungstechnischer Feld- und Laboruntersuchungen.

Bei dieser Korrosionsart entsteht im Bereich mittlerer pH-Werte des Feuchtegehaltes der Atmosphäre zuerst das Korrosionsprodukt Zinkhydroxid, welches nur eine relativ geringe „Schutzwirkung“ besitzt. Bei Zutritt von Kohlendioxid aus der Atmosphäre - an der Titanzinkoberseite der Metalldeckung bei einer Freibewitterung immer gegeben - setzt sich das Zinkhydroxid zu Zinkcarbonat um. An der Atmosphäre erfolgt der „Start“ der Bildung der schützenden, fest anhaftenden Deckschicht je nach dem örtlich vorhandenen Mikroklima an feuchter Luft innerhalb weniger Tage, an trockener Luft kann es mehrere Wochen dauern. Liegen korrosive Verhältnisse vor, so erfolgt ein geringer Abtrag der Schutzschicht (Patina) über Niederschlag, über die so genannte Abschwemmrate (auch Zinkfracht genannt). Die Schutzschicht wird allerdings aus dem metallischen Zinkuntergrund ständig erneuert.

Das Zinkcarbonat ist im Vergleich mit dem Zinkhydroxid schwerer löslich und besitzt eine relativ gute Schutzwirkung. Die Deckschicht aus basischem Zinkcarbonat wird allerdings bereits in verdünnten Säuren ( $\text{pH} < 5$ ) und in hochalkalischen wässrigen Lösungen ( $\text{pH} > 12$ ) verstärkt angegriffen [Lit.28]. Hierbei wird das sonst schwer lösliche Carbonat in leicht lösliche Zinksalze „umgewandelt“.

Für das Dachdeckungsmaterial Titanzink ergeben sich aufgrund der verschiedenartigen atmosphärischen Beanspruchungen des jeweiligen Standortes unterschiedliche Korrosionsraten. Sie setzen sich zusammen aus:

- a) den Masseverlusten in Folge von Niederschlag der über die Dachflächen abgelaufen ist, die so genannte Zinkfracht (Abschwemmrate),
- b) den Zinkanteilen in den der Metalldeckung fest anhaftenden, d. h. aus den auf der Oberfläche verbleibenden Korrosionsprodukten, die so genannte Patina (Deckschicht).

Die Zinkfrachten (Abschwemmraten) werden in  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  angegeben. Die Zinkfrachten können - flächen- und zeitbezogen - unabhängig von dem vorliegenden chemischen Bindungszustand auf den elementaren Zustand umgerechnet werden. Für die Betrachtung der Dickenabnahme - Angabe in  $\text{mm}/\text{a}$  bzw. in  $\mu\text{m}/\text{a}$  - geschieht dies mit der Dichte von Titanzink mit  $7,2 \text{ g}/\text{cm}^3$ .

Für den Eintrag von Titanzink in die Umwelt sind die Zinkfrachten die entscheidende Größe. Die an der Metalldeckung fest anhaftenden, d. h. auf der Oberfläche verbleibenden Korrosionsprodukte gelangen nicht in die Umwelt, da sie im Zuge des Rückbaus von Bauteilen bzw. des gesamten Gebäudes im Rahmen von Recyclingprozessen dem Herstellungsvorgang von neuem Titanzink zugeführt werden können.

Für die vorliegende Arbeit wurden im Rahmen von mehreren Forschungsvorhaben Untersuchungen an Titanzink zur Bestimmung der mittleren jährlichen Dickenänderungen in  $\mu\text{m}/\text{a}$ , bzw. des jährlichen, flächenbezogenen Masseverlustes (Zinkfracht/Abschwemmrate) in  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  aufgrund atmosphärischer Korrosion durchgeführt.

Diese Forschungsvorhaben wurden als „praxisnahe“ Langzeituntersuchungen konzipiert. Dadurch können - gegenüber Kurzzeituntersuchungen - Veränderungen im Bereich der klimatischen Einflussgrößen genauer erfasst werden. Hier sind vor allem Veränderungen in den Schadstoffgehalten der Luft und der Einfluss von speziellen Regenereignissen (z. B. Starkregen oder Nieselregen) zu nennen.

Die Ergebnisse dieser Langzeituntersuchungen sollen - im Vergleich mit älteren Untersuchungsergebnissen aus der Literatur - dazu beitragen, genauere, d. h. „aktualisierte“ Werte für den flächenbezogenen Massenverlust, bzw. für die Dickenänderungen von Dachdeckungen bzw. Wandbekleidungen aus Titanzink angeben zu können.

Die Langzeituntersuchungen wurden mit zwei Verfahren durchgeführt:

- o „Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag“  
und
- o „Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik“.

## 2.2 Zielsetzungen für das Untersuchungsverfahren "Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag"

Es werden die Zinkionenkonzentrationen im Niederschlag bestimmt, der über die Dachflächen eines Freilandversuchs abgelaufen ist. Das Korrosionsverhalten des Metalls Titanzink hängt maßgeblich von der Ausbildung der Deckschicht ab, die durch elektrochemische Vorgänge an der Zinkdeckung entsteht. Der gesamte Korrosionsvorgang - und damit auch die Bestandteile und der Aufbau der Deckschicht - werden u. a. durch die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre und ihrer physikalischen Eigenschaften bestimmt.

Diese Eigenschaften sind langfristig ablaufenden Veränderungen unterworfen und zwar durch vielschichtige miteinander in Wechselbeziehung stehender Einflüsse. Dieses komplexe Geschehen erschwert eine umfassende Erklärung des gesamten Korrosionsverhaltens bzw. das „Isolieren“ eines speziellen Einflusses.

Die Zinkfrachten - in ionischer, kolloidaler, eventuell auch in partikularer Form - fließen mit dem Niederschlagswasser ab. Sie werden z. B. als flächen- und zeitbezogene Zinkfracht in  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  angegeben. In einigen Veröffentlichungen werden hierfür auch die Begriffe flächenbezogene Metallabschwemmung, bzw. Abschwemmrate, verwendet. In der englischen Fachliteratur ist hierfür die Bezeichnung „runoff rate“ gebräuchlich.

**Das erste Ziel** dieses Untersuchungsverfahrens ist, die Zinkionenkonzentration im Regenwasser, welches über die Versuchsflächen abgelaufen ist, zu bestimmen, um damit die Zinkfrachten, Angabe in  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , ermitteln zu können.

**Das zweite Ziel** dieses Untersuchungsverfahrens ist, verschiedene Gegebenheiten mit zu berücksichtigen, so die „Einflüsse“ aus:

- o den materialspezifischen Gegebenheiten -  
walzblankes bzw. vorbewittert blaugraues Material,
- o den Dachneigungen -  
flache und steile Neigung; gewählt wurden  $7^\circ$  und  $45^\circ$  und jeweils die Orientierung Westen (für den Standort Hannover weist Westen die größte Windhäufigkeit auf),
- o den Schadstoffbelastungen -  
Berücksichtigung des Einflusses von „Säurebildnern“ aus der Atmosphäre, soweit Angaben für den jeweiligen Standort verfügbar,
- o der Art und Intensität des Niederschlages.

**Das dritte Ziel** dieses Untersuchungsverfahrens ist, Daten zu ermitteln für die vergleichende Bewertung im Hinblick auf die Eignung des Verfahrens „Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik“ zur Bestimmung der Verringerung der Dicke von Dachdeckungen bzw. Wandbekleidungen aus Titanzink.

## 2.3 Zielsetzungen für das Untersuchungsverfahren "Dickenmessung mit der Ultraschall-Prüftechnik"

Parallel zu dem Forschungsvorhaben - Bestimmung der flächen- und zeitbezogenen Zinkfrachten, Angabe in  $g/(m^2 \cdot a)$  - wurden vom Verfasser weitere Untersuchungen über die gleiche Thematik durchgeführt. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde die Verringerung der Dicke der Metalldeckung aufgrund atmosphärischer Korrosion mit Ultraschall-Präzisionsmessungen bestimmt.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden Dach- und Wandflächen von insgesamt 55 Gebäuden untersucht. Es sind Gebäude, bundesweit verteilt, in der Nähe des Nord- und Ostseebereichs, in Großstädten und in Industrie- und Landgebieten. Die Gebäude wurden jeweils im Abstand von vier Jahren gemessen. Im Mittel besitzt ein Gebäude im Bereich der Dach- und Wandflächen etwa 720 Messpunkte, aufgeteilt in 20er-Blöcke (Messorte).

In das Forschungsvorhaben „Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik“ wurden auch die vier Versuchsflächen aus dem Vorhaben „Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag“ mit einbezogen. Hierbei sollte untersucht werden, ob sich auch das Verfahren „Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik“ zur Bestimmung der Dickenänderung von relativ dünnen Metallschichten unter baupraktischen Bedingungen eignet. Dazu ist es erforderlich, die Ergebnisse beider Untersuchungsverfahren miteinander zu vergleichen, Besonderheiten der beiden Verfahren, Auswertungsgemeinsamkeiten, eventuell vorhandene Einschränkungen bzw. Ausschlusskriterien und eventuell weiteren Forschungsbedarf herauszuarbeiten bzw. angeben zu können.

Das durchgeführte Vorhaben - Messungen an denselben Versuchsflächen mit zwei unterschiedlichen Messverfahren - gestattet u. a. über den Vergleich der Messwerte eine abgesicherte Bewertung hinsichtlich der Eignung des Messverfahrens „Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik“.

Diese Bewertung - unter Einbeziehung der Ergebnisse der Untersuchungen an 55 Gebäuden - ist das **dritte Ziel** dieser Arbeit.

## 2.4 Methode

### 2.4.1 Untersuchungsverfahren „Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag“

Dieses Forschungsvorhaben wurde im Hinblick auf den **gesamten** Dachflächen-Freibewitterungsversuch in der Zeit vom 27.11.1990 bis 19.10.2013 durchgeführt. Er wurde in Bezug auf die Durchführung, der Anzahl der untersuchten Dachflächen und der Standorte in mehrere Versuchsabschnitte gegliedert.

**Der erste Versuchsabschnitt** in Hannover-Herrenhausen (**Standort A**) umfasst die Zeit vom 27.11.1990 bis 21.12.1993. In dieser Zeit wurden insgesamt 21 Dachflächen in einer Größe von  $4 m^2$  untersucht. Die Orientierung der Flächen erfolgte nach Norden / Osten / Süden / Westen. Die Neigung der Dachflächen betrug jeweils  $7^\circ$  und  $45^\circ$ , die Oberflächenbeschaffenheiten jeweils „walzblank“ und „vorbewittert blaugrau“.

Die umfangreichen, spezifischen Auswertungen der in diesem Zeitabschnitt gewonnenen Erkenntnisse sind in der Dissertation von B. Lehmann enthalten [Lit. 22]. Der Verfasser hat diese Dissertation als Gutachter betreut. Die Werte der Zinkfrachten aus dieser Untersuchung für die nach Westen orientierten Versuchsflächen wurden in die vorliegende Arbeit integriert.

**Der zweite Versuchsabschnitt** in Hannover-Herrenhausen (**Standort A**) umfasst die Zeit vom 22.12.1993 bis 19.10.2003. Die Ergebnisse aus dem ersten Versuchsabschnitt gestatteten die Anzahl auf vier ausgewählte Dachflächen (Orientierung Westen) zu reduzieren.

Der Dachflächen-Freibewitterungsversuch im ersten und zweiten Versuchsabschnitt wurde auf dem Gelände des Institutes für Grünplanung und Gartenarchitektur der Universität Hannover in Hannover-Herrenhausen errichtet. Der Standort A des Dachflächen-Freibewitterungsversuchs liegt in unmittelbarer Nähe der meteorologischen Mess-Station des Instituts für Meteorologie und Klimatologie der Universität Hannover.

Durch seine Nähe zu den im Stadtgebiet von Hannover verteilten Mess-Stationen zur lufthygienischen Überwachung (LÜN) vom Niedersächsischen Landesamt für Ökologie (NLÖ), siehe hierzu Abschnitt 8.2 Kartenmaterial, konnten die an den Stationen aufgezeichneten Messergebnisse für die Untersuchungen verwendet werden. Für den dritten Versuchsabschnitt musste ein Standortwechsel vorgenommen werden.

**Der dritte Versuchsabschnitt** in Hannover-Langenhagen (**Standort B**) umfasst die Zeit vom 20.10.2003 bis 19.10. 2013. Der Standort B des Dachflächen-Freibewitterungsversuchs liegt in der Nähe des Flughafens. Dort befindet sich auch die Station 10 338 des Deutschen Wetterdienstes. Die Messergebnisse dieser Station waren frei verfügbar. Ergebnisse von Mess-Stationen zur lufthygienischen Überwachung standen für den dritten Versuchsabschnitt nicht zur Verfügung.

Im dritten Versuchsabschnitt wurden die nach Westen orientierten Flächen des ersten und zweiten Versuchsabschnittes weiter untersucht. Der spezielle Aufbau der Freiland-Versuchsflächen ermöglichte es, für alle drei Versuchsabschnitte die gesamten Niederschläge, die mit der Oberfläche der Titanzinkdächer in Berührung kamen, aufzufangen und die Niederschlagsmengen zu bestimmen.

Die Entnahme der Proben aus den Auffangbehältern (Kunststofftonnen) für die Niederschläge und die Bestimmung der Zinkionenkonzentrationen im gesammelten Regenwasser erfolgte im ersten Versuchsjahr monatlich, im zweiten und dritten Versuchsjahr vierteljährlich. Für die weiteren Versuchsjahre wurde einheitlich ein zweimonatlicher Zeitabschnitt festgelegt.

Die Betreuung der Versuchsflächen, die Entnahmen der Wasserproben, die Zusammenstellung der 1-Liter-Mischproben im Verhältnis der Niederschlagsmengen aus den Tonnenentleerungen innerhalb eines Zeitabschnittes für jede Versuchsfläche und die Auswertungen der Ergebnisse des zweiten und dritten Versuchsabschnittes (22.12.1993 bis 19.10. 2013) wurden vom Verfasser dieser Arbeit durchgeführt.

Die Zinkionenkonzentrationen im aufgefangenen Niederschlag (quantitative Analyse) wurden durch das Institut für Anorganische Chemie der Universität Hannover mit der Atomabsorptions-

spektrometrie (AAS) bzw. mit der Induktiv gekoppelten Plasma-Atom-Emissions-Spektrometrie (ICP-AES) ermittelt. Der Freibewitterungsversuch zur Ermittlung der Zinkfrachten wurde über einen Zeitraum von rd. 22,9 Jahren durchgeführt.

## 2.4.2 Untersuchungsverfahren „Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik“

Die Dickenmessung mit der Ultraschall-Prüftechnik, mit einer für den speziellen Fall bekannten Schallgeschwindigkeit, basiert auf der Messung der Laufzeit eines extrem kurzen Schallimpulses in der Schicht des zu prüfenden Materials. Die Schallgeschwindigkeit wird von der Temperatur der zu prüfenden Materialschicht beeinflusst. Diese temperaturabhängige Veränderung der Schallgeschwindigkeit ist die wesentliche Einflussgröße bei der Dickenmessung.

Zur Bestimmung dieser Einflussgröße mussten temperaturabhängige Korrekturwerte für Titanzink ermittelt werden. Hierzu wurden in einer Klimakammer umfangreiche Messungen an Titanzinktafeln verschiedener Dicke und Oberflächenqualitäten („walzblank“ und „vorbewittert blaugrau“) bei verschiedenen Metalltemperaturen durchgeführt.

Unter Verwendung dieser Werte wurde ein Prüf- und Auswertungskonzept für das Mess-Verfahren „Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik“ entwickelt. Mit Hilfe dieses Konzeptes wurden Ultraschall-Wanddickenmessungen an 55 Gebäuden, bundesweit verteilt, durchgeführt und ausgewertet. Diese Messungen wurden in den Jahren 1991 bis 2006 durchgeführt. Diese Untersuchungsreihe umfasst zwei Gruppen:

### Gebäude mit drei Messungen

Erste Messung z. B. 1991 (Grundmessung)  
Zweite Messung z. B. 1995 (nach vier Jahren)  
Dritte Messung z. B. 1999 (nach acht Jahren)

### Gebäude mit vier Messungen

Erste Messung z. B. 1994 (Grundmessung)  
Zweite Messung z. B. 1998 (nach vier Jahren)  
Dritte Messung z. B. 2002 (nach acht Jahren)  
Vierte Messung z. B. 2006 (nach zwölf Jahren)

Es wurden jeweils Dickendifferenzen zwischen den einzelnen Messungen im Abstand von vier Jahren bestimmt. Sie dienen vorwiegend der Verlaufskontrolle. Die Differenz aus der ersten Messung (Grundmessung) und der letzten Messung wird durch die Anzahl der betreffenden Jahre (acht bzw. zwölf) geteilt. Damit erhält man den mittleren jährlichen Dickenverlust, Angabe in mm/a bzw.  $\mu\text{m/a}$ , für den jeweiligen Untersuchungszeitraum.

Die vier Dachflächen des Freibewitterungsversuchs, an denen die Größenordnungen der Zinkfrachten bestimmt wurden, wurden auch mit der Ultraschall-Prüftechnik in einem Zeitraum von 16,3 Jahren messtechnisch untersucht.

### 3 Ultraschall-Prüftechnik

#### 3.1 Allgemeines

Die Ultraschall-Prüftechnik gehört zu der Gruppe der zerstörungsfreien Werkstoffprüfungen. Diese Gruppe umfasst ein weites Feld verschiedener Untersuchungsmethoden. Sie werden hier insgesamt nicht dargestellt. Ein Gebiet aus dieser Gruppe ist die so genannte Wanddickenmessung. Sie kommt bei der Produktion von Werkstoffen bzw. Bauteilen zur Anwendung. Wanddickenmessungen werden auch an Bauteilen, Installationen bzw. an Schichten von Bauteilen vorgenommen, deren Dicke sich im Laufe der Zeit durch Verschleiß und/oder durch Korrosionsvorgänge verringert.

In homogenen Medien erfolgt die Ausbreitung der Schallwellen mit konstanter Geschwindigkeit. Dies bedeutet, dass die von den Schallwellen durchlaufene Strecke - hier die Dicke der Titanzinkdeckung - proportional zu der dafür benötigten Laufzeit ist. Ähnlich wie beim Echolot (Sonar) basiert die Wanddickenmessung mit dem Ultraschallgerät auf der Messung der Laufzeit eines extrem kurzen Schallimpulses in der betreffenden Schicht eines Materials.

Dieser Impuls wird von einem Prüfkopf in die zu untersuchende Schicht gesendet. Nach der Reflexion an der gegenüberliegenden Oberfläche (Rückwand) - in diesem Fall an der Unterseite der Titanzinkdeckung - wird der Schallimpuls wieder vom Prüfkopf empfangen (Impuls-Echo-Verfahren) und in das Gerät zur weiteren Auswertung gesendet, d. h. hier der Errechnung der Dicke des Prüfgegenstandes.

Das Ultraschall-Wanddickenmessgerät arbeitet also nach folgendem Prinzip:

*„Die Dicke eines Prüfgegenstandes wird durch die genaue Messung der Zeit bestimmt, die ein von einem Wandler erzeugter kurzer Ultraschallimpuls benötigt, um die Werkstoffdicke einmal, zweimal oder mehrere Male zu durchlaufen. Die Werkstoffdicke wird errechnet, indem die für den Werkstoff bekannte Ausbreitungsgeschwindigkeit der Ultraschallwellen mit der Laufzeit multipliziert und durch die Anzahl der Impulsdurchgänge durch die Wand des Werkstoffes dividiert wird.“ [Lit. 6].*

Mit dem Ultraschallgerät wird also nicht direkt die Dicke, sondern die Laufzeit des Ultraschallimpulses gemessen. Die Dicke  $d$  des Materials wird dabei mit Hilfe der im Gerät eingestellten Schallgeschwindigkeit, mit der sich der Ultraschallimpuls im Material ausbreitet, vom Gerät errechnet:

$$d = v \cdot t / n$$

Hierbei bedeuten:

$d$  - die Dicke,

$v$  - die Schallgeschwindigkeit,

$t$  - die gemessene Zeit,

$n$  - die Anzahl der Impulsdurchgänge durch die zu prüfende Metaldeckung.

Die Schallgeschwindigkeit (Longitudinalwellen) in Titanzink beträgt 3477 m/s. Die „tatsächliche“ Schallgeschwindigkeit in der „eingebauten“ Situation wird im Wesentlichen von der Zusammensetzung (Legierung), der Verarbeitung (z. B. auf der Baustelle stark kalt verformte Bereiche) und der Temperatur des Materials zum Zeitpunkt der Messung bestimmt.

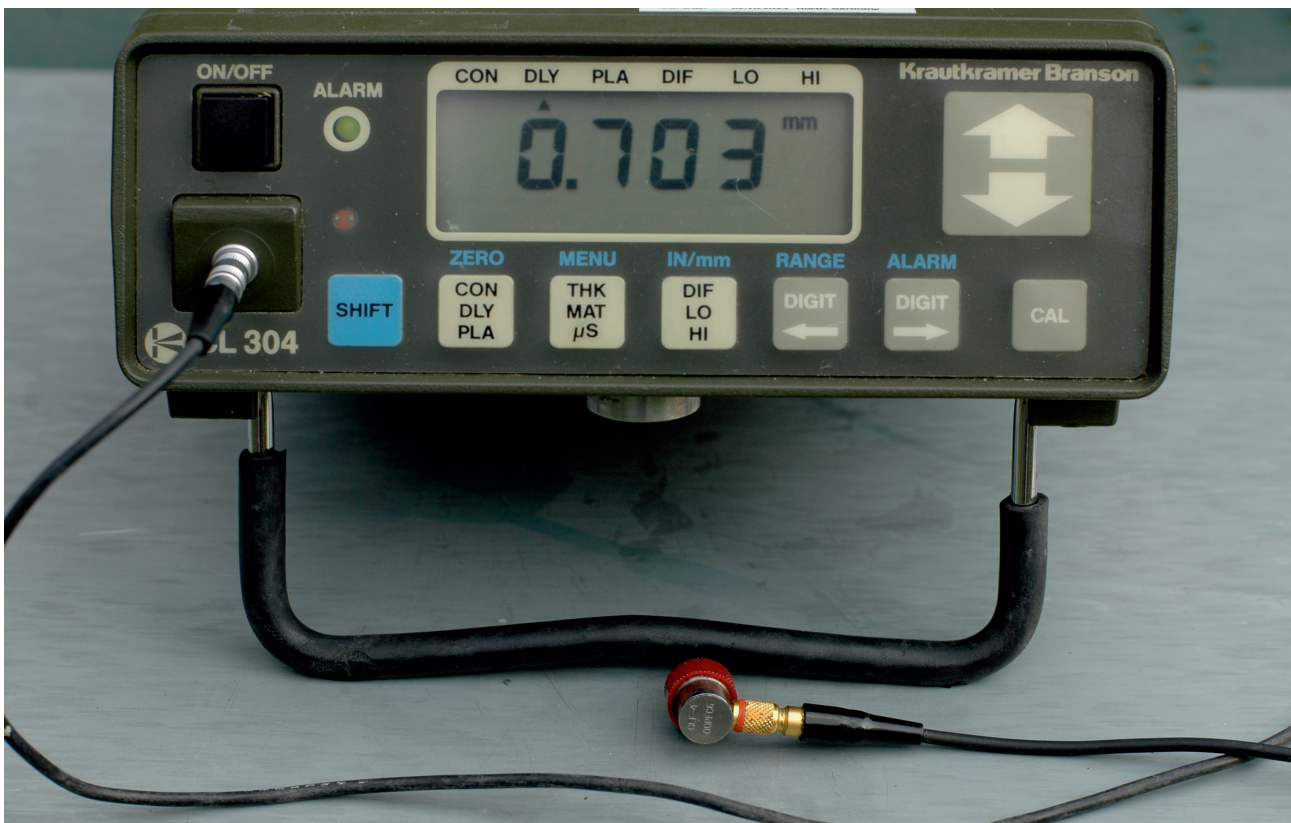


Eine mögliche kleine Abweichung von dem oben genannten Wert kann hier vernachlässigt werden, da im Rahmen der durchgeführten Messreihen nicht die exakte Dicke festgestellt werden soll, sondern „nur“ die Änderung der Dicke, ermittelt aus Differenzmessungen im Abstand von vier Jahren vom selben Prüfer, am selben Messort, mit derselben Prüfausrüstung und derselben Schallgeschwindigkeit. Die Schallgeschwindigkeit, 3477 m/s, wurde im Ultraschall-Wanddickenmessgerät fest eingestellt. Das Gerät wurde in der Betriebsart „numerische Anzeige in mm“ betrieben, (Anzeigebereich im numerischen Display: drei Nachkommastellen, z. B. 0,708 mm).

### 3.2 Ultraschall-Wanddickenmessgerät CL 304 und Prüfköpfe

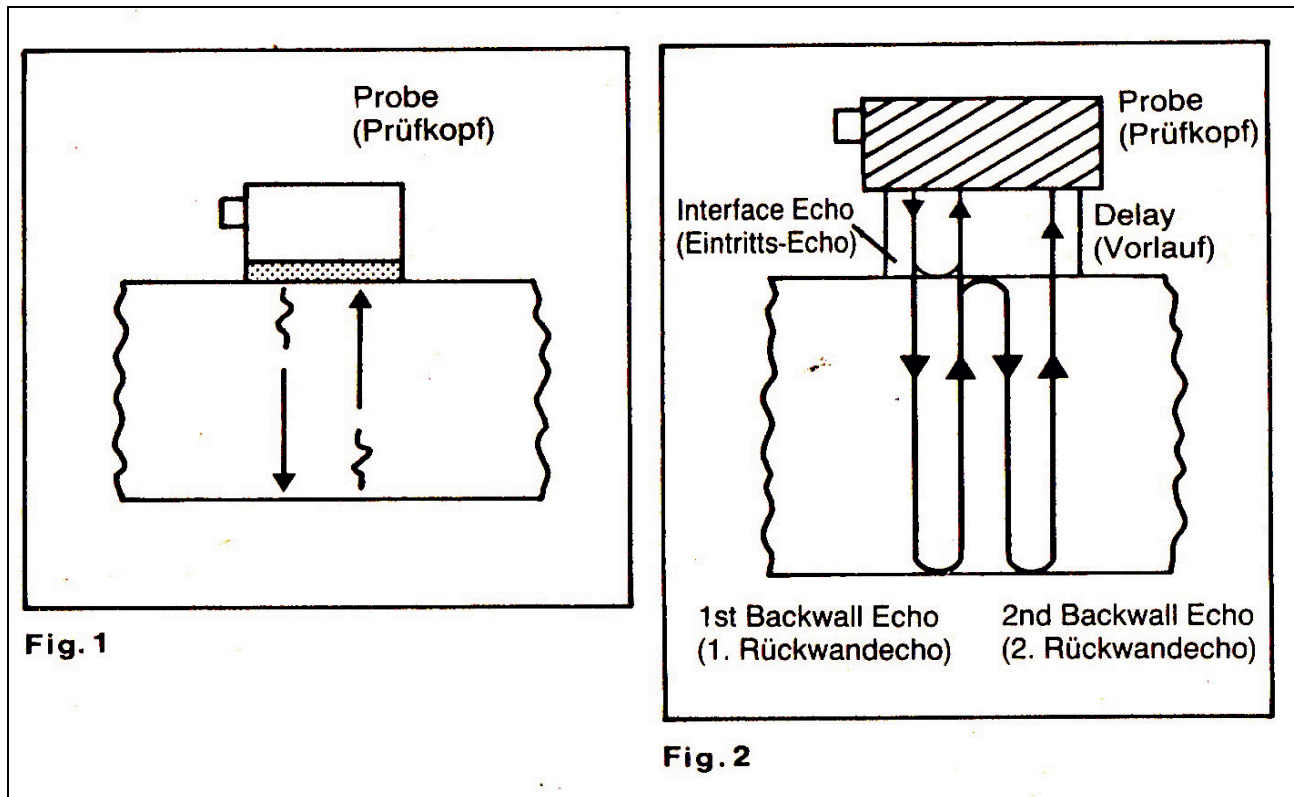
Für die Dickenmessungen der Dachdeckungen bzw. Wandbekleidungen mit Titanzink wurde das batteriebetriebene Wanddicken-Messgerät CL 304 der Firma Krautkrämer verwendet, siehe Abbildung 18. Das CL 304 ist ein Präzisionsmessgerät für Wand-Dickenmessungen mit Ultraschall. Das gesamte Prüfsystem besteht aus dem CL 304 und einem speziellen Prüfkopf. Das zum Prüfkopf gehörende Kabel hat - als Teil des Prüfsystems - eine definierte Länge von 2 m.

Nach Angabe des Herstellers erfolgt die Zeitmessung mit einer Genauigkeit von 0,005 %. Das Gerät erreicht damit für Wanddicken < 10 mm eine Messgenauigkeit von ca. 1  $\mu\text{m}$  [Lit. 18]. Die Anzeigauflösung ist umschaltbar z. B. auf 0,1 mm - 0,01 mm und 0,001 mm. Das Gerät wurde in der Anzeigauflösung 0,001 mm betrieben. Das gelegentlich auftretende „Springen“ der letzten Ziffer in der Anzeige des numerischen Displays wird vom Gerät durch eine Mittelwertbildung aus mehreren aufeinander folgenden Einzelmessungen („Prüfschüsse“) „bereinigt“.



**Abbildung 18:** Ultraschall-Wanddickenmessgerät CL 304 mit Prüfkopf und Kabel.  
Darstellung der „gehaltenen“ Anzeige des letzten gemessenen Wertes.

Es können verschiedene Prüfkopfarten verwendet werden, d. h. die Ermittlung der Wanddicke über die Laufzeit des Ultraschallimpulses im zu prüfenden Material kann mit zwei verschiedenen Methoden vorgenommen werden, siehe Abbildung 19.



**Abbildung 19:** Messverfahren Direktkontakt (Fig. 1) und Vorlauf (Fig. 2) - Prinzipdarstellungen [Lit. 18].  
 © GE Sensing & Inspection Technologies GmbH.

### Methode „Direktkontakt“

Hierbei wird ein Prüfkopf direkt mit seiner Ankopffläche an die Oberfläche des zu prüfenden Gegenstandes angekoppelt (Abbildung 19, Fig. 1). Bei dieser Messung setzt sich die Laufzeit  $t$  aus einem konstanten Anteil  $t_v$  aus der Schutzschicht des Prüfkopfes und der auszuwertenden Laufzeit  $t_w$  in dem zu prüfenden Gegenstand zusammen:

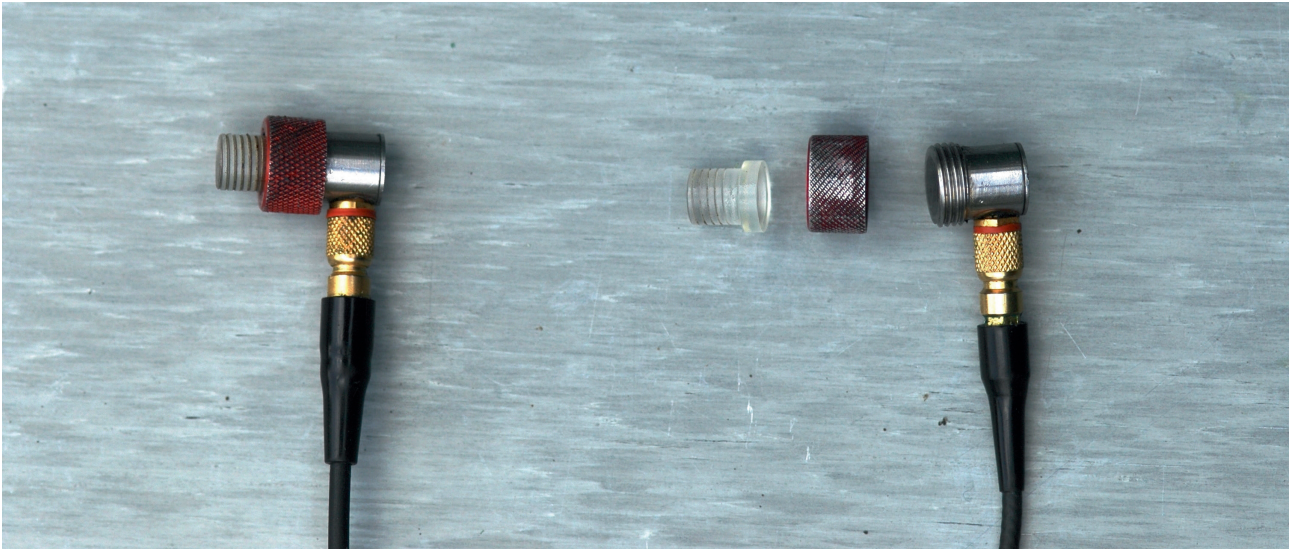
$$t = t_v + t_w$$

Um die Wanddicke des zu prüfenden Gegenstandes bestimmen zu können, muss der Anteil  $t_v$  bekannt sein. Dieser Anteil wird für den Prüfkopf vor Beginn der Messungen mit Hilfe eines Justierkörpers mit bekannter Dicke bestimmt. Dieser Wert muss im Gerät mit einer Einstellfunktion gespeichert und aktiviert werden. Dieses Vorgehen wird mit dem Begriff „Nullpunktjustierung“ bezeichnet.

Bei den folgenden Messungen wird dann die Laufzeit für  $t_v$  von dem Ultraschallgerät automatisch von der Gesamtlaufzeit  $t$  abgezogen. Aus dem verbleibenden Anteil  $t_w$  wird dann von dem Ultraschallgerät die Wanddicke des zu prüfenden Gegenstandes berechnet und angezeigt.

## Methode „Vorlauf“

Hierbei kommt ein spezieller Vorlaufprüfkopf mit einer 5 mm - 12 mm langen Vorlaufstrecke aus Plexiglas zwischen Prüfkopf und dem zu prüfenden Werkstück zum Einsatz, Abbildung 19 (Fig. 2) und Abbildung 20. Bei dieser Methode durchläuft der Ultraschallimpuls die Vorlaufstrecke  $v$  mit der Laufzeit  $t_v$  und die zu prüfende Wanddicke des Gegenstandes  $w$  mit der Laufzeit  $t_w$ .



**Abbildung 20:** Prüfkopf CLF 4 mit einer Vorlaufstrecke aus Plexiglas.

Bei dieser Methode beginnt die Messung der Laufzeit des Ultraschallimpulses mit dem Eintrittsecho, d. h. mit dem Echo, welches von dem Teil des Ultraschallimpulses erzeugt wird, der an der Grenzfläche zwischen Vorlaufstrecke und Prüfstück reflektiert wird. Der Ultraschallimpuls durchläuft dabei mehrmals die zu prüfende Wanddicke des Gegenstandes. Es entsteht eine so genannte Mehrfach-Echofolge. Hierbei wird **nicht** die Gesamtlaufzeit  $t = t_v + t_w$  ausgewertet, sondern bei der Vorlaufmethode wird die Laufzeit in dem Prüfgegenstand gemessen. Hierbei beginnt die Messung beim Schalleintritt in das zu prüfende Werkstück mit dem so genannten Eintrittsecho. Die Messung endet mit dem ersten Rückwandecho. Bei der Methode Vorlauf ist es erforderlich, dass die Laufzeit des Ultraschallimpulses in der Vorlaufstrecke größer sein muss als die Laufzeit des Ultraschallimpulses in dem Prüfgegenstand.

*„Die Länge der jeweiligen Vorlaufstrecke richtet sich nach der maximalen Schall-Laufzeit im Prüfgegenstand und muss so gewählt werden, dass das Wiederholungsecho aus dem Vorlauf erst nach den für die jeweilige Auswertung benötigten Rückwändechos aus dem Prüfgegenstand kommt.“ [Lit. 18].*

Daraus lässt sich folgende Bedingung aufstellen [Lit. 1]:

$$v > c_v / c_w \cdot d$$

Hierbei bedeuten:

$v$  - Vorlaufstrecke [mm],

$c_v$  - Schallgeschwindigkeit im Vorlauf [m/s],

$c_w$  - Schallgeschwindigkeit im Prüfgegenstand [m/s],

$d$  - Wanddicke des Prüfgegenstandes [mm].



Die durchgeführten Präzisionsmessungen an dem Titanzinkmaterial mit den folgenden, vorhandenen Daten erfüllen die o. a. Bedingung:

- o Vorlaufstrecke  $v = 10$  mm,
- o Dicken der Titanzinkdeckung, hier  $d = 0,65$  bis  $1,0$  mm,
- o Schallgeschwindigkeit im Vorlauf aus Plexiglas  $c_v = 2700$  m/s [Lit. 18],
- o Schallgeschwindigkeit im Titanzink  $c_w = 3477$  m/s.

Die Arbeitsweise des Wand-Dickenmessgeräts ist, wie bereits ausgeführt, ähnlich wie Sonar und zwar nach dem Impuls-Echo-Prinzip. Die Dicke der zu prüfenden Schicht („Wand“) bestimmt, ob das Messverfahren Kontakt oder Vorlauf zur Anwendung kommt, siehe Abbildung 19. Bei Prüfteilen, die eine Wanddicke  $d \geq 1,5$  mm aufweisen, wird das Kontaktverfahren angewendet.

Bei Prüfteilen mit einer Wanddicke  $d < 1,5$  mm, wie im vorliegenden Fall (Nennicken der Titanzinkdeckung  $0,65$  mm -  $0,7$  mm -  $0,8$  mm und  $1,0$  mm), muss das Messverfahren „Vorlauf“ angewendet werden. Hierbei kommt ein spezieller Vorlaufprüfkopf zum Einsatz. Dieser Prüfkopf hat eine Vorlaufstrecke aus Plexiglas zwischen dem Prüfkopf und dem zu prüfenden Werkstück (hier die Titanzinkdeckung), siehe Abbildung 20.

*„Je nach Dicke des Prüfstücks wählt das CL 304 automatisch, ob zwischen dem Eintrittsecho und dem erstem Rückwandecho oder zwischen zwei Rückwandechos gemessen werden soll.“* [Lit. 18].

Siehe hierzu auch die Abbildung 19, Figur 2 [Lit. 18].

Das verwendete Wand-Dickenmessgerät CL 304 erreicht seine hohe Auflösung durch eine Mittelwertbildung aus einer großen Anzahl von so genannten „Prüfschüssen“. Das Gerät ermittelt automatisch die erforderliche Anzahl von Prüfschüssen in Abhängigkeit von der Schallgeschwindigkeit in dem zu prüfenden Material und der gewünschten Anzeigeauflösung, hier  $0,001$  mm.

Aufgrund der vorliegenden Aufgabe - wiederkehrende Messungen der Dicke der relativ dünnen Metallschicht, die einer atmosphärischen Korrosion unterliegt - hier die Dachdeckung mit Titanzink,  $d = 0,65$  mm bis  $1$  mm - wurde für das Wand-Dickenmessgerät CL 304 der spezielle Vorlaufprüfkopf CLF 4 der Firma Krautkrämer verwendet.

Dieser Prüfkopf misst im Frequenzbereich von  $15$  MHz. Er ist extrem hoch bedämpft d. h. der Prüfkopf erzeugt einen sehr kurzen Ultraschallimpuls und wird mit einer Vorlaufstrecke aus Plexiglas betrieben. Die Vorlaufstrecke besitzt einen Kontaktdurchmesser von  $7,5$  mm. Dieser Hochfrequenz-Prüfkopf liefert einen relativ schmalen Impuls. Diese Eigenschaften ergeben im Zusammenwirken mit dem Gerät CL 304 eine hohe Messgenauigkeit und verringern die Gefahr von Fehlmessungen der Dicken des Titanzinks.

Zur Herstellung eines einwandfreien akustischen Kontaktes zwischen der Vorlaufstrecke des Prüfkopfs und der Oberfläche des Titanzinkmaterials muss ein Koppelmittel verwendet werden. Bei den Messungen vor Ort und der späteren Auswertung der Wanddickenmessungen muss berücksichtigt werden, dass die Schicht des Koppelmittels zwischen dem Prüfkopf - hier der Vorlauf-

strecke aus Plexiglas und des zu prüfenden Titanzinkmaterials - ein Teil der Mess-Strecke ist. Zur Steigerung der Messgenauigkeit ist es daher erforderlich, die Schicht aus dem Koppelmittel für jeden Messvorgang immer gleichmäßig dick und so dünn wie möglich durch einen konstanten Anpressdruck zu gestalten.

Die „Schicht“ aus den an der Oberfläche der Metaldeckung fest anhaftenden Korrosionsprodukten - die so genannte Patina - ist ebenfalls ein Bestandteil der Mess-Strecke. Die Berücksichtigung dieses Einflusses erfolgt im Rahmen der Auswertung der Messergebnisse.

In Bezug auf den Einfluss des Koppelmittels ergibt sich folgende Bewertung: Der relativ kleine Durchmesser von 7,5 mm der Vorlaufstrecke benötigt wenig Koppelmittel und ist daher in Bezug auf den Anpressdruck des Prüfkopfes - zur Erzielung kleiner Schichtdicken des Koppelmittels - günstiger zu beurteilen als Prüfköpfe mit einem größeren Durchmesser.

Vom Prinzip her wäre Wasser als Koppelmittel für die vorliegenden Oberflächen mit einer geringen Rauigkeit durchaus geeignet. Dies ist hier aber aus praktischen Gründen - Dachneigung, Messung der Wände, verbunden mit einem Abfließen usw. - nicht durchführbar.

Es wurde daher ein Koppelmittel der Firma Krautkrämer mit niedriger Viskosität verwendet, siehe Abbildung 21. Es ist eine thixotrope Paste, die für den Temperaturbereich von -20 °C bis +100 °C geeignet ist. Dieses Koppelmittel muss so dünn wie möglich (ein „Tropfen“ je Messpunkt) auf die Metaldeckung aufgetragen werden. Für eine korrekte Messung ist ein großer, gleichmäßiger und gleich bleibender Druck auf den Prüfkopf zwingend erforderlich.

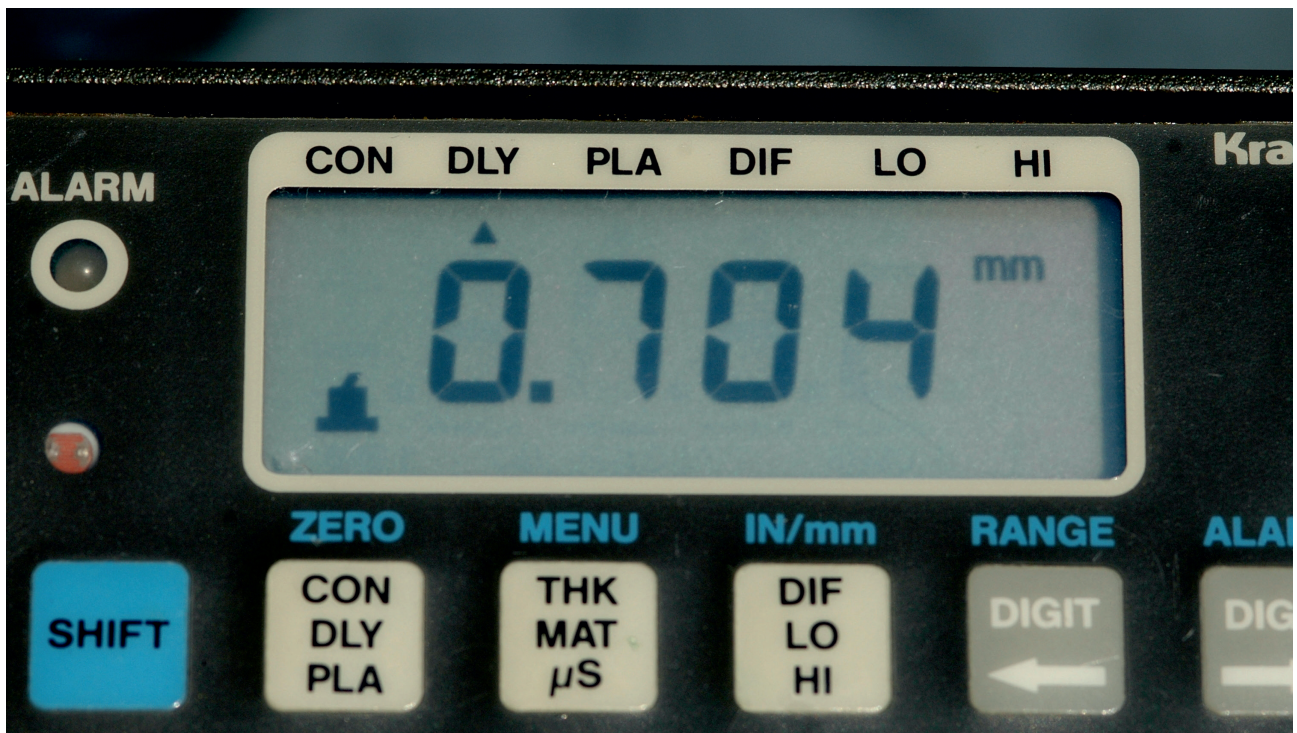


**Abbildung 21:** Flasche mit Koppelmittel.

Damit ist sichergestellt, dass überschüssiges Koppelmittel zwischen dem Prüfkopf, d. h. der Vorlaufstrecke aus Plexiglas und der Oberfläche der zu prüfenden Titanzinkdeckung, entfernt wird und somit eine sehr dünne Schicht entsteht.

Dieses Vorgehen bewirkt eine stabile Anzeige im Messgerät. Die Ankoppelkontrolle erfolgt durch ein Prüfkopfsymbol im Display, verbunden mit einer konstanten Anzeige der Ziffern. Es tritt dann kein „Springen“ der letzten Ziffer auf, Abbildung 22.

Zur Steigerung der Messgenauigkeit wurden alle Messungen an den Gebäuden, an den vier Freibewitterungsversuchsflächen und an den Probetafeln in der Klimakammer zur Bestimmung der temperaturabhängigen Korrekturwerte (siehe hierzu auch Abschnitt 4.5.2) durch den Verfasser und nicht durch wechselnde Personen durchgeführt.



**Abbildung 22:** Messvorgang - Ankoppelungssymbol und konstante Anzeige des Messwertes in mm im Display des Ultraschall-Wanddickenmessgerätes CL 304.

Die gesamte Messausrüstung (Prüfsystem) wurde vor jeder Messreihe an einem Vergleichsstück mit bekannter Dicke (Titanzinktafel, Nenndicke  $d = 0,7$  mm) in einem Raum mit konstanter Temperatur ( $20$  °C) überprüft. Das Vergleichsstück hat die gleiche Beschaffenheit wie die zu messenden Materialien der Dachdeckungen und Wandbekleidungen der 55 Objekte bzw. der vier Versuchsflächen. Die Justierung der Messausrüstung wurde vor und nach jeder Objektmessung an dem Vergleichsstück überprüft. In diese Überprüfung wurde auch der Ersatzprüfkopf mit einbezogen.

Die Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit in dem zu prüfenden Werkstoff wurde durch die Bestimmung von temperaturabhängigen Korrekturwerten erfasst. Hierzu wurden in einer Klimakammer an elf Probetafeln verschiedener Dicke (Nenndicken  $0,65$  mm -  $0,7$  mm -  $0,8$  mm) Wand-Dickenmessungen bei folgenden Nenntemperaturen ( $10$  °C /  $20$  °C /  $30$  °C /  $40$  °C /  $50$  °C) vorgenommen; siehe hierzu auch Abschnitt 4.5.2.

Die Probetafeln hatten verschiedene Oberflächenbeschaffenheiten und zwar:

- o „walzblank“, fabrikneu,
- o „vorbewittert blaugrau“, fabrikneu,
- o „walzblank“, acht Jahre freibewittert,
- o „vorbewittert blaugrau“, acht Jahre freibewittert.

Der Einfluss der Metalltemperatur auf die Änderung der Schallgeschwindigkeit wurde im Rahmen der später vorgenommenen Auswertung der Messergebnisse der 55 Objekte und der vier Versuchsflächen durch die entsprechenden Korrekturwerte erfasst.

### 3.3 Einfluss der Oberflächenbeschaffenheiten der Dachdeckungen bzw. der Wandbekleidungen aus Titanzink

Die Oberflächenbeschaffenheiten der Kontaktfläche und der Rückwand haben Einfluss auf die Messergebnisse. Optimale Ergebnisse werden erreicht, wenn einerseits die äußere Oberfläche des Titanzinks (die Kontaktfläche) und andererseits auch die untere Oberfläche (die Rückwand), sauber, glatt und eben sind, d. h. nur eine kleine Rauigkeit aufweisen und zudem die Oberflächen parallel zueinander sind. Die Parallelität der Oberflächen wird durch den Herstellungsprozess der Bänder aus Titanzink - hergestellt in einem kontinuierlichen Walzvorgang der permanent überwacht wird - in ausreichendem Maße sichergestellt.

Ist die Rauigkeit der Kontaktfläche zu groß, so befindet sich zuviel Koppelmittel zwischen der Vorlaufstrecke des Prüfkopfes und der Titanzinkdeckung. Dies kann zu ungenauen Messergebnissen führen. Die Rauigkeit der Kontaktfläche (äußere Oberfläche) wurde mit mehreren Messungen mit dem Perthometer S8P ermittelt. Die Messlängen auf den Titanzinktafeln betrug 5 mm. Gemessen wurden eine fabrikneue Probetafel und eine Probetafel, die bereits acht Jahre in einer Dachfläche einer Freibewitterung ausgesetzt war, Abbildung 23. Diese Probetafeln wurden auch bei der Bestimmung der temperaturabhängigen Korrekturwerte verwendet; siehe hierzu auch Abschnitt 4.5.2.

Rauigkeitsmessungen an Titanzinktafeln												
Messung	Probetafel acht Jahre Freibewittert						Probetafel fabrikneu vorbewittert					
	Quer			Längs			Quer			Längs		
	$R_{max}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_{max}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_{max}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_{max}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_z$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]
N1	13,14	7,38	0,72	5,73	2,94	0,31	5,58	2,87	0,30	0,76	0,53	0,08
N2	4,85	3,43	0,50	3,94	2,66	0,37	2,35	1,94	0,29	1,21	0,82	0,10
N3	12,18	5,02	0,53	5,77	2,66	0,34	2,64	2,21	0,29	1,43	0,89	0,08
N4	12,30	5,10	0,54	6,90	4,81	0,62	3,18	2,42	0,30	3,78	1,69	0,11
N5	7,73	4,04	0,38	3,93	2,32	0,27	2,44	1,96	0,31	3,72	1,37	0,11
<b>Mittelwert</b>	<b>10,04</b>	<b>4,99</b>	<b>0,53</b>	<b>5,25</b>	<b>3,08</b>	<b>0,38</b>	<b>3,24</b>	<b>2,28</b>	<b>0,30</b>	<b>2,18</b>	<b>1,06</b>	<b>0,10</b>
<p><math>R_{max}</math> : Die maximale Rautiefe <math>R_{max}</math> ist die größte der auf der Gesamtmessstrecke <math>l_m</math> vorkommenden Einzelrautiefe <math>Z_i</math>.</p> <p><math>R_z</math> : Die gemittelte Rautiefe <math>R_z</math> ist das arithmetische Mittel aus den Einzelrautiefen <math>Z_i</math> fünf aneinander grenzender Einzelmessstrecken <math>l_e</math> gleicher Länge.</p> <p><math>R_a</math> : Der arithmetische Mittenrauwert <math>R_a</math> ist der arithmetische Mittelwert der absoluten Werte der Profilabweichungen innerhalb der Messstrecke <math>l_m</math>. Erläuterungen nach [Lit.47].</p>												

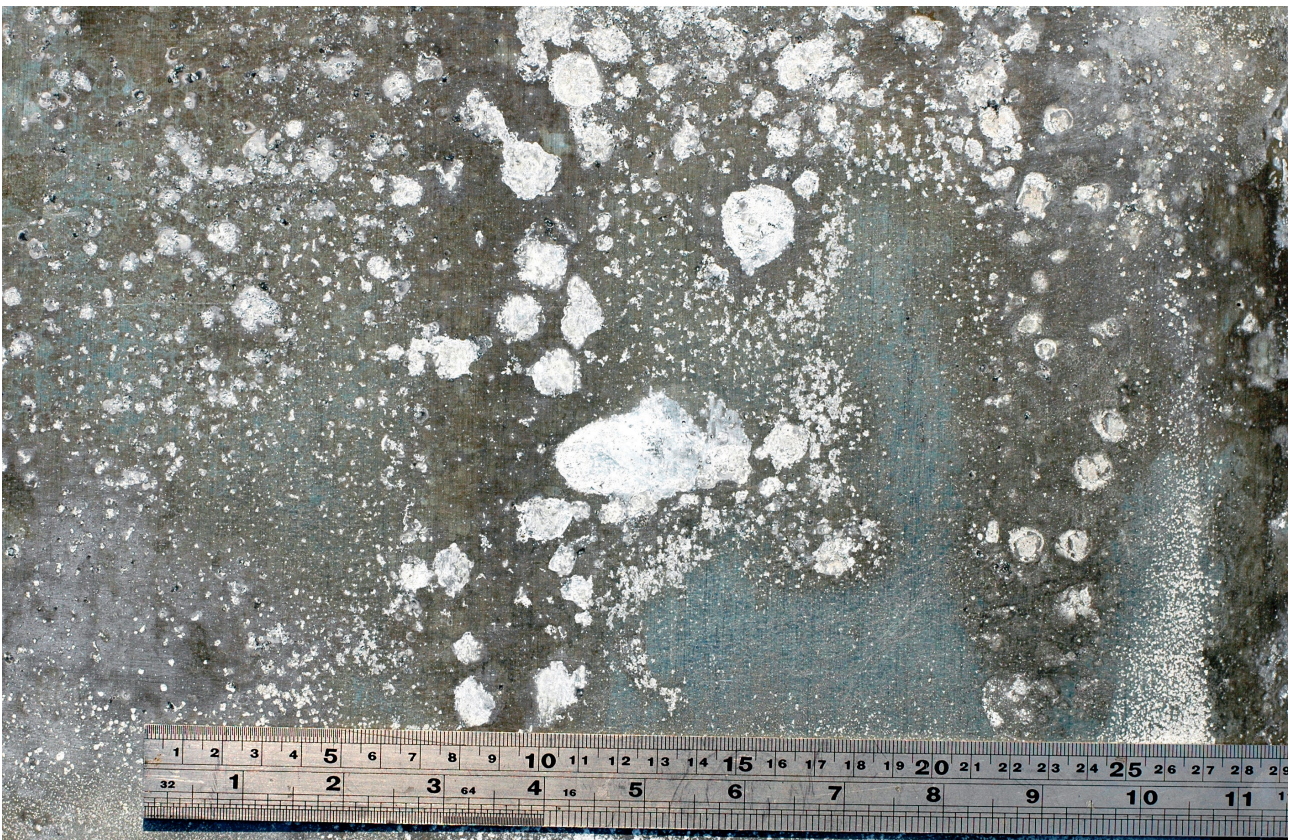
**Abbildung 23:** Rauigkeitsmessungen an zwei Probetafeln aus Titanzink, nach [Lit. 2].

Die Auswertung der Ergebnisse dieser Messungen gestattet die Aussage, dass die Vergrößerung der Rauigkeit der äußeren Oberfläche - die Kontaktfläche mit der Vorlaufstrecke des Prüfkopfes - durch die Freibewitterung im Rahmen des Untersuchungszeitraumes, nur einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Auswertungsergebnisse der Dickenmessungen gehabt haben kann.



Eine mögliche Ursache für eine raue Oberfläche der **Rückwand** können spezielle Korrosionsvorgänge sein, die so genannte „Weißrostbildung“. Sie kann durch Wasser, welches in die Konstruktion eingedrungen ist, verursacht werden. Wasser kann über Fehlstellen in der Schichtenfolge der Dachkonstruktion an die Unterseite der Dachdeckung aus Titanzink gelangen und zwar durch drei „Transportmechanismen“:

- o Zum einen kann Niederschlag, z. B. über Fehlstellen in der Dacheindeckung, Beschädigungen, fehlerhaft ausgebildete An- und Abschlüsse der Dachdeckung an angrenzende Bauteile, in die Konstruktion eindringen.
- o Zum anderen kann warme Innenraumluft durch Fehlstellen in der luftdichten Schicht der Dachkonstruktion (innenseitig der Wärmedämmschicht angeordnet) an die kalte Unterseite der Dachdeckung gelangen und dort Tauwasser ausscheiden.
- o Ein weiterer Transportmechanismus stellt die eingebaute Feuchte (Materialfeuchte) dar. Bei gut funktionierenden belüfteten Konstruktionen treten im Allgemeinen keine Probleme auf. Bei nicht belüfteten Konstruktionen - unsachgemäß ausgeführt, z. B. fehlende regensichere Abdeckung bei Arbeitsunterbrechungen, verbunden mit Niederschlägen - kann später durchaus eine größere „Weißrostbildung“ auftreten, Abbildung 24.



**Abbildung 24:** Partielle „Weißrostbildung“ an der Unterseite einer nicht belüfteten Dachdeckung aus Titanzink, hervorgerufen durch eingebaute Feuchte.

Eine größere „Weißrostbildung“ bewirkt, dass der Ultraschallimpuls gestreut oder verzerrt werden kann. Dies führt zu Wanddickenanzeigen, die ungenau sind. In den meisten dieser Fälle liefert schon die Anzeige des Ultraschallgerätes kein Ankoppelzeichen (fehlendes Prüfkopfsymbol im



Display, siehe Abbildung 22). Bei einer sehr geringen Anzahl von Einzelmessungen war dies der Fall. Diese Messungen wurden bei der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt.

Ungenauere Wanddickenanzeigen können auch durch die Oberfläche der Vorlaufstrecke des Prüfkopfs verursacht werden. Bei starker Abnutzung der Oberflächen („verschlissene Prüfköpfe“) kann das Phänomen der Doppelung auftreten. Dieser mögliche Einfluss wurde regelmäßig an einer „Justiertafel“ mit bekannter Dicke überprüft. Aus Sicherheitsgründen wurde die Vorlaufstrecke nach jedem Messjahr erneuert und das Mess-System justiert.

### 3.4 Einfluss der Anisotropie von Titanzink

Zink und seine Legierungen sind anisotrop, d. h. sie besitzen unterschiedliche Eigenschaften in den drei Raumrichtungen. Anisotrope Eigenschaften sind vorhanden z. B. bei der Plastizität, Elastizität, Härte, Kaltverformbarkeit, Schallgeschwindigkeit und thermischen Expansion. Das sonst spröde Zink wird durch die Zugabe von Titan duktil, fester und besser verformbar, d. h. die mechanischen Auswirkungen dieser Anisotropie werden durch die Legierungsbestandteile und den Walzprozess so stark verringert, dass z. B. die Metalltafeln anrissfrei um 180° faltbar sind, siehe Abbildung 25 [Lit. 40].



**Abbildung 25:** Faltversuch, Querschliff an Biegeproben nach einer Faltung um 180° ohne Zwischenlage parallel zur Walzrichtung. Unlegiertes Zink (rechts) bricht, während Titanzink (links) anrissfrei bleibt. © Rhein-zink.

Die Anisotropie in Bezug auf die **thermische Expansion** musste für die vorliegende Arbeit näher untersucht werden; siehe Abschnitt „4.5.1 Bestimmung des thermischen Expansionskoeffizienten  $\alpha$  für Titanzink **senkrecht** zur Oberfläche der Walzprodukte“ (Metallbänder).

Die Anisotropie in Bezug auf die **Temperaturabhängigkeit der Ultraschallgeschwindigkeit** musste ebenfalls näher untersucht werden; siehe hierzu Abschnitt „4.5.2 Ermittlung der temperaturabhängigen Korrekturwerte durch Dickenmessungen an Probetafeln in einer Klimakammer“.

Metalle mit anisotropen Eigenschaften in Bezug auf die Ultraschallgeschwindigkeit verändern diese in dem zu prüfenden Material nicht nur in Abhängigkeit von der Temperatur, sondern auch in Abhängigkeit von der Laufrichtung des Ultraschallimpulses im Prüfstück. Der Einfluss aus der Laufrichtung ist hier, wenn überhaupt, nur sehr gering vorhanden, da die Messungen immer in **einer** Richtung und zwar **senkrecht** zur Oberfläche der Titanzinkdeckung (Metallbänder), erfolgten.

Diese Beurteilung wurde auch im Rahmen der Auswertung der Messungen zur Bestimmung der temperaturabhängigen Korrekturwerte in der Klimakammer bestätigt.

#### 4 Ultraschall-Wanddickenmessungen an 56 Objekten

Insgesamt wurden Dachdeckungen und Wandbekleidungen aus Titanzink von 55 Gebäuden - bundesweit verteilt - und vier Freilandversuchsflächen (Objekt 54) messtechnisch mit der Ultraschall-Prüftechnik untersucht. Die Objekte werden nachfolgend in einer Übersicht vorgestellt.

##### 4.1 Zusammenstellung der untersuchten Objekte und Zeitdaten der Messungen

Objekt Nr.:	Anzahl der Messungen	Jahre der Messungen	
1	Fernmeldeamt, Stadthagen	3	1991 - 1995 - 1999
2	Bankgebäude, Nörten-Hardenberg	3	1991 - 1995 - 1999
3	Schulgebäude, Hankensbüttel	4	1991 - 1995 - 1999 - 2003
4	Werkstattgebäude, Lüchow-Dannenberg	3	1991 - 1995 - 1999
5	Kurhaus und Hallenbad, Kellenhusen	4	1991 - 1995 - 1999 - 2003
6	Garagengebäude, Husum	3	1991 - 1995 - 1999
7	Hallenbad, Halle (Westf.)	4	1991 - 1995 - 1999 - 2003
8	Schulgebäude, Halle (Westf.)	3	1991 - 1995 - 1999
9	Kurmittelhaus, Nordstrand	3	1991 - 1995 - 1999
10	Hotel am Flughafen, Düsseldorf	3	1991 - 1995 - 1999
11	Verwaltungsgebäude, Duisburg	3	1991 - 1995 - 1999
12	Gemeindezentrum, Duisburg	3	1991 - 1995 - 1999
13A	Werkstattgebäude I, Herne	3	1991 - 1995 - 1999
13B	Werkstattgebäude II, Herne	3	1991 - 1995 - 1999
14	Lehrbäckerei, Bad Zwischenahn OT Rostrup	4	1992 - 1996 - 2000 - 2004
15	Stadthalle, Bielefeld	3	1992 - 1996 - 2000
16	Info-Pavillon, Meldorfer Bucht	3	1992 - 1996 - 2000
17	Sporthalle, Lübeck	3	1992 - 1996 - 2000
18	Show-Theater, Sierksdorf	3	1992 - 1996 - 2000
19	Einfamilienwohnhaus, Hardegsen	3	1992 - 1996 - 2000
20	Gemeindezentrum, Hochlar	3	1992 - 1996 - 2000
21	Mehrfamilienwohnhaus, Recklinghausen	4	1992 - 1996 - 2000 - 2004
22	Feuerwehr-Gerätehaus, Paderborn-Wevern	4	1992 - 1996 - 2000 - 2004
23	Schulgebäude, Gröbenzell	2	1992 - 1996 -
24	Schulgebäude, Großburgwedel	3	1992 - 1996 - 2000
25A	Mensagebäude Universität, Bayreuth	3	1992 - 1996 - 2000
25B	Verwaltungsgebäude Universität, Bayreuth	3	1992 - 1996 - 2000
26	Schulgebäude, Buchholz	3	1993 - 1997 - 2001
27	Schulgebäude, Winsen	4	1993 - 1997 - 2001 - 2005
28	Gemeindezentrum, Aachen	3	1993 - 1997 - 2001

29	Privatschwimmbad, Hövelhof	4	1993 - 1997 - 2001 - 2005
30	Mehrfamilienwohnhaus, Herten	3	1993 - 1997 - 2001
31	Kirche, Dorsten-Wulfen	3	1993 - 1997 - 2001
32	Sporthalle, Paderborn-Schloß Neuhaus	3	1993 - 1997 - 2001
33	Einfamilienwohnhaus, Paderborn	3	1993 - 1997 - 2001
34	Kulturzentrum, Velbert	3	1993 - 1997 - 2001
35	Krankenhaus, Mohringen	3	1993 - 1997 - 2001
36	Museumsgebäude, Köln	4	1993 - 1997 - 2001 - 2005
37	Kurhaus, Norddeich	3	1993 - 1997 - 2001
38	Verwaltungsgebäude, Hürth	3	1993 - 1997 - 2001
39	Bürgerhaus, Hürth	3	1993 - 1997 - 2001
40	Verwaltungsgebäude, Hannover	4	1994 - 1998 - 2002 - 2006
41	Verwaltungsgebäude, Hamburg	4	1994 - 1998 - 2002 - 2006
42	Schlachthof, Bayreuth	3	1994 - 1998 - 2002
43	Kirche, Herne	3	1994 - 1998 - 2002
44	Schulungsgebäude, Braunschweig	3	1994 - 1998 - 2002
45	Verwaltungsgebäude, Menden	3	1994 - 1998 - 2002
46	Verlagshaus, Hamburg	3	1994 - 1998 - 2002
47	Mensagebäude, Fritzlar	4	1994 - 1998 - 2002 - 2006
48	Schulgebäude, Salmtal	3	1994 - 1998 - 2002
49	Laborgebäude, Weyhausen	3	1994 - 1998 - 2002
50	Universitätsgebäude, Oldenburg	3	1994 - 1998 - 2002
51	Mehrfamilienwohnhaus und Garage, Datteln	3	1994 - 1998 - 2002
52	Einfamilienwohnhaus und Garage, Hameln	3	1994 - 1998 - 2002
53	Hörsaalgebäude Universität, Hannover	3	1998 - 2002 - 2006
54	Versuchsflächen, Hannover u. Langenhagen	3	1996 - 2001 - 2012

## 4.2 Bezeichnungen der Mess-Stationen an den Gebäuden

Das zu untersuchende Gebäude wird mit **Messobjekt** bezeichnet, es erhält eine Nummer. Es folgen die Angabe der Art der Gebäudenutzung und des Standortes. Kurzbezeichnung als Beispiel: Objekt 21, Mehrfamilienwohnhaus, Recklinghausen.

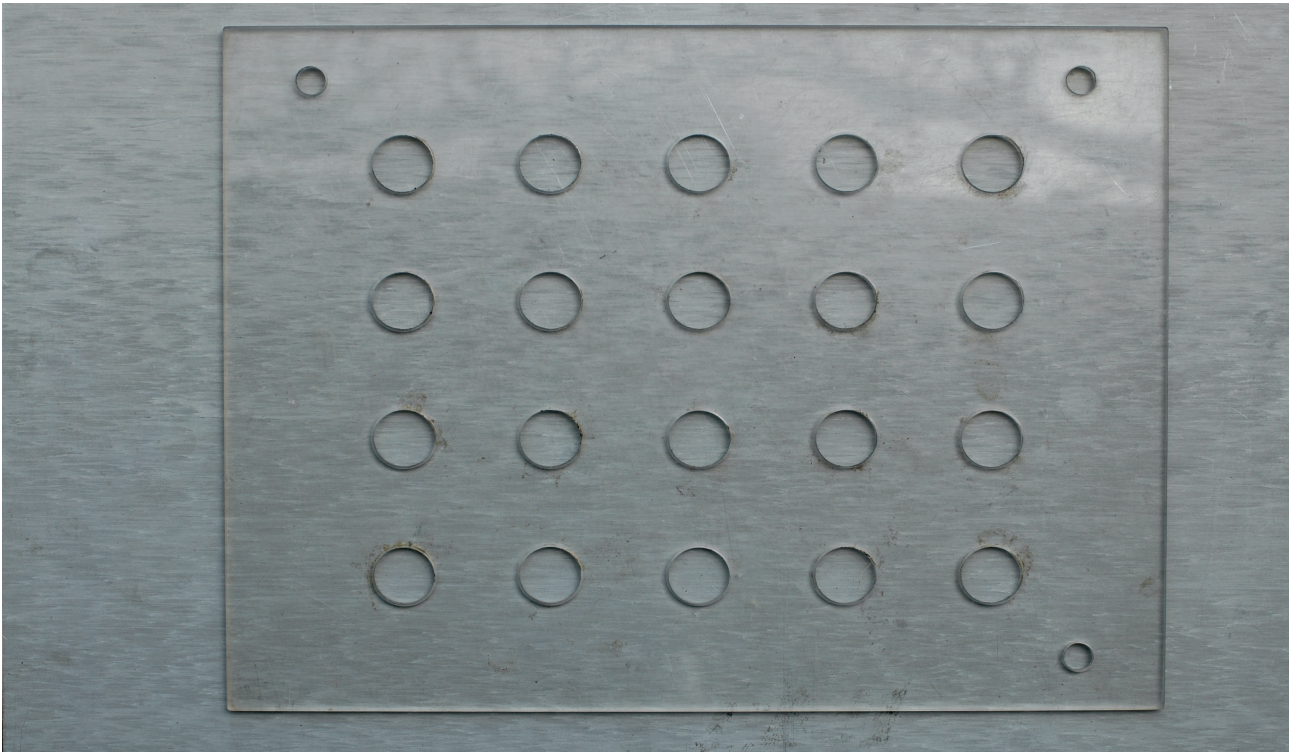
Der **Messort**, er umfasst **20 Messpunkte**, wird wie folgt gekennzeichnet und in den Unterlagen des betreffenden Objektes für die Folgemessungen festgehalten, z. B. Dachfläche 1, erster Messort (Kurzbezeichnung: DF1.1) mit folgenden Angaben:

- o Die Lage auf dem Dach wird angegeben, z. B. 4. Schar (aufgekantetes Metallband) rechts bzw. links vom Dachrand. Diese Angaben erfolgen immer in Richtung des Firstes gesehen.
- o Die Lage des Messortes auf der jeweiligen Schar wird immer in Bezug auf bauliche Situationen (First, Traufe, Gefällesprung usw.) angegeben, z. B. 1 m vom First entfernt.
- o Weiterhin werden die Zuordnung der jeweiligen Dach- bzw. Wandfläche zur Himmelsrichtung und die Dachneigung angegeben.

Die Lage der Messpunkte eines Messortes wurde mittels einer Schablone aus Plexiglas mit 20 Bohrungen festgelegt, Abbildung 26. Die Einpassung der Schablone auf den Dach-, bzw. Wandflächen erfolgte über drei Einpasspunkte. Dieses sind drei kleine Bohrungen in den Randbe-



reichen der Schablone außerhalb der Messfläche mit den 20 Messpunkten. Diese Einpasspunkte wurden auf den Dach- bzw. Wandflächen mit drei kleinen Farbpunkten (Lackstift) markiert, um für die Wiederholungsmessungen immer denselben Messort bzw. dieselben Messpunkte erreichen zu können, siehe hierzu die Abbildungen 26 bis 30.

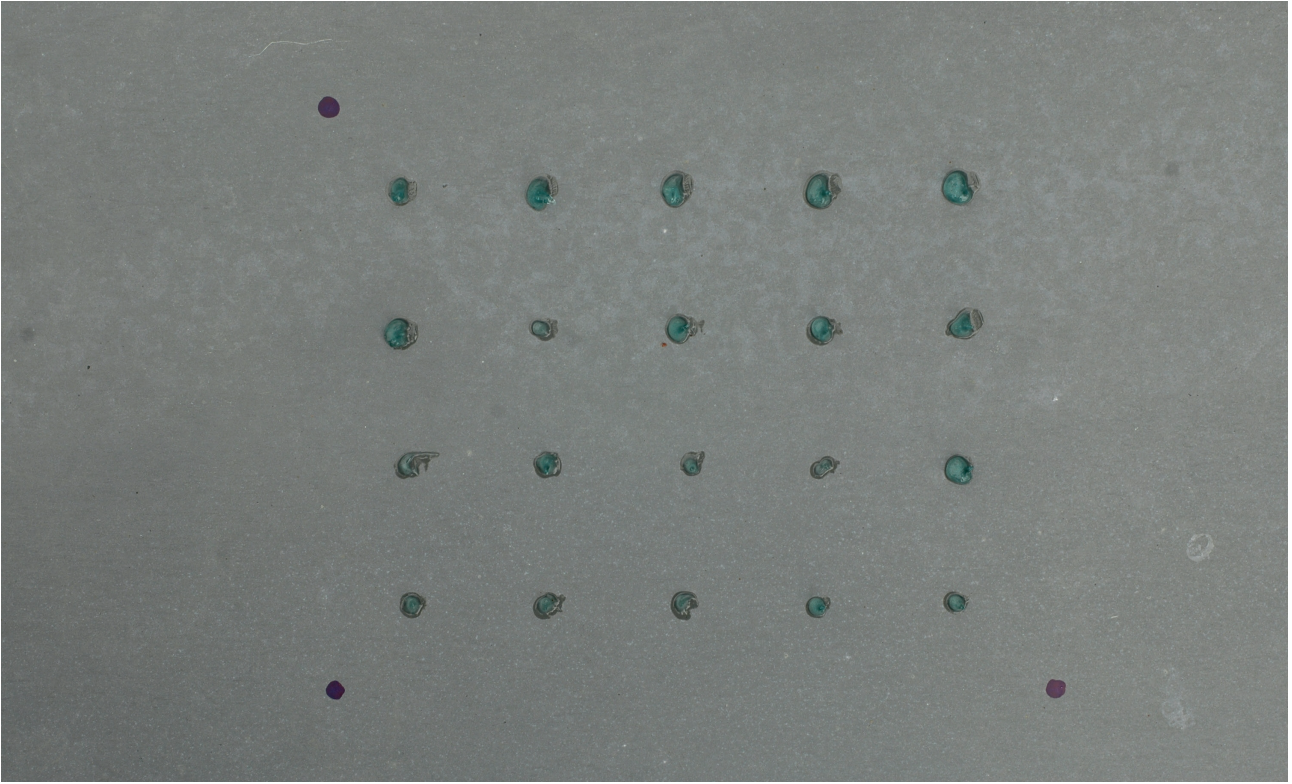


**Abbildung 26:** Schablone mit 20 Messpunkten und drei Einpasspunkten.



**Abbildung 27:** Aufbringen des Koppelmittels im Bereich der 20 Bohrungen.





**Abbildung 28:** Messort nach Aufbringen des Koppelmittels auf die Titanzinkdeckung (nach Entfernung der Schablone) und Darstellung der drei Einpasspunkte.



**Abbildung 29:** Messort nach Aufbringen des Koppelmittels auf die Titanzinkdeckung, Beginn der Messung: Andrücken des Prüfkopfs auf den ersten Messpunkt des Messortes.





**Abbildung 30:** *Temperaturmessungen der Titanzinkdeckung im Bereich des Messortes mit einem Kontaktthermometer. Jede Temperaturmessung wurde mit einem zweiten Messgerät kontrolliert.*

### 4.3 Einflussgrößen Schallgeschwindigkeit, Betriebstemperatur des Messgerätes, Temperatur der Metalldeckung und thermische Expansion von Titanzink

Für die Wanddickenmessungen muss die Schallgeschwindigkeit in dem zu untersuchenden Material bekannt sein, siehe hierzu auch Abschnitt 3.2. Die Schallgeschwindigkeit hängt im Wesentlichen von folgenden Einflussgrößen ab:

- o der Zusammensetzung des Materials, im vorliegenden Fall von der Legierung des Materials Titanzink. Titanzink besteht aus Zink mit einem Reinheitsgrad von 99,995 %, mit Zugabe von Kupfer 0,08 bis 1,0 %, Titan 0,06 bis 0,2 % und Aluminium  $\leq 0,015$  %,
- o der Verarbeitung des Materials, z. B. auf der Baustelle stark „kalt“ verformte Bereiche der Metalldeckung,
- o der Temperatur der Metalldeckung zum Zeitpunkt der Messung vor Ort auf dem Dach bzw. der Wand. Hier ist bei der relativ dünnen Metalldeckung (Nennstärken: 0,65 mm bis 1,0 mm) die Messung der Oberflächentemperatur hinreichend genau genug, da Zink eine relativ große Wärmeleitfähigkeit,  $\lambda = 109 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , besitzt.

Hinzu kommt noch, dass diese Art der Metalldeckung nicht selbsttragend ist und daher immer bei belüfteten Dächern auf einer Holz- oder Holzwerkstoffunterlage mit einer kleinen Wärmeleitfähigkeit,  $\lambda = 0,13 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  und oft mit einer dazwischen angeordneten Trennlage verlegt wird. Aufgrund dieser Gegebenheiten kann die Kerntemperatur der Titanzinkdeckung der Oberflächentemperatur (Dicke 0,65 mm bis 0,8 mm) gleichgesetzt werden.

- o der Betriebstemperatur des Messgerätes; der Hersteller gibt für die Betriebstemperatur den Wertebereich von  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  bis  $+50 \text{ }^\circ\text{C}$  an. Im Rahmen der Messungen auf den Dächern wurde die Messeinrichtung durch spezielle Maßnahmen geschützt, so dass die o. a. Werte nicht unter- bzw. überschritten wurden.

Die Schallgeschwindigkeit für Titanzink beträgt  $3477 \text{ m/s}$ . Dieser Wert ist temperaturabhängig. Er wurde für alle Messungen im Gerät fest eingestellt und die Einstellung laufend überprüft.

Die Messungen auf den Dächern bzw. an den Wänden der zu untersuchenden Gebäude erfolgten in Abhängigkeit von der jeweiligen Wetterlage und Jahreszeit und dadurch bei zum Teil sehr unterschiedlichen Metalltemperaturen. Die Auswertung der Temperaturmessungen an den verschiedenen Objekten ergab einen Temperaturbereich von  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  bis  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ , Abbildung 31.

Dieser Einfluss muss durch Korrekturwerte pro  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ , in Abhängigkeit von der jeweiligen Nennstärke der Metalldeckung, berücksichtigt werden, um die gemessenen Dicken und deren Differenzen in Bezug auf die Messintervalle (vier, acht bzw. zwölf Jahre) vergleichen und bewerten zu können.

Auswertung der Temperaturmessungen - Extremwerte der Dach- und Wandflächen											
Objekt Nr.:	Extremwerte		Objekt Nr.:	Extremwerte		Objekt Nr.:	Extremwerte		Objekt Nr.:	Extremwerte	
	Max. Wert [°C]	Min. Wert [°C]		Max. Wert [°C]	Min. Wert [°C]		Max. Wert [°C]	Min. Wert [°C]		Max. Wert [°C]	Min. Wert [°C]
1	44	11	14 <sup>1)</sup>	50	18	27 <sup>1)</sup>	49	18	41 <sup>1)</sup>	65	30
2	59	32	15	54	18	28	50	20	42	57	20
3 <sup>1)</sup>	54	15	16	53	17	29 <sup>1)</sup>	55	18	43	60	42
4	64	26	17	60	15	30	36	21	44	54	21
5 <sup>1)</sup>	58	18	18	52	18	31	43	20	45	62	22
6	59	19	19	49	15	32	57	15	46	61	21
7 <sup>1)</sup>	60	21	20	55	27	33	51	27	47 <sup>1)</sup>	56	20
8	58	19	21 <sup>1)</sup>	53	17	34	56	15	48	58	28
9	50	20	22 <sup>1)</sup>	56	9	35	50	19	49	55	26
10	41	11	23 <sup>2)</sup>	57	19	36 <sup>1)</sup>	53	5	50	45	21
11	50	13	24	53	5	37	48	22	51	51	32
12	54	16	25A	56	15	38	59	31	52	38	17
13A	66	15	25B	50	16	39	50	17	53	50	35
13B	60	14	26	48	20	40 <sup>1)</sup>	56	17	54	42	17

Maximalwert: 65 °C                      Minimalwert: 5 °C

1) Objekte mit vier Messungen -  
2) Objekte mit zwei Messungen - Alle anderen Objekte mit drei Messungen

**Abbildung 31:** Auswertung der Temperaturmessungen - Extremwerte der Dach- und Wandflächen.

Die temperaturabhängigen Korrekturwerte wurden in einer Klimakammer durch Messungen an Titanzinktafeln verschiedener Dicke (Nennstärken 0,65 mm / 0,7 mm und 0,8 mm) bestimmt. Die Messungen erfolgten bei den Nenntemperaturen: 10 °C / 20 °C / 30 °C / 40 °C und 50 °C. Diese Messungen wurden zur Kontrolle mehrmals durchgeführt; siehe hierzu Abschnitt 4.5.2.

Titanzink besitzt in den drei Walzrichtungen unterschiedliche thermische Expansionskoeffizienten  $\alpha$ . Der thermische Expansionskoeffizient **längs** und **quer** für die Produkte aus Titanzink ist in der Literatur häufig vorhanden, da das Phänomen „Ausdehnungen in zwei Walzrichtungen“ (Längs- und Quererstreckung der Metalldeckung) in Bezug auf baukonstruktive Belange - Vermeidung von Zwängungsspannungen durch Verlängerung bzw. Verkürzung der Titanzink-Dachdeckung - von großer Bedeutung ist.

Der thermische Expansionskoeffizient  $\alpha$  **senkrecht** zur Oberfläche der Walzprodukte aus Titanzink war in der Literatur nicht verlässlich vorhanden. Für die Bestimmung der Korrekturwerte bzw. deren Beurteilung für die Anwendung musste daher dieser thermische Expansionskoeffizient  $\alpha$  ermittelt werden; siehe hierzu auch Abschnitt 4.5.1.

Da die ersten Messungen und die Folgemessungen bei den Objekten bei zum Teil sehr verschiedenen Temperaturen erfolgten, musste für die Auswertung eine Bezugstemperatur festgelegt werden. In einer ersten vorgenommenen Auswertung wurde für alle Gebäude (Objekte) einheitlich die Bezugstemperatur, der Nullpunkt für den Korrekturwert, auf 20 °C festgelegt.

Dies bedeutet, dass bei der Metalltemperatur von 20 °C für die Korrektur der Wert Null anzusetzen ist. Bei Temperaturen > 20 °C ist der Korrekturwert ein Minuswert, bei Temperaturen < 20 °C ein



Pluswert, abgeleitet aus der Auswirkung der Temperatur auf die Schallgeschwindigkeit. Die Festlegung des Nullpunktes wurde noch optimiert, um die Auswirkungen der „Temperatureinflüsse“ beim Messvorgang und später im Rahmen der statistischen Auswertung vernachlässigbar klein zu halten.

Es sind dies:

- a) die **reale** Veränderung der Dicke der Titanzinkdeckung aufgrund der thermisch bedingten Expansion,
- b) die **scheinbare** Veränderung der Dicke der Titanzinkdeckung aufgrund der Veränderung der Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur der zu messenden Metallschicht.

Hierfür wurde für jedes Objekt in Abhängigkeit vom jeweiligen Temperaturbereich, in dem die Messungen mit dem Ultraschallgerät durchgeführt wurden, ein eigener Nullpunkt festgelegt. Dazu wurde aus allen Messwerten des betreffenden Objektes ein Mittelwert bestimmt; siehe hierzu auch den Abschnitt „4.6 Bestimmung der Bezugstemperatur („Nullpunkt“)" für die Auswertung der Messungen.

#### **4.4 Ablauf der Messungen**

##### **Vorbereitende häusliche Arbeiten:**

- o Zusammenstellung der benötigten Utensilien: Ultraschall-Messgerät, Prüfkabel, Prüfköpfe, Batterien, Schablone, Koppelmittel, Schwamm, Wasserkanister, Temperatur-Messgeräte mit Oberflächenfühler für die Bestimmung der Temperatur der Titanzinkdeckung und Messgeräte für die Bestimmung der Lufttemperatur, Maßband, Dachneigungsmesser und Akte des betreffenden Objektes mit Formblättern und Schreibutensilien.
- o Einstellung der Prüf-Schallgeschwindigkeit (3477 m/s) im Ultraschall-Wanddickenmessgerät. Justieren des Ultraschall-Messgerätes und der Prüfköpfe (Messkopf und Reservekopf) in einem konstant temperierten Raum (20 °C) an einer Tafel aus Titanzink („Justiertafel“), Nenndicke 0,7 mm mit einer für diese Temperatur bekannten Dicke. Die Grundmessung / Nachmessung („Justierung“) erfolgte jeweils vor und nach der Durchführung einer Messreihe vor Ort.

##### **Messungen auf Dächern und an Wänden der Objekte und abschließende Messungen im Labor:**

- o Untersuchung der Dach- bzw. Wandflächen nach Augenschein im Hinblick auf Besonderheiten, wie mechanisch bedingte Schäden, Fehlstellen in der Fläche, Verschmutzungen, „Verschattungen“ usw.
- o Festlegung der Messorte auf der Dachfläche und Bezeichnung der Messorte, z. B. DF1.2 - 19. Schar von links - 8 m vom First. DF1.2 bedeuten: Dachfläche 1 des Objektes und dort der 2. Messort mit 20 Messpunkten. Die Angaben links, bzw. rechts erfolgten immer mit Blick auf den First der betreffenden Dachfläche. Die Dachneigung wurde mit einer speziellen Wasserwaage gemessen. Diese geometrischen Daten in Bezug auf den First und den Dachrand und die Dachneigung wurden in spezielle Formblätter (Messprotokoll) eingetragen.

- o Bei der Festlegung der Messorte wurde immer die Mitte einer Schar (Titanzinkband) gewählt, um u. a. den möglichen Einfluss der Verarbeitung des Materials auf die Schallgeschwindigkeit, z. B. durch auf der Baustelle „kalt“ verformte Bereiche der Metalldeckung aus der Herstellung der Falzverbindungen der Metallbahnen, ausschließen zu können.
- o An jedem Messort wurde die genaue Lage der Schablone (Plexiglas) mit 20 Messpunkten (20 Bohrungen, Ø 20 mm) im Rahmen der erste Messung mit einem Lackstift über die Einpasspunkte auf der Dachfläche markiert, siehe Abbildung 28.
- o Kontrolle der Einstellung der Prüf-Schallgeschwindigkeit (3477 m/s) im Ultraschall-Wanddickenmessgerät CL 304.
- o Reinigung des Messortes mit Schwamm und Wasser bzw. mit einem faserfreien Tuch. Bei einer Reinigung mit Wasser wurde der Einfluss auf eine eventuell auftretende Temperaturänderung des Titanzinks am Messort messtechnisch überprüft.
- o Auflegen der Schablone (mit Hilfe der Einpasspunkte) auf die Titanzinkdeckung. Aufbringen des Koppelmittels (kleiner „Tropfen“) auf die Metalldeckung im Bereich der 20 Bohrungen in der Schablone, siehe Abbildung 27.
- o Abnehmen der Schablone und Messung der Oberflächentemperatur der Metalldeckung im Bereich des Messortes mit Kontaktthermometern, Abbildung 30. Die Thermometer besitzen eine kurze Ansprechzeit  $t_{99}$  von etwa 5 Sekunden. Jede Temperaturmessung wurde mit einem zweiten Messgerät kontrolliert; falls erforderlich, wurde ein Mittelwert gebildet. Eintragung der Werte in das Formblatt des jeweiligen Messortes.
- o Einschalten des US-Messgerätes, Aufsetzen des Prüfkopfes auf das Koppelmittel und Erzeugung eines gleich bleibenden Anpressdrucks des Prüfkopfes auf die Titanzinkfläche. Das Koppelmittel wurde jedes Mal in gleicher Art und Weise aufgetragen. Damit soll sichergestellt werden, dass Schwankungen in der Schichtdicke des Koppelmittels vermieden werden. Das korrekte Ankoppeln des Prüfkopfes bzw. die Korrektheit des Messvorgangs wird durch ein Symbol in der Anzeige des Gerätes angegeben, siehe Abbildung 22.
- o Ablesen der Dicke der ersten von 20 Messungen des Messortes. Nach der letzten Messung - d. h. der 20. Messung des betreffenden Messortes - wurde erneut die Oberflächentemperatur gemessen. Eintragung der Werte in das Formblatt des jeweiligen Messortes.
- o Für die Bestimmung des temperaturabhängigen Korrekturwertes für die gemessenen Dicken des Messortes wurde die Mitteltemperatur aus beiden Temperaturmessungen, jeweils zu Beginn und am Ende der Messungen an einem Messort (jeweils 2 Messungen), aufgezeichnet.
- o Nach Beendigung der Messungen wurden die Reste des Koppelmittels mit einem Schwamm und Wasser von der Oberfläche der Metalldeckung entfernt.
- o Nach Beendigung der gesamten Messungen eines Objektes wurde die Einstellung der Prüfschallgeschwindigkeit im Ultraschall-Wanddickenmessgerät vor Ort erneut kontrolliert. Es ergaben sich keine Veränderungen.

- o Häusliche Kontrolle der Prüf-Schallgeschwindigkeit im Ultraschall-Wanddickenmessgerät und Nachmessung („Justierung“) an einer Tafel aus Titanzink, Nenndicke 0,7 mm im Labor. Es ergaben sich ebenfalls keine Veränderungen.

#### **Anmerkungen:**

- o Die Dickenmessungen an einem Messort (20 Messpunkte) konnten im Rahmen der Wiederholungsmessungen - nach vier, acht bzw. zwölf Jahren - nicht immer in der gleichen Reihenfolge (1. - 2. - 3. - 4. Messpunkt usw.) durchgeführt werden. Der Grund für diese Abweichung ist der Einfluss der Besonnung durch direkte bzw. auch diffuse Strahlung auf die Temperatur der Metalldeckung am Messort.

Jede Messung wurde daher so durchgeführt, dass die Messpunkte eines Messortes durch die Person des Messenden bzw. durch dessen Hand mit dem Prüfkopf nicht verschattet wurden. Eine Verschattung hätte eine messtechnisch nicht eindeutig erfassbare Veränderung der Temperatur des Titanzinks im unmittelbaren Messbereich verursacht und damit eine Unbestimmtheit für die Größe des jeweiligen Korrekturwertes zur Folge.

- o Die hier aufgeführten Anmerkungen sind bei einer **separaten** Betrachtung der Ergebnisse der einzelnen Messungen der Messpunkte im Rahmen der gesamten Messreihen (vier bis zwölf Jahre) zu beachten. Auf die Ergebnisse der Auswertung insgesamt hat es jedoch keinen Einfluss.

#### **4.5 Einfluss der Metalltemperatur auf die Ultraschall-Präzisionsmessungen**

Die Ergebnisse von Präzisions-Dickenmessungen der Titanzinkdeckung mit dem Ultraschallgerät müssen immer zusammen mit der Temperatur des Titanzinks zum Zeitpunkt der verschiedenen Messungen (z. B. im Abstand von vier Jahren) aufgeführt werden. Die Gründe hierfür sind:

- a) Eine Veränderung der Metalltemperatur im Vergleich zu der vorherigen Messung verursacht eine **reale Änderung** der Dicke durch die thermisch bedingte Expansion. Für die Ermittlung, bzw. die Beurteilung dieser Dickenänderung musste daher der thermische Expansionskoeffizient  $\alpha$  für Titanzink **senkrecht** zur Oberfläche der Walzprodukte bestimmt werden.
- b) Eine Veränderung der Metalltemperatur im Vergleich zu der vorherigen Messung verursacht eine **scheinbare Änderung** der Dicke aufgrund der Veränderung der Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur des zu messenden Titanzinks.

Folgemessungen an dem betreffenden Messort, sofern sie nicht bei derselben Metalltemperatur durchgeführt werden wie bei der ersten Messung, müssen daher eine Korrektur erfahren, siehe hierzu die oben aufgeführten Punkte a) und b) bzw. der Messvorgang muss modifiziert werden. Dies ist erforderlich, um die Veränderung der Dicke aufgrund atmosphärischer Korrosion exakt bestimmen zu können. Hierfür können zwei Varianten (Variante 1 und Variante 2) zur Anwendung kommen; sie werden in Abschnitt 4.5.3 vorgestellt und beurteilt.

Für die Betriebstemperatur des Ultraschall-Messgerätes ist in [Lit. 18] der Bereich von  $-10\text{ °C}$  bis  $+50\text{ °C}$  angegeben. Die Minimaltemperatur im gesamten Untersuchungszeitraum betrug  $+5\text{ °C}$ , sie liegt somit oberhalb des unteren Grenzwertes. Der o. a. Maximalwert  $+50\text{ °C}$  wurde durch spezielle Maßnahmen - Anordnen einer Platte aus Wärmedämmstoff zwischen dem Messgerät CL 304 und der Titanzinkdeckung und einer Beschattungseinrichtung am Messgerät - nicht überschritten.

#### **4.5.1 Ermittlung des thermischen Expansionskoeffizienten $\alpha$ für Titanzink senkrecht zur Oberfläche der Metallbänder**

Diese Untersuchung erfolgte durch das Laser Zentrum Hannover (LZH), [Lit.39]. Wegen der erforderlichen hohen Messgenauigkeit wurde ein interferometrisches Messverfahren ausgewählt. Verwendet wurde ein Fabry-Perot Interferometer (FPI). Es besteht aus zwei parallel angeordneten Spiegeln, die mit hochreflektierenden dielektrischen Beschichtungen versehen sind.

Es folgt eine kurze Beschreibung der Funktionsweise des Fabry-Perot Interferometers zur Bestimmung von Dickenänderungen der Dachdeckungen bzw. Wandbekleidungen mit Titanzink in Abhängigkeit von der Temperatur.

Trifft ein Laserstrahl auf die Spiegel, so ist die transmittierte Lichtleistung eine periodische Funktion des Spiegelabstandes. Diese Abhängigkeit wird durch die sogen. Airy-Funktion bestimmt [Lit.3]. Um mit der Airy-Funktion die Dickenänderungen der Probe bestimmen zu können, müssen die folgenden Werte bekannt sein:

- o die Intensität der einfallenden Laserstrahlung,
- o die transmittierte Intensität,
- o der Reflektionsgrad der FPI - Spiegel,
- o der Abstand der FPI - Spiegel,
- o der Brechungsindex für Luft,
- o die Wellenlänge der Laserstrahlung.

Eine Periode aus der Airy-Funktion entspricht einer Längenänderung des FPI um  $\lambda/2$ . Werden die FPI-Spiegel von beiden Seiten gegen die Probetafel aus Titanzink gedrückt, so wird der Abstand  $d$  durch die Dicke der Titanzinkprobetafel bestimmt. Die Veränderung der Dicke  $d$  der Probetafel ist in diesem Zusammenhang direkt proportional zur Anzahl der Perioden, die bei der Transmission des Laserlichts durch das FPI beobachtet werden.

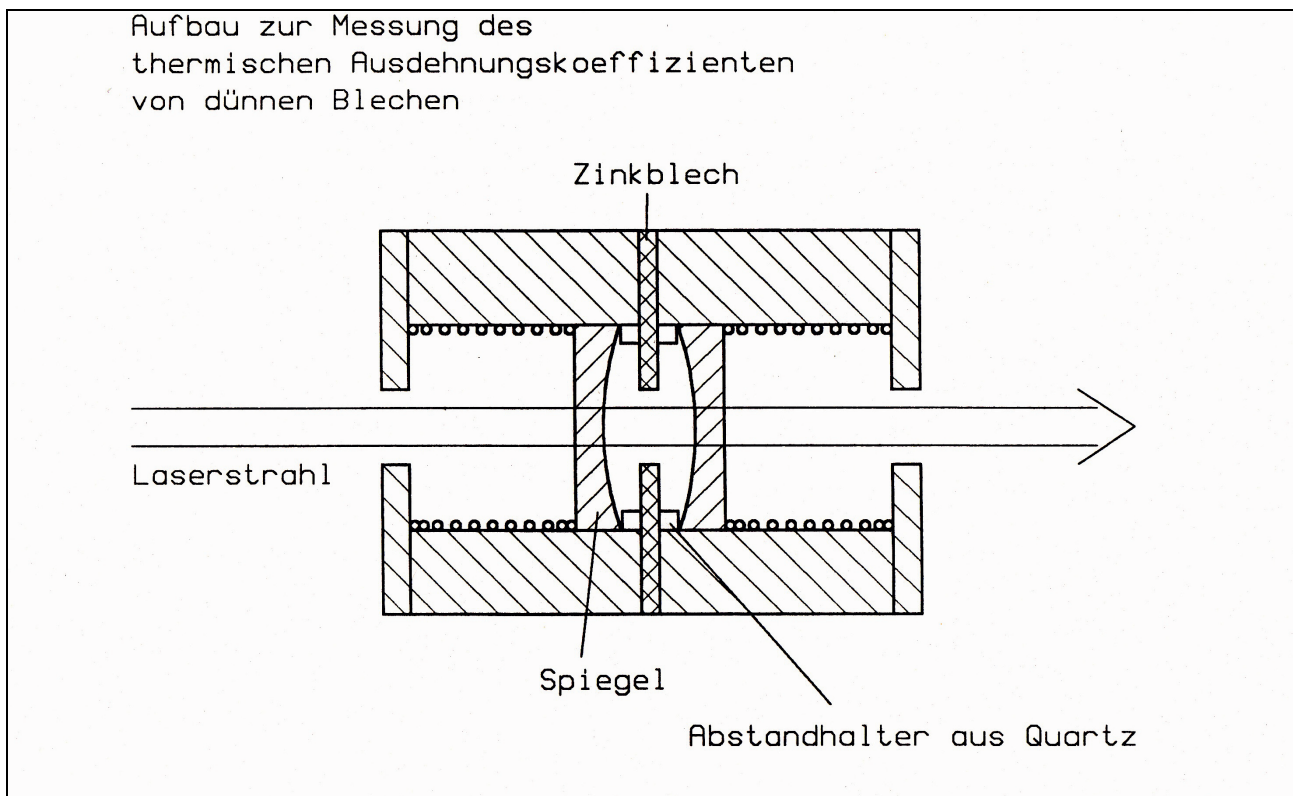
Im LZH wurde ein spezieller Aufbau für das Fabry-Perot-Interferometer aus Aluminium angefertigt. Der Aufbau ist in Abbildung 32 dargestellt. Die Interferometerspiegel wurden von beiden Seiten mittels Spiralfedern gegen die zu untersuchende Titanzinktafel (mit einer Bohrung versehen) gepresst.

Zwischen den Spiegeln und der zu untersuchenden Titanzinktafel sind jeweils drei kleine Quarzscheiben angeordnet. Sie sichern eine Dreipunktlagerung der Spiegel auf der Titanzinktafel. Aus

Stabilitätsgründen wurden zwei konkave FPI-Spiegel gewählt, mit einem Krümmungsradius von 1 m und einem Reflexionsgrad von 90 % bei der Wellenlänge  $\lambda = 334 \text{ nm}$ .

Nach dem Aufbau der Messvorrichtung wurde der Halter von allen Seitenflächen wärmeisoliert, mit Ausnahme der Eintrittsseite und Austrittsseite des Laserstrahls. Diese Maßnahme diente der homogenen Temperaturverteilung in der Messprobe.

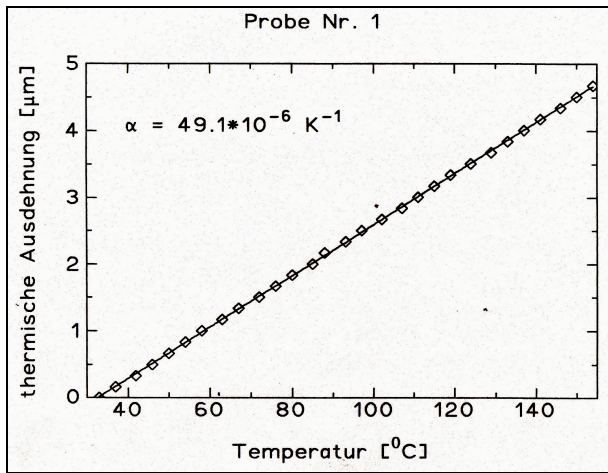
Während der Messung wurden die Transmission des FPI und die Temperatur des Titanzinks gleichzeitig mit einem Zweikanalschreiber aufgezeichnet. Die Temperatur wurde mit einem NiCr-Ni-Thermoelement auf der Probetafel aus Titanzink gemessen.



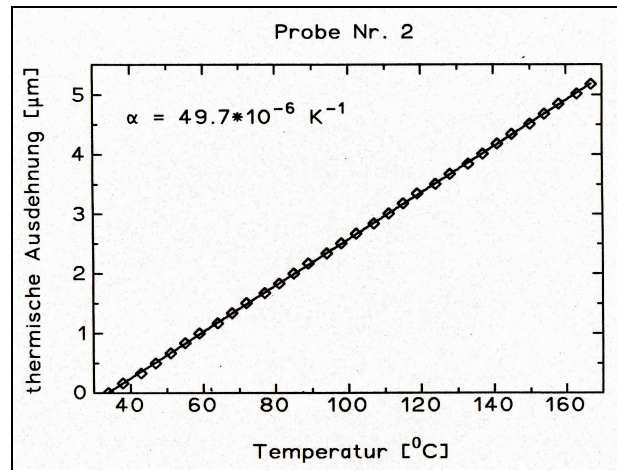
**Abbildung 32:** Interferometeraufbau - Prinzipdarstellung [Lit.39]. © Laserzentrum Hannover e.V.

Der Messvorgang erfolgte während des Abkühlvorganges gegen die Temperatur der Raumluft. Als Strahlenquelle wurde ein Argonionenlaser mit der Wellenlänge von  $\lambda = 334 \text{ nm}$  eingesetzt. Der Laserstrahl wurde mit einer speziellen Strahlungs- und Fokussieroptik an das FPI angepasst.

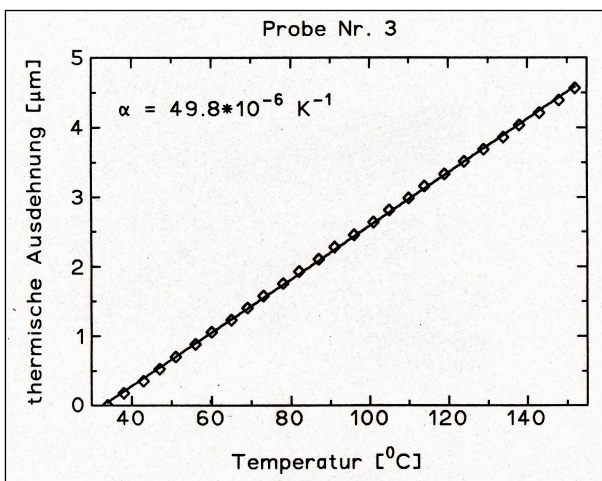
Es wurden drei Titanzinktafeln mit einer Nenndicke von 0,8 mm untersucht. Bei der sich anschließenden Auswertung der Messungen durch das LZH wurden die Störfaktoren, die durch die thermisch bedingte Ausdehnung der Quarzscheiben [Lit.24] und die Temperaturabhängigkeit der Brechzahl von Luft entstehen [Lit.21], berücksichtigt. Der Verlauf der Messungen und die Auswertung der drei Proben sind in den Abbildung 33 bis 35 dargestellt, entnommen aus [Lit.39].



**Abbildung 33:** Thermische Ausdehnung Probe Nr. 1 [Lit. 39].  
© Laserzentrum Hannover e.V.



**Abbildung 34:** Thermische Ausdehnung Probe Nr. 2 [Lit. 39].  
© Laserzentrum Hannover e.V.



**Abbildung 35:** Thermische Ausdehnung Probe Nr. 3 [Lit. 39].  
© Laserzentrum Hannover e.V.

**Die Auswertung der Messungen durch das LZH ergab folgende Ergebnisse:**

**Probe 1:**  $\langle \alpha \rangle = 49,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

**Probe 2:**  $\langle \alpha \rangle = 49,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

**Probe 3:**  $\langle \alpha \rangle = 49,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Im LZH wurde zur Überprüfung der vorliegenden Messmethode ein 3 mm dickes Blech der Aluminiumlegierung (AlMg<sub>3</sub>) gemessen. Der hierbei ermittelte Wert für den thermischen Ausdehnungskoeffizienten  $\alpha$  ergab  $24,4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Der vom Hersteller des Aluminiumprofils angegebene Wert beträgt  $23,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Dieses Ergebnis bestätigt u. a. die Korrektheit des Messverfahrens.

Der thermische Expansionskoeffizient  $\alpha$  für Titanzink senkrecht zur Oberfläche der Metallbänder, als Mittelwert aus den o. a. drei Werten, wurde zu  $49,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  bestimmt.

Der Fehler für diesen Messwert wurde vom LZH mit  $\Delta\alpha = 6 \%$  abgeschätzt, so dass sich folgende Werte ergeben:

$$\alpha_{\text{max.}} = 52,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\alpha = 49,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\alpha_{\text{min.}} = 46,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

Bei Verwendung der o. a. Werte ergeben sich die nachfolgend aufgeführten **realen** Dickenänderungen:

**Dicke des Materials: 0,65 mm**

Fall a) Dickenänderung pro 1 K bei  $\alpha_{\max.} = 52,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ : 0,0000341 mm (maximaler Wert)

Fall b) Dickenänderung pro 1 K bei  $\alpha = 49,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ : 0,0000322 mm (Mittelwert)

Fall c) Dickenänderung pro 1 K bei  $\alpha_{\min.} = 46,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ : 0,0000302 mm (minimaler Wert)

Die dritte Nachkommastelle in der Anzeige des Ultraschall-Gerätes wird verändert bei:

**Fall a)**  $\Delta\vartheta \approx 29 \text{ K}$  - **Fall b)**  $\Delta\vartheta \approx 31 \text{ K}$  - **Fall c)**  $\Delta\vartheta \approx 33 \text{ K}$

**Dicke des Materials: 0,7 mm**

Fall a) Dickenänderung pro 1 K bei  $\alpha_{\max.} = 52,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ : 0,0000368 mm (maximaler Wert)

Fall b) Dickenänderung pro 1 K bei  $\alpha = 49,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ : 0,0000347 mm (Mittelwert)

Fall c) Dickenänderung pro 1 K bei  $\alpha_{\min.} = 46,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ : 0,0000326 mm (minimaler Wert)

Die dritte Nachkommastelle in der Anzeige des Ultraschall-Gerätes wird verändert bei:

**Fall a)**  $\Delta\vartheta \approx 27 \text{ K}$  - **Fall b)**  $\Delta\vartheta \approx 29 \text{ K}$  - **Fall c)**  $\Delta\vartheta \approx 31 \text{ K}$

**Dicke des Materials: 0,8 mm**

Fall a) Dickenänderung pro 1 K bei  $\alpha_{\max.} = 52,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ : 0,0000420 mm (maximaler Wert)

Fall b) Dickenänderung pro 1 K bei  $\alpha = 49,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ : 0,0000396 mm (Mittelwert)

Fall c) Dickenänderung pro 1 K bei  $\alpha_{\min.} = 46,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ : 0,0000372 mm (minimaler Wert)

Die dritte Nachkommastelle in der Anzeige des Ultraschall-Gerätes wird verändert bei:

**Fall a)**  $\Delta\vartheta \approx 24 \text{ K}$  - **Fall b)**  $\Delta\vartheta \approx 25 \text{ K}$  - **Fall c)**  $\Delta\vartheta \approx 27 \text{ K}$

#### 4.5.2 Ermittlung der temperaturabhängigen Korrekturwerte Dickenmessungen an Probetafeln in einer Klimakammer

Die Messungen zur Ermittlung der temperaturabhängigen Korrekturwerte erfolgten in einer Klimakammer, Abbildung 36. Die Messungen wurden an 11 Probetafeln aus Titanzink mit den Abmessungen 270 mm · 420 mm vorgenommen. Folgende Probetafeln wurden verwendet:

Bezeichnung der Probetafeln	Nenn Dicke [mm]	Oberflächenbeschaffenheit der Probetafeln
0,65-1	0,65	„walzblank“, fabrikneu
0,65-2	0,65	„walzblank“, fabrikneu
0,65-3	0,65	„walzblank“, fabrikneu
0,7-1	0,7	„walzblank“, fabrikneu
0,7-2	0,7	„walzblank“, fabrikneu
0,7-3	0,7	„vorbewittert blaugrau“, fabrikneu
0,8-1	0,8	„walzblank“, fabrikneu
0,8-2	0,8	„vorbewittert blaugrau“, fabrikneu
0,8-3	0,8	„vorbewittert blaugrau“, fabrikneu
0,7- alt	0,7	„vorbewittert blaugrau“, alt (ca. acht Jahre freibewittert)
0,8- alt	0,8	„walzblank“, alt (ca. acht Jahre freibewittert)

Auf jeder Probetafel wurden 20 Messpunkte mit Hilfe der Plexiglasschablone, die auch bei den Messungen der Objekte verwendet wurde, festgelegt, Abbildung 37. Die Anordnung der Messpunkte entspricht der auf den Flächen (Messort) der 55 Messobjekte (Gebäude, bzw. Versuchsflächen).





Abbildung 36: Ansicht Klimakammer.

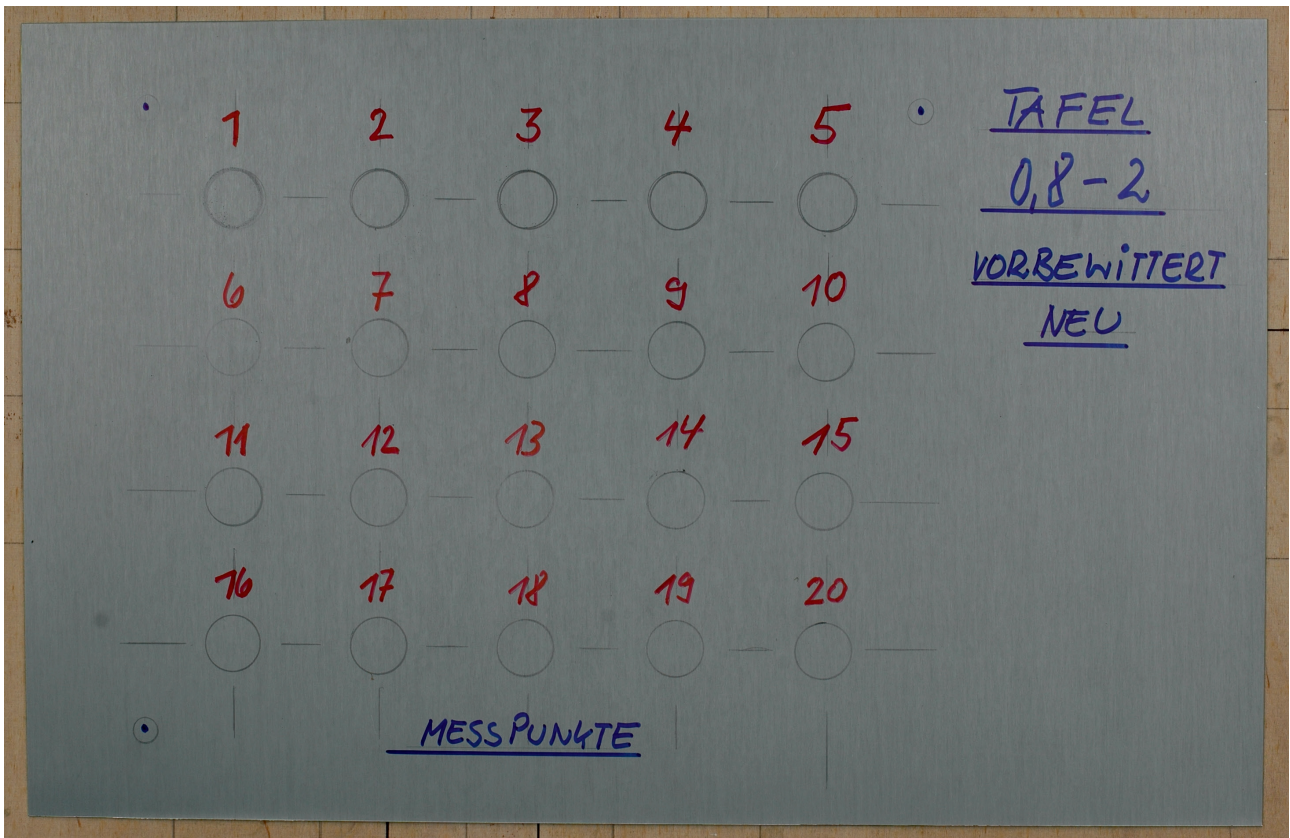


Abbildung 37: Probetafel 0,8-2 „vorbewittert blaugrau“, fabrikneu mit 20 Messpunkten und den drei markierten „Einpasspunkten“.



Die Probetafeln aus Titanzink wurden luftumspült in der Klimakammer gelagert, Abbildung 38. Die Dickenmessungen an den Titanzinktafeln erfolgten auf einer Sperrholzplatte; sie wurde ebenfalls luftumspült auf einem Tisch gelagert. Auf dieser Sperrholzplatte waren die 20 Messpunkte der Titanzinktafeln deckungsgleich markiert. An drei Messpunkten wurden Bohrungen in der Sperrholzplatte für die Temperaturmessfühler (NiCr-Ni) vorgenommen. Die Messfühler berührten die Unterseite der Titanzinktafeln. Ein Messfühler diente zur Kontrollmessung der Lufttemperatur in der Klimakammer. Die vier Messfühler wurden an einen Datalogger angeschlossen, der wiederum über ein USB-Interface mit einem Rechner verbunden war, Abbildungen 38 und 39.



**Abbildung 38:** Lagerung der Titanzinktafeln in der Klimakammer, Kabelführung, Datalogger mit Interface und Rechner zur Übermittlung und Aufzeichnung der Temperaturmessungen.

Alle Geräte, Proben usw. wurden für die gesamten Messreihen in der Klimakammer gelagert. Die Messungen erfolgten bei folgenden Nenntemperaturen: 10 °C / 20 °C / 30 °C / 40 °C und 50 °C. Die Messungen an den Probetafeln bei den verschiedenen Nenntemperaturen erfolgten im Abstand von jeweils drei Tagen, um die jeweilige neue Nenntemperatur erreichen zu können und eine gleichmäßige Erwärmung aller für die Messung erforderlichen Geräte bzw. Teile sicherzustellen. Die stationär durchgeführten Messungen (Luft- und Metalltemperatur) mit Hilfe des Dataloggers, Messtakt 15 Minuten, wurden jeweils mit mobilen Messgeräten, siehe Abbildung 39, die auch bei den vor Ort an den Gebäuden durchgeführten Messungen verwendet wurden, kontrolliert. Die hierbei maximal aufgetretene Temperaturdifferenz betrug 0,5 °C. Dies ist im Rahmen der hier erforderlichen Genauigkeit zu tolerieren.



**Abbildung 39:** Arbeitstisch mit Probetafel, Messgeräten und Prüfbühnen in der Klimakammer.

#### **Ablauf der Messungen in der Klimakammer:**

- o Kontrolle der Einstellung der Prüf-Schallgeschwindigkeit im Ultraschall-Wanddickenmessgerät.
- o Auflegen der Titanzinktafel auf die Sperrholzplatte im Bereich von Justierleisten um die Deckung der Markierung auf der Sperrholzplatte und der Messpunkte auf der Titanzinktafel sicherzustellen.
- o Überprüfen des Kontakts der Temperatur-Messfühler mit der Titanzinktafel.
- o Aufbringen des Koppelmittels im Bereich der 20 Messpunkte.
- o Einschalten des Rechners, des Dataloggers und des USB-Interface. Messintervalle 15 Minuten, permanente Aufzeichnung der Temperaturwerte mit Zeitangabe in einem Rechner.
- o Messungen der Dicke der Titanzinktafel mit dem Ultraschall-Wanddickenmessgerät CL 304 und dem Prüfkopf CLF 4 mit einer Vorlaufstrecke aus Plexiglas.

- o Durchführung von Kontrollmessungen mit Hilfe der mobilen Temperaturmessgeräte, jeweils vor und nach einer Messreihe.
- o Kontrolle der Einstellung der Prüf-Schallgeschwindigkeit im Ultraschall-Wanddickenmessgerät.

Jede Titanzinktafel mit den 20 Messpunkten, siehe Abbildung 37, wurde fünfmal gemessen, so dass sich für jede Titanzinktafel fünf Messreihen mit jeweils 100 Messungen ergeben. An den Probetafeln wurden für die Nenntemperaturen 10 °C / 20 °C / 30 °C / 40 °C und 50 °C folgende Anzahl von Einzelmessungen durchgeführt:

Drei Probetafeln der Nenndicke 0,65 mm - neu: 1400 Messungen  
 Drei Probetafeln der Nenndicke 0,7 mm - neu: 1400 Messungen  
 Drei Probetafeln der Nenndicke 0,8 mm - neu: 1400 Messungen  
 Eine Probetafel der Nenndicke 0,7 mm - alt: 500 Messungen  
 Eine Probetafel der Nenndicke 0,8 mm - alt: 500 Messungen  
 Insgesamt durchgeführte Messungen: 5200

Für die später durchgeführte Auswertung wurde zusätzlich zur elektronischen Aufzeichnung der Metalltemperatur für jede Messreihe die Metalltemperatur **vor** und **nach** der Dickenmessung mit den mobilen Messgeräten bestimmt. Aus diesen Werten wurde für jede Titanzinktafel (Messung) eine Mitteltemperatur errechnet. Nachfolgend wird ein Auszug aus den EDV-gestützten Temperatureaufzeichnungen dargestellt, siehe Abbildung 40.

Temperaturmessungen in der Klimakammer (°C)						
Zeile	Datum	Uhrzeit	Kanal 1	Kanal 2	Kanal 3	Kanal 4
1	07.11.2006	16:09:29	39,0	39,6	39,5	39,5
2	07.11.2006	16:09:44	38,9	39,5	39,4	39,1
3	07.11.2006	16:09:59	38,8	39,4	39,4	39,4
4	07.11.2006	16:10:14	38,7	39,5	39,3	38,4
5	07.11.2006	16:10:29	38,8	39,4	39,4	38,5
6	07.11.2006	16:10:44	38,6	39,2	39,2	38,9
7	07.11.2006	16:10:59	38,6	39,2	39,0	39,3
8	07.11.2006	16:11:14	38,5	39,1	39,0	39,1
9	07.11.2006	16:11:29	38,5	39,0	38,9	39,0
10	07.11.2006	16:11:44	38,5	39,0	38,9	38,7
11	07.11.2006	16:11:59	38,6	39,0	38,9	29,3 <sup>1)</sup>
12	07.11.2006	16:12:14	38,5	39,0	39,0	25,0 <sup>1)</sup>
13	07.11.2006	16:12:29	38,5	39,1	38,9	38,3
14	07.11.2006	16:12:44	38,6	38,9	38,9	38,7

**Erläuterungen:**  
 Kanal 1 bis 3: Metalltemperatur - Kanal 4: Lufttemperatur der Klimakammer  
 1) Öffnen und Schließen der Tür der Klimakammer

**Abbildung 40:** Auszug aus einer EDV-gestützten Temperatureaufzeichnung der Messungen bei der Nenntemperatur von 40 °C für die Titanzinktafel 0,65-1.

Das Absinken der Lufttemperatur in der Klimakammer, Zeile 11 in Abbildung 40, ist auf ein Öffnen und Schließen der Tür zurückzuführen. Dies hatte auf die Metalltemperaturen keinen Einfluss, siehe hierzu die Zeilen 10 bis 14 in Abbildung 40.



Die Auswertung der Messungen an den 11 Titanzinktafeln in der Klimakammer erfolgte in zwei Stufen.

### Stufe 1 der Auswertung

Es werden die Ergebnisse der fünf Messreihen (Dicken in mm und Temperaturen in °C) für jede Probetafel dargestellt. Für jeden Messpunkt wurde der Mittelwert der Dicke aus den fünf Messreihen bestimmt. Aus allen 100 Messungen (5 Reihen zu je 20 Messpunkten) wurden ebenfalls der Mittelwert und die Standardabweichung ermittelt.

Die nachfolgend in Abbildung 41 dargestellte Situation wurde beispielhaft ausgewählt. Die hier nicht weiter dargestellten Mess- und Auswertungsergebnisse der anderen Probetafeln haben die gleiche Qualität. Die Standardabweichungen der fünf Messreihen, zum Teil nicht dargestellt, unterscheiden sich nur geringfügig.

<b>Messungen in der Klimakammer</b>						
<b>Messungen bei 10 °C - Nenndicke 0,7 mm</b>						
<b>Messpunkte</b>	<b>Tafel 0,7-1</b>					<b>Mittelwert</b>
	<b>walzblank - fabrikneu</b>					
	<b>1. Mess.</b>	<b>2. Mess.</b>	<b>3. Mess.</b>	<b>4. Mess.</b>	<b>5. Mess.</b>	<b>1. - 5.Mess.</b>
Messpunkt 01	0,691	0,691	0,691	0,691	0,692	0,6912
Messpunkt 02	0,693	0,693	0,693	0,693	0,693	0,6930
Messpunkt 03	0,692	0,691	0,691	0,691	0,691	0,6912
Messpunkt 04	0,693	0,693	0,693	0,693	0,693	0,6930
Messpunkt 05	0,688	0,688	0,689	0,688	0,688	0,6882
Messpunkt 06	0,688	0,689	0,689	0,689	0,689	0,6888
Messpunkt 07	0,694	0,693	0,693	0,693	0,693	0,6932
Messpunkt 08	0,692	0,692	0,692	0,691	0,693	0,6920
Messpunkt 09	0,695	0,696	0,696	0,696	0,696	0,6958
Messpunkt 10	0,689	0,690	0,689	0,689	0,689	0,6892
Messpunkt 11	0,687	0,686	0,687	0,687	0,687	0,6868
Messpunkt 12	0,690	0,690	0,690	0,690	0,690	0,6900
Messpunkt 13	0,688	0,688	0,689	0,688	0,689	0,6884
Messpunkt 14	0,692	0,692	0,692	0,692	0,692	0,6920
Messpunkt 15	0,687	0,687	0,687	0,687	0,687	0,6870
Messpunkt 16	0,687	0,687	0,687	0,687	0,687	0,6870
Messpunkt 17	0,694	0,694	0,694	0,693	0,693	0,6936
Messpunkt 18	0,691	0,692	0,692	0,691	0,692	0,6916
Messpunkt 19	0,692	0,693	0,694	0,693	0,693	0,6930
Messpunkt 20	0,690	0,690	0,689	0,689	0,689	0,6894
<b>Mittelwerte</b>	0,69065	0,69075	0,69085	0,69055	0,69080	0,69072
<b>Maximalwerte</b>	0,695	0,696	0,696	0,696	0,696	0,69580
<b>Minimalwerte</b>	0,687	0,686	0,687	0,687	0,687	0,68640
<b>Standardabw.</b>	0,00256	0,00265	0,00258	0,00252	0,00257	0,00255

**Abbildung 41:** Tafel 07-1 (fabrikneu) Darstellung der Messergebnisse (Auszug aus den Messreihen), Mittelwertbestimmung und Standardabweichung.

In den Abbildungen 42 und 43 sind die Mittelwerte aus fünf Messreihen (100 Messungen), bezogen auf die 20 Messpunkte, jeweils für die gemessenen Temperaturen der Titanzinktafeln dargestellt. Sie ergeben gewissermaßen ein „Oberflächenprofil“ der Titanzinktafeln. Diese Art der Auswertung der Messungen zeigt deutlich den Einfluss des Walzvorganges der Titanzinkbänder bei der Herstellung

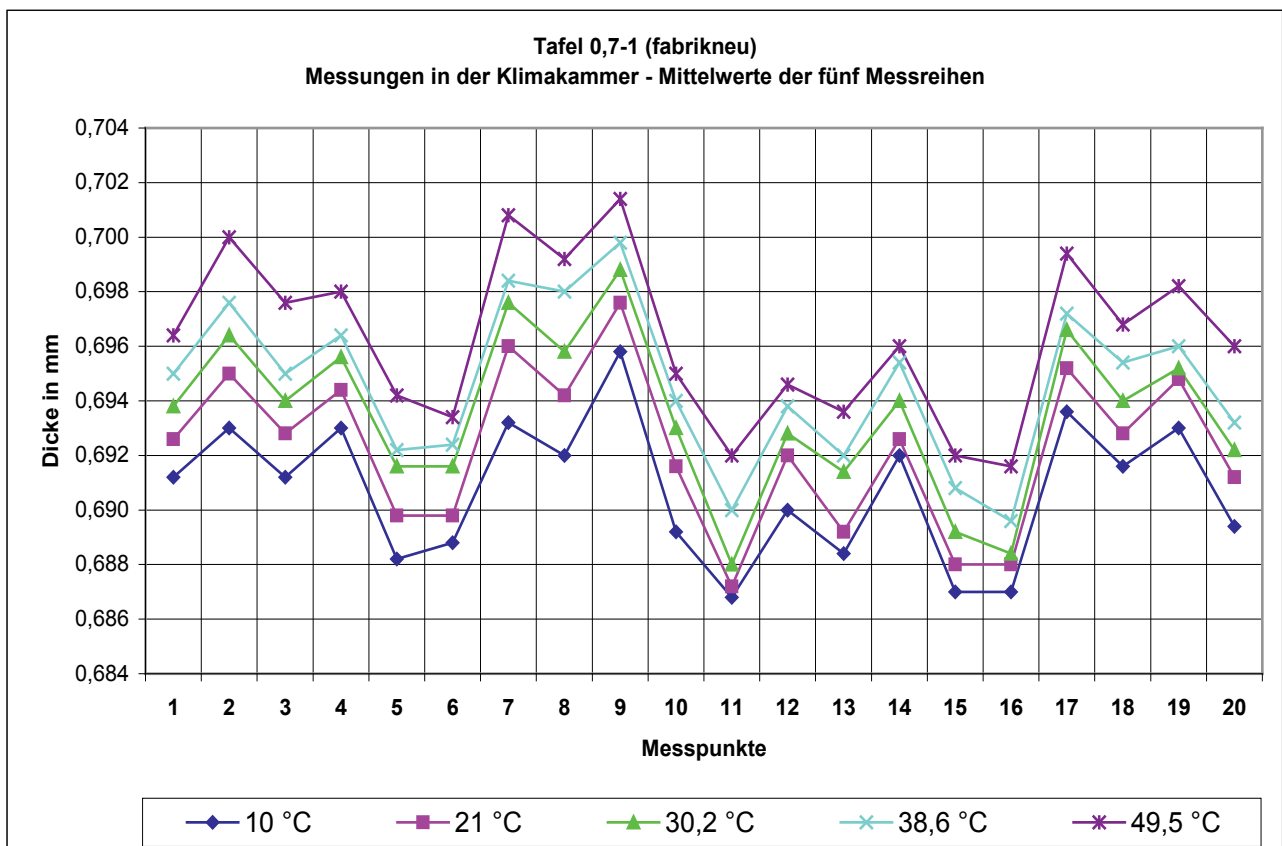
im Werk. Wie schon in Abschnitt 1.2.3 erläutert, werden die Titanzinkbänder für die Bedachungsmaterialien in einem kontinuierlich ablaufenden Walzvorgang hergestellt. In der Walzstraße wird das Titanzinkband, nachdem es seine Nenndicke erreicht hat, auf einer Spindel zu einem so genannten Coil aufgewickelt.

Beim „Ausklinken“ des fertig aufgewickelten Coils aus dem kontinuierlichen Walzvorgang und dem Einsetzen einer Spindel für das nächste Coil, siehe Abbildung 12, können in Längsrichtung des Bandes Dickenänderungen gegenüber dem „ungestörten“, kontinuierlich hergestellten Bereich entstehen (trapezförmiges Profil in Längsrichtung über etwa 10 m). Ein trapezförmiges Profil in der Breite der Metallbänder kann entstehen, wenn die Walzgerüste auf beiden Seiten der Walzstraße unterschiedliche Drücke auf den dünn zu walzenden Metallstrang abgeben.

Beide Phänomene - trapezförmige Querschnitte - können im Bereich des Messortes (20 Messpunkte durch die Bohrung in der Schablone festgelegt) Größenordnungen aufweisen, ansteigend von 0,001 bis etwa 0,005 mm, gegenüber einer sonst gleichmäßigen Verteilung der Messergebnisse. „Ungenauigkeiten“ der Walzen bzw. auch die Verteilung der Walzemulsion können „wellige“ Oberflächen ergeben. Die Auswirkungen dieser Einflüsse wurden bei Messungen in der Klimakammer und auch teilweise bereits bei den Messungen der 55 Objekte festgestellt.

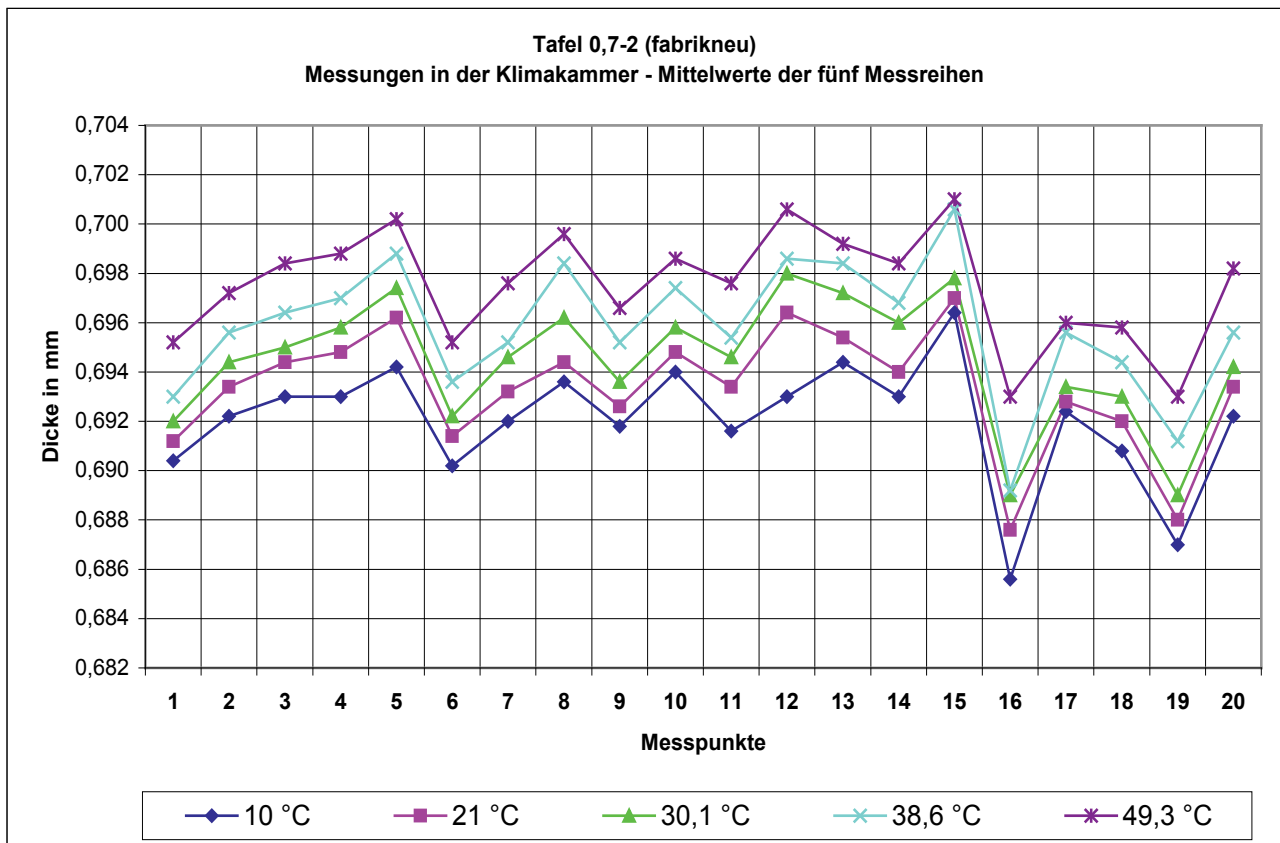
### Anmerkung

Die festgestellten „Abweichungen“ liegen voll im Toleranzbereich der Produkte; sie stellen keinen Mangel dar; siehe Abschnitt 1.2.3.



**Abbildung 42:** Tafel 0,7-1 (fabrikneu) Mittelwerte der fünf Messreihen.





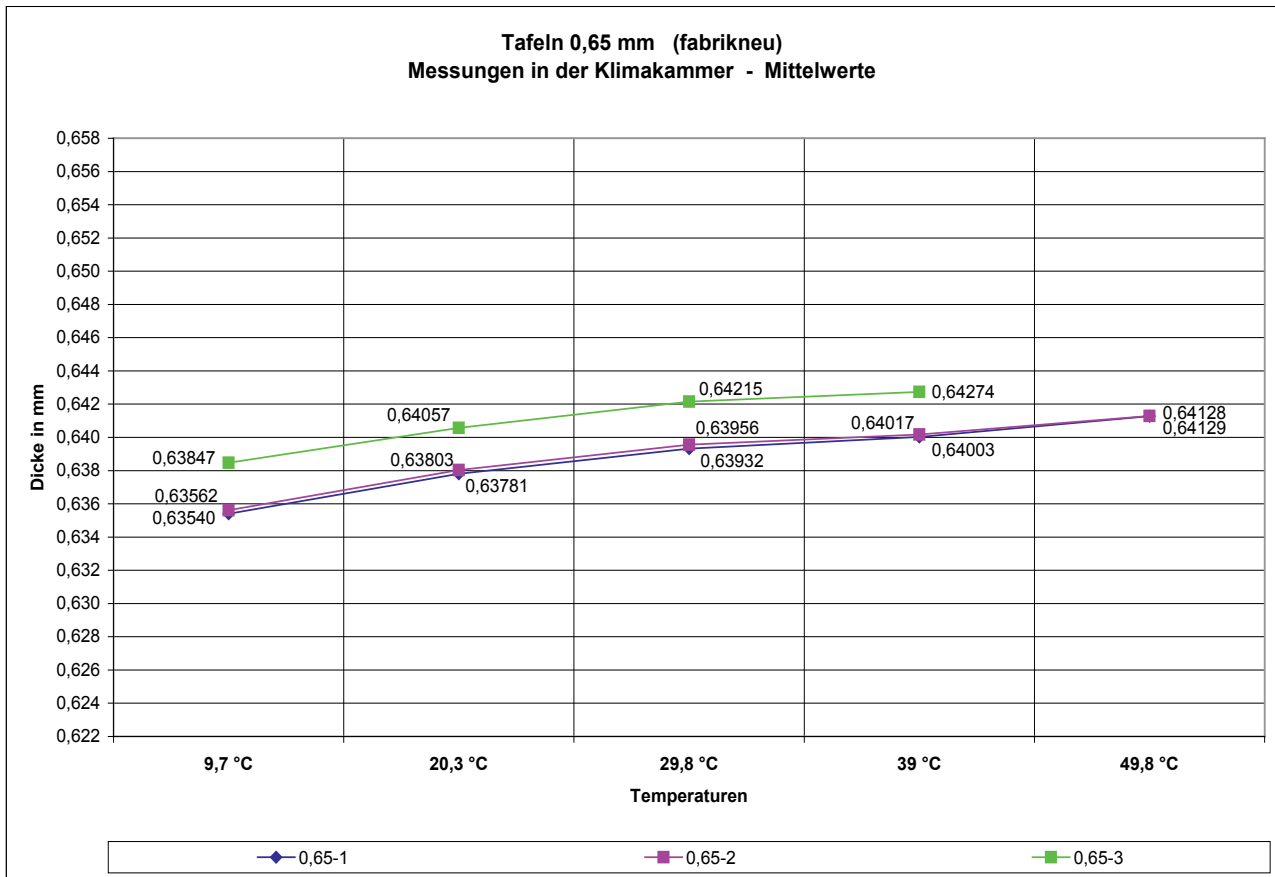
**Abbildung 43:** *Tafel 0,7-2 (fabrikneu) Mittelwerte der fünf Messreihen.*

In den Abbildungen 44 bis 48 sind die Mittelwerte der Messergebnisse der Tafeln dargestellt:

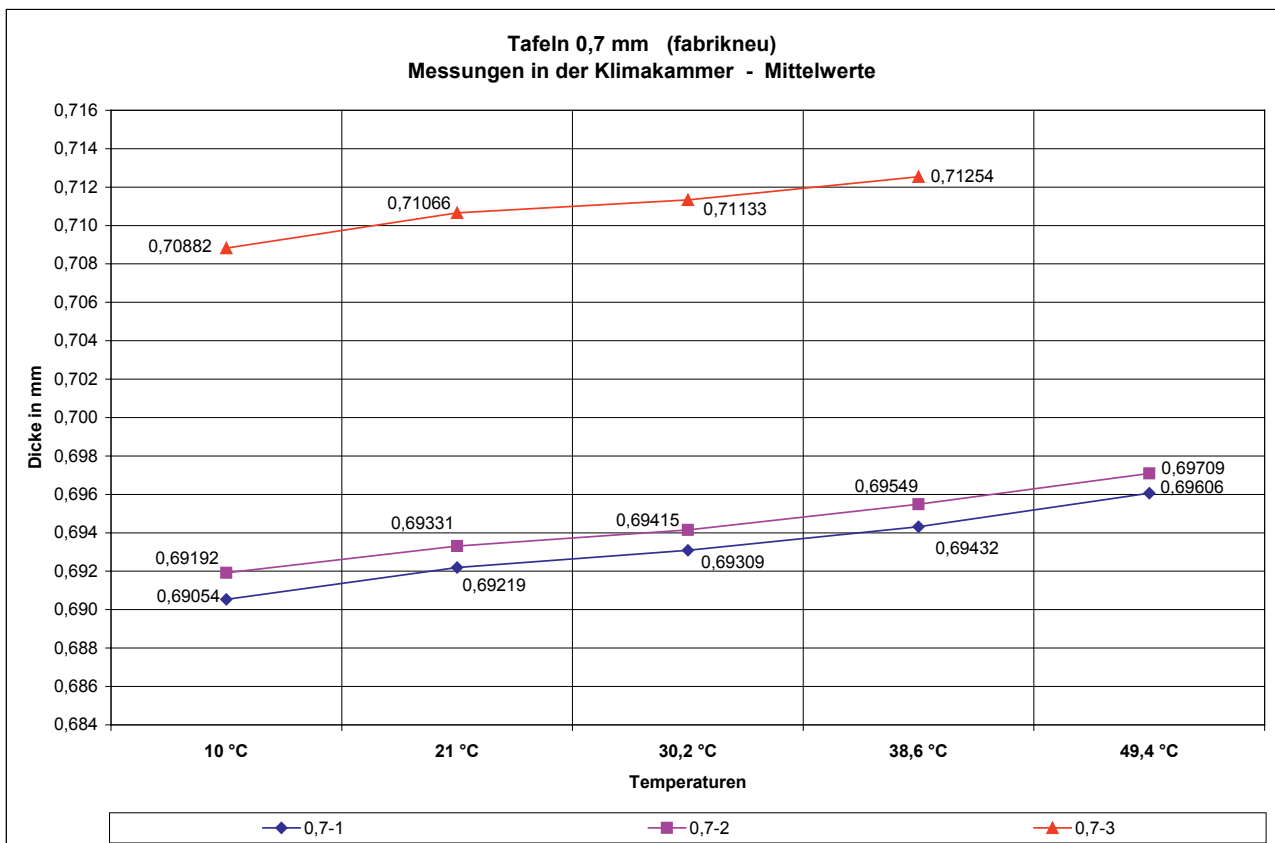
Nenndicke 0,65 mm (fabrikneu)	Mittelwert aus den Messungen an drei Tafeln
Nenndicke 0,7 mm (fabrikneu)	Mittelwert aus den Messungen an drei Tafeln
Nenndicke 0,8 mm (fabrikneu)	Mittelwert aus den Messungen an drei Tafeln
Nenndicke 0,7 mm - alt (acht Jahre freibewittert)	Mittelwert aus den Messungen an einer Tafel
Nenndicke 0,8 mm - alt (acht Jahre freibewittert)	Mittelwert aus den Messungen an einer Tafel

Bei der Bewertung der in den Abbildungen 44 bis 48 dargestellten Werte, muss berücksichtigt werden, dass der teilweise nicht absolut lineare Verlauf der Änderung der Mittelwerte der Dicken auf die Abweichungen der gemessenen Temperaturen zu den so genannten Nenntemperaturen (10 °C / 20 °C / 30 °C / 40 °C / 50 °C) zurückzuführen ist, siehe Abbildung 44 bis 48. Hierzu werden zwei Beispiele angeführt:

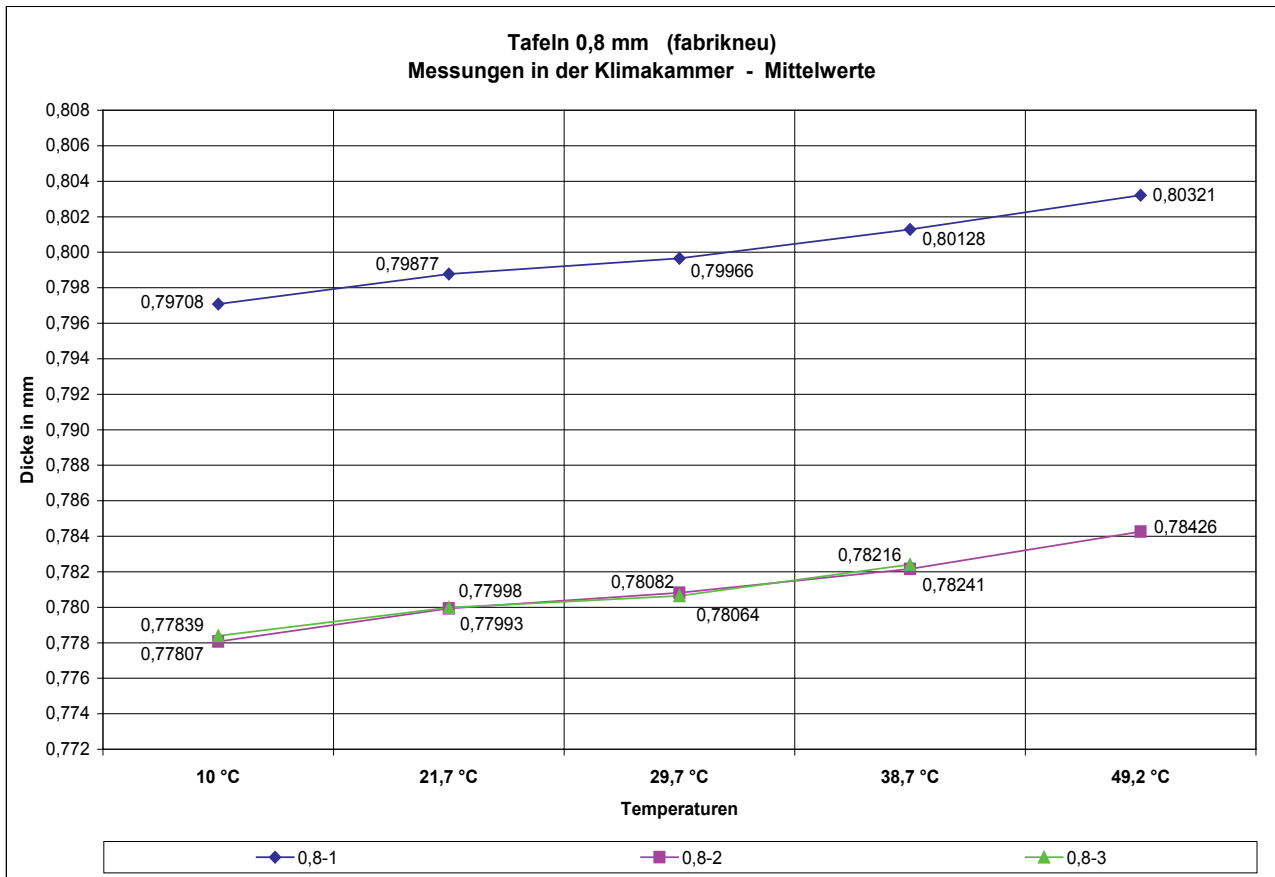
- o Nenntemperatur 10 °C, tatsächlich gemessene Temperatur 9,7 °C,
- o Nenntemperatur 50 °C, tatsächlich gemessene Temperatur 49,4 °C.



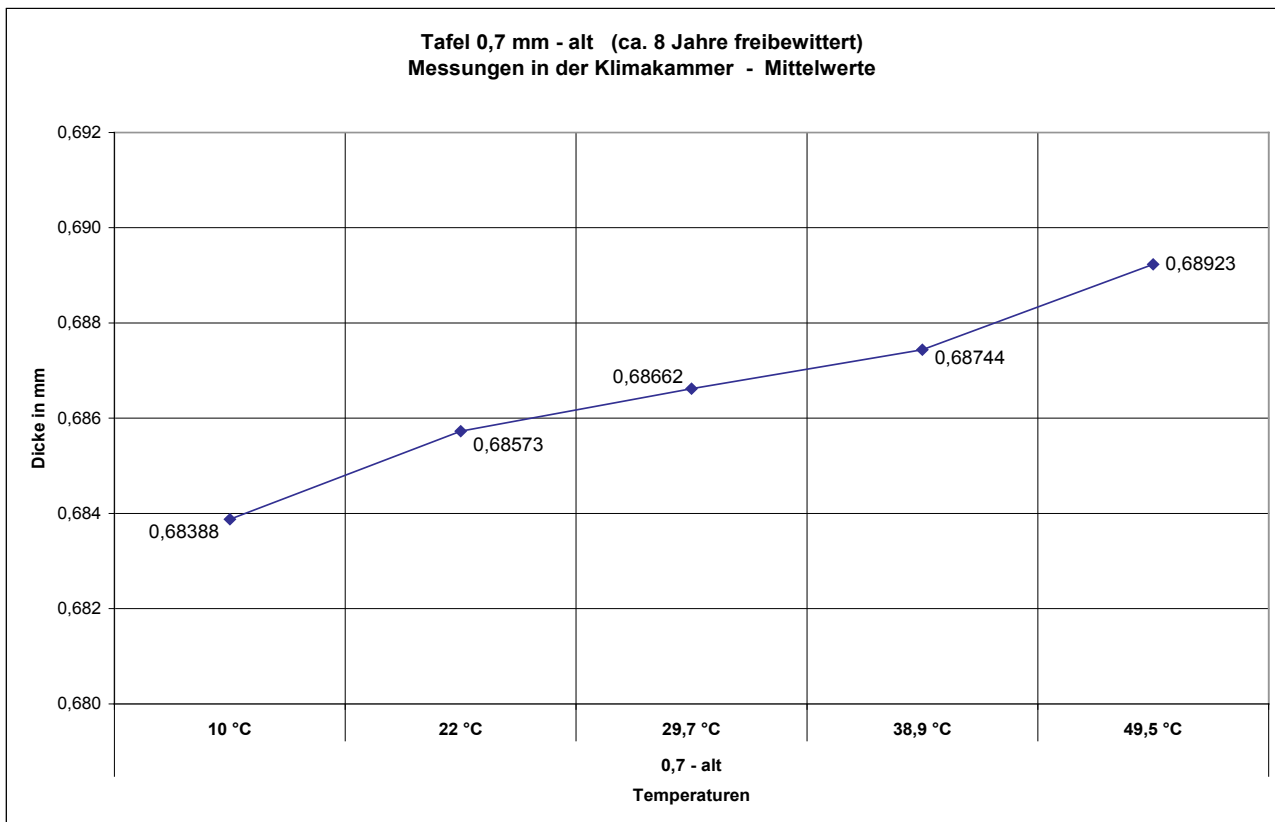
**Abbildung 44:** Errechnete Mittelwerte der drei Tafeln 0,65 mm (fabrikneu).



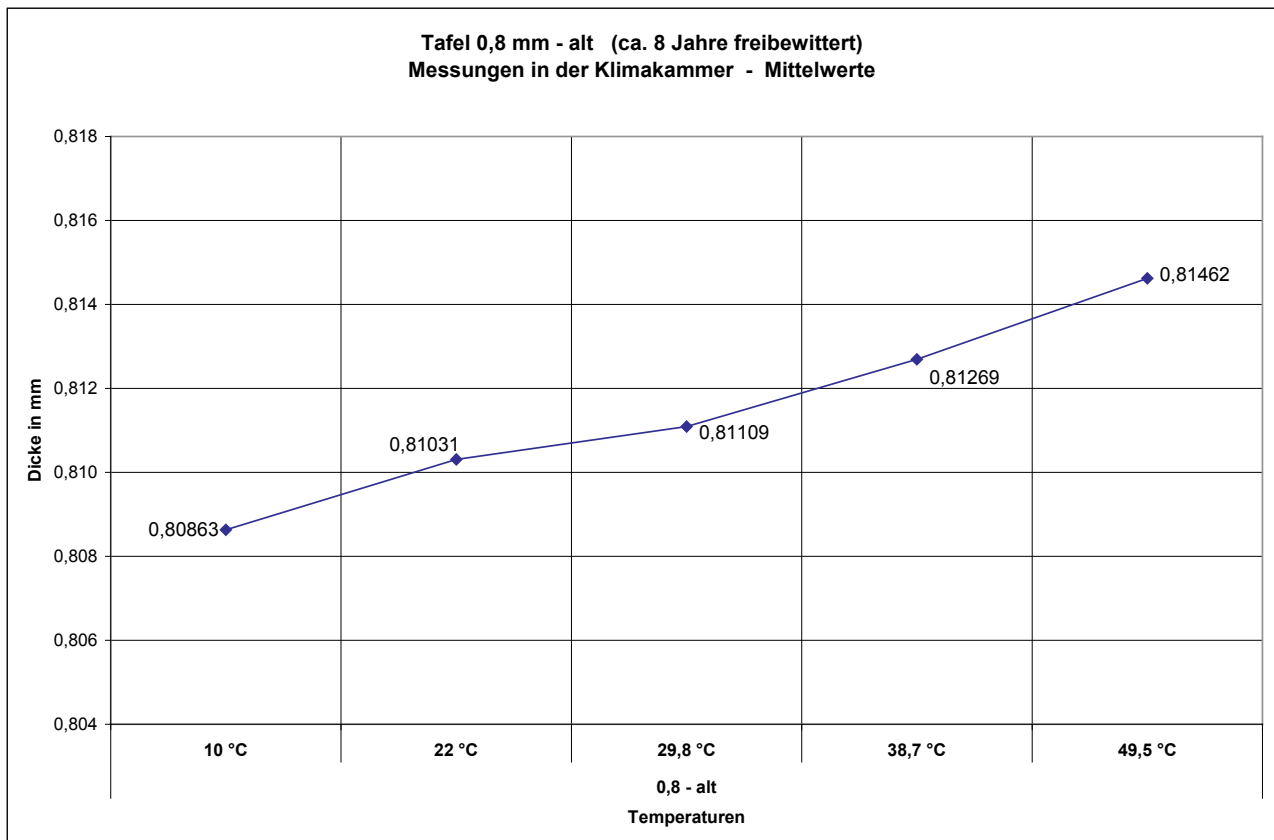
**Abbildung 45:** Errechnete Mittelwerte der drei Tafeln 0,7 mm (fabrikneu).



**Abbildung 46:** Errechnete Mittelwerte der drei Tafeln 0,8 mm (fabrikneu).



**Abbildung 47:** Errechnete Mittelwerte der Tafel 0,7 mm - alt (ca. acht Jahre freibewittert).



**Abbildung 48:** Errechnete Mittelwerte der Tafel 0,8 mm - alt (ca. acht Jahre freibewittert).

## Stufe 2 der Auswertung

In Abbildung 49 wird die Ermittlung der Korrekturwerte für die Probetafeln der Nenndicken 0,65 mm (fabrikneu) / 0,7 mm (fabrikneu) / 0,8 mm (fabrikneu) / 0,7 mm - alt (ca. acht Jahre freibewittert) und 0,8 mm - alt (ca. 8 Jahre freibewittert) dargestellt. Für die Ermittlung der temperaturabhängigen Korrekturwerte wurde die Dickendifferenz zwischen der ersten Messung (Nenntemperatur 10 °C, gemessene Temperaturen 9,7 °C / 10 °C / 10 °C / 10 °C / 10 °C) und der fünften Messung (Nenntemperatur 50 °C, gemessene Temperaturen 49,8 °C / 49,2 °C / 49,5 °C / 49,5 °C) verwendet.

**Diese Dickenänderung darf um den Betrag der thermische Expansion nicht vermindert werden, da sie bei den Messwerten vor Ort an den Gebäuden ebenfalls vorhanden ist!**

Die Dickendifferenz wird durch die tatsächlich vorhandene Temperaturdifferenz geteilt. Das Ergebnis für die Tafeln der jeweiligen Nenndicke ist der Korrekturwert für 1 °C. Für die weitere Auswertung der Messungen der Objekte (Gebäude) wird aus den Nenndicken 0,7 mm (fabrikneu) und 0,7 mm - alt (acht Jahre freibewittert) ein Mittelwert gebildet. Dies gilt auch für die Nenndicken 0,8 mm (fabrikneu) und 0,8 mm - alt (acht Jahre freibewittert).



**Ermittlung der temperaturabhängigen Korrekturwerte  
Auswertung der Dickenmessungen in der Klimakammer**

<b>Nenndicke 0,65 mm (fabrikneu)</b>		
Tafel 0,65-1 / 0,65-2 / 0,65-3 (walzblank neu)		
Metalltemperatur 1. Messung	9,70	[°C]
Metalltemperatur 5. Messung	49,80	[°C]
Temperaturdifferenz	40,10	[°C]
Dicke 5. Messung	0,6412850	[mm]
Dicke 1. Messung	0,6364967	[mm]
Dickendifferenz	0,0047883	[mm]
Dickendiff. : Temperaturdiff.	0,0001194	[mm]
<b>Korrekturwert pro 1 °C</b>	<b>0,0001194</b>	<b>[mm]</b>

<b>Nenndicke 0,8 mm - alt (8 Jahre bewittert)</b>		
Tafel 0,8 - alt (vorbewittert - alt)		
Metalltemperatur 1. Messung	10,00	[°C]
Metalltemperatur 5. Messung	49,50	[°C]
Temperaturdifferenz	39,50	[°C]
Dicke 5. Messung	0,8146200	[mm]
Dicke 1. Messung	0,8086300	[mm]
Dickendifferenz	0,0059900	[mm]
Dickendiff. : Temperaturdiff.	0,0001516	[mm]
<b>Korrekturwert pro 1 °C</b>	<b>0,0001516</b>	<b>[mm]</b>

<b>Nenndicke 0,7 mm (fabrikneu)</b>		
Tafel 0,7-1 / 0,7-2 / 0,7-3 (walzblank neu und vorbereitert neu)		
Metalltemperatur 1. Messung	10,00	[°C]
Metalltemperatur 5. Messung	49,40	[°C]
Temperaturdifferenz	39,40	[°C]
Dicke 5. Messung	0,6965750	[mm]
Dicke 1. Messung	0,6912300	[mm]
Dickendifferenz	0,0053450	[mm]
Dickendiff. : Temperaturdiff.	0,0001357	[mm]
<b>Korrekturwert pro 1 °C</b>	<b>0,0001357</b>	<b>[mm]</b>

<b>Nenndicke 0,7 mm (fabrikneu) und 0,7 mm - alt</b>		
Tafeln 0,7 mm und Tafel 0,7 mm - alt (walzblank - und vorbereitert alt)		
Metalltemperatur 1. Messung	10,00	[°C]
Metalltemperatur 5. Messung	49,45	[°C]
Temperaturdifferenz	39,45	[°C]
Dicke 5. Messung (Mittelwert)	0,6929025	[mm]
Dicke 1. Messung (Mittelwert)	0,6875550	[mm]
Dickendifferenz	0,0053475	[mm]
Dickendiff. : Temperaturdiff.	0,0001356	[mm]
<b>Korrekturwert pro 1 °C</b>	<b>0,0001356</b>	<b>[mm]</b>

<b>Nenndicke 0,8 mm (fabrikneu)</b>		
Tafel 0,8-1 / 0,8-2 / 0,8-3 (walzblank neu und vorbereitert neu)		
Metalltemperatur 1. Messung	10,00	[°C]
Metalltemperatur 5. Messung	49,70	[°C]
Temperaturdifferenz	39,70	[°C]
Dicke 5. Messung	0,7937350	[mm]
Dicke 1. Messung	0,7875750	[mm]
Dickendifferenz	0,0061600	[mm]
Dickendiff. : Temperaturdiff.	0,0001552	[mm]
<b>Korrekturwert pro 1 °C</b>	<b>0,0001552</b>	<b>[mm]</b>

<b>Nenndicke 0,8 mm (fabrikneu) und 0,8 mm - alt</b>		
Tafeln 0,7 mm und Tafel 0,8 mm - alt (walzblank - und vorbereitert alt)		
Metalltemperatur 1. Messung	10,00	[°C]
Metalltemperatur 5. Messung	49,60	[°C]
Temperaturdifferenz	39,60	[°C]
Dicke 5. Messung (Mittelwert)	0,8041775	[mm]
Dicke 1. Messung (Mittelwert)	0,7981025	[mm]
Dickendifferenz	0,0060750	[mm]
Dickendiff. : Temperaturdiff.	0,0001534	[mm]
<b>Korrekturwert pro 1 °C</b>	<b>0,0001534</b>	<b>[mm]</b>

<b>Nenndicke 0,7 mm - alt (8 Jahre bewittert)</b>		
Tafel 0,7 - alt (vorbewittert - alt)		
Metalltemperatur 1. Messung	10,00	[°C]
Metalltemperatur 5. Messung	49,50	[°C]
Temperaturdifferenz	39,50	[°C]
Dicke 5. Messung	0,6892300	[mm]
Dicke 1. Messung	0,6838800	[mm]
Dickendifferenz	0,0053500	[mm]
Dickendiff. : Temperaturdiff.	0,0001354	[mm]
<b>Korrekturwert pro 1 °C</b>	<b>0,0001354</b>	<b>[mm]</b>

**Erläuterung / Bewertung**  
Die aufgeführten Werte sind in einer gesonderten Datei ermittelt worden.  
Es wurden insgesamt 5200 Messungen vorgenommen bei folgenden Nenntemperaturen: 10 °C / 20 °C / 30 °C / 40 °C / 50 °C.  
Für die Auswertung der Objekte wird für die Nenndicken 0,7 mm (fabrikneu) und 0,7 mm (alt) ein Mittelwert gebildet. Dies gilt auch für die Nenndicken 0,8 mm (fabrikneu) und 0,8 mm (alt).

**Abbildung 49:** Ermittlung und Zusammenstellung der temperaturabhängigen Korrekturwerte.

### 4.5.3 Möglichkeiten der Berücksichtigung des Temperatureinflusses beim Messvorgang bzw. bei der Auswertung der Messergebnisse

Die Messergebnisse der Folgemessungen eines Objektes (nach vier, acht bzw. 12 Jahren) in Bezug auf die **erste** Messung, in Abhängigkeit von der Temperatur des Titanzinks, beinhalten immer drei Anteile:

Anteil A: **Die reale Veränderung** der Dicke aufgrund der thermischen Expansion (eine Vergrößerung bzw. auch eine Verringerung ist möglich).

Anteil B: **Die scheinbare Veränderung** der Dicke aufgrund der Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit (eine Vergrößerung bzw. auch eine Verringerung ist möglich).

Anteil C: **Die reale Verringerung** der Dicke aufgrund der atmosphärischen Korrosion - (immer eine Verringerung). Dies ist der Zielwert der Untersuchung.

Für die Berücksichtigung des Temperatureinflusses (Anteil B) gibt es zwei Möglichkeiten, sie werden nachfolgend in Variante 1 und Variante 2 erläutert.

#### Variante 1

Bei dieser Variante muss der thermische Expansionskoeffizient  $\alpha$  für Titanzink senkrecht zur Oberfläche der Walzprodukte bekannt sein. Bei Messungen, die bei unterschiedlichen Temperaturen des Titanzinks erfolgen, muss eine Bezugstemperatur („Nullpunkt“) festgelegt werden. Im Rahmen dieser Untersuchungsreihe wäre dies die Metalltemperatur zum Zeitpunkt der ersten Messung (Grundmessung). Die Messung bei der Bezugstemperatur ergibt die „Ausgangsdicke“ der Messreihe.

Als Vorarbeit für die Verwendung dieser Variante bei Messreihen mit unterschiedlichen Temperaturen des Titanzinks, muss die Dickenänderung aufgrund der **thermischen Expansion** für 1 °C bestimmt werden. Daraus lässt sich für die Folgemessungen - ausgehend von der Grundmessung - die Veränderung der Schallgeschwindigkeit in Bezug auf die Grundmessung errechnen; siehe hierzu die Abbildung 50. In dieser Abbildung wurde - unter Verwendung der in Abschnitt 4.5.2 aufgeführten Messergebnisse (Zusammenfassung aufgeführt in Abbildung 49) - die Änderung der Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur mit Hilfe einer einfachen Verhältnisgleichung bestimmt.

Daraus folgt, dass bei Abweichung von der Temperatur der Grundmessung die Schallgeschwindigkeit im Ultraschall-Wanddickenmessgerät für **jede** Messung neu eingestellt werden müsste. Der damit gemessene Wert ist dann in Bezug auf die Grundmessung bzw. auf die vorherige Messung sofort **ohne** eine weitere Korrektur für die Differenzbildung (Veränderung der Dicke) verwendbar. Um diese Variante in Ansatz bringen zu können, wurde der thermische Expansionskoeffizient  $\alpha$  für Titanzink senkrecht zur Oberfläche der Walzprodukte (Metallbänder) bestimmt; siehe hierzu Abschnitt 4.5.1.

In [Lit. 25] wird angeführt, dass für Stahl bei einer Temperaturerhöhung um 100 °C gegenüber dem Temperaturbereich (0 °C bis 60 °C) eine Verringerung der Schallgeschwindigkeit um ca. 1 % auftritt. In [Lit. 18] Abschnitt 2.10 Tabelle 1, wird für die Schallgeschwindigkeit (Longitudinalwellen) in Stahl der Wert von 5900 m/s angegeben. Die „Umrechnung“ dieser Daten in Bezug auf die Temperaturänderung um 1 °C, ergibt den Wert von 0,59 m/s. Der ermittelte Wert für Titanzink, siehe Abbildung 50, beträgt 0,501 m/s. Dieser Vergleich soll hier nur als Anhalt dienen.

**Änderung der Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Metalltemperatur  
Auswertung der Messungen an Titanzinktafeln in der Klimakammer**

<b>Nenn Dicke 0,65 mm (fabrikneu)</b>		<b>Nenn Dicke 0,8 mm - alt (8 Jahre bewittert)</b>	
Mittelwert Dicke 1. Messung (d1)	0,6365 [mm]	Mittelwert Dicke 1. Messung (d1)	0,8086 [mm]
Mittelwert Dicke 5. Messung (d5)	0,6413 [mm]	Mittelwert Dicke 5. Messung (d5)	0,8146 [mm]
Metalltemperatur 1. Messung	9,70 [°C]	Metalltemperatur 1. Messung	10,0 [°C]
Metalltemperatur 5. Messung	49,80 [°C]	Metalltemperatur 5. Messung	49,5 [°C]
Temperaturdifferenz	40,10 [°C]	Temperaturdifferenz	39,5 [°C]
Therm. Dickenänderung 5. Messung	0,0013 [mm]	Therm. Dickenänderung 5. Messung	0,0016 [mm]
Korrig. Dicke 5. Messung (d5 kor.)	0,6400 [mm]	Korrig. Dicke 5. Messung (d5 kor.)	0,8130 [mm]
US-Geschwin.1. Messung (c1)	3477 [m/s]	US-Geschwin.1. Messung (c1)	3477 [m/s]
d1 : c1 = d5 kor. : c5		d1 : c1 = d5 kor. : c5	
US-Geschwindigkeit (c5)	3496,3 [m/s]	US-Geschwindigkeit (c5)	3496,0 [m/s]
Differenz c5 - c1	19,274 [m/s]	Differenz c5 - c1	18,962 [m/s]
<b>Änderung der US-Geschw. pro 1 °C</b>	<b>0,481 [m/s]</b>	<b>Änderung der US-Geschw. pro 1 °C</b>	<b>0,480 [m/s]</b>
<b>Nenn Dicke 0,7 mm (fabrikneu)</b>		<b>Nenn Dicke 0,7 mm (fabrikneu) und 0,7 mm - alt</b>	
Mittelwert Dicke 1. Messung (d1)	0,6912 [mm]	Mittelwert Dicke 1. Messung (d1)	0,6876 [mm]
Mittelwert Dicke 5. Messung (d5)	0,6966 [mm]	Mittelwert Dicke 5. Messung (d5)	0,6929 [mm]
Metalltemperatur 1. Messung	10,00 [°C]	Metalltemperatur 1. Messung	10,00 [°C]
Metalltemperatur 5. Messung	49,40 [°C]	Metalltemperatur 5. Messung	49,45 [°C]
Temperaturdifferenz	39,40 [°C]	Temperaturdifferenz	39,45 [°C]
Therm. Dickenänderung 5. Messung	0,0014 [mm]	Therm. Dickenänderung 5. Messung	0,0013 [mm]
Korrig. Dicke 5. Messung (d5 kor.)	0,6952 [mm]	Korrig. Dicke 5. Messung (d5 kor.)	0,6916 [mm]
US-Geschwin.1. Messung (c1)	3477 [m/s]	US-Geschwin.1. Messung (c1)	3477 [m/s]
d1 : c1 = d5 kor. : c5		d1 : c1 = d5 kor. : c5	
US-Geschwindigkeit (c5)	3497,1 [m/s]	US-Geschwindigkeit (c5)	3497,3 [m/s]
Differenz c5 - c1	20,096 [m/s]	Differenz c5 - c1	20,266 [m/s]
<b>Änderung der US-Geschw. pro 1 °C</b>	<b>0,510 [m/s]</b>	<b>Änderung der US-Geschw. pro 1 °C</b>	<b>0,514 [m/s]</b>
<b>Nenn Dicke 0,8 mm (fabrikneu)</b>		<b>Nenn Dicke 0,8 mm (fabrikneu) und 0,8 mm - alt</b>	
Mittelwert Dicke 1. Messung (d1)	0,7876 [mm]	Mittelwert Dicke 1. Messung (d1)	0,7981 [mm]
Mittelwert Dicke 5. Messung (d5)	0,7937 [mm]	Mittelwert Dicke 5. Messung (d5)	0,8042 [mm]
Metalltemperatur 1. Messung	10,00 [°C]	Metalltemperatur 1. Messung	10,00 [°C]
Metalltemperatur 5. Messung	49,70 [°C]	Metalltemperatur 5. Messung	49,60 [°C]
Temperaturdifferenz	39,70 [°C]	Temperaturdifferenz	39,60 [°C]
Therm. Dickenänderung 5. Messung	0,0016 [mm]	Therm. Dickenänderung 5. Messung	0,0016 [mm]
Korrig. Dicke 5. Messung (d5 kor.)	0,7922 [mm]	Korrig. Dicke 5. Messung (d5 kor.)	0,8026 [mm]
US-Geschwin.1. Messung (c1)	3477 [m/s]	US-Geschwin.1. Messung (c1)	3477 [m/s]
d1 : c1 = d5 kor. : c5		d1 : c1 = d5 kor. : c5	
US-Geschwindigkeit (c5)	3497,4 [m/s]	US-Geschwindigkeit (c5)	3496,7 [m/s]
Differenz c5 - c1	20,352 [m/s]	Differenz c5 - c1	19,670 [m/s]
<b>Änderung der US-Geschw. pro 1 °C</b>	<b>0,513 [m/s]</b>	<b>Änderung der US-Geschw. pro 1 °C</b>	<b>0,497 [m/s]</b>
<b>Nenn Dicke 0,7 mm - alt (8 Jahre bewittert)</b>		<b>Änderung der Schallgeschwindigkeit pro 1 °C</b>	
Mittelwert Dicke 1. Messung (d1)	0,6839 [mm]	<b>Mittelwert aus sieben Messgruppen: 0,501 [m/s]</b>	
Mittelwert Dicke 5. Messung (d5)	0,6892 [mm]	Der Mittelwert basiert auf 5200 Messungen, die zur Bestimmung der Korrekturwerte durchgeführt wurden.	
Metalltemperatur 1. Messung	10,00 [°C]	Die thermische Dickenänderung wurde mit dem Wert $\alpha = 49,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ bestimmt; siehe hierzu auch die Ausführungen in Abschnitt 3.5.1.	
Metalltemperatur 5. Messung	49,50 [°C]		
Temperaturdifferenz	39,50 [°C]		
Therm. Dickenänderung 5. Messung	0,0013 [mm]		
Korrig. Dicke 5. Messung (d5 kor.)	0,6879 [mm]		
US-Geschwin.1. Messung (c1)	3477 [m/s]		
d1 : c1 = d5 kor. : c5			
US-Geschwindigkeit (c5)	3497,4 [m/s]		
Differenz c5 - c1	20,388 [m/s]		
<b>Änderung der US-Geschw. pro 1 °C</b>	<b>0,516 [m/s]</b>		

**Abbildung 50:** Änderung der Ultraschall-Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Metalltemperatur.

## **Bewertung der Variante 1**

Die Variante 1 ist für die folgende Situation geeignet:

Für die jeweiligen Messreihen, z. B. erste Messreihe im Jahr 1998, zweite Messreihe im Jahr 2002 und dritte Messreihe im Jahr 2006, muss sichergestellt sein, dass die Metalltemperaturen der einzelnen Messpunkte alle nahezu dieselben Werte aufweisen. Unter dieser Voraussetzung ist für die jeweilige Messreihe nur eine einzige Einstellung der Schallgeschwindigkeit im Gerät erforderlich.

Ergeben sich dagegen im Rahmen einer Messreihe häufig Änderungen der Metalltemperaturen, so muss die Schallgeschwindigkeit für **jede** Messung neu eingestellt werden. Damit wird die Anwendung von Variante 1 aus praktischer Sicht für diesen Fall zu aufwändig und auch fehleranfällig.

Die vor Ort gemessenen Objekte besitzen Dächer mit unterschiedlichen Neigungen und/oder Orientierungen zum Halbraum des Himmelsgewölbes. Dadurch erfahren sie zum Zeitpunkt der Messungen unterschiedliche solare Einstrahlungen. Dies gilt auch bei „bedecktem“ Himmel für die diffuse Strahlung. Durch beide Einflüsse entstehen erhebliche Unterschiede im Bereich der Metalltemperaturen.

**Fazit:** Die Variante 1 ist daher für die vorliegende Aufgabe **nicht geeignet**.

## **Variante 2**

Bei dieser Variante werden die Messungen der Dicke des Titanzinks im Bereich der Dachdeckungen bzw. Wandbekleidungen der Objekte vor Ort - auch bei Situationen mit sehr unterschiedlichen Metalltemperaturen - immer mit derselben Schallgeschwindigkeit, für Titanzink  $c = 3477 \text{ m/s}$ , durchgeführt.

Der Temperatureinfluss auf die Messergebnisse muss daher durch temperaturabhängige Korrekturwerte für die verschiedenen Nenndicken (0,65 mm, 0,7 mm und 0,8 mm) berücksichtigt werden; siehe hierzu auch die Ausführungen in den Abschnitten 4.5.2. und 4.5.3 und in dem folgenden Abschnitt 4.6.

## **Bewertung der Variante 2**

Bei der Anwendung dieser Variante muss die Schallgeschwindigkeit nur einmal eingestellt werden. Sie ist in der Durchführung der Messungen nicht so aufwändig und nicht so fehleranfällig wie die Variante 1. Die Messergebnisse müssen aber später, im Rahmen der Auswertung temperaturkorrigiert werden.

**Fazit:**

Die Variante 2 ist für die vorliegende Aufgabe **geeignet** und wird uneingeschränkt verwendet.



#### 4.6 Bestimmung der Bezugstemperatur („Nullpunkt“) für die Auswertung der Messungen

In Abhängigkeit von der jeweiligen Jahreszeit, der Tageszeit, der Wetterlage und „Verschattungen“ der Messorte zum Zeitpunkt der Messungen eines Objektes, ergaben sich zum Teil sehr unterschiedliche Metalltemperaturen. Damit die Messergebnisse, z. B. für einen Vergleich der Dickenänderung in den verschiedenen Messperioden verwendet werden können, musste eine Korrektur an den Messwerten vorgenommen werden. Hierfür wurden temperaturabhängige Korrekturwerte ermittelt; siehe hierzu Abschnitt 4.5.2.

Für die Objekte insgesamt muss kein einheitlicher, willkürlich bestimmter Nullpunkt, z. B. 20 °C, festgelegt werden, sondern für jedes Objekt wurde für den „Nullpunkt“ eine eigene Temperatur ermittelt. Dies ist zulässig, da „nur“ Dickendifferenzen bestimmt werden. Bei dieser Ermittlung wurde für jedes Objekt wie folgt vorgegangen:

- a) Für jeden **Messort** (20 Messpunkte) wurde für die Metalltemperatur ein Mittelwert aus vier Messungen bestimmt (zwei Thermometer mit Oberflächenfühler). Die Temperaturmessungen erfolgten jeweils zu Beginn und am Ende der Ultraschallmessung eines Messortes.
- b) Aus allen Messungen eines **Objektes** (nach vier, acht bzw. zwölf Jahren) ergibt sich eine minimale und eine maximale Metalltemperatur (Extremwerte).
- c) Aus diesen beiden Extremwerten, gültig für alle Messorte, wurde ein Kontrollwert gebildet. Er beträgt z. B. für das Objekt Nr. 1 (siehe Abschnitt 4.1) 27,5 °C.
- d) Der Mittelwert, gültig für alle Messorte, wurde aus **allen** gemessenen Metalltemperaturen der Messorte (siehe Punkt a) des Objektes ermittelt.

Dieser Mittelwert (siehe Punkt d) ist der **Nullpunkt**. Er beträgt, z. B. für das Objekt Nr.1 - auf ein volles Grad gerundet 29 °C.

Bei Temperaturen über dem Nullpunkt ist dabei der Korrekturwert ein Minuswert, bei Temperaturen unter dem Nullpunkt ein Pluswert; abgeleitet aus dem Einfluss der Temperatur auf die Ultraschallgeschwindigkeit, siehe hierzu die Abbildungen 49 und 50.

Dieses o. a. Vorgehen ist für die weitere Auswertung sinnvoll. Die Ermittlung des thermischen Expansionskoeffizienten  $\alpha$  (senkrecht zur Oberfläche der Walzprodukte) durch das Laserzentrum Hannover (LZH) ergab aus den Messungen an drei Proben den Mittelwert von  $49,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Der Fehler für diesen Wert wurde mit  $\Delta\alpha = 6 \%$  abgeschätzt [Lit. 39].

Die mögliche Auswirkung dieses Fehlers und die Auswirkung weiterer Einflüsse auf die Ultraschallmessungen wird durch die Verringerung der Spannweite der Metalltemperaturen (max. - min.) auf die Spannweiten - „minimaler Wert zum Nullpunkt“ und „maximaler Wert zum Nullpunkt“ tolerierbar klein gehalten; siehe Abbildung 51.

Auswertung der Temperaturmessungen an den Dach- und Wandflächen													
Objekt	Extremwerte		Spannweite	Nullpunkt	Spannweite Nullpunkt zu		Objekt	Extremwerte		Spannweite	Nullpunkt	Spannweite Nullpunkt zu	
	Max. [°C]	Min. [°C]			Max.-Min. [°C]	Max. [°C]		Min. [°C]	Max. [°C]			Min. [°C]	Max.-Min. [°C]
1	44	11	33	<u>29</u>	15	18	27 <sup>1)</sup>	49	18	31	<u>33</u>	16	15
2	59	32	27	<u>43</u>	16	11	28	50	20	30	<u>31</u>	9	11
3 <sup>1)</sup>	54	15	39	<u>34</u>	20	19	29 <sup>1)</sup>	55	18	37	<u>37</u>	18	19
4	64	26	38	<u>43</u>	21	17	30	36	21	15	<u>27</u>	9	6
5 <sup>1)</sup>	58	18	40	<u>40</u>	18	22	31	43	20	23	<u>27</u>	16	7
6	59	19	40	<u>34</u>	25	15	32	57	15	42	<u>39</u>	18	24
7 <sup>1)</sup>	60	21	39	<u>40</u>	20	19	33	51	27	24	<u>38</u>	13	11
8	58	19	39	<u>40</u>	18	21	34	56	15	41	<u>29</u>	27	14
9	50	20	30	<u>34</u>	16	14	35	50	19	31	<u>41</u>	9	22
10	41	11	30	<u>25</u>	16	14	36 <sup>1)</sup>	53	5	48	<u>30</u>	23	25
11	50	13	37	<u>28</u>	22	15	37	48	22	26	<u>30</u>	18	8
12	54	16	38	<u>36</u>	18	20	38	59	31	28	<u>40</u>	19	9
13A	66	15	51	<u>38</u>	28	23	39	50	17	33	<u>37</u>	13	20
13B	60	14	46	<u>35</u>	25	21	40 <sup>1)</sup>	56	17	39	<u>38</u>	18	21
14 <sup>1)</sup>	50	18	32	<u>32</u>	18	14	41 <sup>1)</sup>	65	30	35	<u>46</u>	19	16
15	54	18	36	<u>35</u>	19	17	42	57	20	37	<u>37</u>	20	17
16	53	17	36	<u>26</u>	27	9	43	60	42	18	<u>51</u>	9	9
17	60	15	45	<u>27</u>	33	12	44	54	21	33	<u>37</u>	17	16
18	52	18	34	<u>36</u>	16	18	45	62	22	40	<u>38</u>	24	16
19	49	15	34	<u>31</u>	18	16	46	61	21	40	<u>43</u>	18	22
20	55	27	28	<u>38</u>	17	11	47 <sup>1)</sup>	56	20	36	<u>42</u>	14	22
21 <sup>1)</sup>	53	17	36	<u>29</u>	24	12	48	58	28	30	<u>45</u>	13	17
22 <sup>1)</sup>	56	9	47	<u>29</u>	27	20	49	55	26	29	<u>41</u>	14	15
23 <sup>2)</sup>	57	19	38	<u>29</u>	28	10	50	45	21	24	<u>34</u>	11	13
24	53	5	48	<u>23</u>	30	18	51	51	32	19	<u>41</u>	10	9
25A	56	15	41	<u>33</u>	23	18	52	38	17	21	<u>27</u>	11	10
25B	50	16	34	<u>34</u>	16	18	53	50	35	15	<u>44</u>	6	9
26	48	20	28	<u>30</u>	18	10	54	42	17	25	<u>26</u>	16	9

Erläuterungen			
1) Objekte mit vier Messungen	Maximalwert: 65 °C	Minimalwert: 5 °C	
2) Objekte mit zwei Messungen	Mittelwert aus allen Maximalwerten: 53,4 °C		
Alle anderen Objekte mit drei Messungen	Mittelwert aus allen Minimalwerten: 19,6 °C		
	Mittelwert aus allen Einzelwerten: 35,0 °C		

**Abbildung 51:** Auswertung der Temperaturmessungen an den Dach- und Wandflächen. Angabe des jeweiligen Nullpunktes, Spannweiten: Extremwerte max/min - Spannweiten: Mittelwert (Nullpunkt) zu max/min.

#### **4.7 Zusammenfassung mehrerer Dachflächen eines Gebäudes mit gleichen Randbedingungen zu einer Gesamtfläche für die statistische Auswertung**

Die Dachflächen (Kurzbezeichnung DF) mit einer Neigung von 7°, bzw. 8° werden unabhängig von der jeweiligen Zuordnung zur Himmelsrichtung für die statistische Betrachtung der Messdaten zu **einer** Gesamtfläche zusammengefasst und ausgewertet.

Begründung für dieses Vorgehen: In dem Forschungsvorhaben Freibewitterungsversuch in Hannover-Herrenhausen (Start 27.11.1990 - Ende 23.11.1993), siehe hierzu auch Abschnitt 5.1.3, wurden Versuchsobjekte mit jeweils 4 m<sup>2</sup> Dachfläche, jeweils 7° und 45° geneigt, Orientierung jeweils nach Norden / Osten / Süden und Westen und jeweils mit den Materialqualitäten „vorbewittert blaugrau“ und „walzblank“ eingedeckt, freibewittert untersucht [Lit. 22].

Es konnte festgestellt werden, dass für die Versuchsobjekte mit der Dachneigung 7° der Einfluss der Orientierung zu den Himmelsrichtungen im Hinblick auf die Größenordnung der Zinkfrachten vernachlässigt werden kann; siehe hierzu auch die Dissertation von Burkhardt Lehmann:

*„Freibewitterungsverhalten von Dächern mit Metalldeckung - Untersuchung zur Zinkabgabe von Dachdeckungen mit Titanzink, Universität Hannover, 1995.“* [Lit. 22].

Es ist daher vertretbar, die Ultraschallmessungen an den Dachflächen der Objekte (55 Gebäude), d. h. Dachflächen mit einer Neigung von 7° bzw. 8°, zusammengefasst zu bewerten. Dies gestattet zum einen das Forschungsvorhaben „Ultraschallverfahren“ überschaubarer zu gestalten, zum anderen verbessert dieses Vorgehen auch die Aussagewahrscheinlichkeit des hier verwendeten Ultraschall-Messverfahrens im Hinblick auf die Bewertungen der Mittelwerte und des Vertrauensbereichs der Mittelwerte; siehe hierzu auch Abschnitt 4.8, dort den Vergleich Methode 1 mit Methode 2.

#### **Voraussetzungen für die Zusammenfassung**

Die Zusammenfassung der Dachflächen mit unterschiedlichen Orientierungen zu **einer** Gesamtfläche wurde nur vorgenommen bei Objekten, bei denen nach Augenschein keine Beeinträchtigung der Freibewitterung („Verschattungen“) durch gebäudenahe Vegetation oder höhere Gebäudeteile vorhanden waren, d. h. gleiche Randbedingungen für den Vorgang der atmosphärischen Korrosion gegeben waren.

#### **Ergebnis**

So kann z. B. für das Objekt 1: Fernmeldeamt, Stadthagen, siehe Abschnitt 4.1, das o. a. Vorgehen angewendet werden, da keine gebäudenahe Vegetation bzw. höhere Gebäudeteile vorhanden waren. Es betrifft bei diesem Objekt die Dachflächen DF1 - DF2 - DF3 - DF4; Bezeichnung der „Ersatzdachfläche“: DF1-4.

## 4.8 Allgemeine Angaben zur Ermittlung des Vertrauensbereichs der Mittelwerte und der Dickenänderung pro Jahr

Für jedes Messobjekt wurden verschiedene Messorte auf den Dach- bzw. Wandflächen festgelegt. Jeder Messort umfasst 20 Messpunkte. Die Messungen an den Objekten wurden im Abstand von vier Jahren wiederholt. Die Auswertung der Messungen erfolgte in drei Schritten.

### Schritt 1

Temperaturkorrigierte Auswertung der jeweiligen Messorte eines Objektes, z. B. von Dachfläche 3, erster Messort (Kurzbezeichnung DF3.1), für die Gebäudegruppen mit drei bzw. vier Messungen. Diese Ergebnisse werden **ohne** Angabe eines Vertrauensbereichs für den Mittelwert dargestellt. Sie dienen hier vorwiegend der Verlaufskontrolle der Messungen im Abstand von vier Jahren.

### Schritt 2

Zusammengefasste Auswertung aller Messorte einer Dach- bzw. Wandfläche mit gleichen Randbedingungen im Hinblick auf die Dachneigung, die Himmelsrichtung und die Freibewitterung. So ergeben z. B. die Teilflächen DF3.1 - DF3.2 - DF3.3 die Ersatzdachfläche DF3; siehe auch Abschnitt 4.7. Somit ergibt sich **ein** Wert für die Dickenänderung, Angabe in [mm/a] bzw. in [µm/a].

### Schritt 3

Ermittlung und Darstellung der temperatur- und zeitkorrigierten („normierten“) Werte der Dickenänderung pro Jahr für die Messperioden der einzelnen Objekte; siehe auch Abschnitt 4.9. Dies sind die Zielwerte der Auswertung.

Für die Bestimmung des Vertrauensbereichs der Mittelwerte werden zwei Methoden vorgestellt.

### Methode 1

Die Streuung des Mittelwertes der Grundgesamtheit ist unbekannt. Kurzbezeichnung der Methode 1: „t-Verteilung“. Der Wert für  $t$  ist abhängig von der gewünschten Aussagewahrscheinlichkeit  $p$ , dem Stichprobenumfang  $n$ , und dem Freiheitsgrad  $f = n - 1$  und der gewählten statistischen Sicherheit  $S$  (gewählt wurde  $S = 95\%$ ) aus Tabellenwerken für Integralgrenzen der  $t$ -Verteilung zu entnehmen. Der Vertrauensbereich für diese Methode ist wie folgt definiert:

$$x - t_{(f; p)} \cdot s/\sqrt{n} \leq \mu \leq x + t_{(f; p)} \cdot s/\sqrt{n} \quad [\text{Lit. 32}]$$

Der auf diese Art und Weise ermittelte Vertrauensbereich ist nicht für jeden Fall aussagekräftig, da die untersuchten Materialien durch den Walzprozess teilweise Unebenheiten aufweisen können. Sie liegen aber immer im zulässigen Toleranzbereich der Produkte; siehe auch Abschnitt 1.2.3.

Führt man die Ermittlung des Vertrauensbereichs der Mittelwerte mit Hilfe der  $t$ -Verteilung durch, so wird die durch die Herstellung der Metallbänder aus Titanzink entstandene „Unebenheit“ mit ihren Werten aus 20 Messpunkten bei der Bestimmung der Standardabweichung  $s$  als „Messunsicherheit“ - die aber de facto in diesem Ausmaß nicht vorhanden ist - in den Auswertungsvorgang übernommen. Dies hat zur Folge, dass sich für die Standardabweichung  $s$  und damit auch in Folge für den Vertrauensbereich relativ große Werte ergeben können. Dadurch kann in einigen Fällen die Genauigkeit der statistischen Auswertung in Frage gestellt werden.



## **Methode 2**

Die Beträge der Unsicherheitsquellen werden quadriert und addiert, wobei die Fehler unabhängig voneinander sein müssen:  $u_{st}^2 = s_1^2 + s_2^2 + \dots s_n^2$  [Lit.20]. Nach Ziehen der Wurzel ergibt sich die kombinierte Standardunsicherheit  $u_{st}$ . Durch Multiplikation mit dem Faktor  $k$  erhält man die erweiterte Unsicherheit  $u_E$ .

$$u_E = k \cdot u_{st}$$

Hinreichend genau für die anstehende technische Fragestellung ist der Faktor  $k = 2$  mit einem Signifikanzniveau von 95 %. Der mögliche Einfluss des Ultraschallgerätes kürzt sich bei dieser Vorgehensweise heraus, da keine Absolutwerte für die Dicke der Metalldeckung bestimmt werden, sondern „nur“ Mittelwerte für die Dickenänderungen pro Jahr, ermittelt aus einer Differenzbildung. Gestützt wird diese Annahme durch die Überprüfung des Ultraschall-Messgerätes an einer Justierprobe im Labor jeweils vor und nach einer Messung der Gebäude.

Folgende Messunsicherheiten können daher durch die s-Werte berücksichtigt werden:

- o der Temperatureinfluss bei den Messungen in der Klimakammer („Labor“) bei der Bestimmung der Korrekturwerte - Wert  $s_1$ ,
- o der Temperatureinfluss bei den Messungen „vor Ort“, d. h. auf den Dächern bzw. an den Wänden der einzelnen Objekte - Wert  $s_2$ .

### **Werte für die Ermittlung des Vertrauensbereichs der Mittelwerte gemäß Methode 2**

Die verwendeten Temperaturmessgeräte haben einen Genauigkeitsbereich von rd. 1 % des Messwertes. Im Labor wurden alle vor Ort verwendeten Messgeräte mit weiteren geeichten und kalibrierten Geräten laufend kontrolliert. Es ergab sich eine sehr gute Übereinstimmung (Differenzen  $< 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

#### **Temperatur-Messunsicherheit 1 - Kurzbezeichnung „Labor“ - Wert $s_1$**

Hier kann von dem Wert  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  ausgegangen werden, da die zu messenden Proben, die Messgeräte und die Koppelpaste durch Lagerung in der Klimakammer alle die gleiche Temperatur aufwiesen. Der Wert für  $s_1$  wird wie folgt bestimmt: Korrekturwert für  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  (für die jeweilige Nenndicke) multipliziert mit dem Wert 0,5.

#### **Temperatur-Messunsicherheit 2 - Kurzbezeichnung „vor Ort“ - Wert $s_2$**

Bei einer Metalltemperatur, die deutlich größer ist als die Lufttemperatur, kann sich eventuell der Einfluss einer so genannten „Wärmesenke“ (örtlich und zeitlich begrenzte Temperaturabsenkung) bemerkbar machen. Der gegenüber der Metalltemperatur niedriger temperierte Ultraschallprüfkopf einschließlich des Koppelmittels, entzieht der nur etwa 0,7 mm bis 0,8 mm dicken Metalldeckung im unmittelbaren Messbereich Wärme, so dass eine Temperatur-Messunsicherheit auftreten kann, die größer ist als bei den Messungen im Labor. Dieser Einfluss wurde in einer speziellen Studie untersucht.

## **Studie: Untersuchung des Phänomens „Wärmesenke“**

Die Größenordnung des Einflusses einer möglichen Wärmesenke wurde in einem Freilandversuch bestimmt. Hierzu wurde die Messvorrichtung eingesetzt, die bereits in der Klimakammer bei den Messungen zur Ermittlung der temperaturabhängigen Korrekturwerte verwendet worden war; siehe hierzu auch Abschnitt 4.5.2. Die Neigung der Unterkonstruktion, einschließlich der Titanzinktafeln, betrug 30°. Die Temperaturmessungen wurden an den Probetafeln „0,8 mm-2 vorbewittert blaugrau, fabrikneu“ und „0,7 mm-alt ca. acht Jahre freibewittert“ vorgenommen.

Die Temperaturen der Titanzinktafeln wurden an einem wolkenlosen, sonnigen Tag gemessen. Die Tafeln wurden vor Beginn der Messreihen der direkten Besonnung ausgesetzt. Nach etwa vier Stunden konnten keine Veränderungen der Metalltemperatur mehr festgestellt werden; sie befanden sich im so genannten „eingeschwungenen Zustand“.

Die Temperaturen der Titanzinkprobetafeln wurden an drei Punkten an der Unterseite der Probetafeln mit Temperaturmessfühlern (NiCr-Ni) gemessen. Zwei Messfühler waren außerhalb der 20 Messpunkte - jedoch innerhalb des Messbereichs der Schablone - der dritte Messfühler direkt unter dem Messpunkt Nr. 8 der Probetafel angeordnet; siehe Abbildung 37.

Der vierte Messfühler (strahlungsabgeschirmt) erfasste die Lufttemperatur. Die Temperatur-Messfühler waren mit einem Datalogger über ein Interface mit einem Rechner verbunden. Der Messtakt für die Temperatur während der jeweiligen Versuchsreihe (nach dem Einschwingvorgang) betrug drei Sekunden.

Nach Erreichen einer konstanten Temperatur der Titanzinktafeln, nach ca. vier Stunden, wurde auf die 20 Messpunkte das Koppelmittel aufgetragen. Das Auftragen des Koppelmittels dauerte ca. 30 Sekunden. Danach wurde der Messkopf auf den Messpunkt Nr. 8 der jeweiligen Probetafel gedrückt. Die Lufttemperatur betrug für die Dauer des Versuchs 18,5 °C. Die Temperatur des Koppelmittels betrug 19 °C. Die Temperatur der Vorlaufstrecke aus Plexiglas betrug 18,5 °C.

---

### **Messung der Probetafel „0,8 mm-2 (vorbewittert blaugrau, fabrikneu)“**

Mitteltemperatur aus drei Messpunkten vor dem Auftragen des Koppelmittels: 49,5 °C

Minimaltemperatur nach dem Aufsetzen des Prüfkopfes (nach 33 Sekunden): 47,6 °C

Temperaturdifferenz (Temperaturabsenkung): 1,9 °C

Die Zeitdauer des Wiedererreichens der Ausgangstemperatur (49,5 °C) betrug 2,3 Minuten.

### **Messung der Probetafel „0,7 mm-alt (acht Jahre freibewittert)“**

Mitteltemperatur aus drei Messpunkten vor dem Auftragen des Koppelmittels: 50,3 °C

Minimaltemperatur nach dem Aufsetzen des Prüfkopfes (nach 27 Sekunden): 47,5 °C

Temperaturdifferenz (Temperaturabsenkung): 2,8 °C

Die Zeitdauer des Wiedererreichens der Ausgangstemperatur (50,3 °C) betrug 2,1 Minuten.

---

Der Mittelwert aus beiden Differenzen der Temperaturabsenkung beträgt 2,4 °C. Die relativ geringen Schwankungen im Bereich der Temperatur- und Zeitangaben beider Messvorgänge können auf die hier nicht gemessene Änderung der solaren Einstrahlung während des Messvorganges und die verschiedenen Oberflächenbeschaffenheiten (fabrikneu, bzw. acht Jahre freibewittert) der Probetafeln zurückgeführt werden.

Die Differenzen bei höheren Metalltemperaturen, z. B. bei 60 °C, dürften sich von den oben aufgeführten Werten nicht wesentlich unterscheiden, da bei Messungen in diesem Temperaturbereich die Lufttemperaturen in Dachnähe etwa 30 °C betragen. Das Koppelmittel und der Messkopf, einschließlich der Vorlaufstrecke aus Plexiglas (bei Lagerung im Schatten), hatten ebenfalls Lufttemperaturen angenommen.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass bei den Messungen an den 55 Gebäuden, vor den Messungen der Dicke, das Koppelmittel immer für drei bis fünf **Messorte** (oft nebeneinander liegend) in einem Arbeitsgang aufgetragen wurde. Damit ist **vor** der Ultraschallmessung bereits ein weitgehender Ausgleich der Metalltemperaturen erfolgt (Minimieren der Wärmesenke). Aus diesen Gründen wird für den Temperaturbereich von 30 °C bis 60 °C für die Temperatur-Messunsicherheit  $s_{2(30-60)}$  der Wert von 2 °C angenommen. Er beinhaltet eine ausreichende Sicherheit.

### **Werte für die Ermittlung des Vertrauensbereichs**

Die Ergebnisse der Studie wurden in zwei Temperaturbereichen berücksichtigt:

#### **o Metalltemperaturen von etwa 10 °C bis etwa 30 °C**

Die Temperatur-Messunsicherheit („Labor“) beträgt 0,5 °C

$s_{1(10-30)}$ : Korrekturwert für 1 °C multipliziert mit dem Wert 0,5

Die Temperatur-Messunsicherheit („vor Ort“) beträgt 1 °C

$s_{2(10-30)}$ : Korrekturwert für 1 °C multipliziert mit dem Wert 1

#### **o Metalltemperaturen von etwa 30 °C bis etwa 60 °C**

Die Temperatur-Messunsicherheit („Labor“) beträgt 0,5 °C

$s_{1(30-60)}$ : Korrekturwert für 1 °C multipliziert mit dem Wert 0,5

Die Temperatur-Messunsicherheit („vor Ort“) beträgt 2 °C

$s_{2(30-60)}$ : Korrekturwert für 1 °C multipliziert mit dem Wert 2

### **Werte zur Ermittlung des Vertrauensbereichs der Mittelwerte für Titanzink mit den Nenn-dicken: 0,65 mm - 0,7 mm und 0,8 mm:**

Die Werte für die verschiedenen Nenndicken wurden mit folgenden Gleichungen ermittelt:

$$u_{st}^2 = s_1^2 + s_2^2 \quad u_{st} = \sqrt{(s_1^2 + s_2^2)} \quad u_E = k \cdot u_{st}, \text{ mit } k = 2 \quad (\text{Signifikanzniveau } 95 \%) \text{ [Lit. 20].}$$

### Beispiel für Titanzink mit der Nenndicke 0,65 mm

Korrekturwert pro 1 °C: 0,0001194 mm

	<b>S<sub>1</sub> (10-30)</b>	<b>S<sub>2</sub> (30-60)</b>
<b>S<sub>1</sub></b>	0,0000597	0,0000597
<b>S<sub>2</sub></b>	0,0001194	0,0002388
<b>S<sub>1</sub><sup>2</sup></b>	0,0000000035641	0,0000000035641
<b>S<sub>2</sub><sup>2</sup></b>	0,0000000142564	0,0000000570254
<b>u<sub>st</sub><sup>2</sup></b>	0,0000000178205	0,0000000605895
<b>u<sub>st</sub></b>	0,0001334932583	0,0002461494058
<b>u<sub>E</sub></b>	<b>0,000266986517</b>	<b>0,000492298812</b>

In Abbildung 52 sind Werte für die Ermittlung des Vertrauensbereichs für Titanzink mit den Nenndicken 0,65 mm - 0,7 mm und 0,8 mm aufgeführt.

<p><b>Titanzink mit der Nenndicke 0,65 mm</b>            (Korrekturwert pro 1 °C: 0,0001194 mm)            Temperaturbereich vor Ort: 10 - 30 °C            Temperaturbereich vor Ort: 30 - 60 °C</p>	<p><b>u<sub>E</sub> (10-30): 0,000267 mm</b>  <b>u<sub>E</sub> (30-60): 0,000492 mm</b></p>
<p><b>Titanzink mit der Nenndicke 0,7 mm</b>            (Korrekturwert pro 1 °C: 0,0001356 mm)            Temperaturbereich vor Ort: 10 - 30 °C            Temperaturbereich vor Ort: 30 - 60 °C</p>	<p><b>u<sub>E</sub> (10-30): 0,000303 mm</b>  <b>u<sub>E</sub> (30-60): 0,000559 mm</b></p>
<p><b>Titanzink mit der Nenndicke 0,8 mm</b>            (Korrekturwert pro 1 °C: 0,0001534 mm)            Temperaturbereich vor Ort: 10 - 30 °C            Temperaturbereich vor Ort: 30 - 60 °C</p>	<p><b>u<sub>E</sub> (10-30): 0,000343 mm</b>  <b>u<sub>E</sub> (30-60): 0,000632 mm</b></p>

**Abbildung 52:** Werte für die Ermittlung des Vertrauensbereichs.  
 Ergebnisse für die verschiedenen Nenndicken (gerundete Werte).

#### 4.9 Angaben zur Zeitkorrektur („Normierung“)

Zusätzlich zur Temperaturkorrektur wurden mit der Zeitkorrektur („Normierung“) einheitliche Werte für die Dickenänderung pro Jahr innerhalb der Messperioden (vier, acht bzw. zwölf Jahre) der einzelnen Objekte ermittelt. Erst diese Werte ermöglichen eine korrekte, vergleichende Betrachtung bzw. Beurteilung der Messergebnisse der Perioden bzw. der verschiedenen Objekte.

Der Mittelwert für die Dickenänderung pro Jahr ergibt sich aus der Differenz der temperaturkorrigierten Dicken einer Messperiode der betrachteten Dachflächen- bzw. Wandflächengruppe. Für den Fall, dass jeweils die Messungen (im Abstand von vier, acht bzw. zwölf Jahren) bezüglich auf den Monat und Tag übereinstimmen („Idealfall“), kann der Mittelwert für die Dickenänderung pro Jahr relativ einfach bestimmt werden. Dieser Wert wird aus einer Differenzbildung errechnet, z. B. temperaturkorrigierter Mittelwert der ersten Messung minus temperaturkorrigiertem Mittelwert der nächsten Messung. Diese Differenz wird durch die Anzahl der Jahre der betrachteten Messperiode geteilt.

Bei Objekten mit **drei Messungen** ergeben sich für die Messperioden vier und acht Jahre. Es werden Differenzen gebildet aus: 1.- 2. Messung, 2.- 3. Messung und 1.- 3. Messung.

Bei Objekten mit **vier Messungen** ergeben sich für die Messperioden vier, acht und zwölf Jahre. Es werden Differenzen gebildet aus: 1.- 2. Messung, 2.- 3. Messung, 3.- 4. Messung, 1.- 3. Messung und 1.- 4. Messung.

Dieser o. a. „Idealfall“ konnte aus verschiedenen Gründen nicht erreicht werden. Zu nennen sind hierfür Regenperioden, Zugänglichkeit der Objekte, bzw. persönliche Gründe. Für die Bestimmung des Mittelwertes des Abtrags pro Jahr, z. B. in  $\mu\text{m}$ , innerhalb der einzelnen Messperioden eines Objektes, musste daher eine Zeitkorrektur durchgeführt werden.

Aus Gründen der Vereinfachung und zur Steigerung der Genauigkeit wurde im Rahmen der ersten Stufe der Auswertung bei den einzelnen **Messorten**, z. B. DF1.1, DF1.2 und DF1.3, noch keine Zeitkorrektur vorgenommen. Bei der Auswertung der **ganzen Fläche**, z. B. DF1, wurde die Zeitkorrektur für die gesamte Messperiode bereits durchgeführt und dort auch so entsprechend gekennzeichnet. Die zeitkorrigierten Mittelwerte des Abtrags, angegeben in  $\mu\text{m}/\text{a}$ , innerhalb der Messperioden, werden für jede Dach- bzw. Wandflächengruppe auf einem eigenen Blatt dargestellt.

#### Vorgehensweise

- a) Ermittlung der Anzahl der Tage der betrachteten Messperiode (hierbei wird der Einfluss von Schaltjahren vernachlässigt).
- b) Bestimmung der Dickenänderung in der betrachteten Messperiode. Sie wird aus der Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte dieser Messperiode ermittelt.
- c) Der Wert aus Punkt b) wird durch die Anzahl der Tage der betrachteten Messperiode, Punkt a), dividiert. Zwischenergebnis: Dickenänderung pro Tag.
- d) Der Wert von Punkt c) wird mit der normierten Jahrestagzahl 365 multipliziert (hierbei wird der Einfluss von Schaltjahren vernachlässigt).



## Ergebnis:

Mittelwert der Dickenänderung, angegeben in [ $\mu\text{m/a}$ ], für die jeweils betrachtete Messperiode, je nach Objekt für vier, acht bzw. zwölf Jahre.

Die Messungen wurden jeweils im Abstand von vier Jahren vorgenommen. Es ergeben sich für die Messperioden die nachfolgend aufgeführte Anzahl von Tagen (Tagzahlen).

Tagzahlen für „unkorrigierte“ Messperioden (mit 365 Tagen pro Jahr):

Messperiode: 1. Messung bis 2. Messung - Dauer vier Jahre: 1460 Tage

Messperiode: 2. Messung bis 3. Messung - Dauer vier Jahre: 1460 Tage

Messperiode: 3. Messung bis 4. Messung - Dauer vier Jahre: 1460 Tage

Messperiode: 1. Messung bis 3. Messung - Dauer acht Jahre: 2920 Tage

Messperiode: 1. Messung bis 4. Messung - Dauer zwölf Jahre: 4380 Tage

Die Normierung wurde mit folgender Gleichung vorgenommen:

$$z = (D/x) \cdot 365 \cdot 1000$$

Hierbei bedeuten:

- z - Zeitkorrigierter Jahresmittelwert für die betrachtete Messperiode, Angabe in  $\mu\text{m/a}$ ,
- D - Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte der betrachteten Messperiode in mm,
- x - Genaue Tagzahl der jeweiligen Messperiode,
- 365 - Jahrestagzahl,
- 1000 - Umrechnung der Angabe von mm/a in  $\mu\text{m/a}$ .

So ergeben sich z. B. bei dem Objekt Nr. 1 Fernmeldeamt, Stadthagen, siehe hierzu die Zusammenstellung der Objekte in Abschnitt 4.1, mit drei Messungen für die Normierung folgende Werte:

### **Periode: 1. Messung bis 2. Messung**

Genaue Tagzahl x = 1337 --- Unkorrigierte Tagzahl 1460 --- Angabe der Differenz: - 123 Tage

### **Periode: 2. Messung bis 3. Messung**

Genaue Tagzahl x = 1457 --- Unkorrigierte Tagzahl 1460 --- Angabe der Differenz: - 003 Tage

### **Periode: 1. Messung bis 3. Messung**

Genaue Tagzahl x = 2793 --- Unkorrigierte Tagzahl 2920 --- Angabe der Differenz: - 127 Tage

## Hinweis:

Die Zeitkorrektur wurde in das Auswertungsprogramm eingearbeitet. Die Ergebnisse werden in der Auswertung der Objekte als solche gekennzeichnet bzw. dort auf eigenen Seiten dargestellt.

#### **4.10 Objektbeispiel: Gebäude Nr. 14, Lehrbäckerei, Bad Zwischenahn OT Rostrup**

Die Darstellung der Mess- und Auswertungsergebnisse der 55 Objekte, einschließlich der vier Dachflächen des Freibewitterungsversuchs in Hannover-Herrenhausen bzw. in Hannover-Langenhagen umfasst 3861 Seiten. Sie können hier nicht insgesamt aufgeführt werden. Anhand des ausgewählten Objektes Nr. 14 kann jedoch die Vorgehensweise und der Aufbau der gesamten Dokumentation, wie die Beschreibung des jeweiligen Objektes, Hinweise auf die Messmethode, Korrekturwerte, statistisches Vorgehen, Messergebnisse und Auswertungsergebnisse usw. für alle anderen untersuchten Objekte - aufgeführt in der Zusammenfassung in Abschnitt 4.11 - nachvollzogen werden. Die Dokumentation des Objektbeispiels Nr. 14 ist wegen des großen Umfangs in Abschnitt 8.1 aufgeführt.

#### **4.11 Zusammenfassung von Auswertungsergebnissen der 56 Objekte**

Alle 55 Objekte und die vier Versuchsflächen in Hannover-Herrenhausen bzw. in Hannover-Langenhagen wurden - wie das in Abschnitt 8.1 beispielhaft aufgeführte Objekt 14 - ausgewertet und auch so dokumentiert. Die umfangreiche Dokumentation aller Objekte musste für diese Arbeit reduziert werden. Die Daten der Reduzierung sind in den folgenden 15 Zusammenstellungen (Blatt 1 bis Blatt 15) aufgeführt.

Für jedes Objekt werden folgende Daten angegeben:

- o Die Nummer des Objekts und der Standort,
- o Eine kurze Beschreibung des Objektes, wie z. B. Nutzungsart des Gebäudes, Höhenlage des Daches über Grund, eine mögliche Behinderung der Freibewitterung, Auffälligkeiten,
- o Anzahl der Messungen (drei bzw. vier) mit Angabe der Zeitdaten,
- o Angabe der maximalen und minimalen Metalltemperaturen,
- o Angabe der temperatur- und zeitkorrigierten Ergebnisse aus der Periode: Erste Messung bis letzte Messung. Hierzu gehören weiterhin: Die Angabe der Nenndicke der Titanzinkdeckung, die Bezeichnungen der Messflächen, die Neigung der Messflächen und deren Orientierung zur Himmelsrichtung, die Mittelwerte des Abtrags in  $\mu\text{m/a}$  und der dazu gehörenden Vertrauensbereich gemäß Methode 2, Angabe in  $\mu\text{m}$ .
- o Auf der letzten Seite der Zusammenstellung sind die Kurzformen der Bezeichnungen der Messflächen erläutert, z. B. kennzeichnet die Kurzform DFo den oberen Bereich einer gekrümmten Dachfläche.

Die Schwankungen in der Dickenabnahme der Metaldeckung infolge atmosphärischer Korrosion in der bereits angesprochenen Verlaufskontrolle - im Vergleich der Messobjekte (Differenz der Dicken zwischen erster und zweiter, zweiter und dritter und dritter und vierter Messung) - hängen von den klimatischen Randbedingungen und der Schadstoffkonzentrationen in der Luft der Standorte ab. So ist z. B. nicht allein die Niederschlagsmenge eines bestimmten Zeitabschnittes (hier immer vier Jahre) entscheidend, sondern auch wie dieser Niederschlag gefallen ist, überwiegend als Nieselregen oder in wenigen, jedoch großen Niederschlagshöhen.

Eine weitere Auswertung der Ultraschall-Messungen aller Objekte in einer vergleichenden Betrachtung, z. B. für Dachflächen gleicher Neigung und gleicher Orientierung zur Hauptwetterrichtung, konnte nicht erfolgen, da Daten über Regenereignisse, Schadstoffkonzentrationen in der Luft usw. für die Standorte (außer für Hannover) nicht zu beschaffen waren.

Es folgt die Zusammenfassung von Auswertungsergebnissen der 56 Objekte auf dieser und den folgenden acht Seiten. Die einzelnen Zusammenfassungen von Objekten auf den Seiten werden jeweils mit „Blatt“ bezeichnet. In Blatt 15 sind die verwendeten Abkürzungen erläutert.

<b>Objekt: 1</b> <b>Ort: Stadthagen</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Verwaltungsgebäude mit Werkstätten, Höhenlage des Daches ca.14 m über Grund, Walmdach, First in Längserstreckung Ost/West, Abmessung des Hauptdaches: B=20 m, l = 40 m, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 60 cm, an den Rändern des Hauptdaches befinden sich zwei halbkreisförmige Dachflächen. Freie Lage des Gebäudes, keine Verschattung durch Gebäude oder Bäume. In Südwest, 600 m entfernt, befindet sich eine Fabrik mit einem hohen Schornstein.								
Anzahl der Messungen: Datum: 04.11.1991 03.07.1995 29.06.1999		Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 44 °C - min 11 °C		0,7	DF1-DF4	7 °	W-N-S-O	400	<b>0,615</b>	0,539 bis 0,692
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>								
		0,7	DF5 T	48 °	West	60	<b>0,458</b>	0,381 bis 0,534
		0,7	DF6 T	48 °	Ost	60	<b>0,427</b>	0,319 bis 0,536
<b>Objekt: 2</b> <b>Ort: Nörten-Hardenberg</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Bankgebäude, Höhenlage des Hauptdaches beginnt ca. 6 m über Grund. Gebäudeabmessung ca. 22 m · 25 m, pyramidenförmige Dachfläche, mit einem in der Spitze angeordneten Glaselement, umlaufend breite, begehbare Rinne, Vordach mit Wandfläche, zwei Nebendachflächen 10°, Länge ca. 2,5 m. Hauptdachflächen l = 7 m, Scharbreite 60 cm, Winkelfalzdeckung, weit freie Lage am Ortsrand, keine Behinderung in der Freibewitterung.								
Anzahl der Messungen: Datum: 05.08.1991 29.06.1995 17.06.1999		Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 59 °C - min 32 °C		0,8	DF1	30 °	Ost	60	<b>0,418</b>	0,257 bis 0,578
		0,8	DF2	30 °	Nord	60	<b>0,492</b>	0,331 bis 0,653
		0,8	DF3	30 °	West	60	<b>0,511</b>	0,387 bis 0,635
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>								
		0,8	DF4	30 °	Süd	60	<b>0,431</b>	0,307 bis 0,555
		0,8	DF5	10 °	Ost	60	<b>0,519</b>	0,358 bis 0,679
		0,8	DF6	10 °	West	60	<b>0,529</b>	0,368 bis 0,689
		0,8	WF1	90 °	Ost	60	<b>0,125</b>	0,010 bis 0,239
<b>Objekt: 3</b> <b>Ort: Hankensbüttel</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Schulgebäude, winkelförmiger Anbau, b = 9 m; l <sub>1</sub> , l <sub>2</sub> ca. 40 m. Höhe über Grund ca. 9 m, Scharbreite 53 cm, Doppelstehfalzdeckung, Dachfläche DF1 teilweise von Süd und Dachfläche 2 teilweise von West durch Hauptgebäude verschattet, sonst keine Behinderung der Freibewitterung. Teile des Hauptdaches entwässern (Fallrohre) über die gemessenen Dachflächen. Diese Schare wurden nicht in die Auswertung einbezogen.								
Anzahl der Messungen: Datum: 19.08.1991 08.07.1995 19.06.1999 13.09.2003		Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 54 °C - min 15 °C		0,7	DF1	3,5 °	Nord	200	<b>0,582</b>	0,532 bis 0,633
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 4. Messung</b>								
		0,7	DF2	3,5 °	Ost	180	<b>0,648</b>	0,598 bis 0,699
<b>Objekt: 4</b> <b>Ort: Lüchow-Dannenberg</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Werkstattgebäude, Dachflächen (Winkel) um ein ca. 2 m höheren Gebäudeteil, Höhe über Grund ca. 5 m, Scharbreite 53 cm, Doppelstehfalzdeckung, beide Dächer mit Gefällesprung, l = 20 m, freie Lage der Messflächen, keine Behinderung in der Freibewitterung. In der Nähe des Gebäudes steht ein hoher Funkmast.								
Anzahl der Messungen: Datum: 19.08.1991 08.07.1995 19.06.1999		Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 64 °C - min 26 °C		0,7	DF1	9 °	Süd	300	<b>0,482</b>	0,372 bis 0,592
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>								
		0,7	DF3	9 °	West	300	<b>0,572</b>	0,462 bis 0,682

Blatt 1

<b>Objekt: 5 Ort: Kellenhusen</b> <b>Kurze Beschreibung:</b> Kurhaus und Hallenbad, Erweiterungsbau, Dachflächen 8 m über Grund, stark gegliederte Dachlandschaft, Entfernung des Gebäude zur Ostsee ca. 300 m. Hauptdach l ca. 30 m, mit Gefällesprung, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 40 cm, große Entlüftungsaufbauten mit Rheinzinkmaterialien bekleidet. Unauffällige Dachflächen, freie Lage der Messorte, keine Behinderung in der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 13.08.1991 02.07.1995 28.05.1999 07.09.2003	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 58 °C - min 18 °C	0,8	DF1	30 °	Südost	40	<b>0,456</b>	0,399 bis 0,513
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 4. Messung</b>	0,7	DF1	30 °	Südost	80	<b>0,505</b>	0,433 bis 0,576
	0,7	DF2	10 °	Südost	120	<b>0,613</b>	0,562 bis 0,663
	0,8	DF3	30 °	Nordwest	40	<b>0,453</b>	0,348 bis 0,558
	0,7	DF3	30 °	Nordwest	80	<b>0,546</b>	0,454 bis 0,639
	0,7	DF4	10 °	Nordwest	120	<b>0,577</b>	0,506 bis 0,648
	0,7	DF5	10 °	Südwest	260	<b>0,560</b>	0,488 bis 0,631
	0,7	DF6/7	3 °	NW/SO	120	<b>0,627</b>	0,577 bis 0,677
	<b>Objekt: 6 Ort: Husum</b> <b>Kurze Beschreibung:</b> Garagengebäude, viertelkreisförmiger Grundriss der Anlage, Dachflächen ca. 6 m über Grund, Dachlänge ca. 6 m. Garagensegmente in der Dachfläche durch Leistendeckung unterteilt, Dach- und Wandflächen in Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 53 cm. Freie Lage der Messorte, keine Behinderung in der Freibewitterung.						
Anzahl der Messungen: Datum: 12.08.1991 01.07.1995 27.05.1999	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 59 °C - min 19 °C	0,8	DF1	7 °	Nordost	180	<b>0,613</b>	0,488 bis 0,739
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,8	DF2	54 °	Südwest	180	<b>0,531</b>	0,406 bis 0,656
	0,8	WF1	90 °	Süd	60	<b>0,122</b>	0,034 bis 0,210
	<b>Objekt: 7 Ort: Halle (Westf.)</b> <b>Kurze Beschreibung:</b> Hallenbad, Flachdachsanieierung, Pultdächer, Dächer mit Gefällesprung, Höhenlage der Dachflächen über Grund ca. 11 m bzw. 8 m, Dach der Schwimmhalle ca. 3 m höher als übrige Gebäudeteile, Dachlängen ca. 22 m, zahlreiche Entlüftungsöffnungen, Scharbreite 53 cm, Doppelstehfalzdeckung, Wände mit Rheinzinkmaterialien bekleidet. An fünf Messorten traten im Rahmen der 4. Messung Koppelschwierigkeiten auf, diese Messungen wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Freie Lage der Messorte der Dach- und Wandflächen, keine Behinderung in der Freibewitterung.						
Anzahl der Messungen: Datum: 15.08.1991 11.06.1995 03.07.1999 31.08.2003	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 60 °C - min 21 °C	0,7	DF1	4 °	Ost	200	<b>0,518</b>	0,446 bis 0,589
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 4. Messung</b>	0,7	DF3	4 °	West	300	<b>0,553</b>	0,481 bis 0,625
	0,7	WF1	90 °	Nordost	60	<b>0,192</b>	0,141 bis 0,242
	0,7	WF3	90 °	West	60	<b>0,117</b>	0,045 bis 0,188

**Blatt 2**

<b>Objekt: 8 Ort: Halle (Westf.)</b> <b>Kurze Beschreibung:</b> Schulgebäude, stark gegliederte Dachlandschaft, Satteldächer und Pultdächer, Dächer mit Kehlrippen, entlang der Kehlrippe befinden sich in jeder Schar Belüftungsöffnungen, Dachlängen ca. 8 m bis 12 m, Scharbreite 53 cm, Doppelstehfalzdeckung, Höhenlage über Grund ca. 14 m, Randlage am Ort, freie Lage der Messorte, keine Behinderung in der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 15.08.1991 12.06.1995 03.07.1999	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 58 °C - min 19 °C	0,7	DF1	13 °	Südost	100	<b>0,447</b>	0,305 bis 0,589
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,7	DF2	13 °	Nordost	140	<b>0,465</b>	0,323 bis 0,607
	0,7	DF3	12 °	Südwest	100	<b>0,498</b>	0,356 bis 0,640
	0,7	DF4	12 °	Nordwest	140	<b>0,510</b>	0,368 bis 0,652
	0,7	DF5	13 °	Südost	60	<b>0,504</b>	0,362 bis 0,646
	0,7	DF6	9 °	Süd	40	<b>0,553</b>	0,412 bis 0,695
	0,7	DF7	13 °	Südwest	60	<b>0,509</b>	0,367 bis 0,651
	<b>Objekt: 9 Ort: Nordstrand</b> <b>Kurze Beschreibung:</b> Kurmittelhaus, Sanierung-Umbau und Erweiterung, Satteldächer und Pultdächer, in die Dachflächen integrierte Lichtöffnungen, Höhe über Grund ca. 6 m bis 8 m, Dachlängen 8 m bis 11 m, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 53 cm. In ca 130 m Entfernung befindet sich der Deich zur Nordsee, freie Lage der Messorte, keine Behinderung in der Freibewitterung.						
Anzahl der Messungen: Datum: 12.08.1991 01.07.1995 28.05.1999	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 50 °C - min 20 °C	0,7	DF4	30 °	Nordwest	160	<b>0,498</b>	0,420 bis 0,575
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,7	DF5	15 °	Nordost	80	<b>0,578</b>	0,467 bis 0,688
	0,7	DF6	15 °	Südwest	120	<b>0,535</b>	0,424 bis 0,646
	0,7	WF2	90 °	Südwest	60	<b>0,173</b>	0,095 bis 0,251
	0,7	WF1	90 °	Südost	40	<b>0,216</b>	0,105 bis 0,327
<b>Objekt: 10 Ort: Düsseldorf</b> <b>Kurze Beschreibung:</b> Hotel am Flughafen, ovaler Grundriss, Abmessungen des Gesamtkomplexes ca. 230 m · 250 m, Höhenlage der Dachflächen über Grund ca. 28 m, Hauptdachflächen mit First (Bezeichnung der Messorte: innerer Ring und äußerer Ring), Lage der Messorte jeweils ca. 2 m vom First, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 42 cm, Hotelkomplex auf einem Parkhaus in unmittelbarer Nähe zum Flughafen, freie Lage der Messorte, keine Behinderung in der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 08.08.1991 10.06.1995 11.07.1999	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 41 °C - min 11 °C	0,7	1.3a - 2.5i	12 °	Nord	100	<b>0,607</b>	0,530 bis 0,683
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,7	1.5a - 4.3i	12 °	Nordost	140	<b>0,630</b>	0,521 bis 0,739
	0,7	1.8a - 2.8i	12 °	Ost	40	<b>0,602</b>	0,525 bis 0,678
	0,7	1.1i - 2.12i	12 °	Südost	220	<b>0,625</b>	0,522 bis 0,739
	0,7	1.3i - 2.5a	12 °	Süd	100	<b>0,636</b>	0,559 bis 0,712
	0,7	1.5i - 3.3i	12 °	Südwest	160	<b>0,637</b>	0,560 bis 0,713
	0,7	1.8i - 2.8a	12 °	West	60	<b>0,616</b>	0,540 bis 0,693
	0,7	1.1a-2.12a	12 °	Nordwest	220	<b>0,613</b>	0,537 bis 0,690

**Blatt 3**

<b>Objekt: 11 Ort: Duisburg</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Verwaltungsgebäude mit Industrieanlage (Metallhütte), Pfortnergebäude und Schichtmeisterei (Sattel- und Walmdächer) konnten nicht gemessen werden, da die Dachflächen mit starken, festhaftenden Verkrustungen versehen waren. Am Verwaltungsgebäude wurden die Fensterbänder (Brüstungselemente) d. h. Wandflächen gemessen. Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 60 cm, Messflächen durch Nachbargebäude teilweise verschattet.							
Anzahl der Messungen: Datum: 07.08.1991 09.06.1995 10.07.1999							
Temperaturen des Titanzinks: max 50 °C - min 15 °C							
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
	0,7	WF1	90 °	Ost	60	<b>0,134</b>	0,025 bis 0,243
	0,7	WF2	90 °	Nord	40	<b>0,161</b>	0,085 bis 0,238
	0,7	WF3	90 °	West	40	<b>0,203</b>	0,095 bis 0,312
	0,7	WF4	90 °	Süd	40	<b>0,147</b>	0,006 bis 0,289
<b>Objekt: 12 Ort: Duisburg</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Gemeindezentrum und Kindergarten, Dächer mit Gefällesprung, Höhenlage der Dachflächen über Grund ca. 6 m, die Dachflächen waren zum großen Teil mit einem grauen Belag versehen, dieser ließ sich mit Wasser leicht entfernen. Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 60 cm, auch nach Reinigung mit Wasser traten an 9 Messorten Koppelstörungen auf, diese Messwerte wurden nicht weiter berücksichtigt. Freie Lage der Messorte.							
Anzahl der Messungen: Datum: 07.08.1991 10.06.1995 10.07.1999							
Temperaturen des Titanzinks: max 54 °C - min 16 °C							
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
	0,8	DF1	15 °	Nordost	80	<b>0,562</b>	0,403 bis 0,722
	0,8	DF3	15 °	Südwest	80	<b>0,596</b>	0,436 bis 0,755
	0,8	DF4	15 °	Nordwest	100	<b>0,597</b>	0,438 bis 0,757
<b>Objekt: 13A Ort: Herne</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Werkstattgebäude I einer größeren Anlage, Satteldach mit Shedaufbauten, Wände mit Titanzink bekleidet, integrierte Lichtöffnungen, Hauptdachflächen ca. 5,5 m über Grund, Scharbreite 60 cm, zwei Messorte wiesen Koppelstörungen auf, sie wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Freie Lage der Messorte, keine Behinderung in der Freibewitterung, Doppelstehfalzdeckung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 06.08.1991 09.06.1995 12.07.1999							
Temperaturen des Titanzinks: max 66 °C - min 15 °C							
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
	0,7	DF1.2-1.3T	5 °	West	80	<b>0,534</b>	0,393 bis 0,674
	0,7	DF2.4-2.5	5 °	Ost	80	<b>0,570</b>	0,429 bis 0,711
	0,7	WF1.1-1.5	90 °	West	60	<b>0,166</b>	0,090 bis 0,242
	0,7	WF6.1-10.1	90 °	Ost	60	<b>0,187</b>	0,046 bis 0,328
0,7	DFS1.1-1.6	60 °	Süd	120	<b>0,424</b>	0,283 bis 0,565	
<b>Objekt: 13B Ort: Herne</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Werkstattgebäude II einer größeren Anlage, Satteldach mit Shedaufbauten, Wände mit Titanzink bekleidet, integrierte Lichtöffnungen, Hauptdachflächen ca. 5,5 m über Grund, Scharbreite 60 cm, drei Messorte wiesen Koppelstörungen auf, sie wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Freie Lage der Messorte, keine Behinderung in der Freibewitterung, Doppelstehfalzdeckung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 06.08.1991 09.06.1995 12.07.1999							
Temperaturen des Titanzinks: max 60 °C - min 14 °C							
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
	0,7	DF 1	5 °	West	100	<b>0,539</b>	0,431 bis 0,648
	0,7	DF 2	5 °	Ost	100	<b>0,547</b>	0,406 bis 0,688
	0,7	WF1.1 u.3.1	90 °	West	40	<b>0,159</b>	0,050 bis 0,268
	0,7	WF6/8/10	90 °	Ost	60	<b>0,212</b>	0,071 bis 0,353
0,7	DFS1.1/1.6	55 °	Süd	120	<b>0,431</b>	0,290 bis 0,572	

**Blatt 4**

<b>Objekt: 14 Ort: Bad Zwischenahn OT Rostrup</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Lehrbäckerei, Pultdach mit Gefällestoss, Dachlänge ca. 18 m, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 55 cm. Höhe der Dachfläche über Grund ca. 5 m. Seitlich an das Hauptdach war ein vierzügiger Schornstein angeordnet. Dessen Wände waren mit Titanzink bekleidet. Die obere Abdeckung des Schornsteins besteht aus Titanzink, freie Lage, keine Behinderung in der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 30.09.1992 29.06.1996 09.06.2000 24.07.2004							
Temperaturen des Titanzinks: max 50 °C - min 18 °C							
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 4. Messung</b>	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
	0,7	DF1	10 °	Südwest	400	<b>0,562</b>	0,489 bis 0,635
	0,7	WF1	90 °	Südost	60	<b>0,216</b>	0,143 bis 0,289
0,7	SA1	4 °	Südost	60	<b>0,632</b>	0,581 bis 0,684	
<b>Objekt: 15 Ort: Bielefeld</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Stadthalle, Dachflächen über großem Konzertsaal mit halkreisförmiger Endung, viertelkreisförmige Dachflächen enden jeweils an einem ca. 2 m hohen Dachreiter, die Satteldachflächen und die Wände des Dachreiters entwässern auf die viertelkreisförmigen Hauptdachflächen, Abfolge der Deckungsart: Leistendeckung - fünf Schare in Doppelstehfalzdeckung - Leistendeckung, Länge der Hauptdachflächen ca. 17 m, Scharbreite 52 cm, Länge der Wandflächen ca. 2 m, Höhenlage der Hauptdachflächen ca. 24 m über Grund, Innenstadtlage am Bahnhof, freie Lage, keine Behinderung der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 22.07.1992 17.07.1996 24.07.2000							
Temperaturen des Titanzinks: max 54 °C - min 18 °C							
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
	0,8	DF1o/7o	6 °	Ost	140	<b>0,658</b>	0,500 bis 0,816
	0,8	DF1m/7m	17 °	Ost	140	<b>0,663</b>	0,505 bis 0,821
	0,8	DF1u/7u	34 °	Ost	140	<b>0,612</b>	0,490 bis 0,734
	0,8	DF8o/14o	6 °	West	140	<b>0,709</b>	0,551 bis 0,867
	0,8	DF8m/14m	17 °	West	140	<b>0,703</b>	0,581 bis 0,825
	0,8	DF8u/14u	34 °	West	120	<b>0,674</b>	0,588 bis 0,760
	0,8	WF1.2/10	90 °	Ost	160	<b>0,155</b>	0,033 bis 0,276
	0,8	WF4.16/22	90 °	West	140	<b>0,195</b>	0,110 bis 0,281
<b>Objekt: 16 Ort: Meldorfer Bucht</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Info-Pavillon in der Nähe des Wattenmeeres (Schleswig-Holstein), bogenförmige Anlage (halbkreisförmig, Krümmung des Grundrisses in Richtung Wattenmeer, viertelkreisförmige Dachflächen in Wandflächen übergehend. Gliederung der Schare: Leistendeckung - sieben Schare in Doppelstehfalzdeckung - Leistendeckung. Scharbreite 48 cm, oberseitig der viertelkreisförmigen Dachflächen ist umlaufend ein Lichtband angeordnet. Die Schare an der Westseite ("Wetterseite") wiesen vereinzelt krustige Ablagerungen ("Pusteln") auf. Sehr freie Lage des Gebäudes, keine Behinderung in der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 21.09.1992 11.08.1996 13.05.2000							
Temperaturen des Titanzinks: max 53 °C - min 17 °C							
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
	0,7	DF1.2/1.8	38 °	N-O-S	60	<b>0,559</b>	0,479 bis 0,638
	0,7	DF1.1/1.7	70 °	N-O-S	80	<b>0,304</b>	0,224 bis 0,383
	0,7	DF2.1/2.5	79 °	S-SW	100	<b>0,421</b>	0,342 bis 0,501
	0,7	DF2.6/2.8	70 °	W-NW	60	<b>0,384</b>	0,271 bis 0,496
	0,7	DF2.9/2.10	79 °	N	40	<b>0,297</b>	0,184 bis 0,410
	0,7	WF1.1/1.5	90 °	S-SW	100	<b>0,218</b>	0,138 bis 0,297
	0,7	WF1.6/1.7	90 °	W-NW	40	<b>0,283</b>	0,170 bis 0,396
0,7	WF1.9/1.10	90 °	N	40	<b>0,286</b>	0,173 bis 0,399	

**Blatt 5**



<b>Objekt: 17</b> <b>Ort: Lübeck</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Sporthalle, gegliederte Dachflächen, DF1 geneigte Dachflächen an sechs Stirnseiten, grenzen jeweils an ein Lichtband der langgestreckten Hauptdachflächen, jeweils drei Messorte, Dachlänge l = 4,5 m, Höhenlage über Grund 5,5 m, Flächen sind von Nord durch Gebäude verschattet, DF3 schräge Vordächer an der Straßenseite, grenzen oben an Wandbekleidung an, Dachlänge l = 4,0 m, DF4 Dachflächen zu einem Park orientiert, Dachlänge l = 3,5 m, freie Lage, Höhe über Grund 4,5 m, Scharbreite 53 cm, Doppelstehfalzdeckung.								
Anzahl der Messungen: Datum: 22.09.1992 08.05.1996 15.05.2000	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]	
Temperaturen des Titanzinks: max 60 °C - min 15 °C	0,7	DF 1	60 °	Nord	240	<b>0,373</b>	0,294 bis 0,452	
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,7	DF 3	47 °	Süd	180	<b>0,398</b>	0,285 bis 0,511	
	0,7	DF 4	51 °	Ost	120	<b>0,427</b>	0,314 bis 0,540	
<b>Objekt: 18</b> <b>Ort: Sierksdorf</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Showtheater, Aufbau auf einem großen Flachdach, Satteldach, Dachlängen l = 3 m, Höhe der Satteldachflächen über Grund ca. 7 m, Scharbreite 53 cm, Doppelstehfalzdeckung, freie Lage, Entfernung zur Ostsee ca. 1,5 km, keine Behinderung in der Freibewitterung.								
Anzahl der Messungen: Datum: 22.09.1992 08.05.1996 14.05.2000	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]	
Temperaturen des Titanzinks: max 52 °C - min 18 °C	1	DF 1	19 °	Süd	40	<b>0,420</b>	0,307 bis 0,532	
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,7	DF 1	19 °	Süd	120	<b>0,440</b>	0,327 bis 0,553	
	1	DF 2	19 °	Nord	60	<b>0,450</b>	0,323 bis 0,578	
	0,7	DF 2	19 °	Nord	80	<b>0,456</b>	0,343 bis 0,569	
	0,7	WF 1	90 °	Ost	60	<b>0,147</b>	0,067 bis 0,226	
<b>Objekt: 19</b> <b>Ort: Hardeggen</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Einfamilienwohnhaus, Haus an einem relativ steilen Hang, Pultdach, Dachlänge ca. 13 m, Höhenlage über Grund (Hanglage) ca. 8,5 m, freie Lage, Scharbreite 53 cm, Doppelstehfalzdeckung, keine Behinderung in der Freibewitterung.								
Anzahl der Messungen: Datum: 09.10.1992 07.07.1996 26.08.2000	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]	
Temperaturen des Titanzinks: max 49 °C - min 15 °C	0,7	DF1.1	15 °	Nord	500	<b>0,551</b>	0,474 bis 0,628	
<b>Objekt: 20</b> <b>Ort: Hochlar-Recklinghausen</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Gemeindezentrum, U-förmige Anlage in einem Neubaugebiet, gegliederte Dachflächen, Pultdächer, Dachlänge l ca. 10 m, pyramidenförmiges Dach mit einer Glaspypamide am First, Dachlängen l ca. 6,5 m, Scharbreite 53 cm, Doppelstehfalzdeckung, freie Lage der Messorte, keine Behinderung in der Freibewitterung.								
Anzahl der Messungen: Datum: 15.09.1992 11.06.1996 01.09.2000	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]	
Temperaturen des Titanzinks: max 55 °C - min 27 °C	0,7	DF1	15 °	Nordwest	400	<b>0,598</b>	0,522 bis 0,674	
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,7	DF2	21 °	West	60	<b>0,577</b>	0,469 bis 0,686	
	0,7	DF3	21 °	Süd	60	<b>0,555</b>	0,447 bis 0,663	
	0,7	DF4	15 °	Südost	200	<b>0,552</b>	0,476 bis 0,628	

**Blatt 6**

<b>Objekt: 21</b> <b>Ort: Recklinghausen</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Mehrfamilienwohnhaus, viergeschossige Anlage, Flachdachsanieierung, Höhenlage der Dachflächen ca. 13,5 m über Grund, Satteldach, Firsterstreckung in N-S Richtung, mit Aufbauten für Aufzüge, Dachlängen des Hauptdaches l ca. 7 m, zahlreiche Schornsteine/Entlüftungen, Scharbreite 60 cm, Doppelstehfalzdeckung, innerstädtisch gelegen, freie Lage der Messorte, keine Behinderung in der Freibewitterung.								
Anzahl der Messungen: Datum: 16.09.1992 11.06.1996 01.09.2000 29.06.2004	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]	
Temperaturen des Titanzinks: max 53 °C - 17 min °C	0,7	DF1	7 °	West	400	<b>0,674</b>	0,622 bis 0,725	
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 4. Messung</b>	0,7	DF2	7 °	Ost	240	<b>0,639</b>	0,587 bis 0,690	
	0,7	WF1	90 °	Nord	80	<b>0,219</b>	0,167 bis 0,270	
	0,7	WF2	90 °	West	80	<b>0,223</b>	0,171 bis 0,274	
	0,7	WF3	90 °	Süd	40	<b>0,191</b>	0,140 bis 0,243	
<b>Objekt: 22</b> <b>Ort: Paderborn-Wever</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Gerätehaus, Pultdach, Dachlänge l ca. 15 m, Gefällestoß, Höhenlage des Hauptdaches über Grund ca. 7,5 m, Scharbreite 53 cm, Doppelstehfalzdeckung, freie Lage der Messorte, keine Behinderung in der Freibewitterung. Die Wandflächen sind durch das Hauptdach bei starken Windverhältnissen aus West geringfügig verschattet.								
Anzahl der Messungen: Datum: 04.10.1992 17.06.1996 09.06.2000 22.05.2004	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]	
Temperaturen des Titanzinks: max 56 °C - 9 min °C	0,7	DF 1	15 °	Ost	960	<b>0,543</b>	0,491 bis 0,595	
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 4. Messung</b>	0,7	WF 1	90 °	West	60	<b>0,205</b>	0,152 bis 0,257	
<b>Objekt: 23</b> <b>Ort: Gröbenzell</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Schulgebäude, stark gegliederte Dachflächen, keine rechten Winkel, Dachflächen oft mit Gegengefälle zu den Doppelstehfalzen, Einbau von Oberlichtöffnungen, komplizierte Zusammenführung der Falzverbindungen, Querneigung der Schare zwischen 2 ° bis 7°, Rohrdurchführungen ohne Abdeckungen, Scharbreite 58 cm, Höhenlage des Hauptdaches über Grund ca. 12,5 m, freie Lage der Messorte, keine Behinderung in der Freibewitterung.								
Anzahl der Messungen: Datum: 25.09.1992 20.08.1996	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]	
Temperaturen des Titanzinks: max 57 °C - min 19 °C	0,7	DF1	15 °	Nordost	120	<b>0,543</b>	0,323 bis 0,764	
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 2. Messung</b>	0,7	DF2	20 °	Ost	60	<b>0,528</b>	0,307 bis 0,749	
	0,7	DF4	23 °	Süd	60	<b>0,496</b>	0,275 bis 0,717	
	0,7	DF5 u. DF6	7 °	NO/W	120	<b>0,602</b>	0,381 bis 0,823	
	0,7	DF7 u. DF8	14 °/17	SW/W	120	<b>0,565</b>	0,344 bis 0,786	
	0,7	WF1	82 °	Nordost	60	<b>0,266</b>	0,111 bis 0,422	
<b>Objekt: 24</b> <b>Ort: Großburgwedel</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Schulgebäude, Satteldach (First in SO/NW-Ausrichtung), Messorte jeweils 1,5 m vom First, Höhenlage des Daches über Grund ca. 6,5 m, fünf Messorte werden durch ein ca. 12 m hohes Gebäude von Nord her verschattet, sonst freie Lage, Scharbreite 60 cm, Doppelstehfalzdeckung.								
Anzahl der Messungen: Datum: 04.12.1992 24.07.1996 18.07.2000	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]	
Temperaturen des Titanzinks: max 53 °C - 5 min °C	0,7	DF3	22 °	Südwest	180	<b>0,457</b>	0,377 bis 0,537	
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,7	DF4	22 °	Nordost	180	<b>0,469</b>	0,389 bis 0,548	

**Blatt 7**

<b>Objekt: 25A Ort: Bayreuth</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Universität, Mensagebäude, stark gegliederte Dachflächen, Hauptdach pyramidenförmig in Walmdachflächen übergehend, Vordachflächen unterhalb der Fensterbänder des Mensateils ebenfalls stark gegliedert, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 53 cm, Höhenlage des Hauptdaches über Grund ca. 12 m, Höhenlage des Nebendaches über Grund ca. 6 m, freie Lage der Messorte, keine Behinderung in der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 03.08.1992 18.08.1996 18.09.2000	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 56 °C - min 15 °C	0,7	DF1/2/4/6	36 °	West	320	<b>0,476</b>	0,370 bis 0,582
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,7	DF3/5	36 °	Süd	120	<b>0,402</b>	0,328 bis 0,477
	0,7	DF 7	19 °	Nord	60	<b>0,519</b>	0,444 bis 0,594
	0,7	DF 12	19 °	Süd	40	<b>0,443</b>	0,369 bis 0,518
	0,7	DF 9	19 °	West	60	<b>0,519</b>	0,444 bis 0,594
	0,7	DF 8	5 °	Nord	60	<b>0,542</b>	0,467 bis 0,617
	0,7	DF 11	5 °	Süd	40	<b>0,522</b>	0,447 bis 0,596

<b>Objekt: 25B Ort: Bayreuth</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Universität, Verwaltungsgebäude, winkelförmige Pultdachflächen mit einer Kehlausbildung, breite, zum Dach hin geneigte Firstabdeckung in Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 60 cm, Hauptdächer in Doppelstehfalzdeckung, Höhenlage über Grund ca. 11 m, freie Lage der Messorte, keine Behinderung in der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 04.08.1992 18.08.1996 17.09.2000	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 50 °C - min 16 °C	0,7	DF1	12 °	Nordost	240	<b>0,511</b>	0,405 bis 0,618
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,7	DF2	12 °	Nordwest	240	<b>0,535</b>	0,461 bis 0,610

<b>Objekt: 26 Ort: Buchholz</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Schulgebäude, Walmdachflächen, großer, stark gegliederter Gebäudekomplex, Ausrichtung des Firstes in O/W-Richtung, große, abgedeckte Firstentlüftung, Scharbreite 52 cm, Doppelstehfalzdeckung, Höhenlage der Dachflächen über Grund ca. 14 m, freie Lage der Messorte, keine Behinderung in der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 19.07.1993 05.07.1997 14.08.2001	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 48 °C - min 20 °C	0,7	DF1-4	7 °	W-S-O-N	560	<b>0,619</b>	0,512 bis 0,726
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,7	DF1-4	7 °	W-S-O-N	560	<b>0,619</b>	0,512 bis 0,726

<b>Objekt: 27 Ort: Winsen</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Schulgebäude, Walmdach, First in NW/SO-Ausrichtung, Erweiterung und Umbau, in einer Längsrichtung sind einbindende Gebäudeteile vorhanden, die Messorte in diesem Dachbereich wurden so gewählt, dass sie nicht verschattet wurden, Höhenlage des Hauptdaches über Grund ca. 14 m, spezielle Falzverbindung, Schare sind profiliert, Scharbreite 25 cm, freie Lage der Messorte, keine Behinderung in der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 19.07.1993 06.08.1997 24.09.2001 13.05.2005	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 49 °C - min 18 °C	0,7	DF 1	7 °	Südwest	480	<b>0,546</b>	0,495 bis 0,598
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 4. Messung</b>	0,7	DF 2	7 °	Nordost	480	<b>0,528</b>	0,477 bis 0,579
	0,7	WF 1	90 °	Südost	40	<b>0,198</b>	0,147 bis 0,249
	0,7	WF 2	90 °	Nordost	40	<b>0,175</b>	0,124 bis 0,227
	0,7	WF 3	90 °	Nordwest	40	<b>0,178</b>	0,126 bis 0,229

**Blatt 8**

<b>Objekt: 28 Ort: Aachen</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Gemeindezentrum, stark gegliederte Dachlandschaft, viele innenliegende Rinnen, zahlreiche Einzelbelüfter in der Dachfläche, Scharbreite 42 cm, Doppelstehfalzdeckung, durch hohe Bäume im Abstand von ca. 25 m mäßig beschattet, sonst freie Lage der Messorte.							
Anzahl der Messungen: Datum: 20.07.1993 16.08.1997 07.08.2001	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 50 °C - min 20 °C	0,7	DF1	23 °	Südost	160	<b>0,515</b>	0,408 bis 0,622
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,7	DF2	31 °	West	140	<b>0,464</b>	0,388 bis 0,539
	0,7	DF3	23 °	Nordwest	120	<b>0,501</b>	0,426 bis 0,576
	0,7	DF4	31 °	Nord	100	<b>0,519</b>	0,444 bis 0,595

<b>Objekt: 29 Ort: Hövelhof</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Privatschwimmbad, Pultdach, First in N/O-Ausrichtung, Dachfläche liegt in einem großen U-förmigen Innenhof, gebildet durch ein Fabrikgebäude und 3-geschossige Wohngebäude, geringe Behinderung in der Freibewitterung, Scharbreite 53 cm, Doppelstehfalzdeckung, Höhenlage der Dachflächen über Grund ca. 5 m.							
Anzahl der Messungen: Datum: 26.08.1993 28.06.1997 02.08.2001 01.06.2005	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 55 °C - min 18 °C	0,7	DF1	6 °	Nordwest	480	<b>0,583</b>	0,531 bis 0,634
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 4. Messung</b>	0,65	WF1.1-WF3.	90 °	Ost	40	<b>0,167</b>	0,116 bis 0,219
	0,7	WF2.1-WF4.	90 °	Süd	40	<b>0,148</b>	0,100 bis 0,203

<b>Objekt: 30 Ort: Herten</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Mehrfamilienwohnhaus, Sanierung eines Flachdaches, winkelförmige Anlage, Satteldachflächen mit First und beidseitig angeordneten innenliegenden Rinnen, zahlreiche Schornsteine (mit Titanzink bekleidet), Ausbesserungen mit Bitumen im Bereich der Schornsteineinfassungen, Scharb.53 cm, Doppelstehfalz, verschmutzte Oberflächen (gräulich/bräunlicher Belag), Reinigung vor Messung erforderlich, freie Lage, keine Behinderung der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 20.07.1993 31.07.1997 06.08.2001	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 36 °C - min 21 °C	0,65	DF1-4	2,5 °	O-W-O-W	400	<b>0,928</b>	0,861 bis 0,994
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,65	DF6-8	2,5 °	S-N-S	260	<b>0,877</b>	0,811 bis 0,944

<b>Objekt: 31 Ort: Dorsten-Wulfen</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Kirche, Dachsanierung, kreuzförmiger Grundriss, Außenabmessungen 39 m • 36 m, mittig angeordnetes Hauptdach mit Lichtkuppel, die Kreuzarme sind mit einem Walmdach versehen, Dacheindeckung mit Gefällesprung, Scharbreite 50 cm, Doppelstehfalzdeckung, Höhenlage der Dachflächen über Grund ca. 7 m, freie Lage, keine Behinderung in der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 10.05.1993 30.07.1997 06.08.2001	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 43 °C - min 20 °C	0,7	DF1	30 °	West	140	<b>0,463</b>	0,389 bis 0,537
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,7	DF2	30 °	Süd	140	<b>0,436</b>	0,332 bis 0,541
	0,7	DF3	30 °	Nord	140	<b>0,521</b>	0,448 bis 0,595
	0,7	WF1	90 °	Süd	40	<b>0,078</b>	0,005 bis 0,152
	0,7	WF2	90 °	West	40	<b>0,081</b>	0,008 bis 0,155

**Blatt 9**

<b>Objekt: 32 Ort: Paderborn Schloß-Neuhaus</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Sporthalle, Satteldach, Dachstreifen (6 bis 8 Schare) dazwischen sind Lichtbänder angeordnet, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 52 cm, freie Lage am Ortsrand, Höhenlage der Messorte über Grund ca. 5 m.							
Anzahl der Messungen: Datum: 15.05.1993 28.06.1997 02.08.2001	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 57 °C - min 15 °C	0,7	DF1	30 °	Süd	360	<b>0,478</b>	0,373 bis 0,583
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>							
	0,7	DF2	30 °	Ost	80	<b>0,492</b>	0,387 bis 0,597
<b>Objekt: 33 Ort: Paderborn</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Einfamilienwohnhaus, Satteldach, First in NO/SW-Richtung, längstes Teil des Satteldaches ca. 18 m mit Gefällestoß, einige Schare waren verschmutzt, sie wurden nicht in die Messungen einbezogen, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 53 cm, innerstädtische Lage in einem Einfamilienhausgebiet, Höhenlage der Messorte über Grund ca. 4,5 m, freie Lage, keine Behinderung in der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 18.09.1993 28.06.1997 02.08.2001	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 51 °C - min 27 °C	0,7	DF1	12 °	Südost	220	<b>0,534</b>	0,392 bis 0,676
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>							
	0,7	DF2	12 °	Nordwest	320	<b>0,588</b>	0,478 bis 0,697
<b>Objekt: 34 Ort: Velbert</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Kulturzentrum, großer Gebäudekomplex, z. T. trapezförmige Dachflächen, großes Dach (Neigung 8°) mit Gefällesprung, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 53 cm, innerstädtische Lage, Höhenlage der Messorte über Grund ca. 9 m, freie Lage, keine Behinderung in der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 29.09.1993 08.08.1997 05.08.2001	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 56 °C - min 15 °C	0,7	DF 1	8 °	Nordwest	180	<b>0,588</b>	0,478 bis 0,697
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,7	DF 2	29 °	Nordwest	140	<b>0,511</b>	0,434 bis 0,588
	0,7	DF 3	45 °	Südwest	180	<b>0,490</b>	0,412 bis 0,567
	0,7	DF 4	45 °	Nordost	160	<b>0,492</b>	0,415 bis 0,569
	0,7	DF 5	45 °	Südost	160	<b>0,488</b>	0,411 bis 0,565
	0,7	WF 1	84 °	Nordwest	80	<b>0,205</b>	0,128 bis 0,282
<b>Objekt: 35 Ort: Mohringen</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Krankenhaus, Flachdach, Attikaausbildung in Titanzink, l ca. 2 m, Gebäude mit Innenhof, in Gebäudenähe großer, freistehender Schornstein, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 52 cm, Höhenlage der Messorte über Grund ca. 12 m, freie Lage, keine Behinderung in der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 25.08.1993 02.09.1997 31.07.2001	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 50 °C - min 19 °C	0,7	DF 1	45 °	Nord	180	<b>0,496</b>	0,419 bis 0,572
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,7	DF 2	45 °	Ost	60	<b>0,517</b>	0,408 bis 0,626
	0,7	DF 3	45 °	Süd	120	<b>0,518</b>	0,377 bis 0,659
	0,7	DF 4	45 °	West	120	<b>0,549</b>	0,441 bis 0,658
	0,7	DF 5	45 °	Ost	60	<b>0,493</b>	0,384 bis 0,602
	0,7	DF 6	45 °	Nord	60	<b>0,549</b>	0,441 bis 0,658
	0,7	WF 1	90 °	Nord	40	<b>0,182</b>	0,105 bis 0,258
	0,7	WF 2	90 °	Süd	40	<b>0,199</b>	0,090 bis 0,307

**Blatt 10**

<b>Objekt: 36 Ort: Köln</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Museumsgebäude, stark gegliederte Dachflächen, innerstädtische Lage, unmittelbar hinter Dom und Bahnhof, Dom verschattet Teile aus NNO, sonst freie Lage, Scharbreite 45 cm, Querstöße, Schare abwechselnd mit Leistendeckung, gemessen: Wände, große Attikaabdeckung ("Flachdach"), Pultdachbereiche, "Viertelkreistonnen", Höhenlage der Messorte über Grund ca. 12 m bis 14 m, freie Lage, keine Behinderung in der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 20.11.1993 16.08.1997 07.08.2001 25.05.2005	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 53 °C - min 5 °C	0,8	DFA1	0 - 2 °	S u. W	280	<b>0,651</b>	0,566 bis 0,736
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 4. Messung</b>	0,8	WF1	90 °	West	120	<b>0,244</b>	0,159 bis 0,328
	0,8	DF1 o. gekr.	12 °	Süd	120	<b>0,684</b>	0,599 bis 0,769
	0,8	DF1 m. gekr.	37 °	Süd	120	<b>0,621</b>	0,536 bis 0,705
	0,8	DF1 u. gekr.	69 °	Süd	120	<b>0,597</b>	0,512 bis 0,682
	0,8	DF2	54 °	Nord	100	<b>0,506</b>	0,447 bis 0,566
	0,8	DF3 o. gekr.	6 °	Süd	60	<b>0,621</b>	0,536 bis 0,705
	0,8	DF3 m. gekr.	45 °	Süd	60	<b>0,457</b>	0,373 bis 0,542
	0,8	DF3 u. gekr.	70 °	Süd	60	<b>0,484</b>	0,399 bis 0,569
<b>Objekt: 37 Ort: Norddeich</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Kurhaus (Pavillion), quadratischer Grundriss, pyramidenförmiges Dach, Lage ca. 45 m hinter Deich zur Nordsee, Höhe der Deichkrone ca. 5,5 m, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 54 cm, Höhenlage der Messorte über Grund ca. 4,5 m, freie Lage, keine Behinderung in der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 31.08.1993 26.07.1997 16.07.2001	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 48 °C - min 22 °C	0,7	DF1	23 °	Südost	180	<b>0,513</b>	0,436 bis 0,590
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,7	DF2	23 °	Nordost	120	<b>0,513</b>	0,436 bis 0,590
	0,7	DF3	23 °	Nordwest	120	<b>0,550</b>	0,473 bis 0,627
	0,7	DF4	23 °	Südwest	120	<b>0,536</b>	0,459 bis 0,613
<b>Objekt: 38 Ort: Hürth</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Verwaltungsgebäude, Pultdach abgewalmt, First in N/S, Dachfläche DF4 seitlich teilweise höherer Gebäudeteil, verschattet aus W, dort keine Messungen, Doppelstehfalz, Scharbreite 53 cm, Höhenlage der Messorte über Grund ca. 12 m, freie Lage, keine Behinderung in der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 29.09.1993 08.08.1997 07.08.2001	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 59 °C - min 31 °C	0,7	DF1-4	7 °	N-O-S-W	680	<b>0,561</b>	0,484 bis 0,639
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>							
<b>Objekt: 39 Ort: Hürth</b>							
<b>Kurze Beschreibung:</b> Bürgerhaus, Bauwerksteil an einer mehrspurigen Hauptstraße gelegen, Pultdach über Flachdach, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 53 cm, Höhenlage der Messorte über Grund ca. 4,5 m, freie Lage, keine Behinderung in der Freibewitterung.							
Anzahl der Messungen: Datum: 29.09.1993 08.08.1997 06.08.2001	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 50 °C - min 17 °C	0,7	DF 1	33 °	Süd	300	<b>0,487</b>	0,377 bis 0,596
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>	0,7	WF 1	90 °	Nord	60	<b>0,132</b>	0,055 bis 0,210
	0,7	WF 2	90 °	Süd	60	<b>0,091</b>	0,011 bis 0,200
	0,7	WF 3	90 °	Ost	60	<b>0,101</b>	0,009 bis 0,211

**Blatt 11**

<b>Objekt: 40</b>		<b>Ort: Hannover</b>										
<b>Kurze Beschreibung:</b> Verwaltungsgebäude, Gebäude mit Innenhof, Abmessung 42,3 m x 42,3 m, Dachflächen V-förmig n. innen geneigt, innenliegende Rinne, Doppelstehfalz, Scharbreite 60 cm, Schare wiesen weisslich/gräuliche Verfärbungen in Teilbereichen auf, großer Fernsehurm in der Nähe des Gebäudes, Sanierung des Daches im Juni 1994, 1. Messung 29.7.1994, Höhenlage der Messorte über Grund ca. 12,5 m, freie Lage, keine Behinderung der Freibewitterung.												
Anzahl der Messungen:	Datum:	29.07.1994	08.05.1998	22.05.2002	17.07.2006	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 56 °C - min 17 °C		0,7	DF1-8	4 °	N-O-S-W	1000	<b>0,593</b>	0,542 bis 0,643				
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 4. Messung</b>												

<b>Objekt: 41</b>		<b>Ort: Hamburg</b>										
<b>Kurze Beschreibung:</b> Verwaltungsgebäude, sehr großer U-förmiger Innenhof gebildet von ca. 12 m hohen Gebäuden (Abstand zu den Dächern ca. 25 m), Innenhof nach NO offen, stark gegliederte Dachflächen, pyramidenförmig und Satteldächer, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 60 cm, an einigigen Scharen Koppelnstörungen, Höhenlage der Messorte über Grund ca. 6 m, freie Lage, geringe Behinderung in der Freibewitterung.												
Anzahl der Messungen:	Datum:	04.08.1994	03.08.1998	15.07.2002	18.07.2006	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 65 °C - min 30 °C		0,7	DF1	4 °	Nord	80	<b>0,699</b>	0,606 bis 0,793				
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 4. Messung</b>												
		0,7	DF2 u. DF5	30 °	Süd	140	<b>0,576</b>	0,482 bis 0,669				
		0,7	DF3	30 °	Nord	80	<b>0,635</b>	0,541 bis 0,728				
		0,7	DF4 u. DF7	23 °	Ost	120	<b>0,614</b>	0,521 bis 0,708				
		0,7	DF8	23 °	Süd	120	<b>0,631</b>	0,538 bis 0,725				

<b>Objekt: 42</b>		<b>Ort: Bayreuth</b>										
<b>Kurze Beschreibung:</b> Schlachthof, Pultdächer, Dachflächen teilweise mit Vogelkot bedeckt, Doppelstehfalzdeckung mit Querstützen, Scharbreite 60 cm, Lage am Ortsrand, freie Lage, keine Behinderung in der Freibewitterung.												
Anzahl der Messungen:	Datum:	31.05.1994	27.07.1998	13.07.2002		Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 57 °C - min 20 °C		0,7	DF 1	15 °	Süd	360	<b>0,590</b>	0,453 bis 0,728				
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>												
		0,7	DF 2	15 °	Ost	240	<b>0,621</b>	0,515 bis 0,728				
		0,7	DF 3	15 °	West	240	<b>0,633</b>	0,527 bis 0,740				
		0,7	WF 1	90 °	Nord	60	<b>0,228</b>	0,153 bis 0,302				
		0,7	WF 2	90 °	Ost	60	<b>0,233</b>	0,127 bis 0,339				
		0,7	WF 3	90 °	Süd	60	<b>0,218</b>	0,112 bis 0,324				
		0,7	WF 4	90 °	West	60	<b>0,243</b>	0,169 bis 0,318				

<b>Objekt: 43</b>		<b>Ort: Herne-Pantringshof</b>										
<b>Kurze Beschreibung:</b> Kirche, gegliedertes Gebäudekomplex, Satteldach und versetztes Pultdach, Schare mit Querstoß, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 53 cm, Dachfläche DF2 gering durch Bäume verschattet aus NW, Höhenlage der Messorte über Grund ca. 6 m bis 8 m, freie Lage, geringe Behinderung in der Freibewitterung.												
Anzahl der Messungen:	Datum:	11.07.1994	06.06.1998	24.06.2002		Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 60 °C - min 42 °C		0,7	DF1	10 °	Südost	320	<b>0,699</b>	0,558 bis 0,839				
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>												
		0,7	DF2	10 °	Nordwest	320	<b>0,703</b>	0,563 bis 0,844				
		0,7	DF3	8 °	Südwest	100	<b>0,719</b>	0,578 bis 0,859				

**Blatt 12**

<b>Objekt: 44</b>		<b>Ort: Braunschweig</b>										
<b>Kurze Beschreibung:</b> Schulungsgebäude, Küchentrakt u. Speisesaal, Hauptdach Satteldach, V-förmiges Dach mit innenlieg. Rinne, hohes Gebäude schließt an Dachflächen an, teilweise Verschattung aus NNW, Doppelstehfalz, Scharbreite 53 cm, überwiegend freie Lage, Höhe der Dachflächen über Grund ca. 5 m.												
Anzahl der Messungen:	Datum:	15.06.1994	09.05.1998	29.05.2002		Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 54 °C - min 21 °C		0,7	DF1-3	5 °	W-S-O	560	<b>0,690</b>	0,614 bis 0,766				
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>												
		0,7	DF4	8 °	Süd	220	<b>0,675</b>	0,566 bis 0,783				
		0,7	DF5-6	5 °	Nord	340	<b>0,682</b>	0,573 bis 0,790				

<b>Objekt: 45</b>		<b>Ort: Menden</b>										
<b>Kurze Beschreibung:</b> Verwaltungsgebäude, Flachdach, Attikaausbildung Titanzink, Dachlänge l ca. 1,5 m bis 3 m, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 53 cm, Oberfläche DF1 teilweise "zernarbt", einige Schare wiesen Koppelnstörungen auf, innerstädtische Lage, freie Lage, keine Behinderung der Freibewitterung.												
Anzahl der Messungen:	Datum:	11.07.1994	08.06.1998	28.05.2002		Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 62 °C - min 22 °C		0,7	DF 1	45 °	Südwest	180	<b>0,583</b>	0,441 bis 0,725				
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>												
		0,7	DF 2	45 °	Nordost	180	<b>0,586</b>	0,445 bis 0,728				
		0,7	DF 3	45 °	Nordwest	120	<b>0,616</b>	0,474 bis 0,758				
		0,7	DF 4	45 °	Südost	120	<b>0,582</b>	0,473 bis 0,692				
		0,7	WF 1	90 °	Nordost	60	<b>0,281</b>	0,204 bis 0,358				
		0,7	WF 2	90 °	Südost	60	<b>0,262</b>	0,152 bis 0,371				
		0,7	WF 3	90 °	Südwest	60	<b>0,279</b>	0,169 bis 0,388				
		0,7	WF 4	90 °	Nordwest	60	<b>0,287</b>	0,178 bis 0,397				

<b>Objekt: 46</b>		<b>Ort: Hamburg</b>										
<b>Kurze Beschreibung:</b> Verlagshaus, großer Gebäudekomplex nahe Hafen, Satteldächer mit großem Lichtband im Firstbereich, Flächen teilweise mit einem bräunlichen Belag versehen, Wände titanpinkfarben, Messorte der Dachflächen wurden vor der Messung mit Wasser gereinigt, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 34 cm, Höhenlage der Messorte über Grund ca. 12 m, innerstädtische Lage, freie Lage, keine Behinderung in der Freibewitterung.												
Anzahl der Messungen:	Datum:	04.08.1994	03.08.1998	15.07.2002		Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 61 °C - min 21 °C		0,7	DF1	6 °	Süd	240	<b>0,682</b>	0,573 bis 0,790				
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>												
		0,7	DF2	6 °	Nord	220	<b>0,675</b>	0,566 bis 0,783				
		0,7	DF5	6 °	Ost	200	<b>0,665</b>	0,524 bis 0,805				
		0,7	DF6	6 °	West	240	<b>0,699</b>	0,558 bis 0,840				

<b>Objekt: 47</b>		<b>Ort: Fritztal</b>										
<b>Kurze Beschreibung:</b> Mensengebäude, Pultdächer mit Gefällesprung, Dachlänge l ca. 14 m, DF2 teilweise verschattet durch Pappelreihe, nach 2. Messung Bäume gefällt, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 53 cm, städtische Randlage, freie Lage, überwiegend keine Behinderung in der Freibewitterung.												
Anzahl der Messungen:	Datum:	06.07.1994	08.06.1998	01.06.2002	29.06.2006	Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 56 °C - min 20 °C		0,7	DF 1	5 °	Nordost	360	<b>0,620</b>	0,548 bis 0,691				
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 4. Messung</b>												
		0,7	DF 2	5 °	Südwest	480	<b>0,614</b>	0,542 bis 0,686				
		0,7	WF1	90 °	Südwest	60	<b>0,259</b>	0,187 bis 0,331				
		0,7	WF2	90 °	Nordwest	60	<b>0,255</b>	0,183 bis 0,327				

**Blatt 13**

<b>Objekt: 48</b> <b>Ort: Salmatal</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Schulgebäude, Verwaltungsgebäude, First in O/W-Ausrichtung, die meisten Dächer konnten nicht gemessen werden, da keine Ankoppelung möglich, unterseitige Korrosionsvorgänge durch Mängel in der Luftdichtheit (Tauwasserbildung), Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 63 cm, Höhenlage der Dachflächen über Grund ca. 4,5 m, die gemessenen Dachflächen waren teilweise durch Bäume verschattet.								
Anzahl der Messungen: Datum: 05.07.1994 04.06.1998 24.06.2002		Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 58 °C - min 28 °C		0,7	DF 3	9 °	Süd	100	<b>0,631</b>	0,491 bis 0,772
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>								
		0,7	DF 4	9 °	Nord	80	<b>0,684</b>	0,544 bis 0,824
<b>Objekt: 49</b> <b>Ort: Weyhausen</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Laborgebäude, Pultdächer um einen Innenhof, Lage des Gebäudes am Ortsrand, in der Nähe befindet sich eine Überlandleitung, Höhenlage der Messorte über Grund ca. 5,5 m, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 53 cm, freie Lage, keine Behinderung in der Freibewitterung.								
Anzahl der Messungen: Datum: 15.06.1994 09.05.1998 24.05.2002		Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 55 °C - min 26 °C		0,7	DF1	15 °	Ost	300	<b>0,685</b>	0,576 bis 0,793
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>								
		0,7	DF2	8 °	Nord	240	<b>0,706</b>	0,565 bis 0,846
		0,7	DF3	15 °	West	300	<b>0,722</b>	0,614 bis 0,831
		0,7	DF4	8 °	Süd	300	<b>0,723</b>	0,614 bis 0,831
<b>Objekt: 50</b> <b>Ort: Oldenburg</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Universitätsgebäude, Flachdach, Attikaausbildung aus Titanzink, Dachbereich oberhalb eines großen verglasten Dachteils, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 60 cm, Höhenlage der Messorte über Grund ca. 16 m, freie Lage, keine Behinderung in der Freibewitterung.								
Anzahl der Messungen: Datum: 29.07.1994 07.08.1998 03.06.2002		Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 45 °C - min 21 °C		0,7	DF 1	45 °	Südwest	120	<b>0,535</b>	0,425 bis 0,645
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>								
		0,7	DF 2	45 °	Süd	120	<b>0,526</b>	0,417 bis 0,636
		0,7	DF 3	45 °	Südost	160	<b>0,505</b>	0,395 bis 0,615
		0,7	DF 4	45 °	Nordwest	160	<b>0,584</b>	0,506 bis 0,661
		0,7	DF 5	45 °	Nord	60	<b>0,566</b>	0,456 bis 0,675
		0,7	DF 6	45 °	Nordost	60	<b>0,558</b>	0,448 bis 0,668
		0,7	WF 1	90 °	Südost	60	<b>0,209</b>	0,099 bis 0,319
<b>Objekt: 51</b> <b>Ort: Datteln</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Einfamilienwohnhaus und Garagen, Pultdach über Anbau am Hauptgebäude, freistehende Doppelgarage, Satteldach mit Feinstaubbelag, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 50 cm, Messorte wurden vor der Messung mit Wasser gereinigt, Höhenlage der Messorte über Grund ca. 3,5 m, freie Lage, keine Behinderung in der Freibewitterung.								
Anzahl der Messungen: Datum: 12.07.1994 06.06.1998 23.06.2002		Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 52 °C - min 32 °C		0,7	DF 1	45 °	Süd	60	<b>0,596</b>	0,455 bis 0,737
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>								
		0,7	DF2-3	7 °	SW - NO	420	<b>0,695</b>	0,554 bis 0,836

Blatt 14



<b>Objekt: 52</b> <b>Ort: Hameln</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Einfamilienwohnhaus und Garage, Satteldach mit Dachgauben, Messung zwischen den Gauben (4 Schare), Garagendach V-förmig mit innenliegender Rinne, Hauptdach Winkelstehfalz, Scharbreite 50 cm, Höhenlage der Messorte über Grund (Hauptdach) ca. 4 m, innerstädtische Lage, freie Lage, keine Behinderung in der Freibewitterung.								
Anzahl der Messungen: Datum: 01.08.1994 04.07.1998 05.07.2002		Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 38 °C - min 17 °C		0,7	DF 1	35 °	Nordwest	140	<b>0,557</b>	0,481 bis 0,634
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>								
		0,7	DF 2	35 °	Südost	100	<b>0,522</b>	0,446 bis 0,599
		0,7	DF 3	5 °	Südwest	160	<b>0,655</b>	0,578 bis 0,731
		0,7	WF 1	90 °	Nordwest	60	<b>0,167</b>	0,090 bis 0,243
<b>Objekt: 53</b> <b>Ort: Hannover</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Hörsaalgebäude, Universität, Pultdach, Versuchsdach als nichtbelüftete Dachkonstruktion, mehrjährige Temperatur- und Feuchtemessungen in den Schichten der Dachkonstruktion, Höhenlage der Messorte über Grund 5,5 m, Leistendeckung, Scharbreite 60 cm, Dachlänge 7,7 m. Die Leistendeckung wurde gewählt um eine zerstörungsfreie Überprüfung der Unterseite der Titanzinkdeckung im Abstand von jeweils einem Jahr durchführen zu können. In drei Dachbereichen waren unterschiedliche Trennlagen eingebaut.								
Anzahl der Messungen: Datum: 23.04.1998 08.05.2002 10.07.2006		Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 50 °C - min 35 °C		0,7	DF 1	10 °	Nordost	220	<b>0,535</b>	0,398 bis 0,671
<b>Temperatur- und zeitkorrigierte Ergebnisse - Periode: 1. Messung bis 3. Messung</b>								
<b>Objekt: 54</b> <b>Ort: Hannover und Langenhagen</b>								
<b>Kurze Beschreibung:</b> Freiland-Versuchsflächen, jede Versuchsfläche besitzt zwei Schare, Breite 60 cm, Doppelstehfalzdeckung, die Titanzinkdeckung ist oben und an den beiden Längsseiten aufgekantet, das Regenwasser wird in Tonnen gesammelt und periodisch (zwei Monate) wird anteilmäßig eine Mischprobe zusammengestellt, aus diesen Proben wird die Zinkionenkonzentration ermittelt. Standort der Versuchsflächen in Hannover-Herrenhausen: 27.11.1990 bis 19.10.2003. Standort der Versuchsflächen in Hannover-Langenhagen vom 20.10.2003 - bis 19.10.2013, freie Lage. Die folgenden Messdaten stammen aus dem Zeitabschnitt: 02.07.96 bis 19.10.12.								
Anzahl der Messungen: Datum: 02.07.1996 16.06.2001 19.10.2012		Dicke [mm]	Messfläche	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
Temperaturen des Titanzinks: max 42 °C - min 9 °C		0,7	1-V-7-W	7 °	West	40 1)	<b>0,445</b>	0,408 bis 0,483
		0,7	9-B-7-W	7 °	West	40 1)	<b>0,439</b>	0,402 bis 0,476
		0,7	5-V-45-W	45 °	West	40 1)	<b>0,393</b>	0,355 bis 0,430
		0,7	13-B-45-W	45 °	West	40 1)	<b>0,373</b>	0,335 bis 0,410
<b>Erläuterungen der Kurzbezeichnungen der Messflächen:</b>				<b>Bezeichnung der Messflächen des Objekts 54:</b>				
DF	Dachfläche			1	Erstes Dach einer Versuchsreihe			
WF	Wandfläche			9	Neuntes Dach einer Versuchsreihe			
DFT	gekrümmte Fläche			5	Fünftes Dach einer Versuchsreihe			
DFa	ringförmige Dachfläche mit geraden Scharen, äußerer Ring			13	Dreizehntes Dach einer Versuchsreihe			
DFi	ringförmige Dachfläche mit geraden Scharen, innerer Ring			V	Oberflächenbeschaffenheit "vorbewittert"			
DFo	gekrümmte Fläche oben			B	Oberflächenbeschaffenheit "walzblank"			
DFm	gekrümmte Fläche mitte			7	Dachneigung 7 °			
DFu	gekrümmte Fläche unten			45	Dachneigung 45 °			
DFS	Sheddachfläche			W	Orientierung West			
SA	Schornsteinabdeckung			1)	Die 40 Messpunkte wurden jeweils viermal gemessen			

Blatt 15

## 5 Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag - Freibewitterungsversuche in Hannover-Herrenhausen (Standort A) Hannover-Langenhagen (Standort B)

### 5.1 Freibewitterungsversuch in Hannover-Herrenhausen (Standort A) (27.11.1990 bis 19.10.2003)

#### 5.1.1 Allgemeine Angaben zum Standort A und zu Werten für Schadstoffe der Luft

Der Dachflächen-Freibewitterungsversuch wurde auf dem Gelände des Institutes für Grünplanung und Gartenarchitektur der Universität Hannover in Hannover-Herrenhausen betrieben, Abbildungen 53 bis 55; siehe hierzu auch die Abbildungen 153 und 154 in Abschnitt 8.2 Kartenmaterial.



**Abbildung 53:** Teilansicht des Dachflächen-Freibewitterungsversuchs in Hannover-Herrenhausen, Standort A. Erster Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 21.12.1993.





**Abbildung 54:** Teilansicht des Dachflächen-Freibewitterungsversuchs in Hannover-Herrenhausen, Standort A. Erster Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 21.12.1993.



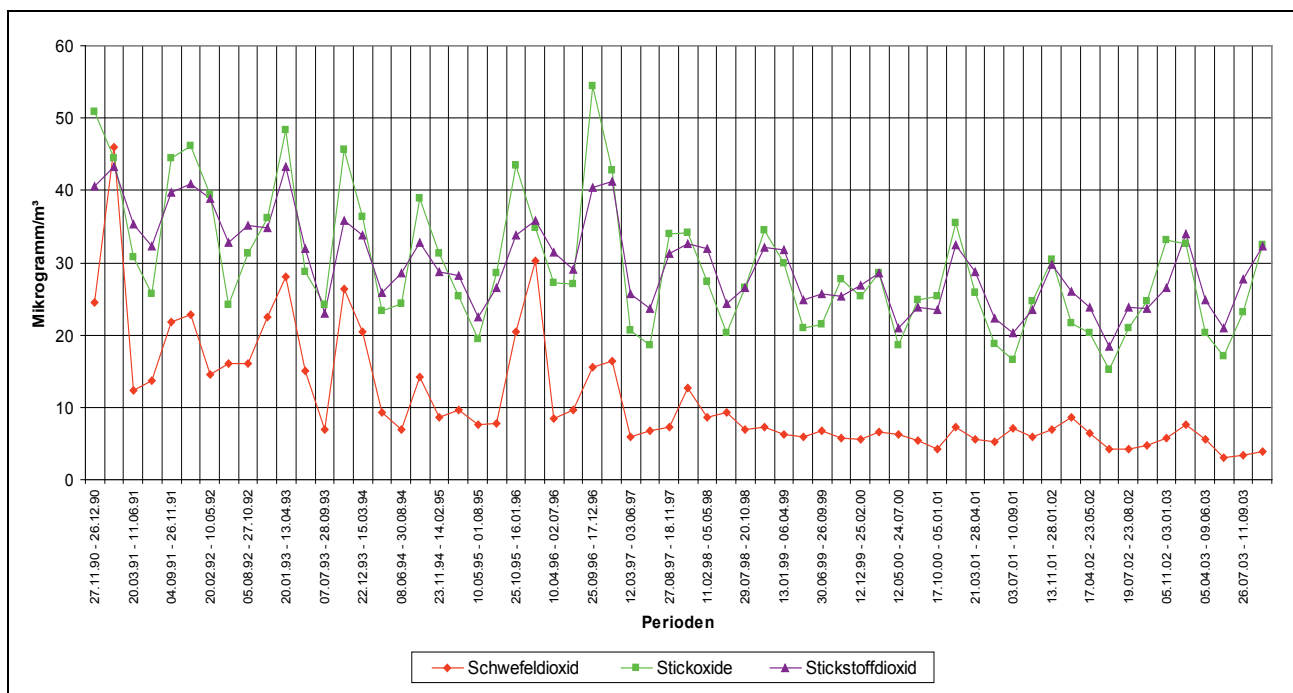
**Abbildung 55:** Teilansicht des Dachflächen-Freibewitterungsversuchs in Hannover-Herrenhausen, Standort A. Erster Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 21.12.1993.

Der Standort A des Dachflächen-Freibewitterungsversuchs liegt in unmittelbarer Nähe der meteorologischen Mess-Station des Instituts für Meteorologie und Klimatologie der Universität Hannover; die dort aufgezeichneten klimatischen Daten standen für die Untersuchung zur Verfügung.

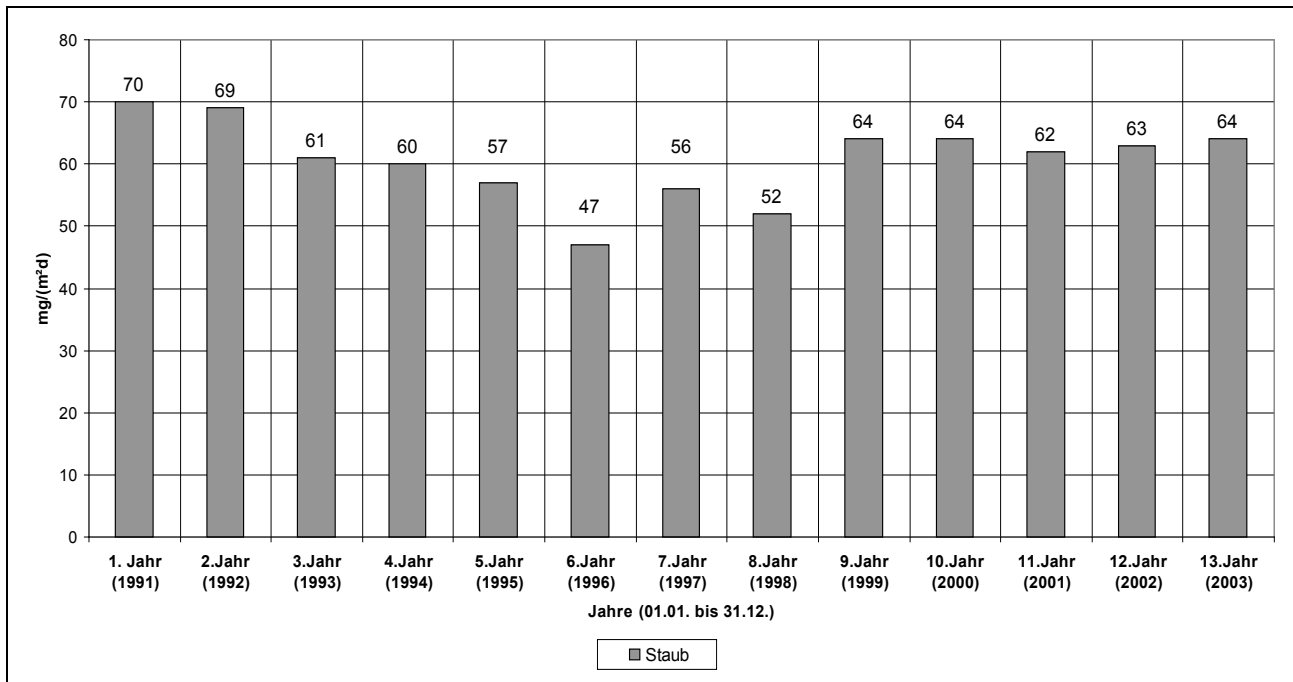
Die Schadstoffgehalte der Luft - hier die Konzentrationen von  $\text{SO}_2$  -  $\text{NO}_2$  und  $\text{NO}_x$  und die Gesamtdosition für Staub - Sulfat - Nitrat und Chlorid - wurden vom Niedersächsischen Landesamt für Ökologie (NLÖ) ermittelt [Lit. 4]. Verwendet wurden die Messergebnisse der im Stadtgebiet von Hannover befindlichen Mess-Station HRSW. Sie befindet sich in Hannover, Göttinger Str. 14. Die Messgeräte sind ca. 35 m über Straßenniveau installiert.

Diese Station liegt etwa 4 km südlich des Standortes A; siehe hierzu auch Abbildung 153, Ausschnitt aus der Stadtkarte der Landeshauptstadt Hannover in Abschnitt „8.2 Kartenmaterial“. Aus den zur Verfügung gestellten Tagesmittelwerten sind u. a. Mittelwerte für die jeweiligen Messzyklen bestimmt worden; siehe hierzu die grafische Darstellung in den Abbildungen 56 bis 60.

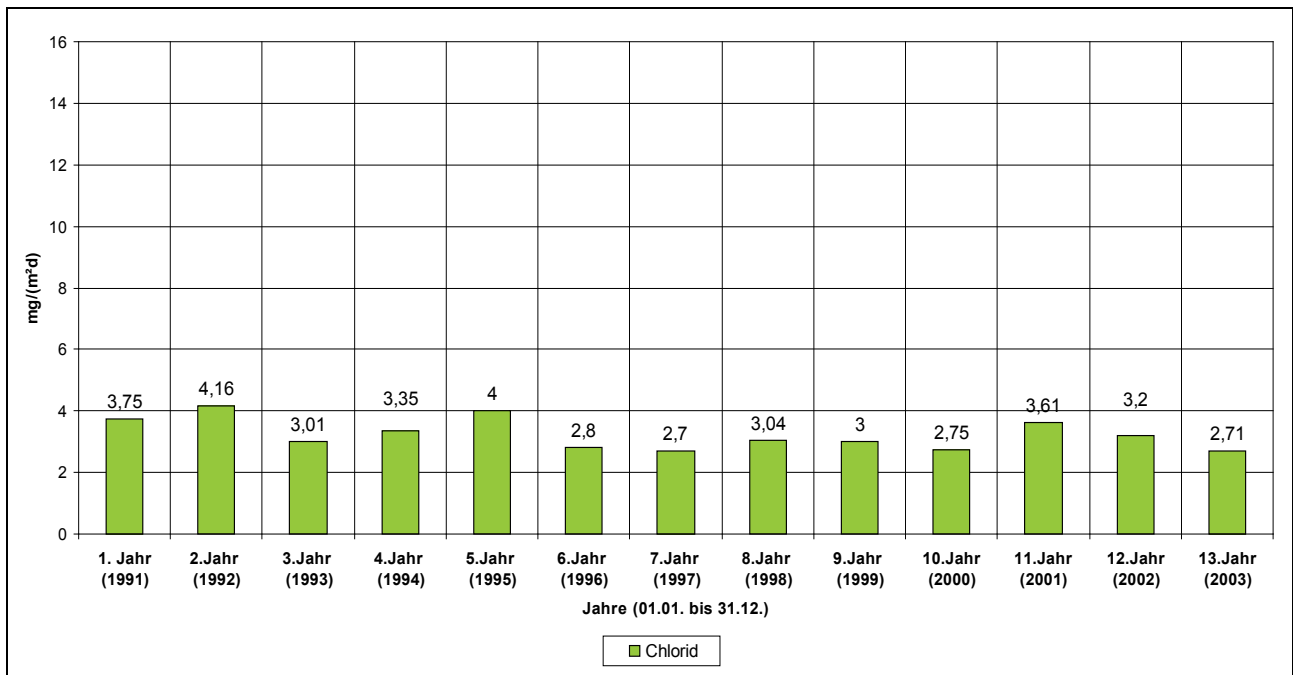
Die dargestellten Werte stammen aus der Zeit vom 26.11.1990 bis 19.10.2003. Die Versuchszeit umfasst 4710 Tage oder zwölf Jahre und 327 Tage und zwar aufgeteilt in 62 Perioden verschiedener Länge.



**Abbildung 56:** Luftschadstoffe  $\text{SO}_2$  -  $\text{NO}_x$  -  $\text{NO}_2$   
Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ),  
Mess-Station HRSW, Hannover, Göttinger Str. 14.

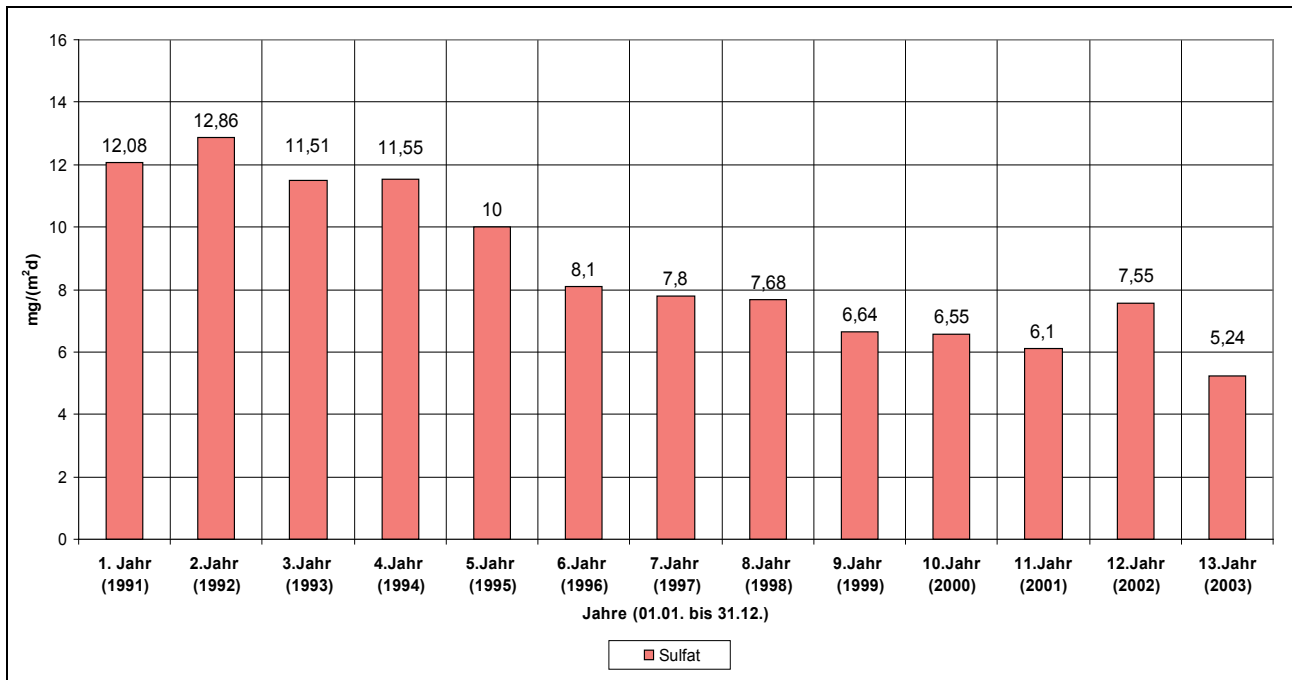


**Abbildung 57:** Deposition Staub.  
 Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ),  
 Mess-Station HRSW, Hannover, Göttinger Str. 14.

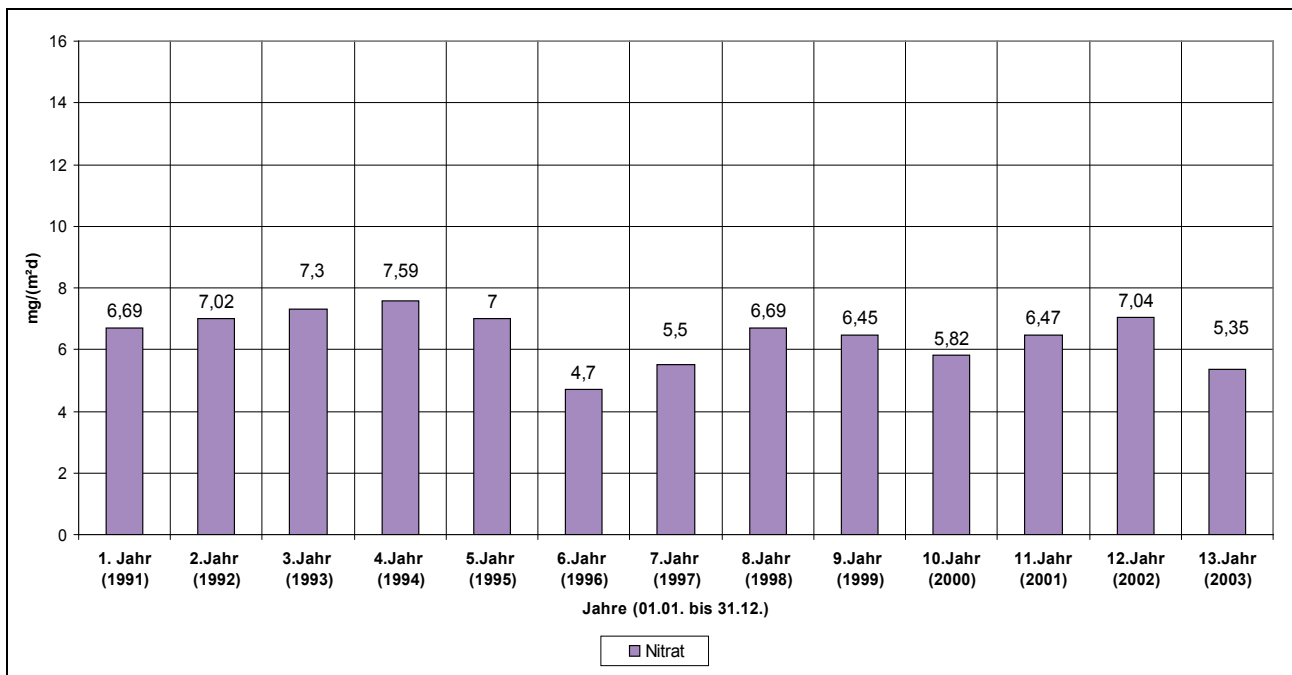


**Abbildung 58:** Deposition Chlorid.  
 Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ),  
 Mess-Station HRSW, Hannover, Göttinger Str. 14.





**Abbildung 59:** Deposition Sulfat.  
 Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ),  
 Mess-Station HRSW, Hannover, Göttinger Str. 14.



**Abbildung 60:** Deposition Nitrat.  
 Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ),  
 Mess-Station HRSW, Hannover, Göttinger Str. 14.

Das Klima in Hannover weist vergleichsweise milde Temperaturen, relativ hohe Werte für die relative Feuchte und Niederschlagshäufigkeiten auf. Es sind hohe Windhäufigkeiten mit beachtlichen Windgeschwindigkeiten zu verzeichnen.

In Hannover entstehen durch verschiedene Flächennutzungen größere abgegrenzte Gebiete mit charakteristischen mikroklimatischen Verhältnissen. Der Versuchsstandort Hannover-Herrenhausen liegt am Rand einer dichten Stadtteilbebauung. Das Mikroklima des Versuchsstandortes wird wesentlich beeinflusst durch seine lockere Dichte in der Bebauung und die Durchgrünung des Stadtteils.

Untersuchungen zum Stadtklima in Hannover [Lit. 51] haben ergeben, dass sich die Lufttemperaturen besonders in den Nachtstunden zwischen städtischen Gebieten und Umland bis zu 6 °C unterscheiden können. Dabei weisen die städtischen Gebiete höhere Temperaturen auf. Dies ist im Hinblick auf die Häufigkeit und die Dauer der Tauwasserbildung auf den Versuchsflächen in den Morgenstunden von Bedeutung.

Am Standort der Versuchsflächen wurden die Werte für die Lufttemperatur, die relative Feuchte und die Regenhöhe selbst ermittelt. Zusätzlich standen diese Werte auch vom Institut für Meteorologie und Klimatologie - in unmittelbarer Nachbarschaft des Versuchsstandortes - zur Verfügung. Die Ergebnisse der Station des Deutschen Wetterdienstes in Hannover-Langenhagen (Umland) wurden für diesen Standort nicht verwendet.

### 5.1.2 Kennzeichnung und Anordnung der Versuchsflächen

Da bei Dächern mit Metalldeckung (hier Titanzink) häufig Neigungen zwischen 7° und 45° vorkommen, wurden diese Dachneigungen für die Untersuchungen gewählt. Für die Versuche wurde ausschließlich Titanzink nach DIN 17 770 bzw. DIN EN 988, hergestellt im Breitband-Gieß-Walz-Verfahren der Firma Rheinzink, verwendet. Die Versuchsflächen wurden mit Titanzinkbahnen der Nenndicke  $d = 0,7$  mm eingedeckt und zwar mit den Oberflächenbeschaffenheiten:

- o „walzblank“                      Kurzbezeichnung (B)    (Ausführungen hierzu siehe Abschnitt 1.2.4)  
    und
- o „vorbewittert blaugrau“    Kurzbezeichnung (V)    (Ausführungen hierzu siehe Abschnitt 1.2.4).

Die einzelnen Dachflächen wurden mit folgenden Kurzbezeichnungen gekennzeichnet: Nummer der Versuchsfläche - Oberflächenbeschaffenheit - Neigung und Orientierung, siehe Abbildung 61.

Kurzbezeichnung	Bedeutung der Kürzel
<b><u>1-V-7-W</u></b>	<b>1</b> - Nummer der Dachfläche <b>V</b> - vorbewittertes blaugraues Material <b>7</b> - Neigung der Dachfläche 7° <b>W</b> - Orientierung Westen
<b><u>14-B-45-O</u></b>	<b>14</b> - Nummer der Dachfläche <b>B</b> - walzblankes Material <b>45</b> - Neigung der Dachfläche 45° <b>O</b> - Orientierung Osten

**Abbildung 61:** Erläuterung der Kurzbezeichnungen der Versuchsflächen.

Die Dachflächen mit gleicher Neigung und Orientierung wurden nebeneinander angeordnet. Die Aufstellungen wurden so vorgenommen, dass sich die einzelnen Versuchsflächen in Bezug auf die Hauptwindrichtung nicht „verschatten“, d. h. Niederschlagsereignissen gleichrangig ausgesetzt waren.

Um Vergleichswerte für die Zinkfrachten von walzblanken Materialien, die bereits der atmosphärischen Korrosion ausgesetzt waren, zu erhalten, wurden zwei Versuchsflächen (Kurzbezeichnungen 17-A-7-W und 18-A-45-W) mit Titanzinkmaterialien versehen, die bereits eine fünfjährige Freibewitterung an einem Objekt in Bochum erfahren hatten. Diese Dachflächen wurden nach Westen orientiert aufgestellt, da für den Versuchsstandort Hannover-Herrenhausen in dieser Orientierung die größte Niederschlagsbeanspruchung erfolgte.

Da in den Niederschlägen schon Zinkionen vorhanden sein können, wurde eine Referenzfläche errichtet, mit der sich dieser „natürliche“ Zinkioneneintrag untersuchen und bestimmen ließ. Hierzu wurde eine Versuchsfläche mit 4 m<sup>2</sup> und 7° Neigung, Orientierung nach Westen, mit einer Glasplatte errichtet. Nachfolgend werden in Abbildung 62 alle Dachflächen des **ersten** Versuchsabschnittes in der Zeit vom 27.11.1990 bis 21.12.1993 mit Ihren Kurzbezeichnungen in einer Übersicht vorgestellt.

**Dachflächen des ersten Versuchsabschnitts am Standort A**  
**Untersuchungszeitraum: 27.11.1990 bis 21.12.1993**

Kurzbezeichnung	Nr.	Material	Neigung	Orientierung
<b>0-G-7-W</b>	0	Glas	7°	Westen <sup>1) 3)</sup>
<b>1-V-7-W</b>	1	V	7°	Westen <sup>1)</sup>
<b>2-V-7-O</b>	2	V	7°	Osten <sup>2)</sup>
<b>3-V-7-N</b>	3	V	7°	Norden <sup>2)</sup>
<b>4-V-7-S</b>	4	V	7°	Süden <sup>2)</sup>
<b>5-V-45-W</b>	5	V	45°	Westen <sup>1)</sup>
<b>6-V-45-O</b>	6	V	45°	Osten <sup>2)</sup>
<b>7-V-45-N</b>	7	V	45°	Norden <sup>2)</sup>
<b>8-V-45-S</b>	8	V	45°	Süden <sup>2)</sup>
<b>9-B-7-W</b>	9	B	7°	Westen <sup>1)</sup>
<b>10-B-7-O</b>	10	B	7°	Osten <sup>2)</sup>
<b>11-B-7-N</b>	11	B	7°	Norden <sup>2)</sup>
<b>12-B-7-S</b>	12	B	7°	Süden <sup>2)</sup>
<b>13-B-45-W</b>	13	B	45°	Westen <sup>1)</sup>
<b>14-B-45-O</b>	14	B	45°	Osten <sup>2)</sup>
<b>15-B-45-N</b>	15	B	45°	Norden <sup>2)</sup>
<b>16-B-45-S</b>	16	B	45°	Süden <sup>2)</sup>
<b>17-A-7-W</b>	17	A	7°	Westen <sup>2) 4)</sup>
<b>18-A-45-W</b>	18	A	45°	Westen <sup>2) 4)</sup>

**Erläuterungen:**

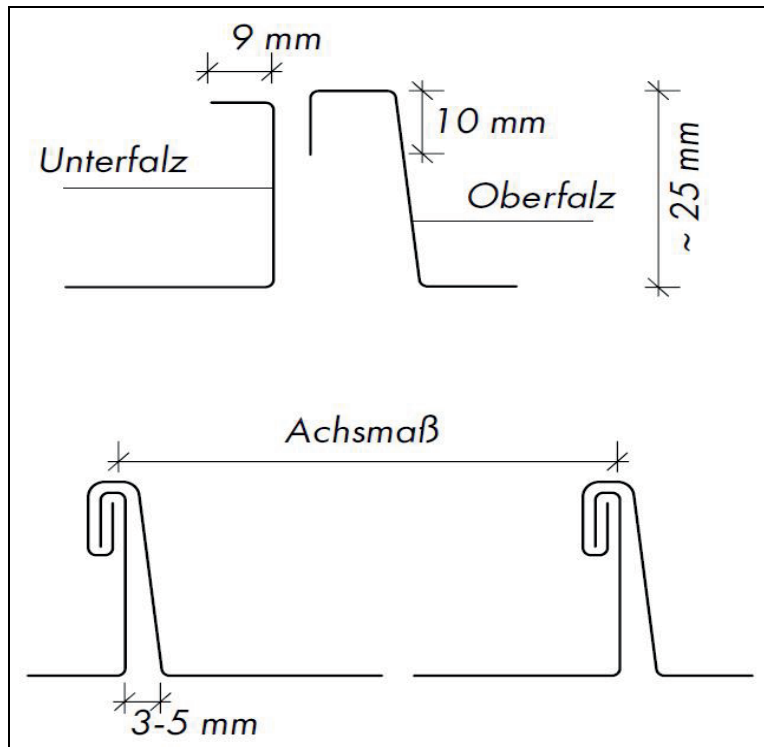
- 1) Diese Versuchsflächen wurden in dem zweiten Versuchsabschnitt weiter untersucht.
- 2) Die Untersuchung dieser Versuchsflächen wurde mit dem 21.12.1993 abgeschlossen.
- 3) Glasplatte, zur Bestimmung des bereits im Regenwasser vorhandenen Zinks.
- 4) Sonderflächen mit unterschiedlichen Fließlängen.

**Abbildung 62:** Kurzbezeichnungen aller Dachflächen des ersten Versuchsabschnittes am Standort A.

**5.1.3 Aufbau der Versuchsflächen, Vorgehensweise bei der Untersuchung, der Probenentnahme und der Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag**  
**Erster Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 21.12.1993**

Die Dachflächen wurden auf Tragkonstruktionen aus Stahlprofilen montiert, siehe z. B. Abbildung 53. Die Grundplatten der Dachflächen bestanden aus 30 mm dicken Holzwerkstoffplatten mit den Abmessungen: Breite 1,33 m - Länge 3,00 m - die Nettofläche der Dachdeckung beträgt 4 m<sup>2</sup>.

Auf diesen Holzwerkstoffplatten wurden zwei Titanzinkscharen (b = 65 cm) mit handelsüblichen Haften befestigt. Die Verbindung der Scharen untereinander erfolgte mittels Doppel-Stehfalztechnik, siehe die Abbildungen 63 und 64. Die Randeinfassung der Versuchsflächen sollten einerseits bei Wind ein seitliches Abfließen der Niederschläge verhindern und andererseits als Witterungsschutz für die Holzwerkstoffplatten dienen; siehe hierzu Abbildung 65.



**Abbildung 63:** Ausbildung der Stehfalzdeckung - Querschnitt, Prinzipdarstellung. © Rheinzink.



**Abbildung 64:** Stehfalzdeckung - Ansicht einer Dachlandschaft. © Rheinzink.





**Abbildung 65:** Randeinfassung der Versuchsflächen und Abdeckung der Rinnen mit Acrylglas.

Die Breite der Scharen ( $b = 65 \text{ cm}$ ), die Doppel-Stehfalztechnik und die Unterkonstruktion (Holzwerkstoffplatte) wurden bewusst gewählt, um für diesen Freibewitterungsversuch den Gegebenheiten in der Praxis bei Zinkdachdeckungen weitgehend zu entsprechen. Die über die Dachflächen abgelaufenen Niederschläge wurden in Rinnen aufgefangen. Die Rinnen bestanden aus Kunststoffprofilen, um einen zusätzlichen, nicht exakt zu quantifizierenden Eintrag von Zinkfrachten durch die Rinnen zu vermeiden.

Jede Rinne erhielt eine Abdeckung aus Acrylglas, um sicherzustellen, dass nur Niederschläge gesammelt werden, die über die Dachfläche abgelaufen sind. Die Auffangrinnen waren über Rohrleitungen aus Kunststoff mit den „geeichten“ Tonnen aus Kunststoff - Fassungsvermögen etwa 110 Liter - verbunden. Die Niederschlagsmengen in den Tonnen wurden mit Hilfe eines speziell angefertigten Peilstabs - siehe hierzu die Abbildungen 66 und 67 - im Zuge der Tonnenentleerungen bestimmt. Trotz sorgfältiger Kontrollen ließ sich allerdings ein Überlaufen der Fässer nicht immer vermeiden. Zur Kontrolle der Messungen der Niederschlagsmengen und zur Bestimmung der überge laufenen Mengen (für den ersten und zweiten Versuchsabschnitt) konnten die Aufzeichnungen der in unmittelbarer Nähe liegenden meteorologischen Mess-Station des Instituts für Meteorologie und Klimatologie der Universität Hannover verwendet werden.

Zu Beginn der Freibewitterung am Standort Hannover-Herrenhausen wurde die Menge des Niederschlagswassers und die Zinkionenkonzentration im Niederschlagswasser nach vier Wochen ermittelt, danach erfolgte die Ermittlung in einem 12-Wochenzyklus. Beim Entleeren der Tonnen bzw. bei der Entnahme einer Probe zur Bestimmung der Zinkionenkonzentration wurden:

- o die Niederschlagsmengen in den „geeichten“ Tonnen mit einem Peilstab bestimmt; siehe hierzu die Abbildungen 66 und 67,
- o die Wassermassen homogenisiert (durch Rühren),
- o pH-Wert-Messungen durchgeführt,
- o jeweils repräsentative Proben (1 - 2 Liter) entnommen,
- o nach jeder Leerung die Regenrinnen und die Tonnen gesäubert,
- o die repräsentativen Proben der einzelnen Tonnenentleerungen schwach angesäuert, um eine Bildung von Mikroorganismen zu verhindern,
- o für jede Versuchsfläche zur Bestimmung der Zinkionenkonzentration einer Periode eine 1-Liter Mischprobe im Verhältnis der Niederschlagsmengen der einzelnen Tonnenentleerungen zusammengestellt.



**Abbildung 66:** Tonne mit Peilstab - Liter-Markierungen.  
Messung der Niederschlagsmenge vor der Probenentnahme.





**Abbildung 67:** *Peilstab mit Batterie.  
Elektrische Kontakte erzeugen ein akustisches Signal bei Berührung der Wasseroberfläche.*

Die Bestimmung der Zinkionenkonzentrationen in den 1-Liter-Mischproben wurde durch das Institut für Anorganische Chemie der Universität Hannover vorgenommen. Im ersten Versuchsjahr erfolgte die Messung mit Hilfe der Atom-Absorptions-Spektrometrie (AAS), danach mit Hilfe der induktiv gekoppelten Plasma - optischen Emissionsspektroskopie (ICP-AES).

Kurze Erläuterungen der beiden Verfahren nach [Lit. 50]:

- o Bei der Atomabsorption und - emission mit Flamme (F-AAS, F-AES) werden die Proben bei 2.000 bis 8.000 K verdampft. Die Konzentration der Atome wird über die Messung ihrer Absorption oder Emission bei charakteristischen Wellenlängen bestimmt. Bei den o. a. Temperaturen werden die meisten Verbindungen in der Gasphase in Atome zerlegt. Die optischen Absorptions- und Emissionsspektren der gasförmigen Atome bestehen aus scharfen Linien mit Linienbreiten um 0,001 nm. Diese Linien sind sehr scharf, daher gibt es nur selten Überlappungen zwischen den Spektren verschiedener Elemente in einer Probe.
- o Die (ICP-AES) ist eine der wichtigsten Techniken in der Elementanalytik. Mit ihr können bis zu 70 Elemente in unterschiedlichsten Matrices bestimmt werden. Diese Methode ist - gegenüber der Flammen-AAS und Graphitrohr-AAS (Atomabsorptionsspektroskopie) - in der Durchführung schneller beim Nachweis von zahlreichen Spurenelementen in einer großen Anzahl von Proben.
- o Wie die Flammen-AAS und die Graphitrohr-AAS, ist die ICP-AES eine Vergleichsmethode. Sie ist sehr nachweisstark. Die Nachweisgrenzen liegen für die meisten Elemente im µg/Liter-Bereich.

Die hohe Empfindlichkeit der atomspektrometrischen Methoden und die oft einfachen Bedingungen, unter denen viele Proben untersucht werden können, haben die Atomspektroskopie zu einem der wichtigsten Analyseverfahren für die routinemäßige Elementenanalytik gemacht.

---

Die gemessene Zinkionenkonzentration jeder Probe wurde später um den Anteil reduziert, der aus der jeweiligen Nullprobe („Blindwert“) stammt, d. h. aus dem Regenwasser, welches über eine Glasfläche in der Größe der Zinkflächen abgelaufen war. Diese Blindwerte lagen zwischen 0,001 und 0,010 mg/l.

Der als Langzeituntersuchung konzipierte Freibewitterungsversuch umfasste in den ersten drei Jahren (27.11.1990 bis 21.12.1993) die in Abbildung 62 aufgeführten Flächen.

Zusätzlich zu den 16 Haupt-Versuchsflächen

Material:	„walzblank“ (B)	„vorbewittert blaugrau“ (V)
Neigung:	7° und 45°	7° und 45°
Ausrichtung jeweils:	N - O - S - W	N - O - S - W

wurden folgende, weitere Flächen in das Untersuchungsprogramm mit einbezogen:

- o eine Glasfläche 7° geneigt - Kurzbezeichnung 0-G-7-W - zur Bestimmung des Zinkgehaltes im Regenwasser (Nullprobe, „Blindwerte“),
- o zwei Flächen 19-B-7-W und 20-B-7-W (Größe jeweils 4 m<sup>2</sup>), nach Westen orientiert, mit unterschiedlichen Fließlängen,  $l_1 = 0,52$  m und  $l_2 = 9,55$  m. Im Rahmen dieses Teilversuchs sollte untersucht werden, welchen Einfluss die Fließlänge auf die Abschwemmrate hat. Es ergab sich kein signifikanter Unterschied.
- o zwei Flächen, die bereits fünf Jahre einer Freibewitterung ausgesetzt waren (17-A-7-W und 18-A-45-W).

Die im Rahmen der Untersuchungen des ersten Versuchsabschnittes und zwar in der Zeit vom 27.11.1990 bis 21.12.1993 gewonnenen Erkenntnisse, d. h. unter anderem auch die Ausführungen zu:

- o DIN-Normen, Ergebnissen und Vorstellen von Untersuchungen aus der Literatur,
- o Einflüssen auf das Korrosionsverhalten, z. B. infolge Tau, Nebel, Regen,
- o trockener und nasser Deposition (z. B. Schwefeldioxid, Stickoxide),
- o Schadstoffbelastungen,
- o klimatischen Bedingungen des Versuchsstandortes,
- o den verschiedenen Stationen der Auswertung und deren Ergebnisse,

werden hier nicht nochmals insgesamt angeführt; sie sind in der Dissertation von B. Lehmann [Lit. 22] enthalten. Es wird in diesem Zusammenhang auf die Dissertation verwiesen. Die Messwerte des ersten Versuchsabschnittes für die vier Dachflächen, die für den weiteren Verlauf der Untersuchungen ausgewählt wurden, siehe Abschnitt 5.1.4, werden in die Gesamtauswertung über alle Versuchsabschnitte mit übernommen.

## 5.1.4 Allgemeine Ausführungen

### Zweiter Versuchsabschnitt: 22.12.1993 bis 19.10.2003

Die Ergebnisse der Auswertungen des ersten Versuchsabschnittes (27.11.1990 bis 21.12.1993) gestatteten die Anzahl der Versuchsflächen auf fünf nach Westen (Hauptwindrichtung) orientierte Dächer zu reduzieren, siehe Abbildung 68. Die Bezeichnungen der Dachflächen aus dem ersten Versuchsabschnitt wurden auch für den zweiten und dritten Versuchsabschnitt (Standort B) beibehalten.

#### Fortführung der Untersuchungen an ausgewählten Dachflächen des ersten Versuchsabschnittes - 27.11.1990 bis 19.10.2003

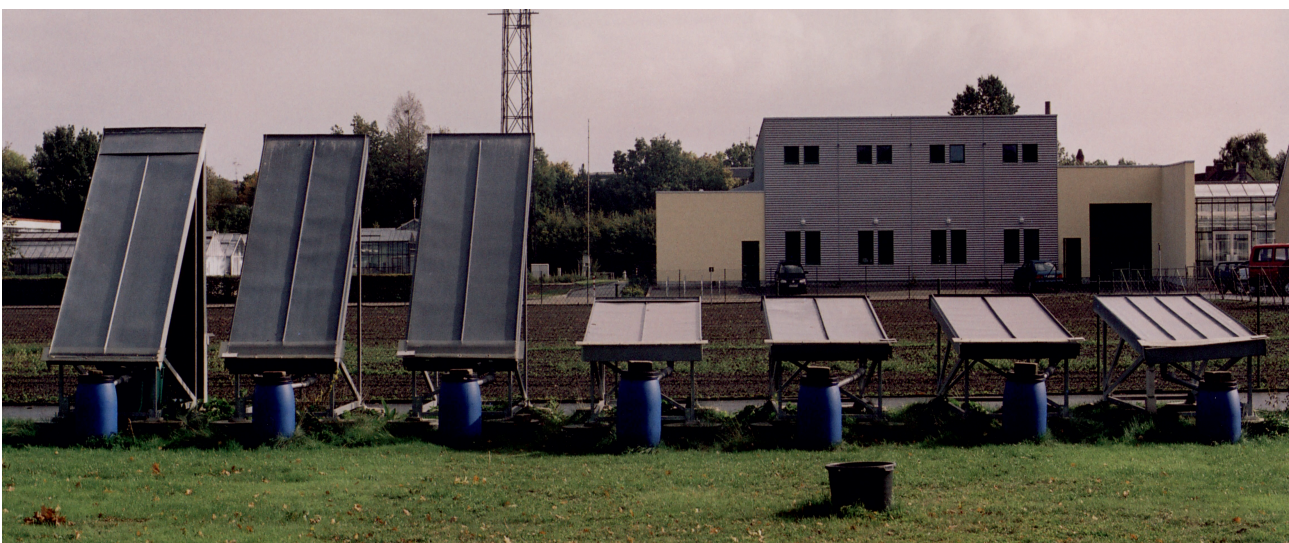
Bezeichnung	Nr.	Material	Neigung	Orientierung	Versuchsdauer
0-G-7-W	0	Glas	7°	Westen	27.11.1990 bis 27.10.2000 <sup>1)</sup>
1-V-7-W	1	V	7°	Westen	27.11.1990 bis 19.10.2003
9-B-7-W	9	B	7°	Westen	27.11.1990 bis 19.10.2003
5-V-45-W	5	V	45°	Westen	27.11.1990 bis 19.10.2003
13-B-45-W	13	B	45°	Westen	27.11.1990 bis 19.10.2003

#### Erläuterungen:

- 1) Seit dem 28.10.2000 wurde das Regenwasser zur Bestimmung der Zinkionen im Regenwasser („Nullprobe“) in einem separaten Kunststoffgefäß aufgefangen.

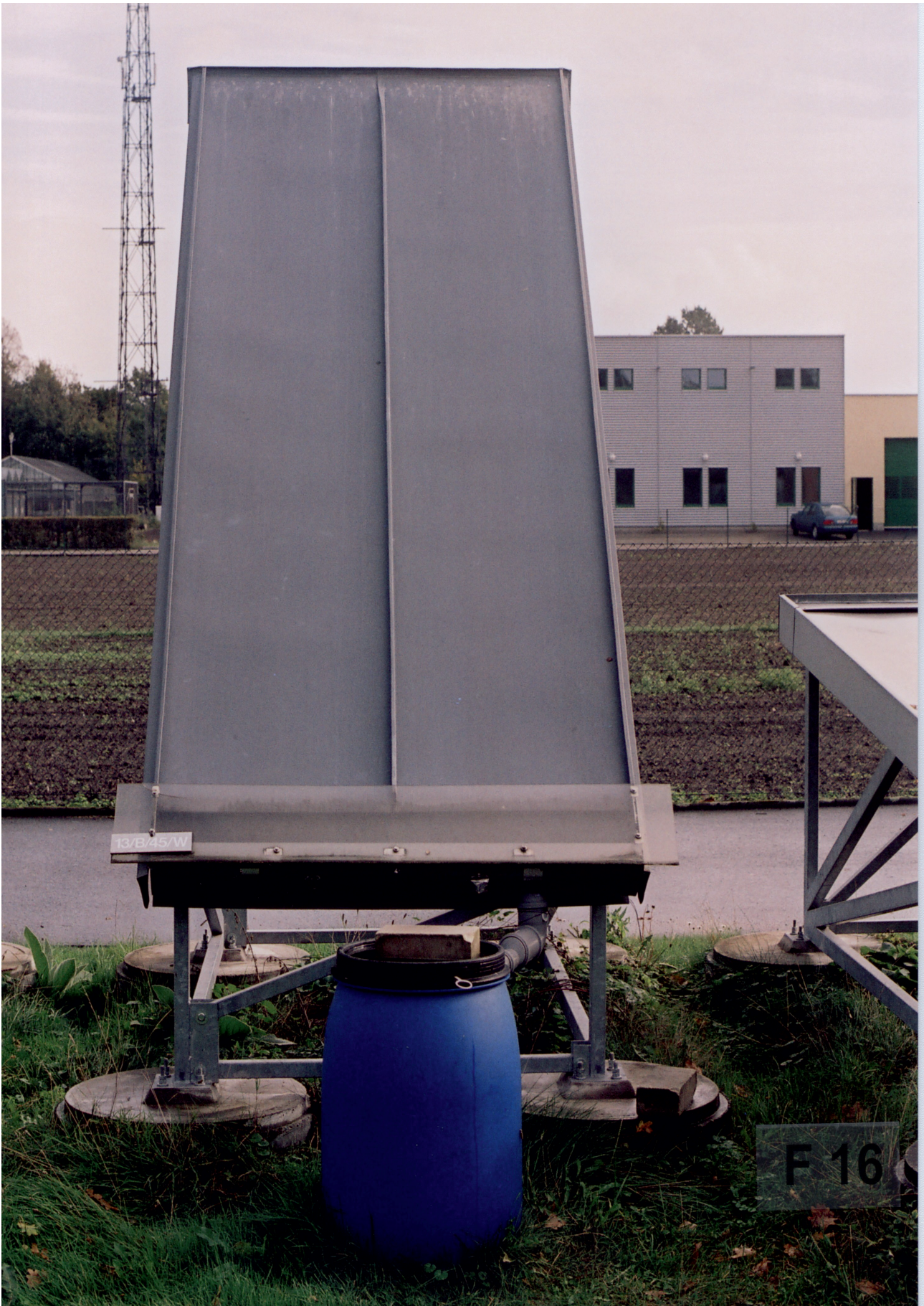
**Abbildung 68:** Kurzbezeichnungen der Dachflächen, Standort A.  
Zweiter Versuchsabschnitt: 22.12.1993 bis 19.10.2003.

Im Jahr 2000 mussten die Grundgerüste aus kunststoffbeschichteten Stahlwinkelprofilen erneuert werden. Im Rahmen dieser Maßnahmen veränderte sich aus konstruktiven Gründen die Größe (vorher einheitlich 4 m<sup>2</sup>) einzelner Dachflächen auf 4,23 m<sup>2</sup> – 4,14 m<sup>2</sup> – 4,40 m<sup>2</sup>. Diese Veränderungen wurden bei der Umrechnung der Messergebnisse auf den Flächenbezug von 1 m<sup>2</sup> berücksichtigt. Die Abbildungen 69 und 70 zeigen die Aufstellung der Versuchsflächen des zweiten Versuchsabschnittes.



**Abbildung 69:** Gesamtansicht der Versuchsflächen, Standort A.  
Zweiter Versuchsabschnitt: 22.12.1993 bis 19.10.2003.





**Abbildung 70:** Versuchsfläche 13-B-45-W, Standort A.  
Zweiter Versuchsabschnitt: 22.12.1993 bis 19.10.2003.

### **5.1.5 Vorbemerkungen und Periodendauer**

#### **Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003**

Im Untersuchungszeitraum wurden die über die mit Titanzink gedeckten Versuchsflächen abgelaufenen Niederschläge aufgefangen, mengenmäßig bestimmt und Proben entnommen. In bestimmten Intervallen, siehe Abbildung 71, wurden für die jeweilige Versuchsfläche aus den entnommenen Proben eine 1-Liter-Mischprobe und eine Rückstellprobe von 0,25 Litern zusammengestellt.

Die Rückstellproben wurden tiefgekühlt gelagert, um später eventuell vorhandene „Unstimmigkeiten“ durch eine erneute Messung überprüfen zu können. Die 1-Liter-Mischproben wurde dem Institut für Anorganische Chemie der Universität Hannover übergeben, um daraus die Zinkionenkonzentrationen zu bestimmen.

Die Auswertung dieses Forschungsvorhabens für die ersten drei Jahre erfolgte in der Dissertation von B. Lehmann [Lit. 22]. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden alle bisher ermittelten Grunddaten (messtechnisch ermittelte Basisdaten) und die daraus abgeleiteten Daten nochmals überprüft. Dabei wurden in Bezug auf die Auswertung von B. Lehmann für das erste Jahr (1990 bis 1991) einige kleinere Übertragungsfehler festgestellt und bereinigt.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse aller untersuchten Dachflächen (siehe hierzu die Aufstellung in Abbildung 62) nicht nochmals aufgeführt. Dies ist in [Lit. 22] geschehen. Es werden hier nur die Ergebnisse der Dachflächen 1-V-7-W / 9-B-7-W / 5-V45-W und 13-B-45-W aus der Zeit des ersten Versuchsabschnittes übernommen, da diese Flächen weiter untersucht und zudem auch in das Untersuchungsverfahren „Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik“ mit einbezogen wurden.

Die Niederschlagsmengen, die über die 7° geneigten Versuchsflächen abgelaufen sind - betrachtet man längere Zeiträume, z. B. ein Jahr - sind immer deutlich größer als die Niederschlagsmengen der 45° geneigten Versuchsflächen. Bei einigen kürzeren Zeiträumen (z. B. bei Starkregen und Sturm), hier ergeben sich Entnahmezyklen von ein bis drei Tagen, können die 7° und 45° geneigten Versuchsflächen durchaus nahezu die gleichen Niederschlagsmengen aufweisen.

Diese Unterschiede sind durch Windverhältnisse während der Niederschlagsereignisse bedingt. Der Wind verändert den Winkel zwischen dem bei Windstille senkrecht fallenden Niederschlag und den unter 7° bzw. 45° geneigten Versuchsflächen. Dadurch verändert sich die relative Größe der Auffangflächen und damit auch die aufgefangene Niederschlagsmenge.

Wie bereits ausgeführt, konnten die Probenentnahme und die Zusammenstellung der 1-Liter-Mischproben aus verschiedenen Gründen, z. B. kurzfristige auftretende, sehr große Niederschlagsmengen, Frost, nicht immer in genau festgelegten Intervallen (z. B. nach genau vier Wochen) erfolgen.

Der Niederschlag, bevor er die Versuchsflächen erreicht, enthält bereits Zinkionen in unterschiedlichen Konzentrationen. Diese Werte aus der so genannten „Nullprobe“ sind in den nachfolgenden Auswertungen bereits berücksichtigt.



Periodendauer	Tage		Periodendauer	Tage
27.11.1990 bis 25.12.1990	29 <sup>1)</sup>	→	26.12.1990 bis 22.01.1991	28 <sup>1)</sup>
23.01.1991 bis 19.02.1991	28 <sup>1)</sup>	→	20.02.1991 bis 19.03.1991	28 <sup>1)</sup>
20.03.1991 bis 16.04.1991	28 <sup>1)</sup>	→	17.04.1991 bis 14.05.1991	28 <sup>1)</sup>
15.05.1991 bis 11.06.1991	28 <sup>1)</sup>	→	12.06.1991 bis 09.07.1991	28 <sup>1)</sup>
10.07.1991 bis 06.08.1991	28 <sup>1)</sup>	→	07.08.1991 bis 03.09.1991	28 <sup>1)</sup>
04.09.1991 bis 01.10.1991	28 <sup>1)</sup>	→	02.10.1991 bis 29.10.1991	28 <sup>1)</sup>
30.10.1991 bis 26.11.1991	28 <sup>1)</sup>	→	27.11.1991 bis 19.02.1992	85 <sup>1)</sup>
20.02.1992 bis 10.05.1992	81 <sup>1)</sup>	→	11.05.1992 bis 04.08.1992	86 <sup>1)</sup>
05.08.1992 bis 27.10.1992	84 <sup>1)</sup>	→	28.10.1992 bis 19.01.1993	84 <sup>1)</sup>
20.01.1993 bis 13.04.1993	84 <sup>1)</sup>	→	14.04.1993 bis 06.07.1993	84 <sup>1)</sup>
07.07.1993 bis 28.09.1993	84 <sup>1)</sup>	→	29.09.1993 bis 21.12.1993	84 <sup>1)</sup>
22.12.1993 bis 15.03.1994	84 <sup>1)</sup>	→	16.03.1994 bis 07.06.1994	84 <sup>1)</sup>
08.06.1994 bis 30.08.1994	84 <sup>1)</sup>	→	31.08.1994 bis 22.11.1994	84 <sup>1)</sup>
23.11.1994 bis 14.02.1995	84 <sup>1)</sup>	→	15.02.1995 bis 09.05.1995	84 <sup>1)</sup>
10.05.1995 bis 01.08.1995	84 <sup>1)</sup>	→	02.08.1995 bis 24.10.1995	84 <sup>1)</sup>
25.10.1995 bis 16.01.1996	84 <sup>1)</sup>	→	17.01.1996 bis 09.04.1996	84 <sup>1)</sup>
10.04.1996 bis 02.07.1996	84 <sup>1)</sup>	→	03.07.1996 bis 24.09.1996	84 <sup>1)</sup>
25.09.1996 bis 17.12.1996	84 <sup>1)</sup>	→	18.12.1996 bis 11.03.1997	84 <sup>1)</sup>
12.03.1997 bis 03.06.1997	84 <sup>1)</sup>	→	04.06.1997 bis 26.08.1997	84 <sup>1)</sup>
27.08.1997 bis 18.11.1997	84 <sup>1)</sup>	→	19.11.1997 bis 10.02.1998	84 <sup>1)</sup>
11.02.1998 bis 05.05.1998	84 <sup>1)</sup>	→	06.05.1998 bis 28.07.1998	84 <sup>1)</sup>
29.07.1998 bis 20.10.1998	84 <sup>1)</sup>	→	21.10.1998 bis 12.01.1999	84 <sup>1)</sup>
03.01.1999 bis 06.04.1999	84 <sup>1)</sup>	→	07.04.1999 bis 29.06.1999	84 <sup>1)</sup>
30.06.1999 bis 26.09.1999	89 <sup>1)</sup>	→	27.09.1999 bis 14.12.1999	79 <sup>1)</sup>
15.12.1999 bis 22.03.2000	79 <sup>1)</sup>			
23.03.2000 bis 24.07.2000	124		Umbau der Traggerüste der Versuchsflächen, keine Probenentnahme <sup>1) 2)</sup>	
25.07.2000 bis 04.09.2000	42 <sup>1)</sup>	→	05.09.2000 bis 16.10.2000	42 <sup>1)</sup>
17.10.2000 bis 26.10.2000	10		Umbau der Rinnen, keine Probennahme <sup>1) 2)</sup>	
27.10.2000 bis 05.01.2001	71 <sup>1)</sup>	→	06.01.2001 bis 20.03.2001	74 <sup>1)</sup>
21.03.2001 bis 28.04.2001	39 <sup>1)</sup>	→	29.04.2001 bis 02.07.2001	65 <sup>1)</sup>
03.07.2001 bis 10.09.2001	70 <sup>1)</sup>	→	11.09.2001 bis 12.11.2001	63 <sup>1)</sup>
13.11.2001 bis 28.01.2002	77 <sup>1)</sup>	→	29.01.2002 bis 16.04.2002	78 <sup>1)</sup>
17.04.2002 bis 23.05.2002	37 <sup>1)</sup>	→	24.05.2002 bis 18.07.2002	56 <sup>1)</sup>
19.07.2002 bis 23.08.2002	36 <sup>1)</sup>	→	24.08.2002 bis 04.11.2002	73 <sup>1)</sup>
05.11.2002 bis 03.01.2003	60 <sup>1)</sup>	→	04.01.2003 bis 04.04.2003	91 <sup>1)</sup>
05.04.2003 bis 09.06.2003	66 <sup>1)</sup>	→	10.06.2003 bis 25.07.2003	46 <sup>1)</sup>
26.07.2003 bis 11.09.2003	48 <sup>1)</sup>	→	12.09.2003 bis 19.10.2003	38 <sup>1)</sup>

**Erläuterungen:**  
1) Versuchsflächen 1-V-7-W / 9-B-7-W / 5-V-45-W / 13-B-45-W  
2) Für die fehlenden Zeiten (124 Tage und 10 Tage von 4710 Tagen) wurden die Werte der Zinkionenkonzentrationen aus den angrenzenden Perioden übernommen und mit Hilfe der Aufzeichnungen der Niederschläge des Instituts für Meteorologie und Klimatologie der Universität Hannover für die Fehlzeiten „hochgerechnet“.

**Abbildung 71:** Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 17.11.1990 bis 19.10.2003.  
Zusammenstellung der Perioden und Angabe der Tage der einzelnen Perioden.

In der Periode vom 23.3.2000 bis 24.7.2000 mussten die Traggerüste der Versuchsflächen erneuert werden. Dabei wurden die Holzwerkstoffplatten mit der Titanzinkdeckung für 124 Tage mit einem Gefälle von ca. 5° am Versuchsort seitlich gelagert. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass die Freibewitterung im Hinblick auf die Ultraschall-Messungen nicht unterbrochen wird. Allerdings waren dadurch die Versuchsflächen 5-V-45-W und 13-B-45-W in diesem Zeitraum einer größeren Niederschlagsbeanspruchung ausgesetzt und zwar durch die größere relative Auffangfläche im Vergleich mit der 45°-Positionierung. Dieser Einfluss muss bei der Gegenüberstellung der beiden Messverfahren berücksichtigt werden; siehe hierzu auch Abschnitt 6.3.

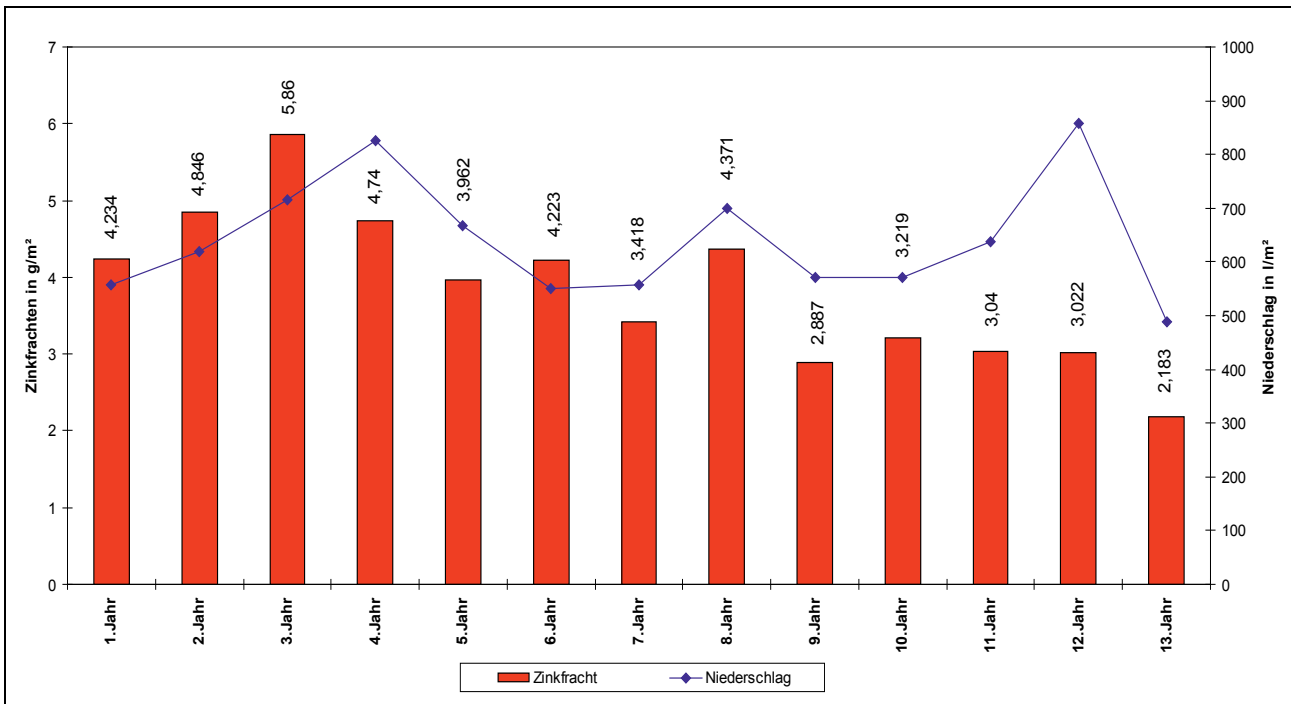
Die Versuchsdauer am Standort Hannover-Herrenhausen umfasst, einschließlich der beiden Unterbrechungen, für die Versuchsflächen 1-V-7-W / 9-B-7-W / 5-V-45-W und 13-B-45-W, 4710 Tage. Die Messwerte für Niederschläge und Zinkionenkonzentrationen aus den zum Teil sehr unterschiedlich langen Perioden wurden, um sie aus zeitlicher Sicht untereinander vergleichen zu können, für die Auswertung in so genannte Tagesmittelwerte „umgerechnet“.

Bei der Ermittlung der Jahreswerte (z. B. 27.11.1996 bis 26.11.1997) mussten Messergebnisse der jeweiligen Periode, die den Jahreswechsel enthielt, aufgesplittet werden. Die Verteilung auf die beiden Jahre erfolgte im Verhältnis der Niederschläge vor Ort, aufgezeichnet durch das Institut für Meteorologie und Klimatologie der Universität Hannover. Dadurch können sich im Vergleich mit der Auswertung über die ersten drei Jahre in der Dissertation von B. Lehmann [Lit. 22], kleinere Unterschiede ergeben. Auf die Auswertung des gesamten Zeitraums hat dieses Vorgehen keinen Einfluss.

### 5.1.6 Auswertung der Ergebnisse für Zinkfrachten und Niederschlag Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003

<b>7° geneigte Versuchsflächen</b>						
<b>Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag</b>						
<b>27.11.1990 bis 19.10.2003 - (4710 Tage bzw. rd. 12,9 Jahre)</b>						
<b>Versuchsflächen</b>						
<b>Jahr</b>	<b>Periode</b>	<b>Tage</b>	<b>1-V-7-W</b>		<b>9-B-7-W</b>	
			<b>Zink g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>Niederschlag l/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>Zink g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>Niederschlag l/(m<sup>2</sup> · a)</b>
1	27.11.90 - 26.11.91	365	4,234	557,6	4,716	557,6
2	27.11.91 - 26.11.92	366	4,846	619,3	4,759	631,3
3	27.11.92 - 26.11.93	365	5,860	715,0	6,249	719,0
4	27.11.93 - 26.11.94	365	4,740	825,0	4,339	825,0
5	27.11.94 - 26.11.95	365	3,962	666,4	3,717	666,4
6	27.11.95 - 26.11.96	366	4,223	550,8	3,905	550,8
7	27.11.96 - 26.11.97	365	3,418	557,8	3,169	557,8
8	27.11.97 - 26.11.98	365	4,371	699,3	4,224	699,3
9	27.11.98 - 26.11.99	365	2,887	570,0	2,847	570,0
10	27.11.99 - 26.11.00	366	3,219	570,2	3,025	570,2
11	27.11.00 - 26.11.01	365	3,040	638,4	3,104	638,4
12	27.11.01 - 26.11.02	365	3,022	858,7	2,882	860,7
13 <sup>1)</sup>	27.11.02 - 19.10.03	327	2,183	488,6	2,396	491,6 <sup>1)</sup>
<b>Gesamtwerte g/m<sup>2</sup> bzw. l/m<sup>2</sup>:</b>			<b>50,006</b>	<b>8317,1</b>	<b>49,332</b>	<b>8338,1</b>
<b>Mittelwerte:</b>			<b>3,875</b>	<b>644,5</b>	<b>3,823</b>	<b>646,2</b>
<b>Erläuterungen:</b>						
1) Kein volles Jahr, nur 327 Tage. Die o.a. Daten sind in den Abbildungen 73 und 74 grafisch dargestellt.						

**Abbildung 72:** Versuchsflächen 7° geneigt.  
Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag.

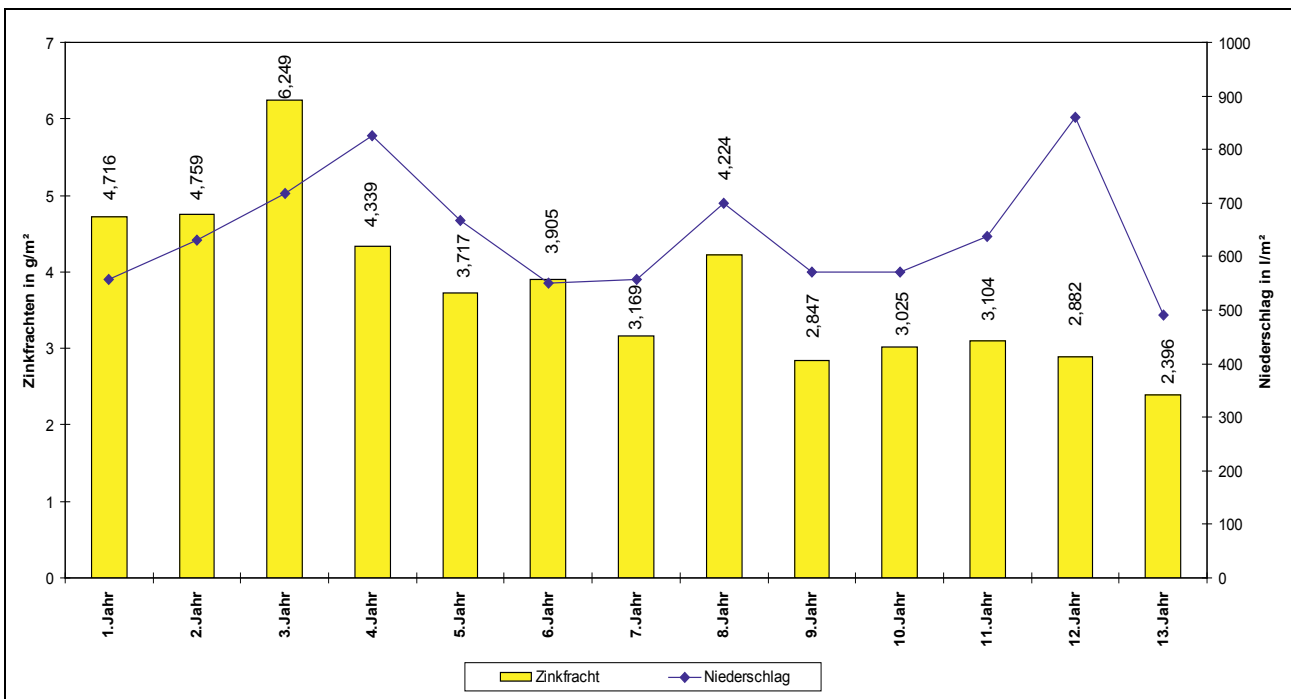


**Abbildung 73:** Versuchsfläche 1-V-7-W.

Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.

Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag.

13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.



**Abbildung 74:** Versuchsfläche 9-B-7-W.

Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.

Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag.

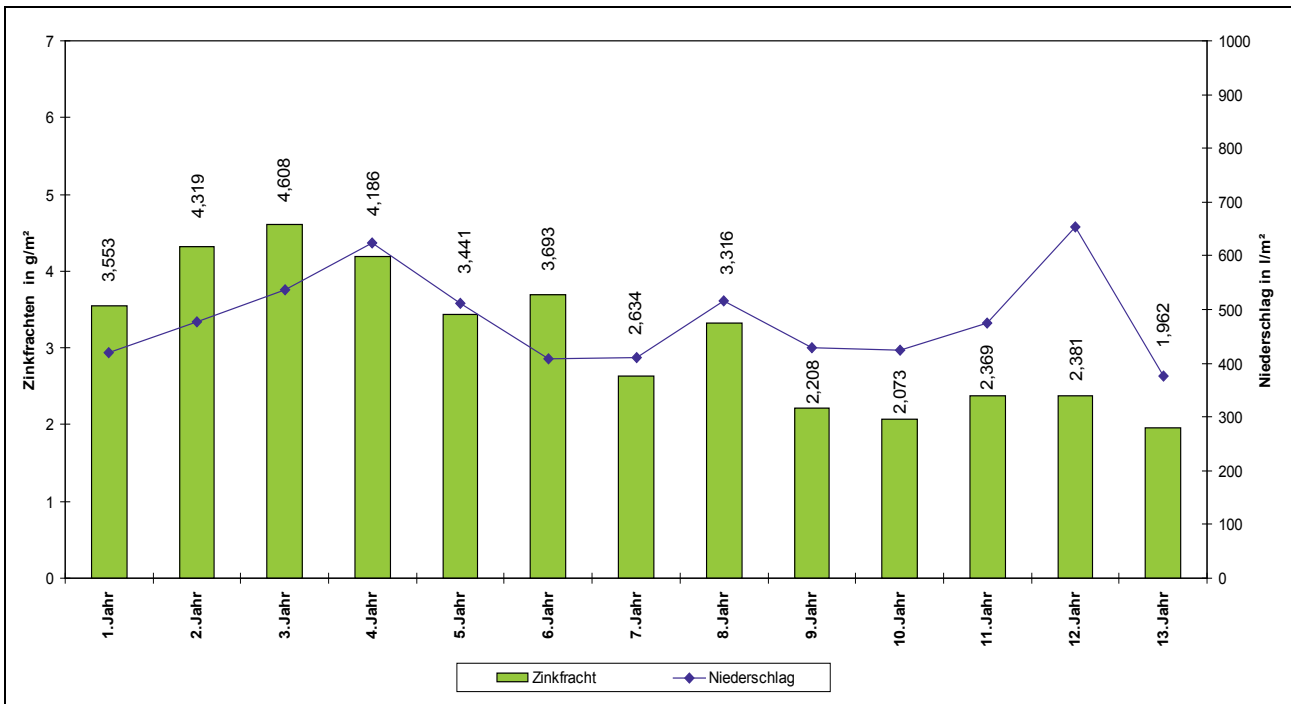
13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.



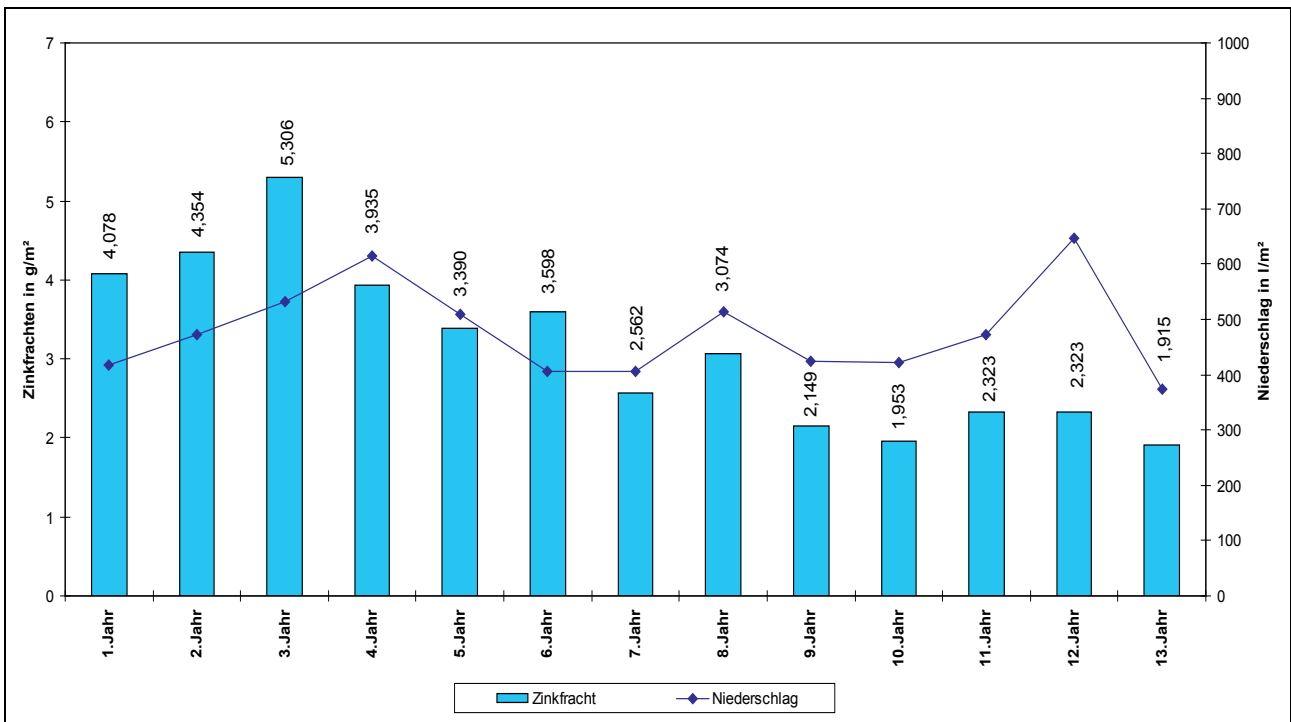
<b>45° geneigte Versuchsflächen</b>						
<b>Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag</b>						
<b>27.11.1990 bis 19.10.2003 - (4710 Tage bzw. rd. 12,9 Jahre)</b>						
<b>Versuchsflächen</b>						
			<b><u>5-V-45-W</u></b>		<b><u>13-B-45-W</u></b>	
<b>Jahr</b>	<b>Periode</b>	<b>Tage</b>	<b>Zink g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>Niederschlag l/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>Zink g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>Niederschlag l/(m<sup>2</sup> · a)</b>
1	27.11.90 - 26.11.91	365	3,533	419,4	4,078	417,2
2	27.11.91 - 26.11.92	366	4,319	476,8	4,354	472,2
3	27.11.92 - 26.11.93	365	4,608	536,7	5,306	532,7
4	27.11.93 - 26.11.94	365	4,186	622,9	3,935	615,7
5	27.11.94 - 26.11.95	365	3,441	512,6	3,390	508,6
6	27.11.95 - 26.11.96	366	3,693	408,7	3,598	405,7
7	27.11.96 - 26.11.97	365	2,634	411,2	2,562	406,2
8	27.11.97 - 26.11.98	365	3,316	517,2	3,074	513,2
9	27.11.98 - 26.11.99	365	2,208	428,5	2,149	423,5
10	27.11.99 - 26.11.00	366	2,073	423,5	1,953	421,5
11	27.11.00 - 26.11.01	365	2,369	474,1	2,323	473,1
12	27.11.01 - 26.11.02	365	2,381	653,6	2,323	647,6
13 <sup>1)</sup>	27.11.02 - 19.10.03	327	1,962	376,8	1,915	374,8 <sup>1)</sup>
<b>Gesamtwerte g/m<sup>2</sup> bzw. l/m<sup>2</sup>:</b>			<b>40,742</b>	<b>6262,0</b>	<b>40,957</b>	<b>6212,0</b>
<b>Mittelwerte:</b>			<b>3,157</b>	<b>485,3</b>	<b>3,174</b>	<b>481,4</b>
<b>Erläuterungen:</b>						
1) Kein volles Jahr, nur 327 Tage.						
Die o. a. Daten sind in den Abbildungen 76 und 77 grafisch dargestellt.						

**Abbildung 75:** Versuchsflächen 45° geneigt.

Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag.



**Abbildung 76:** Versuchsfläche 5-V-45-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag.  
 13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.

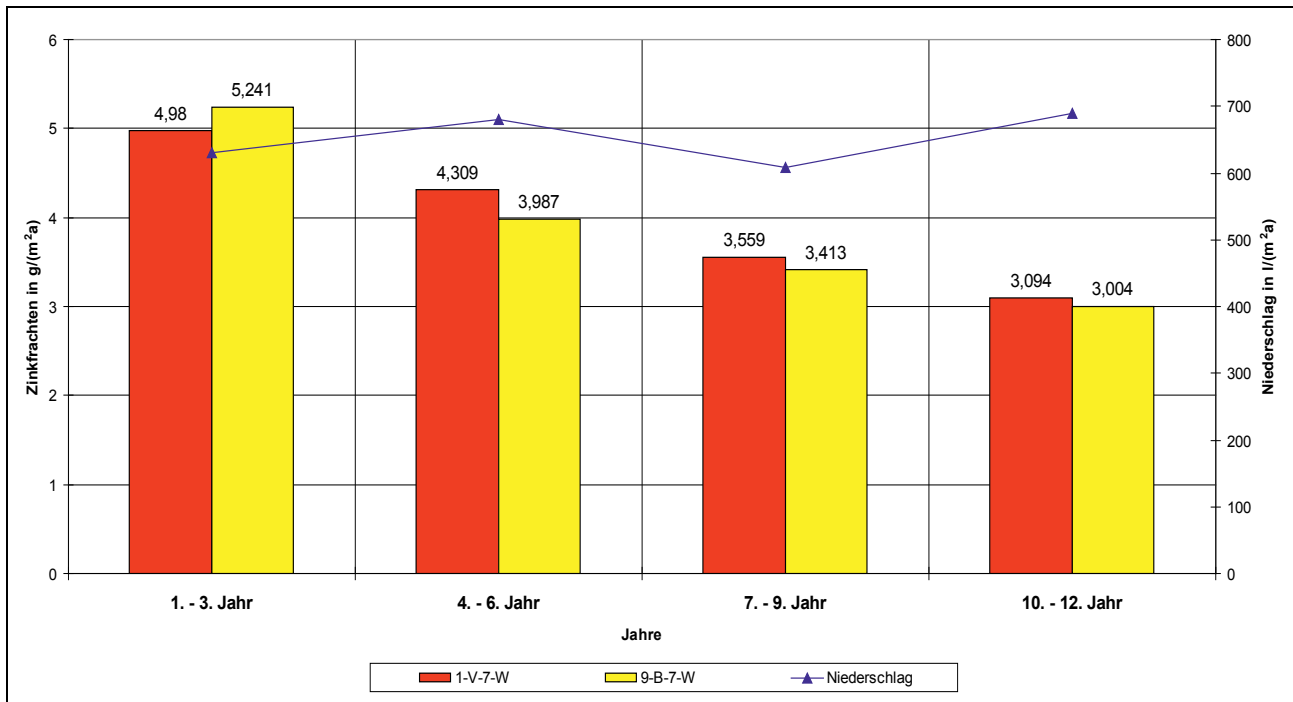


**Abbildung 77:** Versuchsfläche 13-B-45-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag.  
 13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.

Die Entwicklung der Abtragsraten wird nachfolgend in Abbildung 78 über Mittelwertsbildungen aus jeweils drei Jahren aufgezeigt und zwar: Mittelwertsbildung für das 1. bis 3. Jahr - 4. bis 6. Jahr - 7. bis 9. Jahr - 10. bis 12. Jahr und für den gesamten Untersuchungszeitraum.

<b><u>7° geneigte Versuchsflächen</u></b>		
<b>Mittelwerte für Drei-Jahresperioden - Zinkfrachten und Niederschlag</b>		
<b>Mittelwerte für die Periode <u>1. bis 3. Jahr</u></b>		Zeitraum: 27.11.1990 bis 26.11.1993
<b>1-V-7-W</b>	Zink: 4,980 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 630,6 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,692 µm/a
<b>9-B-7-W</b>	Zink: 5,241 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 636,0 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,728 µm/a
<b>Mittelwerte für die Periode <u>4. bis 6. Jahr</u></b>		Zeitraum: 27.11.1993 bis 26.11.1996
<b>1-V-7-W</b>	Zink: 4,309 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 680,7 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,598 µm/a
<b>9-B-7-W</b>	Zink: 3,987 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 680,7 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,554 µm/a
<b>Mittelwerte für die Periode <u>7. bis 9. Jahr</u></b>		Zeitraum: 27.11.1996 bis 26.11.1999
<b>1-V-7-W</b>	Zink: 3,559 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 609,0 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,494 µm/a
<b>9-B-7-W</b>	Zink: 3,413 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 609,0 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,474 µm/a
<b>Mittelwerte für die Periode <u>10. bis 12. Jahr</u></b>		Zeitraum: 27.11.1999 bis 26.11.2002
<b>1-V-7-W</b>	Zink: 3,094 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 689,1 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,430 µm/a
<b>9-B-7-W</b>	Zink: 3,004 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 689,8 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,417 µm/a
<b>Mittelwerte für den <u>gesamten Untersuchungszeitraum</u>: 27.11.1990 bis 19.10.2003</b>		
<b>1-V-7-W</b>	Zink: 3,875 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 644,5 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,538 µm/a
<b>9-B-7-W</b>	Zink: 3,823 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 646,2 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,531 µm/a
<b>Mittelwerte (walzblank u. vorbewittert blaugrau) für den <u>gesamten Untersuchungszeitraum</u></b>		
Zink: 3,849 g/(m <sup>2</sup> · a)		Niederschlag: 645,40 l/(m <sup>2</sup> · a)
Mittlere Dickenabnahme aus dem Abtrag über Zinkfrachten: 0,535 µm/a		
<b>Anmerkung:</b>		
Die o. a. Daten sind in Abbildung 79 grafisch dargestellt.		

**Abbildung 78:** Versuchsflächen 7° geneigt.  
Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
Erweiterte Auswertung für Zinkfrachten, Dickenabnahme und Niederschlag.  
Mittelwerte für Drei-Jahresperioden und für den gesamten Untersuchungszeitraum.

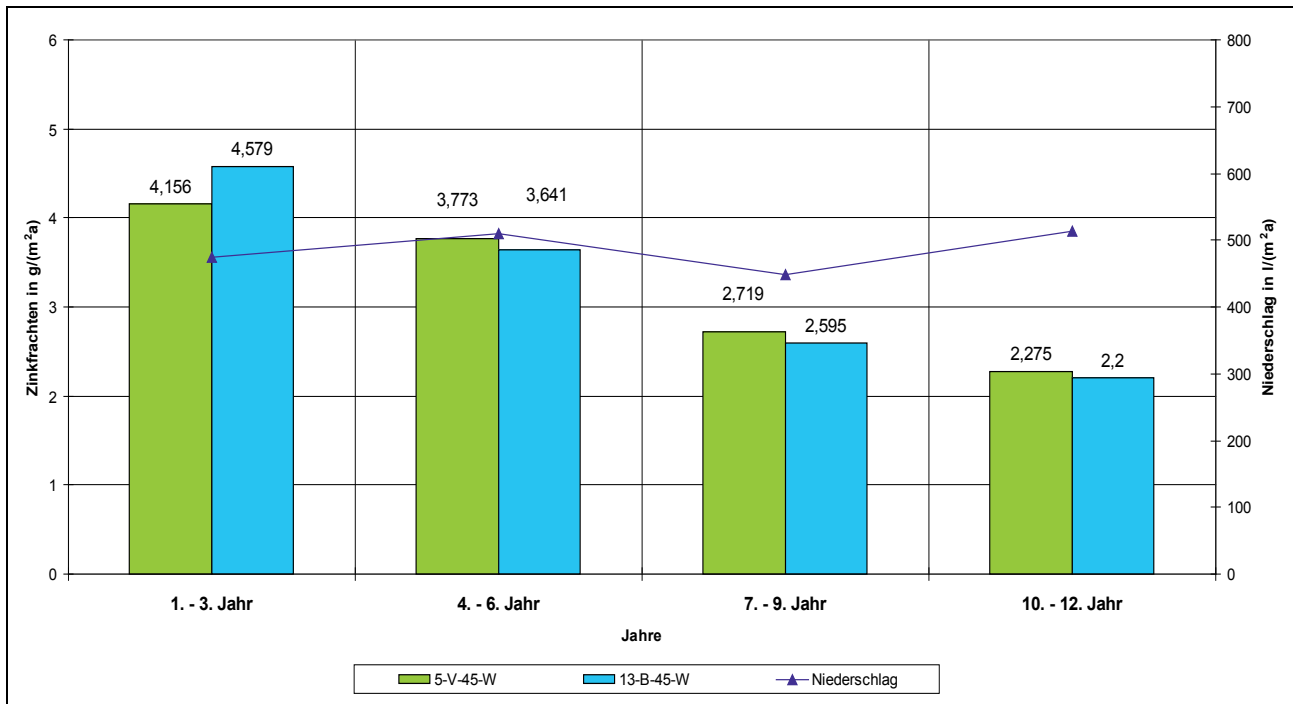


**Abbildung 79:** Versuchsflächen 7° geneigt (1-V-7-W und 9-B-7-W).  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Werte für Zinkfrachten und Niederschlag.  
 Mittelwerte für Drei-Jahresperioden.

<b><u>45° geneigte Versuchsf lächen</u></b>		
<b>Mittelwerte für Drei-Jahresperioden - Zinkfrachten und Niederschlag</b>		
<b>Mittelwerte für die Periode <u>1. bis 3. Jahr</u></b>		Zeitraum: 27.11.1990 bis 26.11.1993
<b>5-V-45-W</b>	Zink: 4,156 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 477,6 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,577 µm/a
<b>13-B-45-W</b>	Zink: 4,579 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 474,0 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,636 µm/a
<b>Mittelwerte für die Periode <u>4. bis 6. Jahr</u></b>		Zeitraum: 27.11.1993 bis 26.11.1996
<b>5-V-45-W</b>	Zink: 3,773 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 514,7 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,524 µm/a
<b>13-B-45-W</b>	Zink: 3,641 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 510,0 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,506 µm/a
<b>Mittelwerte für die Periode <u>7. bis 9. Jahr</u></b>		Zeitraum: 27.11.1996 bis 26.11.1999
<b>5-V-45-W</b>	Zink: 2,719 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 452,3 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,378 µm/a
<b>13-B-45-W</b>	Zink: 2,595 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 447,6 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,360 µm/a
<b>Mittelwerte für die Periode <u>10. bis 12. Jahr</u></b>		Zeitraum: 27.11.1999 bis 26.11.2002
<b>5-V-45-W</b>	Zink: 2,275 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 517,1 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,316 µm/a
<b>13-B-45-W</b>	Zink: 2,200 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 514,1 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,306 µm/a
<b>Mittelwerte für den <u>gesamten Untersuchungszeitraum</u>: 27.11.1990 bis 19.10.2003</b>		
<b>5-V-45-W</b>	Zink: 3,157 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 485,3 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,438 µm/a
<b>13-B-45-W</b>	Zink: 3,174 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme:	Niederschlag: 481,4 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,441 µm/a
<b>Mittelwerte (walzblank u. vorbewittert blaugrau) für den <u>gesamten Untersuchungszeitraum</u></b>		
	Zink: 3,166 g/(m <sup>2</sup> · a) Mittlere Dickenabnahme aus dem Abtrag über Zinkfrachten:	Niederschlag: 483,4 l/(m <sup>2</sup> · a) 0,440 µm/a
<b>Anmerkung:</b>		
Die o. a. Daten sind in Abbildung 81 grafisch dargestellt.		

**Abbildung 80:** *Versuchsf lächen 45° geneigt.*  
*Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.*  
*Erweiterte Auswertung für Zinkfrachten, Dickenabnahme und Niederschlag.*  
*Mittelwerte für Drei-Jahresperioden und für den gesamten Untersuchungszeitraum.*





**Abbildung 81:** Versuchsflächen 45° geneigt (5-V-45-W und 13-B-45-W).  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Werte für Zinkfrachten und Niederschlag.  
 Mittelwerte für Drei-Jahresperioden.

### **5.1.7 Zusammenhang zwischen Zinkfrachten und Orientierung der Dachflächen Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003**

Dieser Einfluss konnte für die vier Himmelsrichtungen Norden, Osten, Süden und Westen nur im ersten Versuchsabschnitt (drei Versuchsjahre) untersucht werden, da nach Ablauf von drei Jahren der Versuchsumfang auf die Flächen mit Westorientierung reduziert werden musste. Die detaillierten Auswertungen sind in der Dissertation von B. Lehmann [Lit.22] enthalten. Sie werden hier nur kurz zusammengefasst aufgeführt:

- o Bei beiden Dachneigungsgruppen wurden bei den nach Westen orientierten Flächen die größten Zinkfrachten festgestellt. Die Flächen der Südorientierung wiesen die geringsten Zinkfrachten auf. Dies ist u. a. auch auf die deutlich geringeren Befeuchtungszeiten aufgrund der Ausrichtung zum Gang der Sonne - Erwärmung durch Einstrahlung - zurückzuführen.
- o Betrachtet man für Hannover das Auftreten von Windhäufigkeiten, verteilt über die 16 Teile der Windrose, so hat die Westorientierung die größte Windhäufigkeit. Dies beeinflusst auch die Größenordnung der Niederschlagsverteilung auf die unterschiedlich orientierten Dachflächen.
- o Bei den unter 7° geneigten Versuchsflächen waren die Unterschiede in der Menge der Zinkfrachten, bezogen auf die Himmelsrichtungen, deutlich geringer als bei den unter 45° geneigten Flächen. Dies ist auf die fast horizontale Ausrichtung der 7° geneigten Flächen zurückzuführen, wodurch im Hinblick auf die korrosionsrelevanten Einflussfaktoren - Wind, Niederschlag, trocken und nasse Deposition von Luftschadstoffen, Strahlungseinflüsse, Befeuchtungsdauer, usw. - praktisch eine „Nivellierung“ zwischen den Himmelsrichtungen stattfand.

Die oben kurz erläuterten Ergebnisse aus drei Versuchsjahren haben dazu geführt, die nach Westen orientierten 7° geneigten Versuchsflächen weiter im Untersuchungsprogramm zu belassen.

#### **Anmerkung**

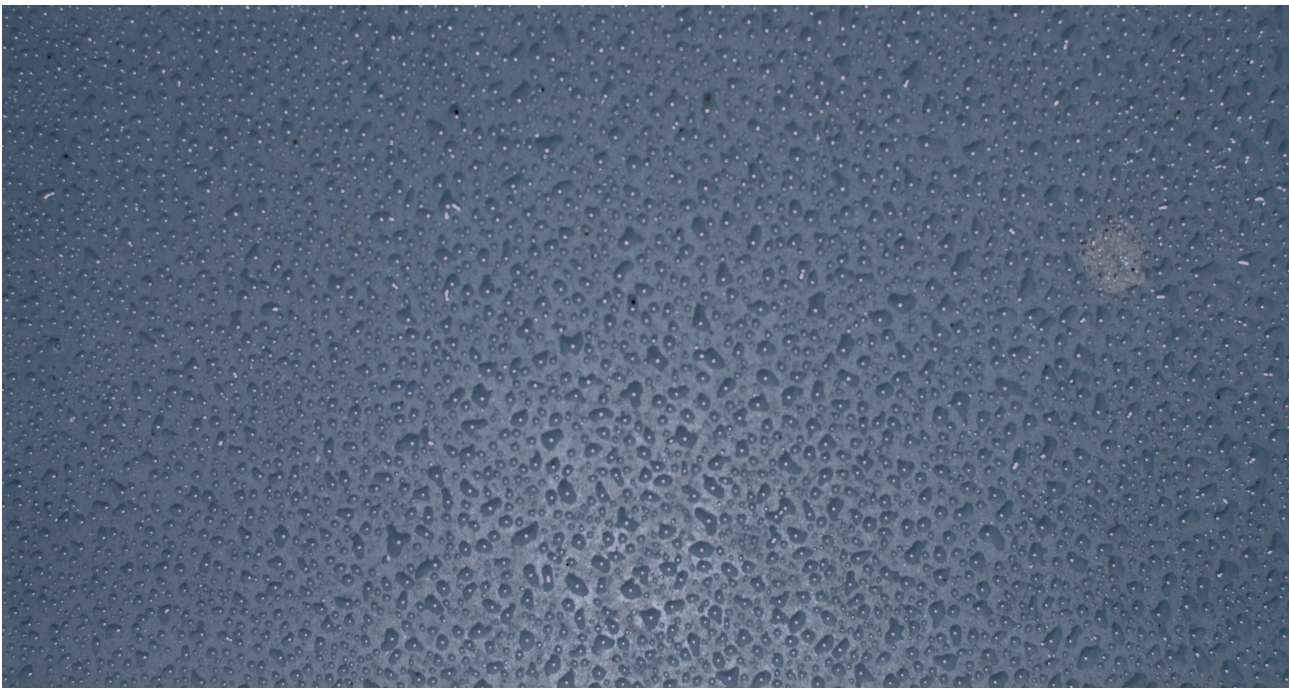
Die hier für Hannover festgestellte „Haupt-Beanspruchungsorientierung Westen“ hat keine allgemeingültige Aussagekraft; sie ist standortspezifisch.

### 5.1.8 Zusammenhang zwischen Zinkfrachten und Niederschlag Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003

Die Befeuchtungsdauer bzw. die Verweilzeit von Niederschlägen auf metallischen Oberflächen hat einen erheblichen Einfluss auf die atmosphärische Korrosion, d. h. auf die Größenordnung der Zinkfrachten. In den nachfolgenden Ausführungen soll der Einfluss von Niederschlagsereignissen interpretiert werden. Dieser Einfluss kann auf verschiedene Weise wirken:

- o als Tauwasser, bzw. Benetzung durch Nebel,
- o als Regen (Nieselregen, Schauer, kräftiger Dauerniederschlag),
- o als Schnee, Eis.

Tauwasser, siehe Abbildung 82, entsteht durch Unterkühlungsvorgänge von Oberflächen vor allem infolge der nächtlichen Abstrahlung an das kalte Himmelsgewölbe. Das Ausmaß der Unterkühlung und damit auch das Auftreten von Tauwasser in zeitlicher und mengenmäßiger Hinsicht hängt vor allem vom Trübungsgrad der Atmosphäre, der Wärmespeicherfähigkeit sowie der Wärmeleitfähigkeit der im Strahlungsaustausch stehenden oberen Schichten der Bauteilkonstruktion und der Dachneigung ab [Lit. 33].



**Abbildung 82:** *Tauwasser infolge nächtlicher Abstrahlung vor Bildung eines zusammenhängenden Wasserfilms mit Ablaufneigung. Zeitpunkt: Juli 5:15 Uhr. Einpasspunkt für die Schablone (Verwendung der Einpasspunkte im Rahmen der Ultraschalluntersuchungen).*

Bei den Dachflächen überlagern sich die Korrosionsmechanismen infolge Tauwasser, Regen bzw. Schnee. Spezielle Untersuchungen zu diesen Einflüssen („Einzelaspekte“) auf die Metalloberseite sind sehr aufwändig, sie wurden nicht durchgeführt. Lediglich der Einfluss der Regenereignisse konnte näher untersucht werden. Regen fällt bei Windstille senkrecht. Der Windeinfluss verändert die Richtung des Tropfenfalls zur Senkrechten und damit auch den Auftreffwinkel auf die 7° und 45° geneigten Versuchsflächen. Es gibt einen Grenzwinkel, bei dem die 7° und 45° geneigten Versuchsflächen für Regen unter Starkwind eine gleich große relative Auffangfläche aufweisen, d. h. in

gleicher Zeiteinheit gleich große Wassermengen auffangen. Im langjährigen Mittel weisen die 7° geneigten Versuchsfächen größere Niederschlagsmengen auf durch die größere „relative Auffangfläche“, im Vergleich mit den 45° geneigten Flächen. Für den gesamten Untersuchungszeitraum von rd. 12,9 Jahren ergeben sich folgende Werte:

#### 45° geneigte Flächen

Gesamtwert aus den Flächen „walzblank“ (B) und „vorbewittert blaugrau“ (V): 6237,0 l/m<sup>2</sup>  
 Jahresmittelwert: 483,4 l/(m<sup>2</sup> · a)

#### 7° geneigte Flächen

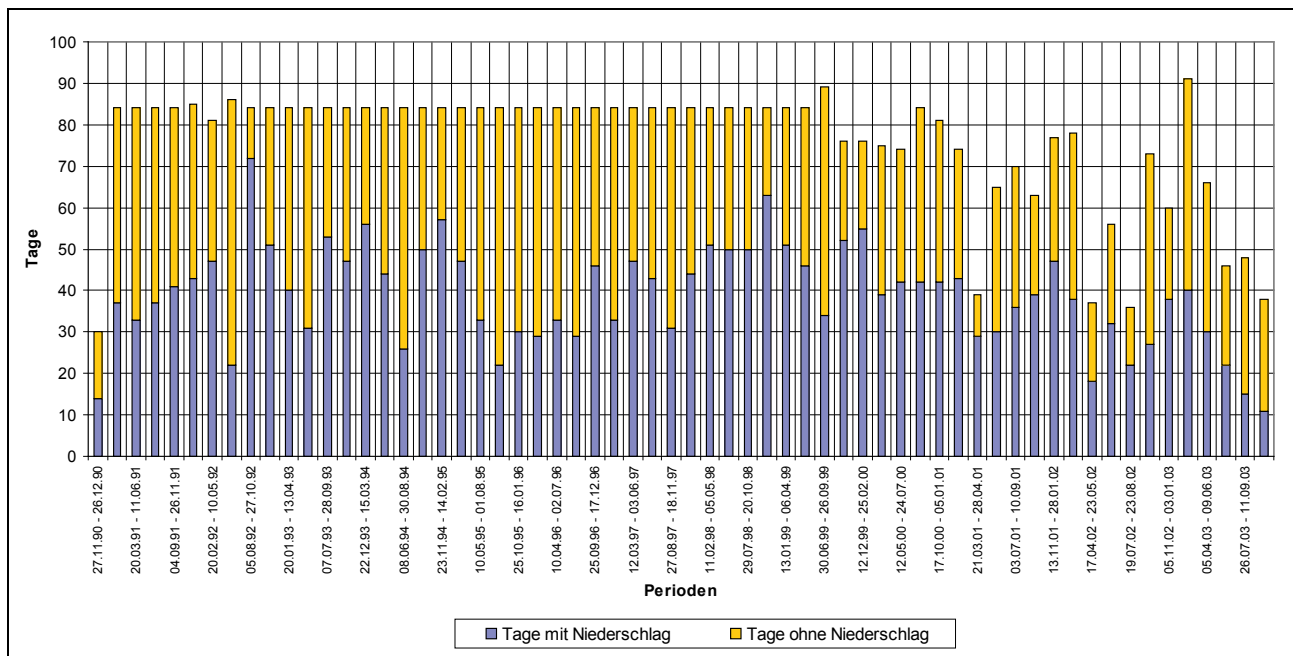
Gesamtwert aus den Flächen „walzblank“ (B) und „vorbewittert blaugrau“ (V): 8327,6 l/m<sup>2</sup>  
 Jahresmittelwert: 645,4 l/(m<sup>2</sup> · a)

Dies entspricht einem Verhältnis (45° zu 7° geneigter Flächen) von rd. 1:1,34. In der Abbildung 83 sind die Anzahl der Tage mit und ohne Niederschlag pro Periode grafisch dargestellt, es ergibt sich für den gesamten Untersuchungszeitraum von 12 Jahren und 327 Tagen das folgende, in etwa ausgeglichene Bild:

2402 Tage mit Niederschlag und 2308 Tage ohne Niederschlag.

Innerhalb der Perioden gibt es allerdings in diesem Zusammenhang sehr deutliche Unterschiede, z. B. in der Periode mit 84 Tagen vom 05.08.1992 bis 27.10.1992:

72 Tage mit Niederschlag und 12 Tage ohne Niederschlag.



**Abbildung 83:** Grafische Darstellung der Tage mit und ohne Niederschlag - Standort A. Periodenwerte aus dem ersten und zweiten Versuchsabschnitt.

Sehr deutliche Unterschiede gibt es auch in den Niederschlagsmengen pro Tag. Nachfolgend werden Besonderheiten der einzelnen Monate in den Abbildungen 84 Teil 1 und Teil 2 aufgelistet. Die jeweils maximalen Werte sind in dieser Übersicht fett gedruckt und unterstrichen.

**Tagesmaximalwerte (Max) in Liter/(m<sup>2</sup> · d), Monatswerte (M-Wert) und Anzahl der Tage ohne Niederschlag (ohne) der einzelnen Monate (M) 27.11.1990 bis 19.10.2003 - (4710 Tage)**

<u>1. Versuchsjahr</u> 27.11.90–26.11.91				<u>2. Versuchsjahr</u> 27.11.91–26.11.92				<u>3. Versuchsjahr</u> 27.11.92–26.11.93			
M	Max l/(m <sup>2</sup> d)	M-Wert l/(m <sup>2</sup> M)	Tage ohne	M	Max l/(m <sup>2</sup> d)	M-Wert l/(m <sup>2</sup> M)	Tage ohne	M	Max l/(m <sup>2</sup> d)	M-Wert l/(m <sup>2</sup> M)	Tage ohne
1	11,2	44,3	16	1	18,2	58,1	18	1	26,0	63,4	15
2	20,3	63,0	12	2	20,5	45,9	18	2	13,1	73,2	13
3	02,9	11,6	18	3	03,6	24,2	10	3	12,5	38,6	16
4	19,7	26,5	22	4	24,8	72,3	10	4	02,4	09,9	19
5	04,9	15,1	<u>23</u>	5	<u>30,0</u>	73,0	13	5	23,6	57,0	16
6	10,7	31,8	19	6	10,9	23,1	21	6	25,5	56,5	<u>25</u>
7	15,0	49,1	09	7	13,1	36,0	<u>23</u>	7	21,9	81,9	14
8	17,0	72,9	16	8	08,8	31,8	20	8	16,0	72,1	14
9	<u>31,3</u>	<u>113,0</u>	20	9	15,4	77,6	15	9	22,1	<u>103,9</u>	11
10	12,8	32,8	22	10	14,4	42,9	15	10	28,6	85,0	12
11	09,3	41,4	14	11	12,1	69,4	12	11	<u>30,6</u>	63,3	13
12	17,3	63,6	15	12	10,9	<u>89,4</u>	05	12	14,8	24,4	19
<u>4. Versuchsjahr</u> 27.11.93–26.11.94				<u>5. Versuchsjahr</u> 27.11.94–26.11.95				<u>6. Versuchsjahr</u> 27.11.95–26.11.96			
1	10,8	103,9	07	1	06,6	36,7	13	1	10,9	26,3	19
2	17,8	94,2	09	2	17,3	<u>100,6</u>	08	2	04,5	05,2	<u>27</u>
3	19,4	39,8	15	3	13,8	100,1	09	3	10,7	57,4	15
4	18,8	111,5	06	4	<u>20,9</u>	48,0	11	4	04,4	11,7	22
5	22,8	53,4	16	5	11,7	55,1	14	5	13,0	19,6	24
6	10,4	37,9	15	6	11,1	26,6	19	6	15,8	53,8	16
7	18,0	59,0	19	7	13,0	94,6	12	7	07,7	28,2	22
8	24,5	42,6	<u>25</u>	8	13,1	32,6	23	8	11,0	51,9	18
9	<u>38,1</u>	<u>127,0</u>	18	9	08,6	14,3	<u>27</u>	9	<u>36,3</u>	62,3	19
10	13,0	68,9	10	10	13,2	77,1	16	10	35,7	62,9	20
11	09,4	25,4	16	11	09,4	34,6	16	11	23,2	87,9	16
12	12,0	77,1	10	12	15,3	54,1	16	12	19,9	<u>100,1</u>	06
<u>7. Versuchsjahr</u> 27.11.96–26.11.97				<u>8. Versuchsjahr</u> 27.11.97–26.11.98				<u>9. Versuchsjahr</u> 27.11.98–26.11.99			
1	08,2	32,3	20	1	09,4	53,5	10	1	14,7	46,4	09
2	05,6	12,9	<u>25</u>	2	08,7	48,4	12	2	10,3	49,0	09
3	17,0	71,8	10	3	02,0	07,0	<u>23</u>	3	10,5	42,1	13
4	13,0	42,9	14	4	16,2	62,5	05	4	11,8	42,6	11
5	12,2	34,8	16	5	11,1	65,6	13	5	08,0	48,7	10
6	18,1	76,4	12	6	07,2	24,0	21	6	07,9	29,4	16
7	13,4	43,0	18	7	15,8	71,8	07	7	14,8	55,2	15
8	<u>22,5</u>	<u>126,6</u>	12	8	08,7	56,4	09	8	09,5	35,5	17
9	11,0	44,7	18	9	24,2	65,3	14	9	22,2	<u>95,1</u>	17
10	09,8	23,5	23	10	16,3	70,3	13	10	<u>30,9</u>	68,6	<u>21</u>
11	06,2	32,1	15	11	09,7	68,5	08	11	12,1	44,5	09
12	13,8	36,7	22	12	<u>37,5</u>	<u>129,4</u>	07	12	06,3	24,5	13

**Abbildung 84 (Teil1):** Tagesmaximalwerte (Max) in Liter/(m<sup>2</sup> · d), Monatswerte (M-Wert) und Anzahl der Tage ohne Niederschlag (ohne) der einzelnen Monate (M) Standort A: 27.11.1990 bis 19.10.2003 (4710 Tage).



Tagesmaximalwerte (Max) in Liter/(m <sup>2</sup> · d), Monatswerte (M-Wert) und Anzahl der Tage ohne Niederschlag (ohne) der einzelnen Monate (M) 27.11.1990 bis 19.10.2003 - (4710 Tage)											
<u>10. Versuchsjahr</u>				<u>11. Versuchsjahr</u>				<u>12. Versuchsjahr</u>			
27.11.99–26.11.00				27.11.00–26.11.01				27.11.01–26.11.02			
M	Max	M-Wert	Tage	M	Max	M-Wert	Tage	M	Max	M-Wert	Tage
	I/(m <sup>2</sup> d)	I/(m <sup>2</sup> M)	ohne		I/(m <sup>2</sup> d)	I/(m <sup>2</sup> M)	ohne		I/(m <sup>2</sup> d)	I/(m <sup>2</sup> M)	ohne
1	15,4	73,0	05	1	07,3	45,8	12	1	11,8	72,8	12
2	05,0	25,6	14	2	11,1	30,7	17	2	13,3	44,0	14
3	10,6	69,4	05	3	12,9	58,6	10	3	13,6	78,1	09
4	17,3	<b>97,2</b>	06	4	<b>23,1</b>	61,5	10	4	06,6	36,7	14
5	07,2	23,6	<b>19</b>	5	14,1	63,4	08	5	07,5	40,6	<b>21</b>
6	06,8	28,5	16	6	08,3	21,1	<b>23</b>	6	22,2	79,0	18
7	09,3	29,4	15	7	20,9	82,2	09	7	14,0	64,9	15
8	07,1	41,0	11	8	19,3	51,6	15	8	<b>63,3</b>	<b>169,9</b>	06
9	<b>20,4</b>	64,3	16	9	06,0	36,8	19	9	19,3	88,1	16
10	18,3	64,5	16	10	15,7	<b>106,1</b>	08	10	04,9	24,3	20
11	11,2	32,2	15	11	18,0	52,8	14	11	27,0	61,3	14
12	09,7	29,0	18	12	08,4	35,3	09	12	17,9	110,6	10
<u>13. Versuchsjahr</u> 27.11.02–19.10.03 (Kein volles Jahr, nur 327 Tage)											
M	Max	M-Wert	Tage								
	I/(m <sup>2</sup> d)	I/(m <sup>2</sup> M)	ohne								
1	16,1	52,5	15								
2	22,9	83,0	11								
3	05,3	29,1	18								
4	12,2	25,0	17								
5	07,4	25,5	22								
6	07,8	37,7	09								
7	20,0	41,8	22								
8	12,9	56,9	12								
9	17,9	22,1	<b>28</b>								
10	<b>50,1</b>	<b>91,6</b>	18								
11	09,0	36,7	14								

**Abbildung 84 (Teil 2):** Tagesmaximalwerte (Max) in Liter/(m<sup>2</sup> · d), Monatswerte (M-Wert) und Anzahl der Tage ohne Niederschlag (ohne) der einzelnen Monate (M)  
Standort A: 27.11.1990 bis 19.10.2003 (4710 Tage).

### Auswertungsgruppe Jahreswerte

Der Zusammenhang zwischen Zinkfrachten und Niederschlag in der Auswertungsgruppe Jahreswerte (errechnet aus den Periodenwerten) ist den Abbildungen 73 - 74 - 76 und 77 grafisch dargestellt. Der Einfluss des Niederschlags auf die Größenordnung der Zinkfrachten ist hier durchgängig, d. h. über den gesamten Versuchszeitraum gesehen, **nicht** erkennbar.

## **Auswertungsgruppe Mittelwerte aus drei Jahren**

Der Zusammenhang zwischen Zinkfrachten und Niederschlag in der Auswertungsgruppe Jahresmittelwerte aus drei Jahren ist in den Abbildungen 79 und 81 grafisch dargestellt. Der Einfluss des Niederschlags auf die Größenordnung der Zinkfrachten ist hier durchgängig, d. h. über den gesamten Versuchszeitraum gesehen, ebenfalls **nicht** erkennbar.

Die vorhandenen Unregelmäßigkeiten innerhalb der Abfolgen - monatlich, periodisch, jährlich und in den dreijährigen Mittelwertbildungen - lassen sich aus den verschiedenen Intensitäten in zeitlicher und mengenmäßiger Verteilung des Niederschlages im jeweiligen Versuchszeitraum erklären. Hierzu kann als typisches Beispiel der „Ausreißer“ im Bereich der Periode vom 24.05.2002 bis 18.07.2002 angeführt werden. In dieser Periode (56 Tage) sind insgesamt  $218,3 \text{ l/m}^2$  Niederschlag gefallen. An 24 Tagen fiel kein Niederschlag. Am 10.07.02 fielen  $20,5 \text{ l/m}^2$ , am 17.07.02 waren es  $63,3 \text{ l/m}^2$  und am 18.07.2002  $33,6 \text{ l/m}^2$ , d. h. an drei Tagen der Periode fielen  $117,4 \text{ l/m}^2$  von der Gesamtmenge von  $218,3 \text{ l/m}^2$ !

Die verschiedenen Regenereignisse benetzen die Oberfläche der Metaldeckung in Form eines zusammenhängenden Feuchtigkeitsfilms. Der Niederschlag kann unterschieden werden in Nieselregen, Schauer und Dauerniederschlag. Kurzzeitiger Nieselregen ergibt kleine Intensitäten und sehr geringe Niederschlagsmengen, größere Abspüleeffekte treten kaum auf.

Man kann davon ausgehen, dass durch die in Trockenzeiten deponierten Schadstoffbelastungen im Zusammenhang mit der Luftschadstoffkonzentration im Nieselregen, hohe Zinkkonzentrationen im gesammelten Niederschlag ergeben. Ähnliche Erscheinungen treten auch zu Beginn von Schauern oder Dauerniederschlägen auf.

Versuche an einem mit Titanzink gedeckten Dach der Universität Bayreuth [Lit. 10] ergaben während der ersten 3 mm Niederschlag eine erhöhte Zinkionenkonzentration, die im weiteren Verlauf der Regenbeanspruchung deutlich abnahm. Diese Erscheinung wird in der englischen Literatur als „first flush“-Phänomen gekennzeichnet, sie lässt sich wie folgt erklären:

Die in der niederschlagsfreien Zeit durch Trockendeposition vermehrt entstandenen Korrosionsprodukte lassen sich durch erhöhte Anfangskonzentrationen von Sulfat und freier Säure ( $\text{H}^+$ ) leichter abspülen.

Es kann somit festgestellt werden, dass allein mit Hilfe der Angabe einer Jahresniederschlagsmenge keine eindeutige Aussage über die Größenordnung der damit einhergehenden Zinkfrachten möglich ist. Es müssen weitere Angaben über die Verteilung, z. B. 24-Stundenwerte, Zeiten von trockener und nasser Deposition und Tauwasserbildung, vorhanden sein. Nur mit Hilfe dieser Werte lassen sich Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Zinkfrachten über größere Zeitschnitte einigermaßen sicher interpretieren. Dies war nicht Ziel dieser Untersuchungen.

### **5.1.9 Zusammenhang zwischen Zinkfrachten, Luftschadstoffen (SO<sub>2</sub> - NO<sub>2</sub> - NO<sub>x</sub>) und Gesamtdeposition (Staub - Sulfat - Nitrat - Chlorid) Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003**

Die Werte für die Luftschadstoffe und die Gesamtdeposition wurden vom Niedersächsischen Landesamt für Ökologie (NLÖ) im Rahmen des Lufthygienischen Überwachungssystems Niedersachsens (LÜN) ermittelt [Lit. 27]. Die Mess-Station liegt etwa 4 km südlich des Standortes der Versuchsflächen; siehe hierzu die Abbildung 153 „Ausschnitt aus der Stadtkarte Hannover M = 1:20 000“ und die Abbildung 154 „Stadtkarte M = 1:1000“ in Abschnitt 8.2.

Das LÜN ist ein automatisiertes telemetrisches Immissions-Messnetz, das im Jahre 1978 in Betrieb genommen wurde. Die Messwerte für die Jahre 1990 bis 2003 (jeweils 1.1. bis 31.12) wurden für diese Arbeit zur Verfügung gestellt. Die „Umrechnung“, d. h. das Einpassen der Messdaten auf die Messperioden des Freibewitterungsversuchs, ist in Abbildung 56 für Luftschadstoffe SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> grafisch dargestellt.

Für den Luftschadstoff SO<sub>2</sub> kann festgestellt werden, dass die Konzentration in der Luft sich in den Jahren der Versuchsreihe weiter sehr deutlich verringert hat. Vor allem haben sich die rel. großen Schwankungen, hervorgerufen durch „Wintersmog“, verursacht durch Schadstoffe aus Heizungen, auf deutlich geringere „Amplituden“ reduziert.

Für die Luftschadstoffe NO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> kann festgestellt werden, dass deren Konzentration in der Luft sich ebenfalls von 1996 an verringert hat, jedoch nicht so deutlich, wie dies für den Luftschadstoff SO<sub>2</sub> festzustellen ist.

Die Werte für die **Gesamtdeposition** (Staub - Chlorid - Sulfat - Nitrat -) sind in den Abbildungen 57 - 58 - 59 und 60 grafisch dargestellt.

Die Auswertung für **Staub** ergibt im Mittel für den Versuchszeitraum ein in etwa gleich bleibendes Bild, grafisch dargestellt in Abbildung 57.

Die Auswertung für **Chlorid** ergibt im Mittel für den Versuchszeitraum ein in etwa gleich bleibendes Bild, grafisch dargestellt in Abbildung 58.

Die Auswertung für **Sulfat** ergibt für den Versuchszeitraum eine deutliche Abnahme des Eintrages seit Jahr 1994, grafisch dargestellt in Abbildung 59.

Die Auswertung für **Nitrat** ergibt im Mittel für den Versuchszeitraum ein in etwa gleich bleibendes Bild, grafisch dargestellt in Abbildung 60.

Die nachfolgenden Auswertungen erfassen den Einfluss der Luftschadstoffe auf die Größenordnung der Zinkfrachten. Der Einfluss der Depositionswerte für Staub, Sulfat, Nitrat und Chlorid wurde detaillierter nicht weiter untersucht, sie dienen hier zur „Abrundung“ der Ergebnisse.

## Auswertungsgruppe Jahreswerte

Der Zusammenhang zwischen Zinkfrachten und Luftschadstoffen in der Auswertungsgruppe Jahreswerte ist in den Abbildungen 85 bis 96 grafisch dargestellt. Der Einfluss der Luftschadstoffe auf die Größenordnung der Zinkfrachten ist in der Auswertung nur in einigen Perioden **deutlich** zu erkennen, so z. B.:

### Versuchsfläche 1-V-7-W (4710 Tage)

Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) Abbildung 85  
Perioden: 2. bis 7. Jahr und 10. bis 12. Jahr  
Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) Abbildung 86  
Perioden: 3. bis 7. Jahr und 10. bis 12. Jahr  
Stickoxide (NO<sub>x</sub>) Abbildung 87  
Perioden: 2. bis 7. Jahr und 10. bis 12. Jahr

### Versuchsfläche 5-V-45-W (4710 Tage)

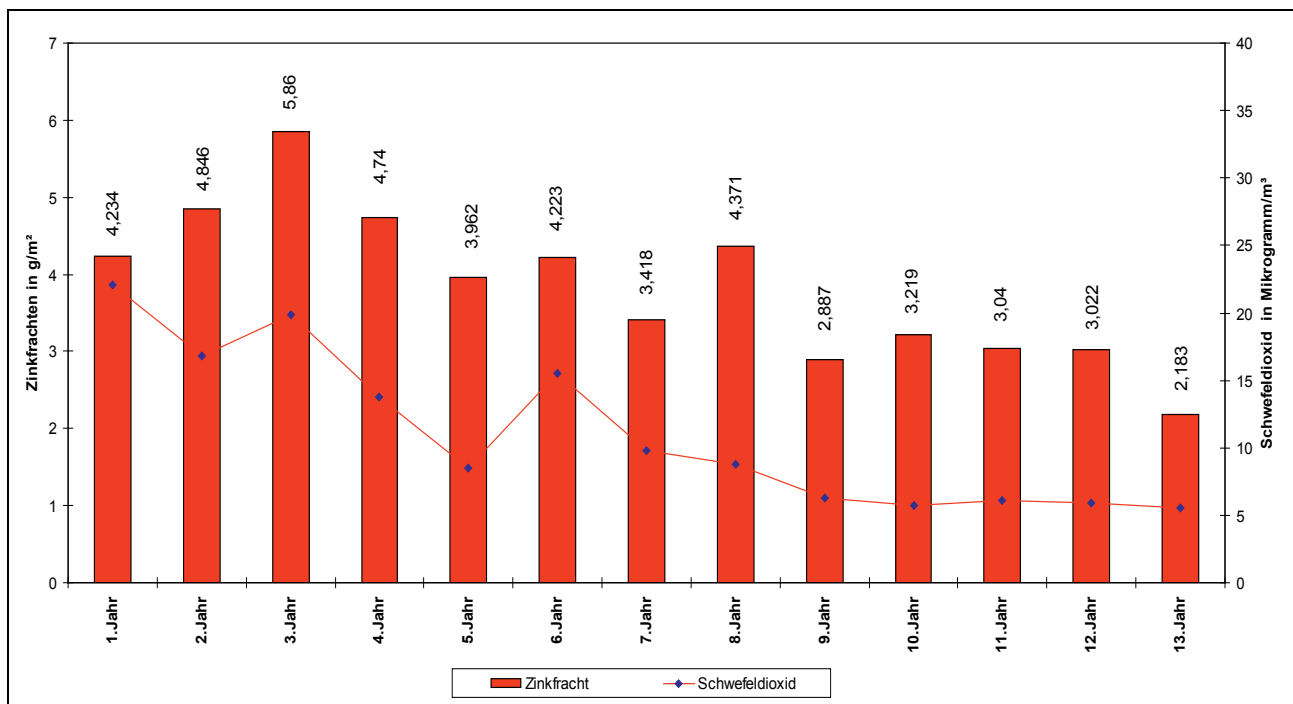
Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) Abbildung 91  
Perioden: 2. bis 7. Jahr und 9. bis 12. Jahr  
Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) Abbildung 92  
Perioden: 3. bis 7. Jahr und 8. bis 12. Jahr  
Stickoxide (NO<sub>x</sub>) Abbildung 93  
Perioden: 2. bis 7. Jahr und 8. bis 12. Jahr

### Versuchsfläche 9-B-7-W (4710 Tage)

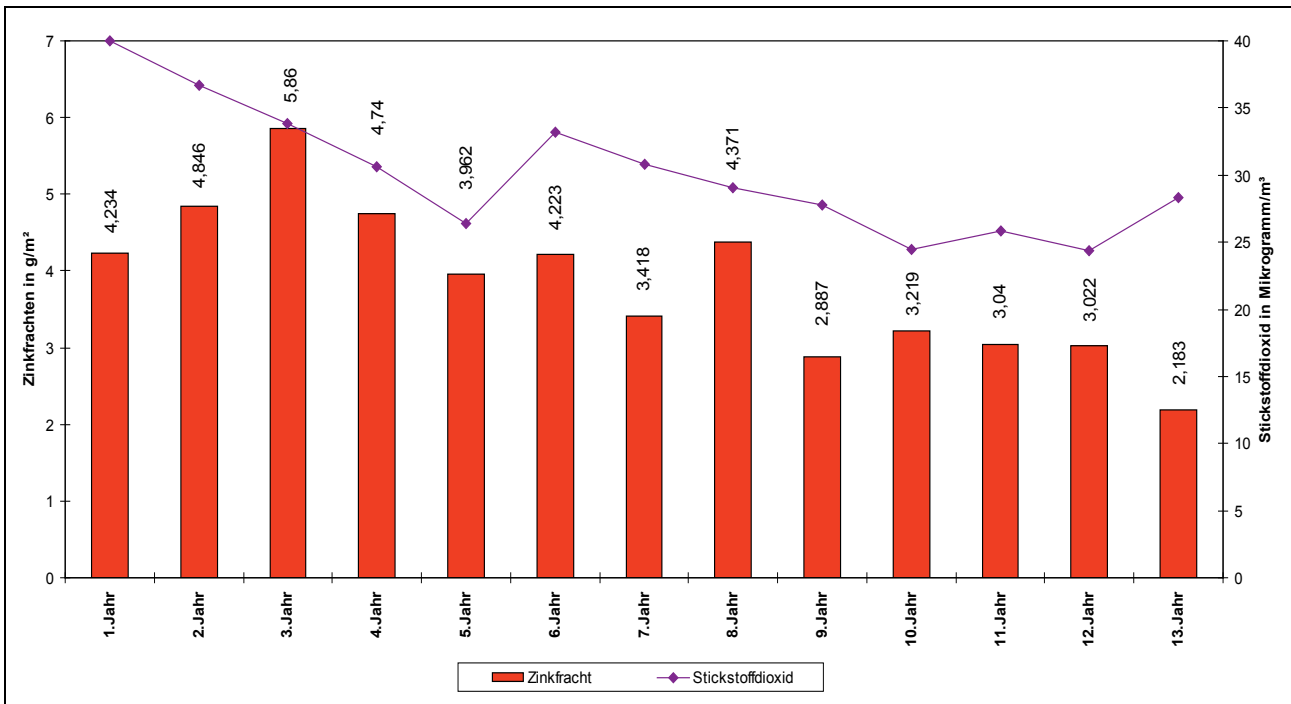
Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) Abbildung 88  
Perioden: 3. bis 7. Jahr und 9. bis 12. Jahr  
Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) Abbildung 89  
Perioden: 3. bis 7. Jahr und 10. bis 12. Jahr  
Stickoxide (NO<sub>x</sub>) Abbildung 90  
Perioden: 1. bis 7. Jahr und 10. bis 12. Jahr

### Versuchsfläche 13-B-45-W (4710 Tage)

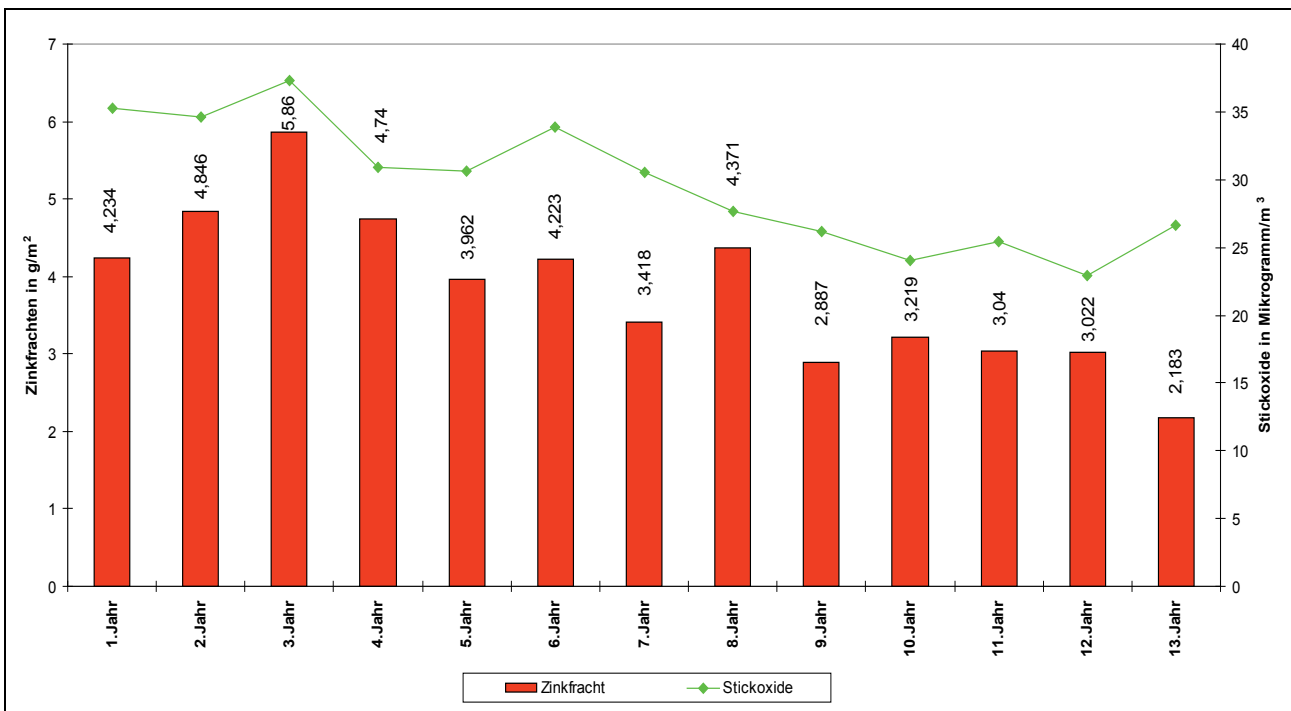
Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) Abbildung 94  
Perioden: 2. bis 7. Jahr und 8. bis 12. Jahr  
Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) Abbildung 95  
Perioden: 3. bis 7. Jahr und 10. bis 12. Jahr  
Stickoxide (NO<sub>x</sub>) Abbildung 96  
Perioden: 2. bis 7. Jahr und 8. bis 12. Jahr



**Abbildung 85:** Versuchsfläche 1-V-7-W.  
Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>).  
13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.

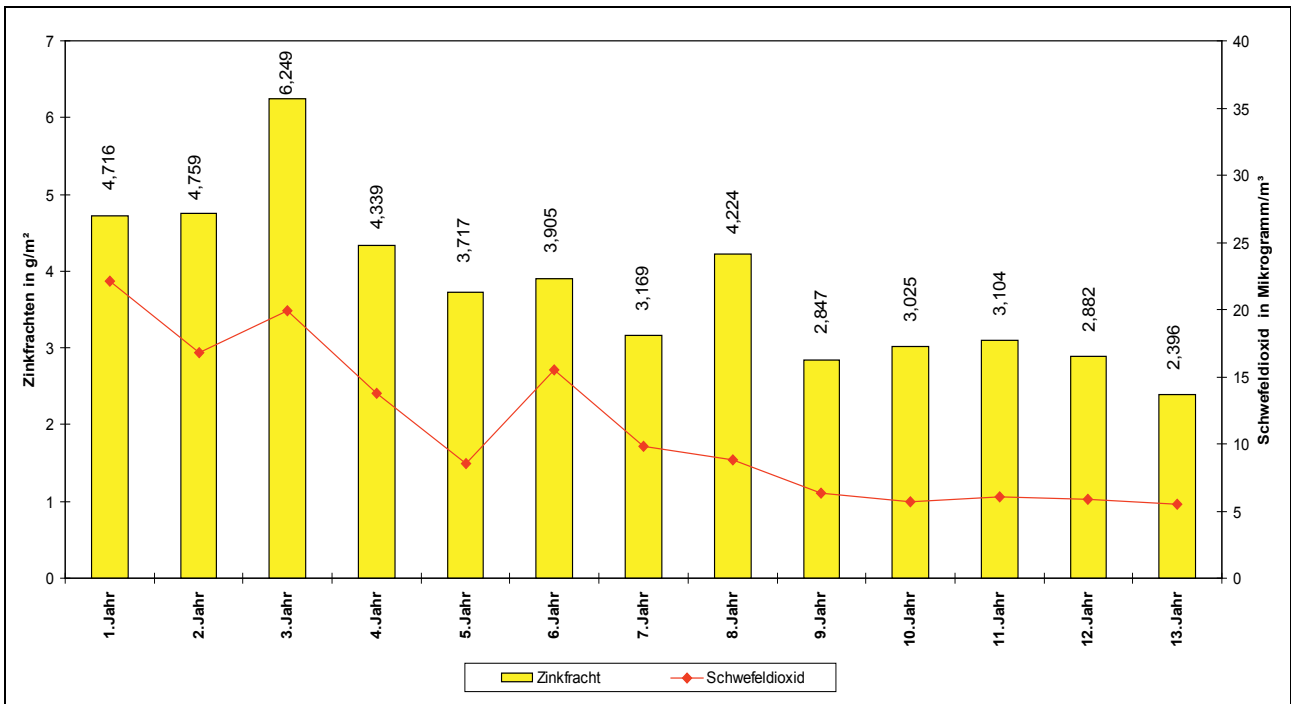


**Abbildung 86:** Versuchsfläche 1-V-7-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>).  
 13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.

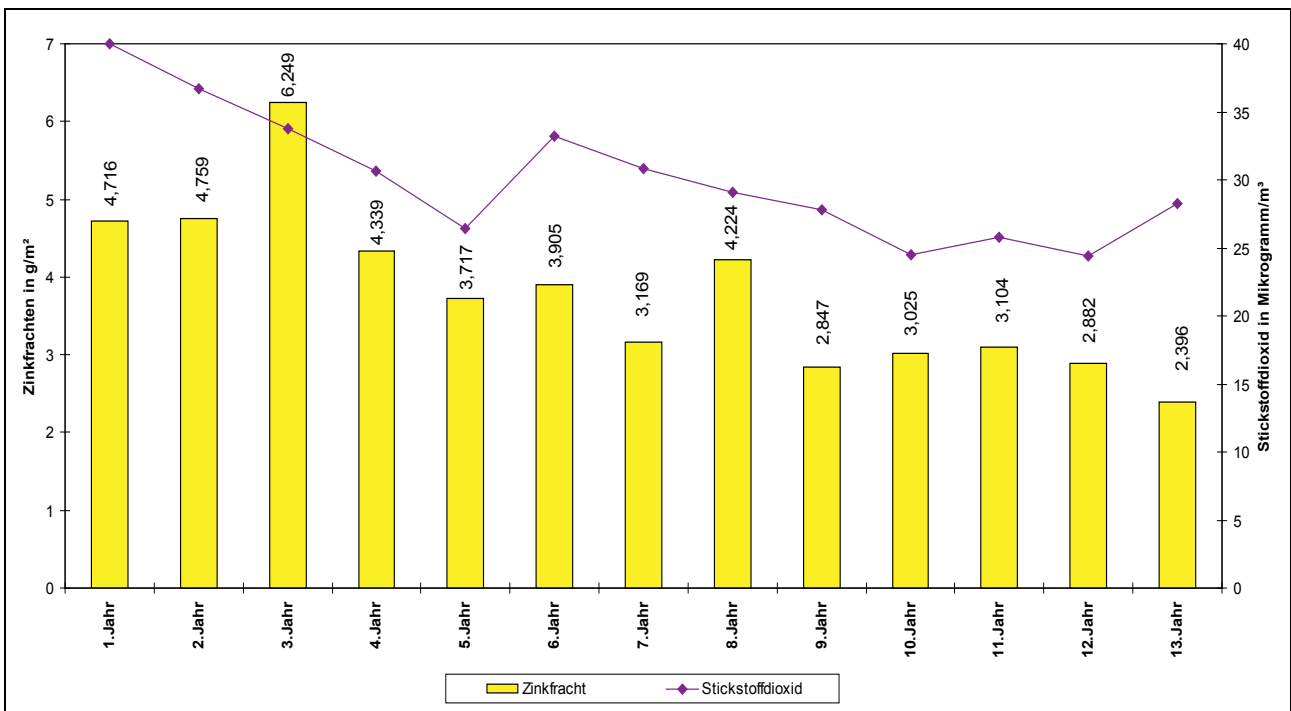


**Abbildung 87:** Versuchsfläche 1-V-7-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Stickoxide (NO<sub>x</sub>).  
 13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.

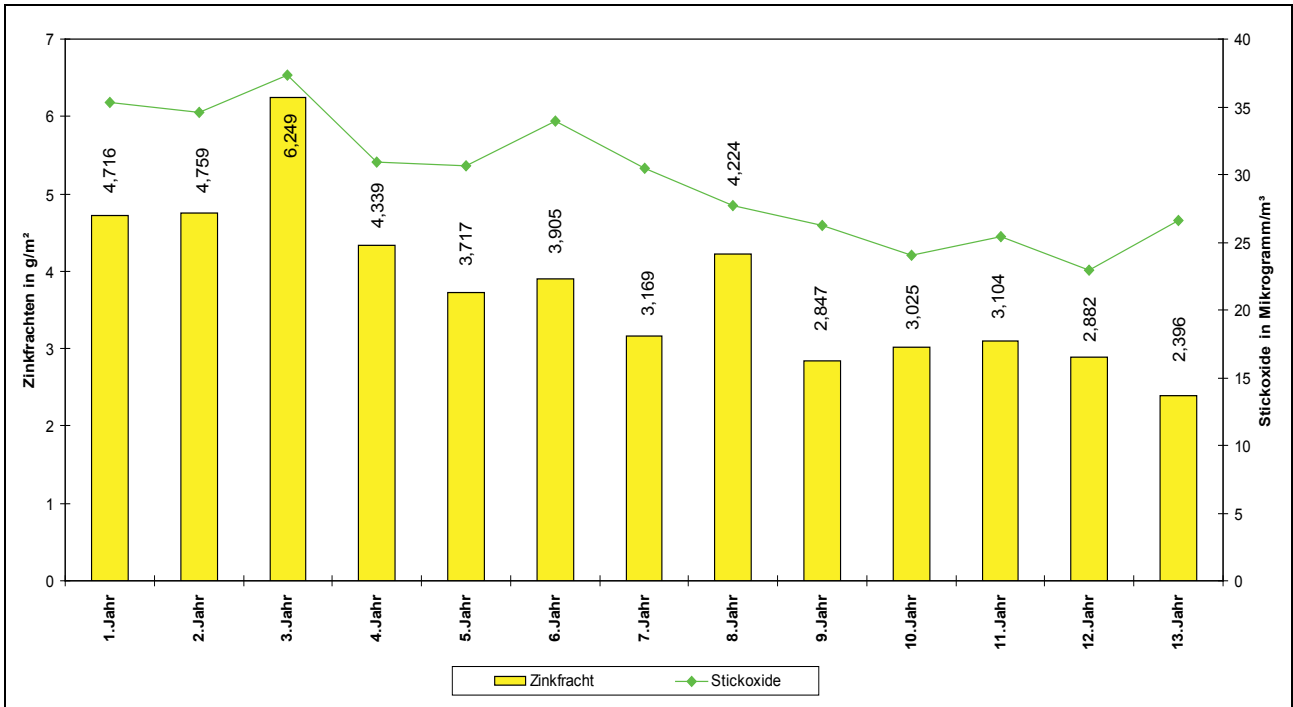




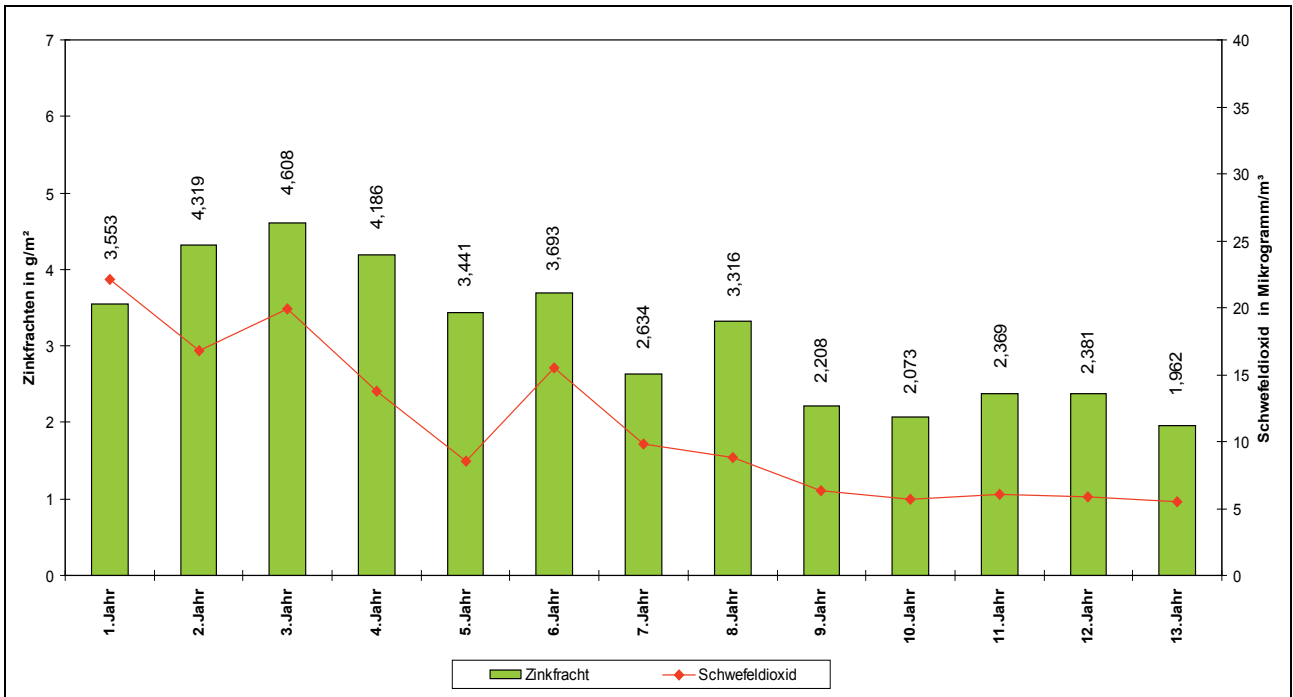
**Abbildung 88:** Versuchsfläche 9-B-7-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>).  
 13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.



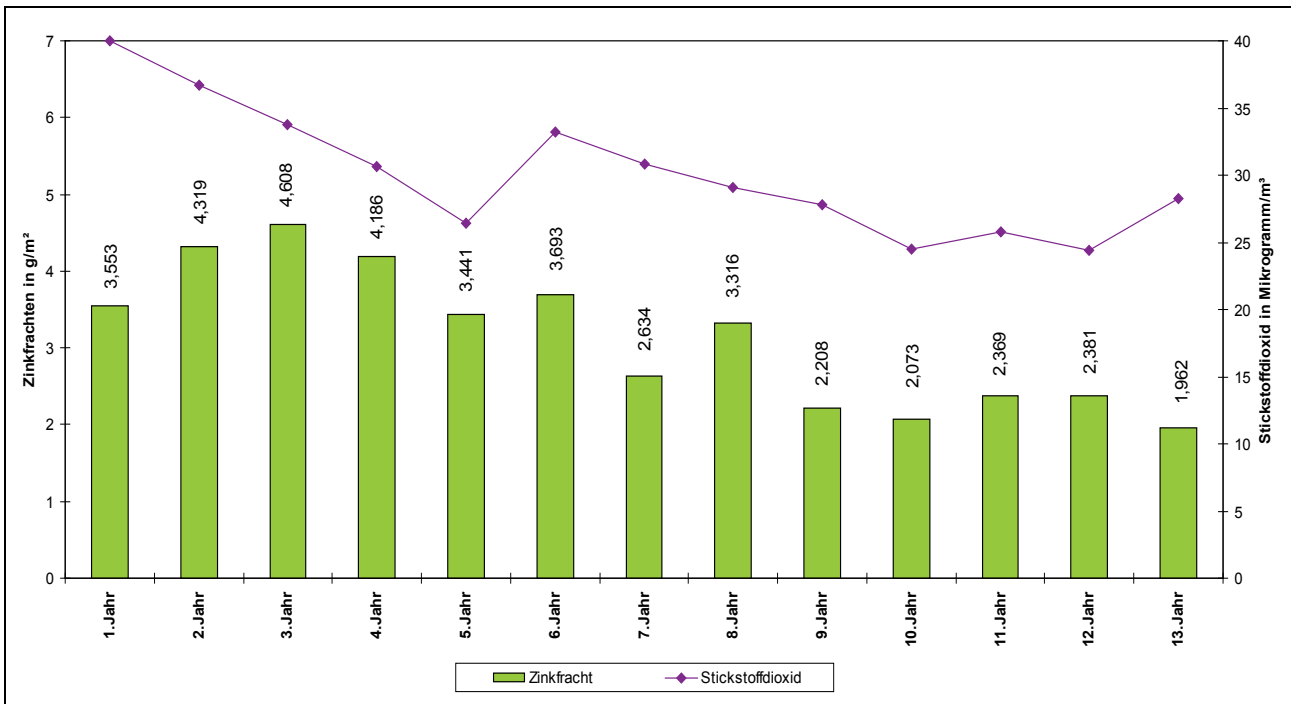
**Abbildung 89:** Versuchsfläche 9-B-7-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>).  
 13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.



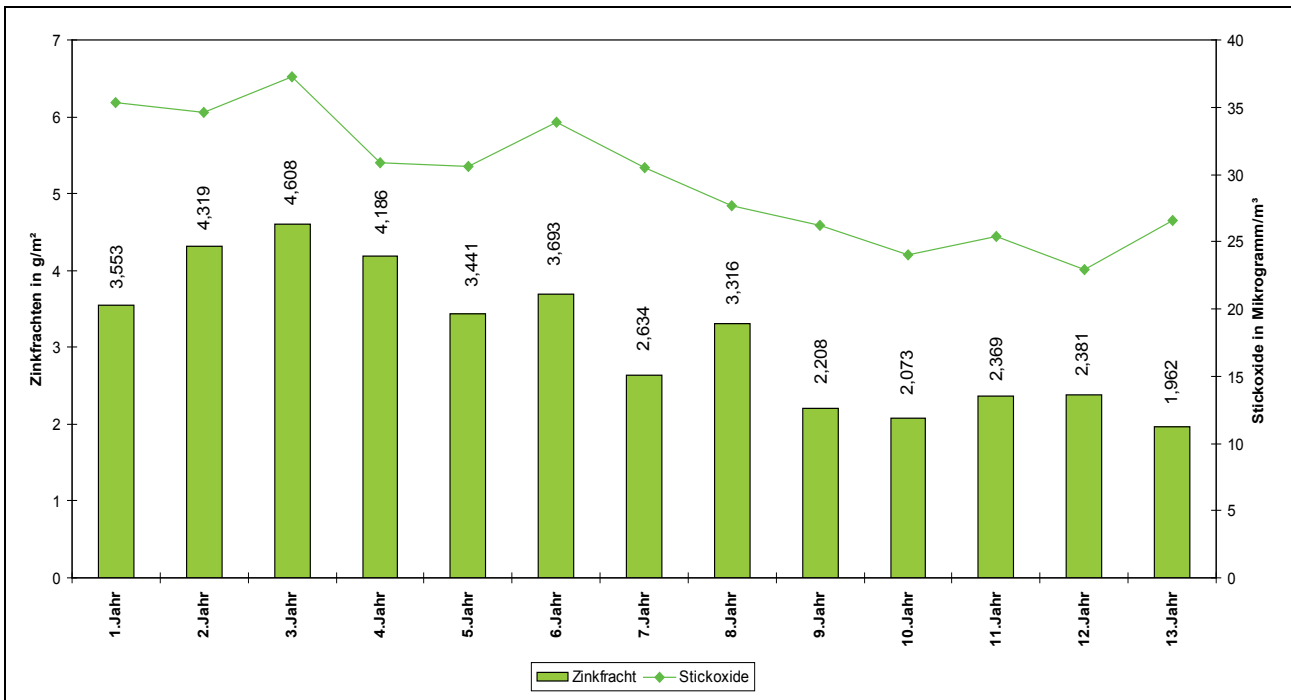
**Abbildung 90:** Versuchsfläche 9-B-7-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Stickoxide (NO<sub>x</sub>).  
 13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.



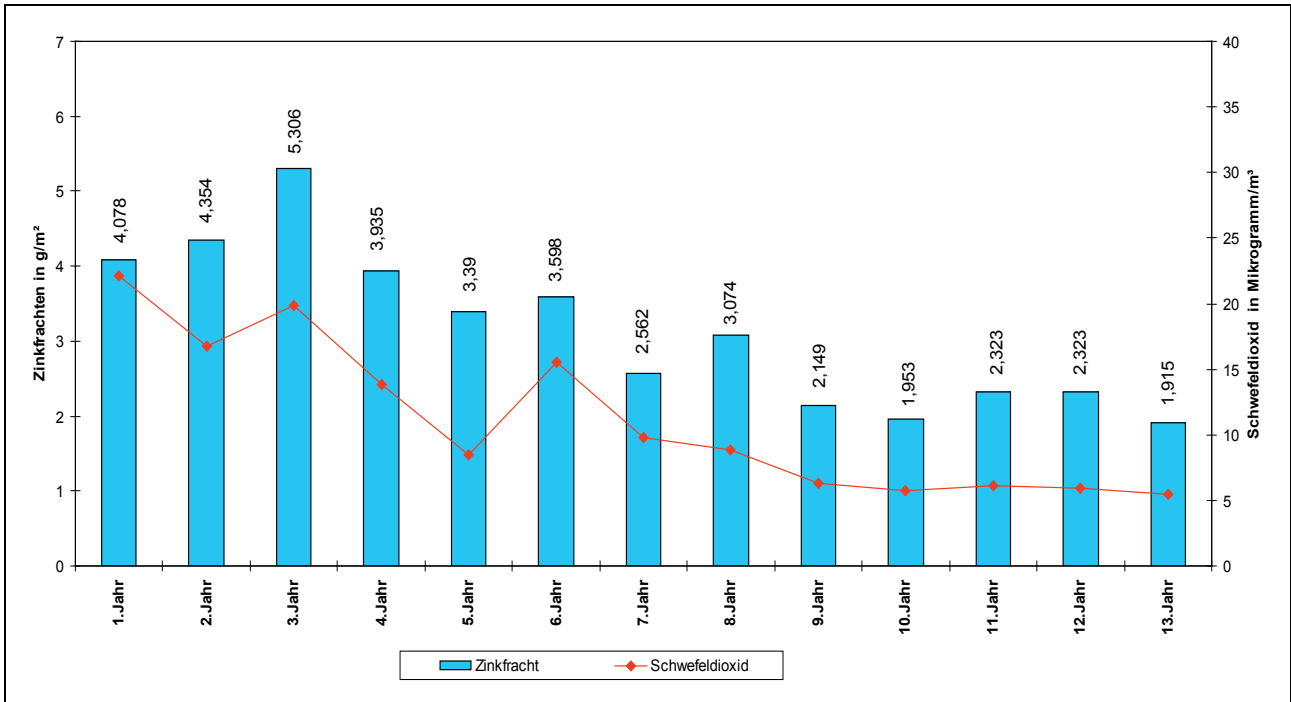
**Abbildung 91:** Versuchsfläche 5-V-45-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>).  
 13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.



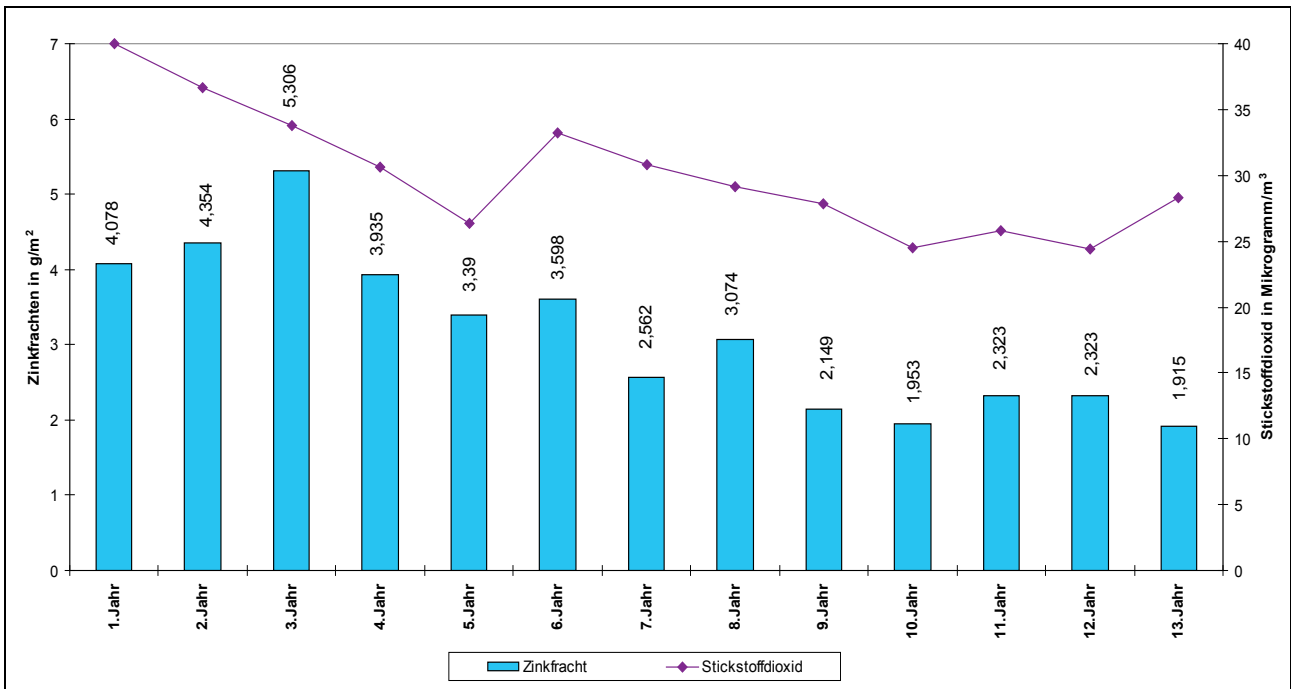
**Abbildung 92:** Versuchsfläche 5-V-45-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>).  
 13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.



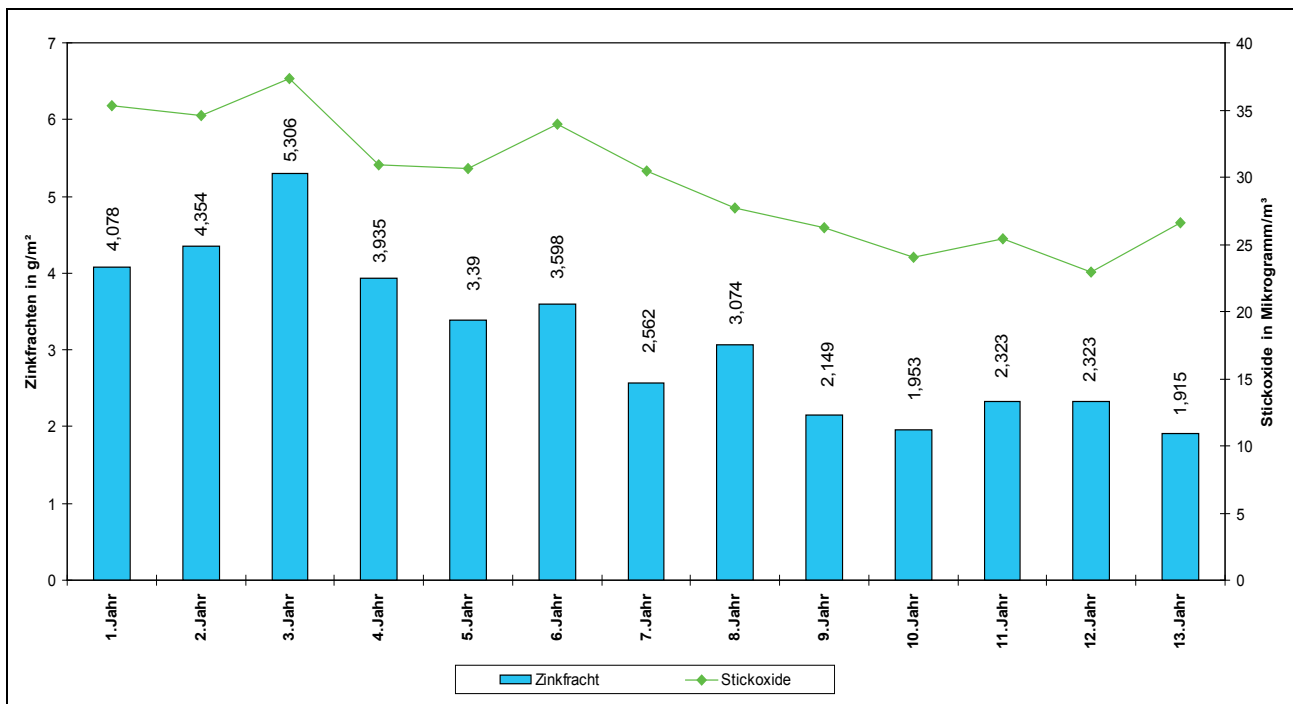
**Abbildung 93:** Versuchsfläche 5-V-45-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Stickoxide (NO<sub>x</sub>).  
 13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.



**Abbildung 94:** Versuchsfläche 13-B-45-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>).  
 13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.



**Abbildung 95:** Versuchsfläche 13-B-45-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>).  
 13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.



**Abbildung 96:** Versuchsfläche 13-B-45-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Stickoxide (NO<sub>x</sub>).  
 13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.

### Auswertungsgruppe Mittelwerte aus drei Jahren

Der Zusammenhang zwischen Zinkfrachten und Luftschadstoffen in dieser Auswertungsgruppe ist für die Perioden: 1. bis 3. Jahr - 4. bis 6. Jahr - 7. bis 9. Jahr - 10. bis 12. Jahr in den Abbildungen 97 bis 102 grafisch dargestellt.

Der Einfluss der Luftschadstoffe auf die Größenordnung der Zinkfrachten ist in dieser Art der Auswertung durchgängig, d. h. über den gesamten Versuchszeitraum gesehen, **deutlich** zu erkennen:

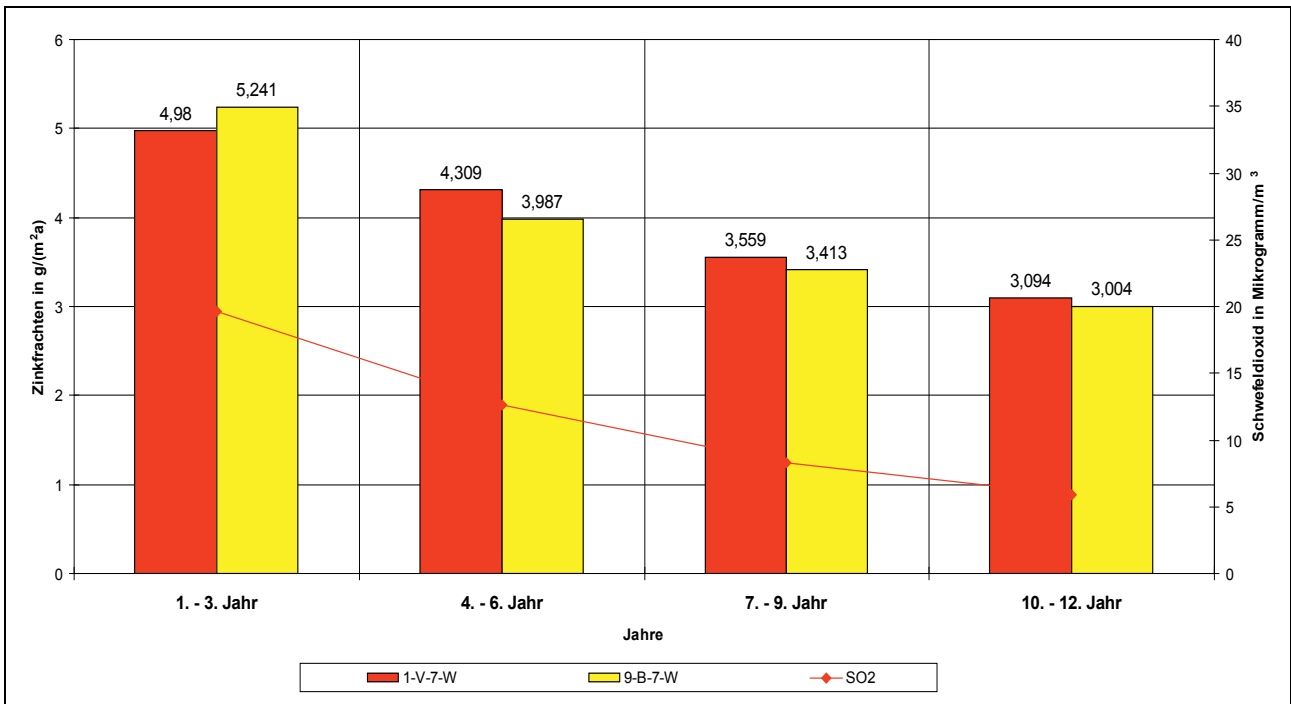
#### Versuchsflächen 1-V-7-W und 9-B-7-W (Versuchsdauer 4710 Tage, rd. 12,9 Jahre)

Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)    Abbildung 97                      Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)    Abbildung 98  
 Stickoxide (NO<sub>x</sub>)        Abbildung 99

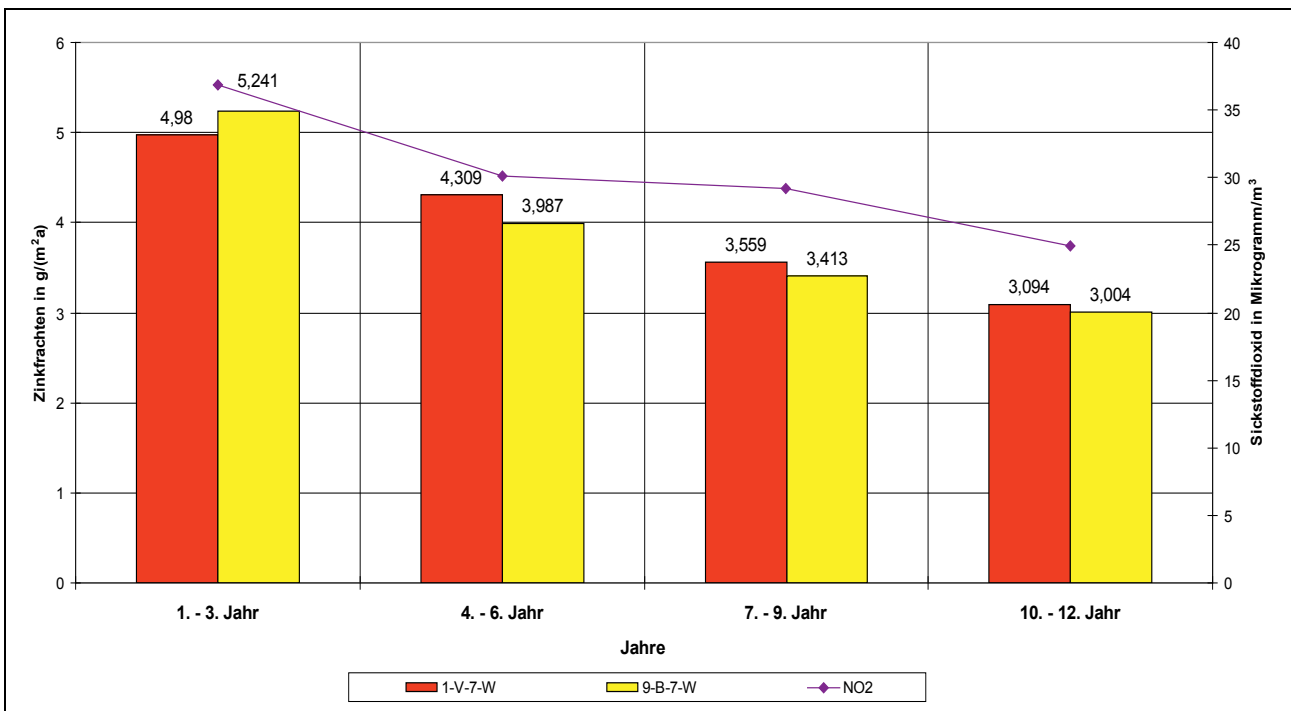
#### Versuchsflächen 5-V-45-W und 13-B-45-W (Versuchsdauer 4710 Tage, rd. 12,9 Jahre)

Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)    Abbildung 100                      Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)    Abbildung 101  
 Stickoxide (NO<sub>x</sub>)        Abbildung 102

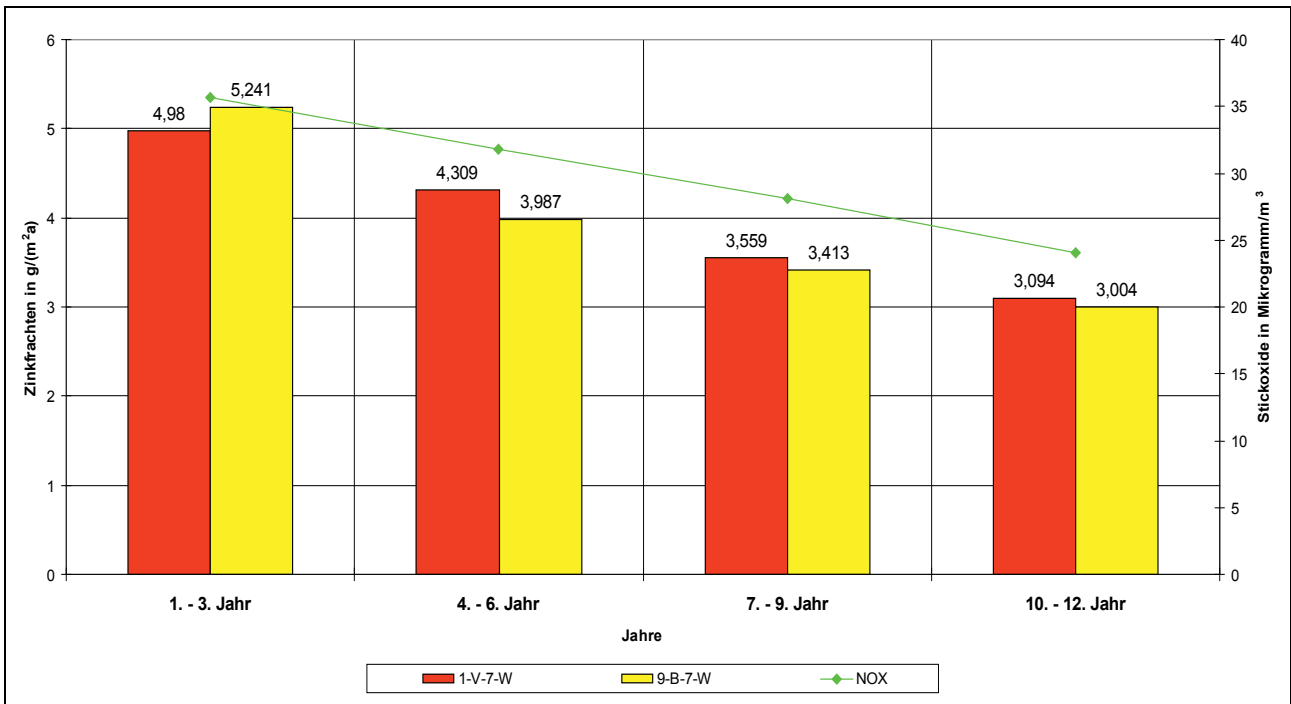




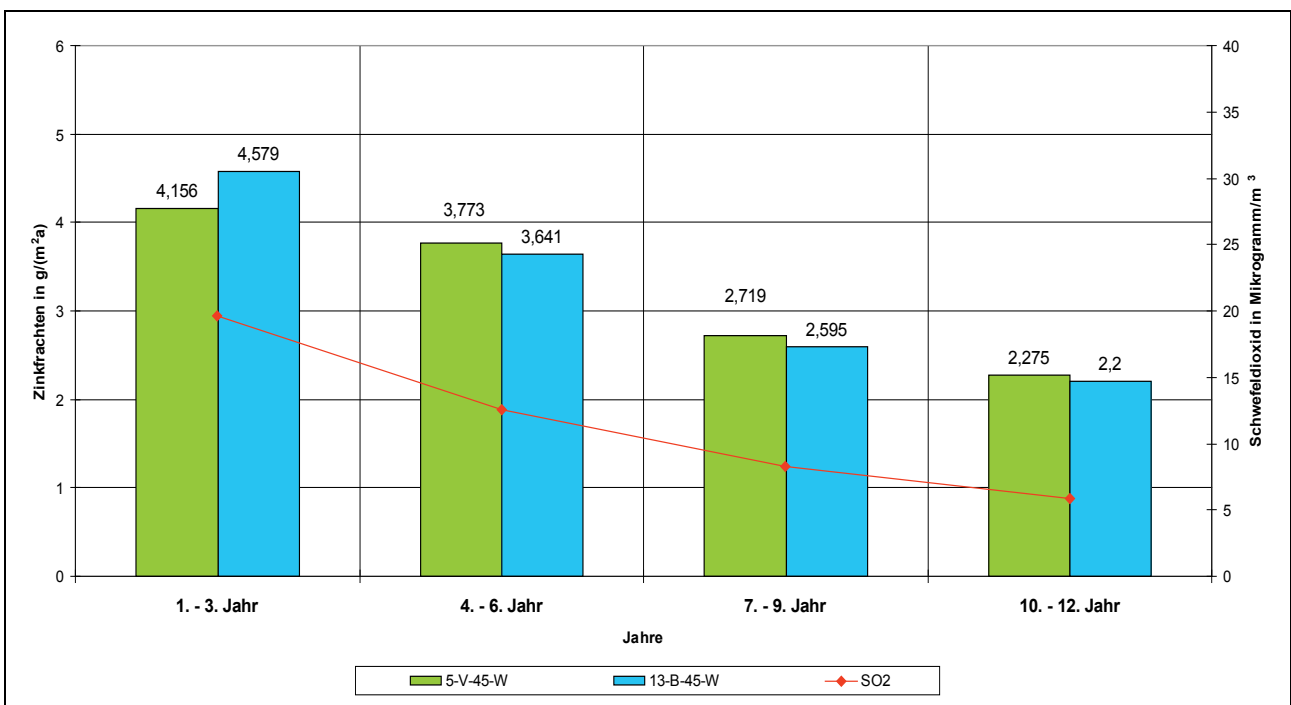
**Abbildung 97:** Versuchsflächen 1-V-7-W und 9-B-7-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Drei-Jahresmittelwerte für Zinkfrachten u. Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>).



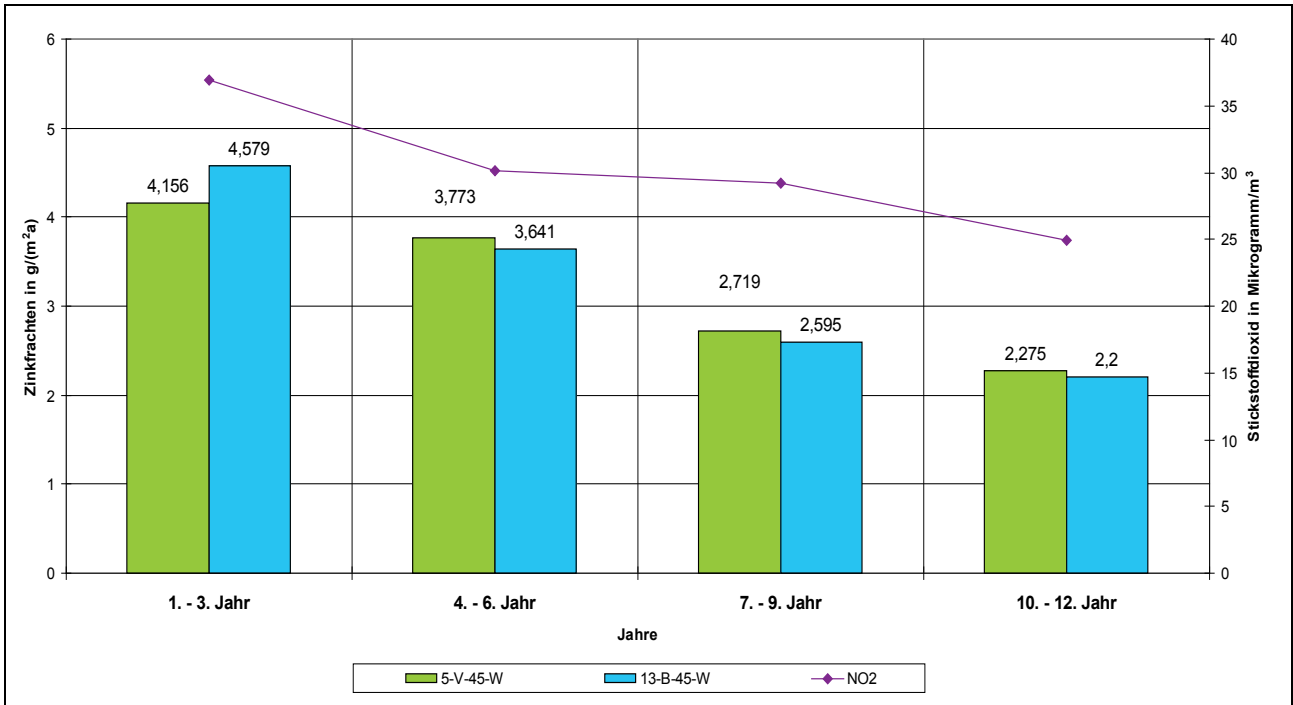
**Abbildung 98:** Versuchsflächen 1-V-7-W und 9-B-7-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Drei-Jahresmittelwerte für Zinkfrachten u. Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>).



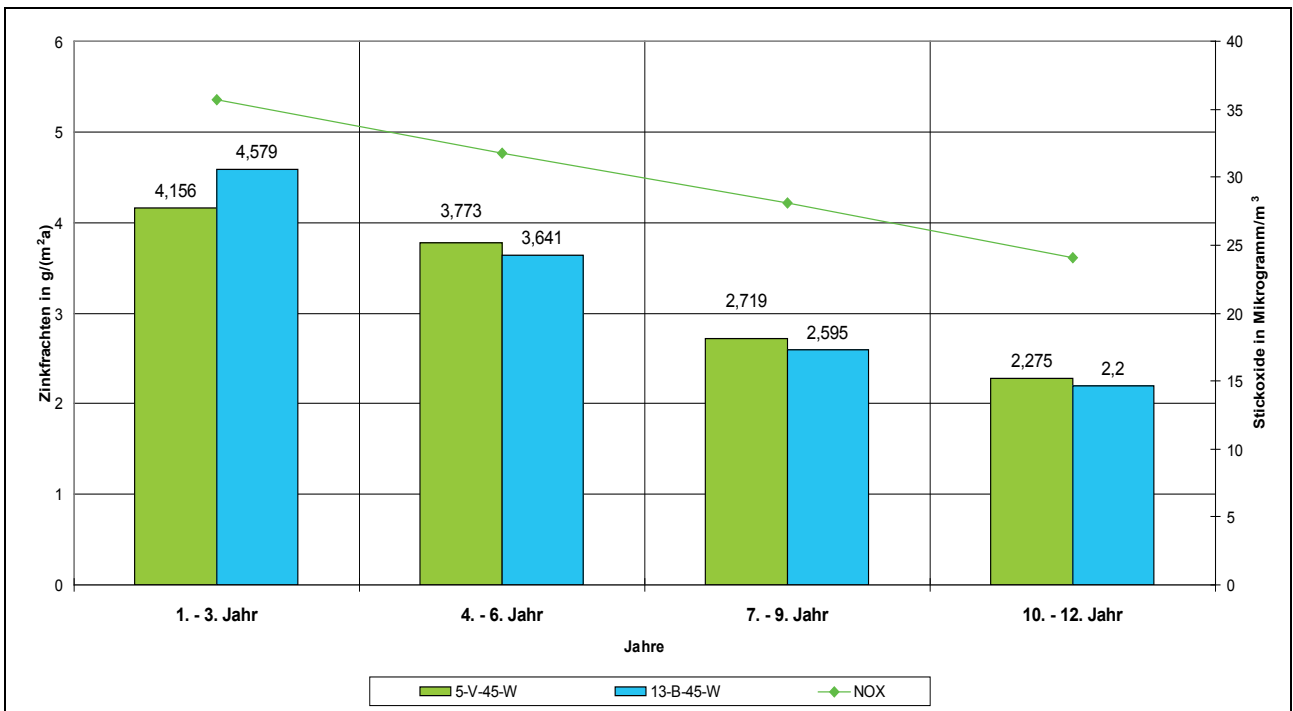
**Abbildung 99:** Versuchsflächen 1-V-7-W und 9-B-7-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Drei-Jahresmittelwerte für Zinkfrachten u. Stickoxide (NO<sub>x</sub>).



**Abbildung 100:** Versuchsflächen 5-V-45-W und 13-B-45-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Drei-Jahresmittelwerte für Zinkfrachten u. Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>).



**Abbildung 101:** Versuchsflächen 5-V-45-W und 13-B-45-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Drei-Jahresmittelwerte für Zinkfrachten u. Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>).



**Abbildung 102:** Versuchsflächen 5-V-45-W und 13-B-45-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung der Drei-Jahresmittelwerte für Zinkfrachten u. Stickoxide (NO<sub>x</sub>).

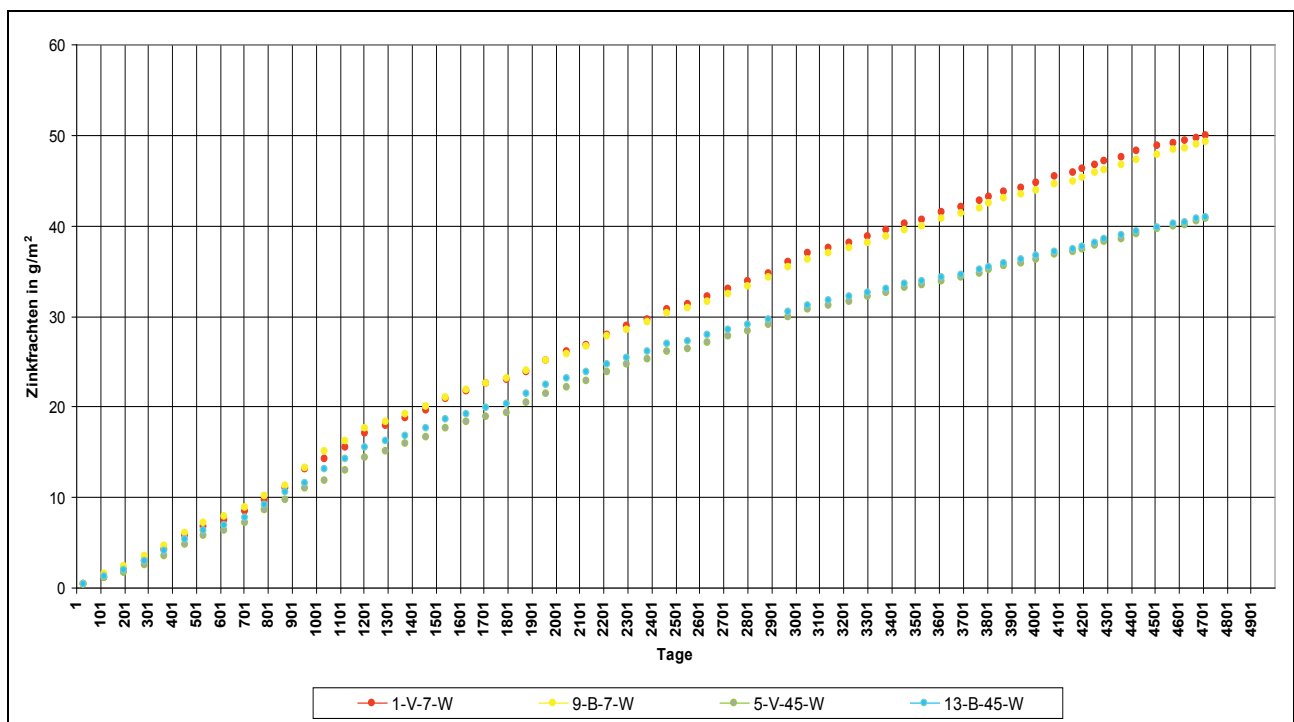
### 5.1.10 Zusammenhang zwischen Zinkfrachten und Dachneigung Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003

Die Gruppe des Freibewitterungsversuchs umfasst die folgenden vier Dachflächen:

**1-V-7-W / 9-B-7-W** 7° geneigte Flächen, „vorbewittert blaugrau“ (V) und „walzblank“ (B),  
und

**5-V-45-W / 13-B-45-W** 45° geneigte Flächen, „vorbewittert blaugrau“ (V) und „walzblank“ (B).

Der „Verlauf“ der Addition der Zinkfrachten für die o. a. Versuchsflächen aus den einzelnen Perioden des ersten und zweiten Versuchsabschnitts ist in Abbildung 103 grafisch dargestellt.



**Abbildung 103** Versuchsflächen 1-V-7-W / 9-B-7-W / 5-V-45-W / 13-B-45-W.  
Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
Addition der Zinkfrachten aus den einzelnen Perioden.

Es zeigt sich auch in dieser Darstellung deutlich, dass die 7° geneigten Versuchsflächen - aufgrund der größeren relativen Auffangfläche für Niederschläge und für nasse und trockene Depositionen von Luftschadstoffen - größere Zinkfrachten aufweisen, als die unter 45° geneigten Versuchsfläche.

Es ergeben sich für den gesamten Untersuchungszeitraum (4710 Tage bzw. rd. 12,9 Jahre) die in der Abbildung 104 aufgeführten Werte.

<b>Zinkfrachten der 7° und 45° geneigten Versuchsflächen</b>		
<b>27.11. 1990 bis 19.10.2003 - (4710 Tage bzw. rd. 12,9 Jahre)</b>		
<b>Fläche</b>	<b>Gesamtwert</b>	<b>Jahreswerte grafisch dargestellt</b>
<b>1-V-7-W</b>	<b>50,006 g/m<sup>2</sup></b>	Abbildung 73
<b>9-B-7-W</b>	<b>49,332 g/m<sup>2</sup></b>	Abbildung 74
<b>Mittelwert für die 7° geneigten Versuchsflächen: 49,669 g/m<sup>2</sup></b>		
<b>5-V-45-W</b>	<b>40,742 g/m<sup>2</sup></b>	Abbildung 76
<b>13-B-45-W</b>	<b>40,957 g/m<sup>2</sup></b>	Abbildung 77
<b>Mittelwert für die 45° geneigten Versuchsflächen: 40,850 g/m<sup>2</sup></b>		

**Abbildung 104:** *Versuchsflächen 7° und 45° geneigt.*  
*Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.*  
*Gesamtwerte der Zinkfrachten.*

Der Vergleich zwischen den 7° und 45° geneigten Flächen ergibt eine Differenz von 8,819 g/m<sup>2</sup>, d. h. die 7° geneigten Versuchsflächen weisen im Untersuchungszeitraum von rd. 12,9 Jahren eine um 21,6 % größere Zinkfracht auf als die unter 45° geneigten Versuchsflächen. Der Unterschied zwischen den walzblanken Versuchsflächen (B) beträgt 8,375 g/m<sup>2</sup> (20,5 %). Der Unterschied zwischen den vorbewittert blaugrauen Versuchsflächen (V) beträgt 9,264 g/m<sup>2</sup> (22,7 %). In Abbildung 105 werden die Differenzen der Zinkfrachten zwischen den vorbewittert blaugrauen 7° und 45° geneigten Versuchsflächen und zwischen den walzblanken 7° und 45° geneigten Versuchsflächen für die einzelnen Perioden der 12 ganzen Versuchsjahre ermittelt.

<b>Differenzen der Zinkfrachten zwischen den 7° und 45° geneigten Flächen</b>		
<b>Periode</b>	<b>Differenz [g/m<sup>2</sup>]</b> <b>1-V-7-W - 5-V-45-W</b>	<b>Differenz [g/m<sup>2</sup>]</b> <b>9-B-7-W - 13-B-45-W</b>
1. Jahr	4,234 - 3,553 = 0,681	4,716 - 4,078 = 0,638
2. Jahr	4,846 - 4,319 = 0,527	4,759 - 4,354 = 0,405
3. Jahr	5,860 - 4,608 = 1,252	6,249 - 5,306 = 0,943
4. Jahr	4,740 - 4,186 = 0,554	4,339 - 3,935 = 0,404
5. Jahr	3,962 - 3,441 = 0,521	3,717 - 3,390 = 0,327
6. Jahr	4,223 - 3,693 = 0,530	3,905 - 3,598 = 0,307
7. Jahr	3,418 - 2,634 = 0,784	3,169 - 2,562 = 0,607
8. Jahr	4,371 - 3,316 = 1,055	4,224 - 3,074 = 1,150
9. Jahr	2,887 - 2,208 = 0,679	2,847 - 2,149 = 0,698
10. Jahr	3,219 - 2,073 = 1,146	3,025 - 1,953 = 1,072
11. Jahr	3,040 - 2,369 = 0,671	3,104 - 2,323 = 0,781
12. Jahr	3,022 - 2,381 = 0,641	2,882 - 2,323 = 0,559

**Abbildung 105:** *Versuchsflächen 7° und 45° geneigt.*  
*Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.*  
*Differenzen der Zinkfrachten.*

Die Differenz der Mittelwert aus zwölf Jahren für die **vorbewittert blaugrauen (V)** Versuchsflächen beträgt 0,753 g/m<sup>2</sup>.

Die Differenz der Mittelwert aus zwölf Jahren für die **walzblanken (B)** Versuchsflächen beträgt 0,658 g/m<sup>2</sup>.



Mehrere Ursachen kommen für den erhöhten Zinkverlust der 7° geneigten Dachflächen in Frage. Nicht allein die Niederschlagsmenge, die über die Metalloberfläche abläuft, ist für den Korrosionsverlauf und damit auch für die Größe der Zinkfrachten entscheidend, sondern u. a. auch die Befeuchtungsdauer der Metalloberfläche.

Die Verweildauer von Feuchtigkeitsfilmen ist auf den 7° geneigten Flächen immer größer als auf den unter 45° geneigten Flächen (hier z. B. durch die größere Ablaufneigung von Tauwasser). Hinzu kommt der Einfluss von verschiedenen Wetterlagen auf die Trocknungsgeschwindigkeit von Feuchtigkeitsfilmen. Hierzu gehört auch die geringere Anströmfläche für Wind bei den unter 7° geneigten Dachflächen.

Die Versuchsflächen stellen auch Auffangflächen für trocken und nass deponierte Luftschadstoffe (Staub, Sulfat, Nitrat, Chlorid, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) dar. Somit kommt es bei den unter 7° geneigten Versuchsflächen zu vermehrter Reaktion mit der Metalloberfläche bzw. den festanhaftenden Korrosionsprodukten und damit zu größeren Zinkfrachten.

Eine genaue Ermittlung der einzelnen Einflussfaktoren auf die Größenordnung der Zinkfrachten war im vorliegenden Freibewitterungsversuch nicht vorgesehen. Hierzu sind umfangreiche messtechnische Untersuchungen erforderlich, wie z. B. Messungen mit Befeuchtungssensoren, Oberflächentemperaturfühlern und Depositionssammlern (nass/trocken).

**5.1.11 Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit -  
walzblank und vorbewittert blaugrau  
Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003**

Im Rahmen des Dachflächen-Freibewitterungsversuchs wurden Dachdeckungen aus Titanzink mit folgenden Oberflächenbeschaffenheiten untersucht:

- o „**vorbewittert blaugrau**“ (V) (7° und 45° geneigte Dachflächen),  
und
- o „**walzblank**“ (B) (7° und 45° geneigte Dachflächen).

Nachfolgend werden in Abbildung 106 die Differenzen der Zinkfrachten der 7° geneigten Versuchsflächen und in Abbildung 107 die der 45° geneigten Flächen mit den Oberflächenbeschaffenheiten „vorbewittert blaugrau“ und „walzblank“, aufgeführt.

<u>7° geneigte Versuchsflächen</u> Oberflächen „vorbewittert blaugrau“ (V) und „walzblank“ (B) Differenz zwischen den Jahreswerten der Zinkfrachten			
Periode	1-V-7-W g/(m <sup>2</sup> · a)	9-B-7-W g/(m <sup>2</sup> · a)	Differenz g/m <sup>2</sup>
1. Jahr	4,234	4,716	0,482
2. Jahr	4,846	4,759	0,087
3. Jahr	5,860	6,249	0,389
4. Jahr	4,740	4,339	0,401
5. Jahr	3,962	3,717	0,245
6. Jahr	4,223	3,905	0,318
7. Jahr	3,418	3,169	0,249
8. Jahr	4,371	4,224	0,147
9. Jahr	2,887	2,847	0,040
10. Jahr	3,219	3,025	0,194
11. Jahr	3,040	3,104	0,064
12. Jahr	3,022	2,882	0,140
13. Jahr <sup>1)</sup>	2,183	2,396	0,213 <sup>1)</sup>
<b>Gesamt (4710 Tage)</b>	<b>50,006 g/m<sup>2</sup></b>	<b>49,332 g/m<sup>2</sup></b>	<b>0,674 g/m<sup>2</sup></b>
<b>Erläuterung:</b>			
1) Kein volles Jahr, nur 327 Tage.			

**Abbildung 106:** *Versuchsflächen 7° geneigt.  
Oberflächen „vorbewittert blaugrau“ und „walzblank“.  
Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
Differenzen der Zinkfrachten.*

Die Auswertung der Versuchsflächen über den gesamten Versuchszeitraum von rd. 12,9 Jahren ergibt, dass die vorbewittert blaugraue Versuchsfläche 1-V-7-W um 0,674 g/m<sup>2</sup> größere Zinkfrachten aufweist als die walzblanke Versuchsfläche.

<b>45° geneigte Versuchsflächen</b>			
<b>Oberflächen „vorbewittert blaugrau“ (V) und „walzblank“ (B)</b>			
<b>Differenz zwischen den Jahreswerten der Zinkfrachten</b>			
<b>Periode</b>	<b>5-V-45-W g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>13-B-45-W g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>Differenz g/m<sup>2</sup></b>
1. Jahr	3,553	<u>4,078</u>	<u>0,525</u>
2. Jahr	4,319	<u>4,354</u>	<u>0,035</u>
3. Jahr	4,608	<u>5,306</u>	<u>0,698</u>
4. Jahr	<u>4,186</u>	3,935	0,251
5. Jahr	<u>3,441</u>	3,390	0,051
6. Jahr	<u>3,693</u>	3,598	0,095
7. Jahr	<u>2,634</u>	2,562	0,072
8. Jahr	<u>3,316</u>	3,074	0,242
9. Jahr	<u>2,208</u>	2,149	0,059
10. Jahr	<u>2,073</u>	1,953	0,120
11. Jahr	<u>2,369</u>	2,323	0,046
12. Jahr	<u>2,381</u>	2,323	0,058
13. Jahr <sup>1)</sup>	<u>1,962</u>	1,915	0,047 <sup>1)</sup>
<b>Gesamt (4710 Tage)</b>	<b>40,742 g/m<sup>2</sup></b>	<b>40,957 g/m<sup>2</sup></b>	<b>0,215 g/m<sup>2</sup></b>
<b>Erläuterung:</b>			
1) Kein volles Jahr, nur 327 Tage.			

**Abbildung 107:** *Versuchsflächen 45° geneigt.  
Oberflächen „vorbewittert blaugrau“ und „walzblank“.  
Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
Differenzen der Zinkfrachten.*

Der Unterschied in der Differenz der Jahreswerte aus dem gesamten Versuchszeitraum ist bei den 7° geneigten Flächen größer als bei den 45° geneigten Flächen. Dieser „Wechsel“ in Bezug auf die größere Zinklässigkeit zwischen den Jahren mit geringen Differenzen (zweite Nachkommastelle) kann durch den nachfolgend erläuterten Einfluss erklärt werden.

Bei der Ermittlung der Jahreswerte (z. B. 27.11.1996 bis 26.11.1997) mussten Messergebnisse der jeweiligen Periode, die den Jahreswechsel enthielt, aufgesplittet werden. Die Aufspaltung erfolgte in der Form, dass die in der Periode ermittelte Zinkfracht im Verhältnis der in den aufgesplitteten Periodenzeiten gefallenen Niederschläge auf die beiden Jahre aufgeteilt wurde. Dabei konnte nicht berücksichtigt werden, wie in den beiden Periodenteilen der Niederschlag gefallen ist. Dadurch könnten sich im Vergleich der Jahre kleinere „Ungenauigkeiten“ eingestellt haben.

Diese lassen sich durch Auswertungen über längere Zeitabschnitte minimieren, z. B. einer Mittelwertbildung nach jeweils drei Jahren. Dies soll nachfolgend geschehen, siehe die Abbildungen 108 und 109. Die Auswertung der Versuchsflächen über den gesamten Versuchszeitraum von rd. 12,9 Jahren ergibt, dass die walzblanke Versuchsfläche 13-B-45-W um 0,215 g/m<sup>2</sup> größere Zinkfrachten aufweist als die vorbereitete blaugraue Versuchsfläche 5-V-45-W.

<b><u>7° geneigte Versuchsf Flächen</u></b>			
<b>Oberflächen „vorbewittert blaugrau“ (V) und „walzblank“ (B)</b>			
<b>Differenz der Jahresmittelwerte der Zinkfrachten für die Perioden</b>			
<b>1. bis 3. Jahr - 4. bis 6. Jahr - 7. bis 9. Jahr - 10. bis 12. Jahr und insgesamt</b>			
<b>Periode</b>	<b>1-V-7-W g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>9-B-7-W g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>Differenz g/m<sup>2</sup></b>
1. - 3. Jahr	4,980	<u>5,241</u>	<u>0,261</u>
4. - 6. Jahr	<u>4,309</u>	3,987	0,322
7. - 9. Jahr	<u>3,559</u>	3,413	0,146
10. - 12. Jahr	<u>3,094</u>	3,004	0,090
<b>Gesamt (4710 Tage)</b>	<b><u>3,875</u></b>	<b>3,823</b>	<b>0,052</b>
<b>Anmerkung:</b> Die o. a. Drei-Jahreswerte sind in Abbildung 79 dargestellt.			

**Abbildung 108:** *Versuchsf Flächen 7° geneigt.*  
Oberflächen „vorbewittert blaugrau“ und „walzblank“.  
Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
Differenz der Zinkfrachten (Mittelwerte aus Drei-Jahresperioden).

Diese Auswertung zeigt, dass nur in der Mittelwertbildung der ersten drei Jahre die walzblanken Versuchsf Fläche um 0,261 g/m<sup>2</sup> größere Zinkfrachten aufweist als die vorbereitete blaugraue Fläche. Danach wechselt das Bild: Die Zinkfrachten der vorbereiteten blaugrauen Fläche sind jetzt größer als die der walzblanken Fläche, allerdings werden die Differenzen kleiner (0,322 / 0,146 / 0,090 / 0,052 g/m<sup>2</sup>).

<b><u>45° geneigte Versuchsf Flächen</u></b>			
<b>Oberflächen „vorbewittert blaugrau“ (V) und „walzblank“ (B)</b>			
<b>Differenz der Jahresmittelwerte der Zinkfrachten für die Perioden</b>			
<b>1. bis 3. Jahr - 4. bis 6. Jahr - 7. bis 9. Jahr - 10. bis 12. Jahr und insgesamt</b>			
<b>Periode</b>	<b>5-V-45-W g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>13-B-45-W g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>Differenz g/m<sup>2</sup></b>
1. - 3. Jahr	4,160	<u>4,579</u>	0,419
4. - 6. Jahr	<u>3,773</u>	3,641	0,132
7. - 9. Jahr	<u>2,719</u>	2,595	0,124
10. - 12. Jahr	<u>2,275</u>	2,200	0,075
<b>Gesamt (4710 Tage)</b>	<b>3,157</b>	<b><u>3,174</u></b>	<b><u>0,017</u></b>
<b>Anmerkung:</b> Die o. a. Drei-Jahreswerte sind in Abbildung 81 grafisch dargestellt.			

**Abbildung 109:** *Versuchsf Flächen 45° geneigt.*  
Oberflächen „vorbewittert blaugrau“ und „walzblank“.  
Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
Differenz der Zinkfrachten (Mittelwerte aus Drei-Jahresperioden).

Diese Art der Auswertung zeigt, dass in der Mittelwertbildung der ersten drei Jahre die walzblanken Versuchsfläche um  $0,419 \text{ g/m}^2$  größere Zinkfrachten aufweist als die vorbewitterte blaugraue Fläche.

Danach wechselt das Bild: Die Zinkfrachten der vorbewitterten blaugrauen Fläche sind für die nächsten drei Mittelwertbildungen größer als die der walzblanken Fläche, allerdings werden auch hier die Differenzen immer kleiner ( $0,132 - 0,124 - 0,075 - 0,017 \text{ g/m}^2$ ).

In der Auswertung „Gesamt-Versuchsdauer“ weist die walzblanken Fläche die größeren Zinkfrachten auf, allerdings mit einer Differenz von nur  $0,017 \text{ g/m}^2$ . Diese „Umkehr“ liegt in der großen Differenz ( $0,419 \text{ g/(m}^2 \cdot \text{a)}$ ) der ersten drei Jahre begründet.

Es kann festgestellt werden, dass nach ungefähr 12 bis 13 Jahren Freibewitterung - im Hinblick auf den hier untersuchten Einfluss - für die  $45^\circ$  geneigten Versuchsflächen ebenfalls eine Angleichung der Zinkfrachten stattgefunden hat.

Es fällt auf, dass bei beiden Dachneigungsgruppen -  $7^\circ$  und  $45^\circ$  - in den ersten drei Jahren die vorbewitterten blaugrauen Versuchsflächen die kleinsten Zinkfrachten aufweisen. Dies dürfte auf den Einfluss der im Werk vorgenommenen „Vorbewitterung“ des Titanzinks (die „künstlich“ erzeugte Patina) zurückzuführen sein.

Diese Vorbehandlung verringert in den ersten drei Jahren der Freibewitterung - die große Differenz aus dem ersten Jahr wirkt sich dominant noch auf die Mittelwertbildung von drei Jahren aus - den Korrosionsvorgang bzw. die Größenordnung der Zinkfrachten.

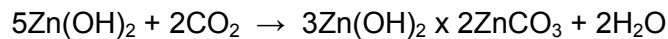
Danach tritt ein Wechsel ein: Nach den ersten drei Versuchsjahren treten bei den Versuchsflächen mit der Oberflächenbeschaffenheit „vorbewittert blaugrau“ die größeren Werte für die Zinkfrachten auf. Dies trifft für beide Dachneigungsgruppen ( $7^\circ$  und  $45^\circ$ ) zu.

Die Erklärung hierfür ist, dass bei der „natürlich“ ausgebildeten Patina der walzblanken Flächen, die über die Freibewitterung entstandenen Deckschichten offensichtlich stärker an der metallischen Oberfläche haften, bzw. deren Löslichkeit geringer ist, als bei den Flächen mit bereits „künstlich“ aufgetragenen Deckschichten durch den Prozess der Vorbewitterung im Werk.

Diese Einschätzung wird auch durch die Ergebnisse bei der Bestimmung der fest anhaftenden Korrosionsprodukte (siehe Dissertation von B. Lehmann [Lit. 22], Seite 144 ff.) bestätigt. Die Deckschichten der steil und flach geneigten „vorbewittert blaugrauen“ Versuchsflächen hatten nach einer dreijährigen Versuchsdauer geringere Massen als die entsprechenden walzblanken Versuchsflächen; siehe hierzu auch den nachfolgenden Abschnitt 5.1.12.

### 5.1.12 Masse der anhaftenden Korrosionsprodukte Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003

Bei der atmosphärischen Korrosion von Titanzink entsteht im Bereich mittlerer pH-Werte der Atmosphäre zuerst das Korrosionsprodukt Zinkhydroxid, welches nur eine relativ geringe Schutzwirkung besitzt. Mit dem Kohlendioxid aus der Atmosphäre - an der Oberseite der Titanzinkdeckung bei einer Freibewitterung immer gegeben - setzt sich das Zinkhydroxid zu Zinkcarbonat um:



Das Zinkcarbonat ist schwerer löslich als das Zinkhydroxid und besitzt eine relativ gute Schutzwirkung. Die Deckschichten aus basischem Zinkcarbonat sind allerdings bereits in verdünnten Säuren und in Laugen löslich. Die sonst schwer löslichen Carbonate werden bei Säurezutritt in leicht lösliche Zinksalze „umgewandelt“.

An der Atmosphäre erfolgt der „Start“ der Bildung schützender, fest anhaftender Deckschichten aus Zinkcarbonat, die Patina, je nach dem örtlich vorhandenen Mikroklima an feuchter Luft innerhalb weniger Tage, an trockener Luft kann es mehrere Wochen dauern. Anmerkung: Die Patina besteht nicht nur aus Zink, sondern enthält noch andere Elemente in verschiedenen Verbindungen, siehe auch Abschnitt 5.4.2, Abbildung 139.

Liegen korrosive Verhältnisse vor, erfolgt ein geringer Abtrag der Schutzschicht (Patina) durch den Niederschlag, über die so genannte Abschwemmrate (Zinkfracht). Die Schutzschicht wird dabei aus dem metallischen Zinkuntergrund ständig erneuert. Dieser Vorgang führt zu einer Verlangsamung der Korrosion. Zu Beginn der Freibewitterung ist die Korrosionsrate deutlich größer als die Abschwemmrate.

Dieses Verhältnis stabilisiert sich im Laufe der Zeit. Nach mehreren Jahren gleichen sich die Korrosion- und Abschwemmrate (runoff rate) nahezu an. Jetzt werden genau so viele Korrosionsprodukte aus der Patina abgeschwemmt, wie durch den Korrosionsprozess am metallischen Zink nachgebildet werden. Vereinfachend ausgedrückt: Die Abnahme der Masse der fest anhaftenden Korrosionsprodukte über die Zeit erfolgt nicht linear, sondern in etwa der „Kurve“ der Abnahme der Masse der Zinkfrachten.

Die Bestimmung dieses Zeitpunktes (Angleichungsprozess) ist schwierig, da er u. a. von den standortspezifischen klimatischen Randbedingungen abhängt. Faller, Leuenberger-Minger und Richner berichten in [Lit. 23] und [Lit. 9] über den Anteil des korrodierten Zinks - als Mittelwert aller Stationen aus dem Untersuchungsprogramm in der Schweiz - welches nach vier Jahren Freibewitterung auf der Oberfläche festgestellt werden konnte. Auf der Oberfläche des Titanzinks verblieben demnach etwa 30 bis 40 % der Korrosionsprodukte und bildeten die Patina. Über die Dichte und die Zusammensetzung (siehe hierzu auch Abschnitt 5.4.2) der festanhaftenden Korrosionsprodukte wurden keine Angaben gemacht.

Die genaue Bestimmung des Zeitraums in dem die Bildung der Schutzschicht „abgeschlossen“ ist, kann nicht angegeben werden, da hierbei komplexe Wirkungsmechanismen des jeweiligen Standortes zu beachten sind, wie Witterungseinflüsse, Orientierung der Dach- und Fassadenflächen



(Wetterseite) und den Schadstoffgehalten der Luft. Daraus folgt auch, dass sich die Eigenschaften der Schutzschicht (Masse der anhaftenden Korrosionsprodukte, der Zusammensetzung und die Dichte der Schutzschicht) im Laufe der Zeit in Abhängigkeit von der atmosphärischen Beanspruchung durchaus ändern können.

In [Lit. 22] wurden auch die fest anhaftenden Korrosionsprodukte für die nicht weiter in das Untersuchungsprogramm eingebundenen Dachflächen ermittelt. Nach Beendigung des ersten Versuchsabschnittes - nach drei Jahren - fand eine Entnahme von Proben aus den walzblanken und vorbewittert blaugrauen Versuchflächen der Nord-, Ost- und Südorientierung statt.

Von den nach Westen orientierten Flächen wurden **keine** Proben entnommen, da sie „ungestört“ innerhalb der Freibewitterungs-Versuchreihe weiter untersucht werden sollten. Jeder Versuchfläche wurden sechs Proben in der Größe von jeweils 64 cm<sup>2</sup> entnommen und zwar jeweils zwei aus den Bereichen „Oben“, „Mitte“ und „Traufe“. Die Bestimmung der fest anhaftenden Korrosionsprodukte erfolgte durch das Institut für Anorganische Chemie der Universität Hannover. Die entsprechenden Arbeitsschritte werden nachfolgend kurz vorgestellt:

- o Die Proben wurden mit Wasser und anschließend mit Ethanol gereinigt.
- o Es erfolgte eine 10-minütige Trocknung bei 50 °C mit einer 10-minütigen Abkühlung im Exsikator.
- o Danach wurde eine Wägung bis zur Gewichtskonstanz vorgenommen.
- o Die Proben wurden danach in eine 10-prozentige Ammoniumchloridlösung (NH<sub>4</sub>Cl) bei 70 °C für die Dauer von fünf Minuten eingelegt.
- o Nach erneuter Trocknung, Abkühlung und Wägung konnte über die Differenzbildung zur ersten Wägung die Masse der anhaftenden Korrosionsprodukte bestimmt werden.

Vorher wurde eine Reihe von „Blindproben-Untersuchungen“ durchgeführt. Sie ergaben, dass mit Hilfe des oben beschriebenen Verfahrens nur die festanhaftenden Korrosionsprodukte abgelöst und das metallische Zink nicht angegriffen wurde. In Abbildung 110 sind die Ergebnisse für die fest anhaftenden Korrosionsprodukte aus dem ersten Versuchsabschnitt aufgeführt, nach [Lit.22].

**Anmerkung:**

Eine REM- und eine EDX-Untersuchung wurde bei der ersten Bestimmung nicht durchgeführt; siehe hierzu die Ausführungen in Abschnitt 5.4.2, so dass diese Werte für die Bestimmung des Gesamtabtrags (Zinkfrachten plus **Zinkanteil** aus den festanhaftenden Korrosionsprodukten) nicht verwendet werden können.

Sie werden dennoch weiter betrachtet um Aussagen über die Entwicklung der festanhaftenden Korrosionsprodukte im Verhältnis zu den Zinkfrachten machen zu können (Masseangaben).

**Fest anhaftende Korrosionsprodukte Standort A - erster Versuchsabschnitt**  
**27.11.1990 bis 21.12.1993 (3,069 Jahre)**

**Versuchsflächen 7° geneigt**

<b><u>walzblanke Versuchsflächen</u></b>	<b>g/m<sup>2</sup></b>	
12-B-7-S	13,80	
11-B-7-N	13,54	<b>Mittelwert: 13,0 g/m<sup>2</sup></b>
10-B-7-O	11,66	
<b><u>vorbewitterte blaugraue Versuchsflächen</u></b>	<b>g/m<sup>2</sup></b>	
4-V-7-S	10,81	
3-V-7-N	10,16	<b>Mittelwert: 10,4 g/m<sup>2</sup></b>
2-V-7-O	10,09	
<b>Mittelwert für die 7° geneigten Flächen - walzblank u. vorbewittert blaugrau: 11,7 g/m<sup>2</sup></b>		

**Versuchsflächen 45° geneigt**

<b><u>walzblanke Versuchsflächen</u></b>	<b>g/m<sup>2</sup></b>	
16-B-45-S	8,98	
15-B-45-N	12,76	<b>Mittelwert: 10,5 g/m<sup>2</sup></b>
14-B-45-O	9,64	
<b><u>vorbewitterte blaugraue Versuchsflächen</u></b>	<b>g/m<sup>2</sup></b>	
8-V-45-S	9,38	
7-V-45-N	8,46	<b>Mittelwert: 8,9 g/m<sup>2</sup></b>
6-V-45-O	8,85	
<b>Mittelwert für die 45° geneigten Flächen - walzblank u. vorbewittert blaugrau: 9,7 g/m<sup>2</sup></b>		

**Abbildung 110:** *Versuchsflächen 7° und 45° geneigt.  
 Standort A. Erster Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 21.12.1993.  
 Fest anhaftende Korrosionsprodukte (Patina) für die ersten drei Versuchsjahre, nach [Lit.22].*

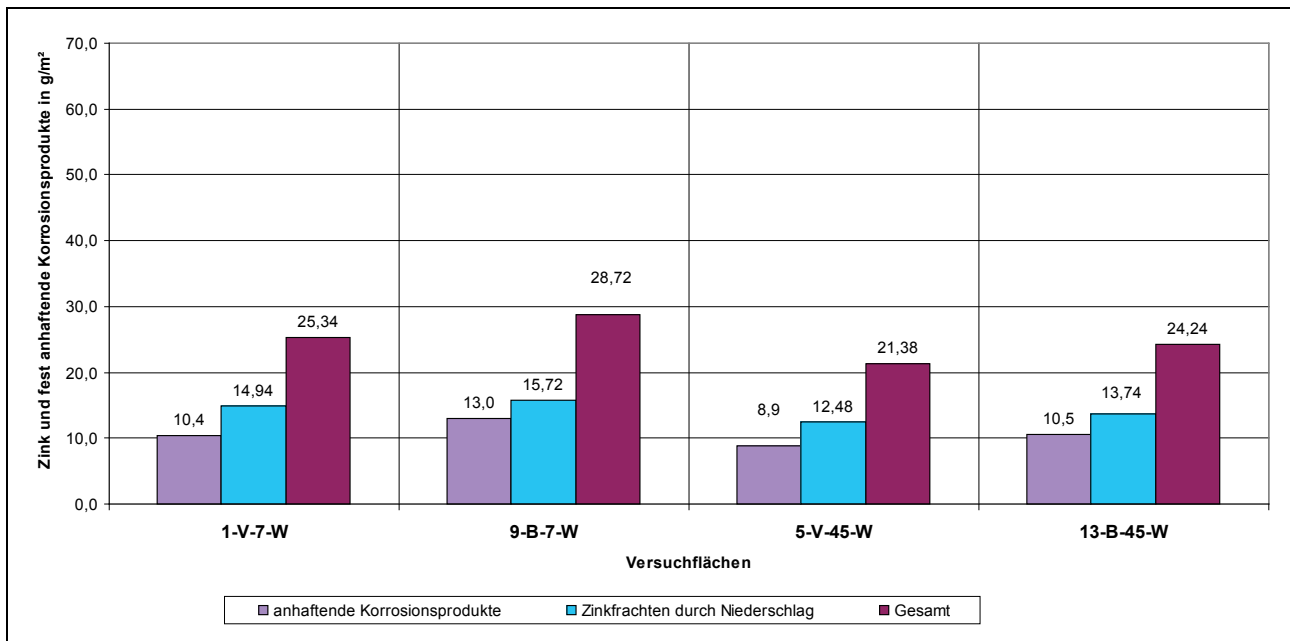
Für die Betrachtung der fest anhaftenden Korrosionsprodukte der weiter in das Untersuchungsprogramm eingebundenen Dachflächen aus dem ersten Versuchsabschnitt (1-V-7-W / 9-B-7-W / 5-V-45-W / 13-B-45-W) werden nachfolgend die Werte der fest anhaftenden Korrosionsprodukte nach den ersten drei Jahren des Untersuchungszeitraums als „Ersatz“ für die nach Westen orientierten Flächen verwendet.

Der Rückschluss von den 7° geneigten Flächen der Nord-, Ost- und Südorientierung auf die 7° geneigten Flächen der Westorientierung ist ohne Weiteres zulässig, da die geringe Dachneigung kaum einen Unterschied im Hinblick auf die Niederschlagsmengen und auch auf die Zinkfrachten der verschiedenen orientierten Dachflächen ergeben hat. Dies dürfte sich auch ohne weiteres auf die Ausbildung der fest anhaftenden Korrosionsprodukte übertragen lassen.

Der Rückschluss von den 45° geneigten Flächen der Nord-, Ost- und Südorientierung auf die 45° geneigten Flächen der Westorientierung beinhaltet dagegen eine gewisse „Unsicherheit“:

- o Für die nach Westen orientierten 45° geneigten Versuchsflächen wurden für die vorgenommene Auswertung als „Ersatz“ die Mittelwerte der nach Norden, Osten und Süden orientierten, 45° geneigten Versuchsflächen herangezogen.

- o Eine später mögliche Veränderung in der Größenordnung der festanhaftenden Korrosionsprodukte - in Bezug auf die Ermittlung nach drei Jahren - kann nicht ausgeschlossen werden. Dies gilt auch für die 7° geneigten Flächen.



**Abbildung 111:** *Versuchsflächen 7° und 45° geneigt. Standort A. Erster Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 21.12.1993. Grafische Darstellung der fest anhaftende Korrosionsprodukte, der Zinkfrachten und der Gesamtwerte.*

**Vergleich mit den von Faller, Leuenberger-Minger u. Richner in der Schweiz ermittelten Werten:**

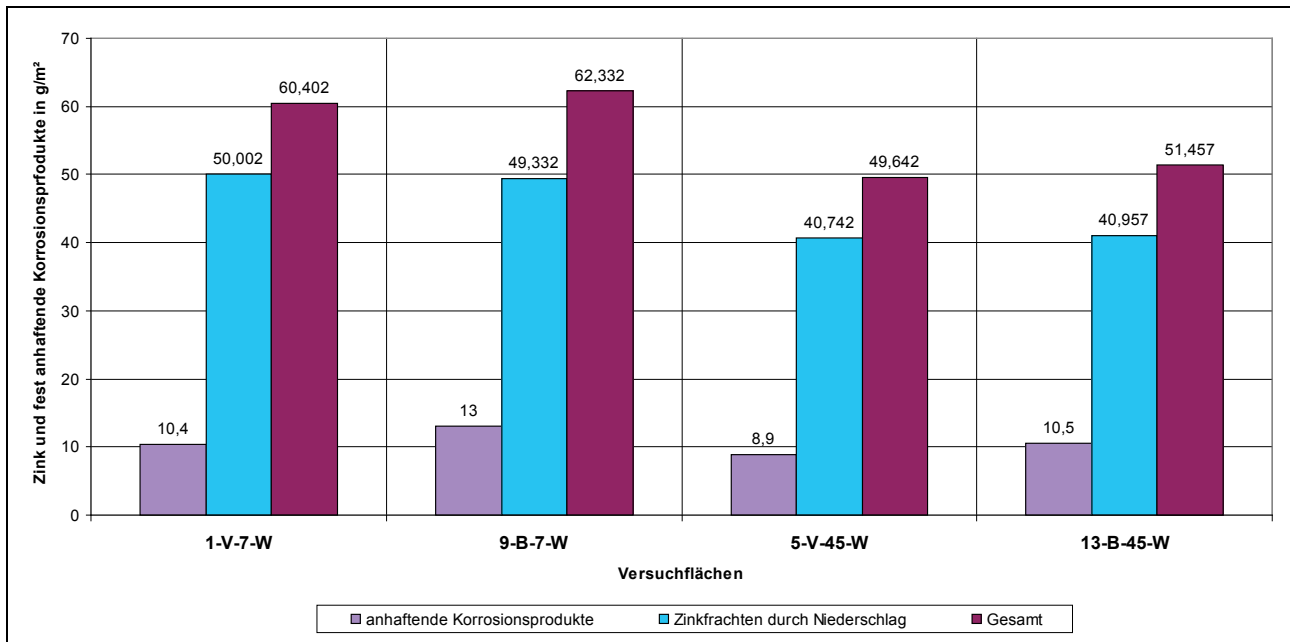
**o Untersuchungsprogramm in der Schweiz [Lit. 9] und [Lit. 23]**

Nach vier Jahren Freibewitterung verblieben auf der Oberfläche des Titanzinks etwa 30 bis 40 % fest anhaftende Korrosionsprodukte und bildeten die Patina.

**o Untersuchungsprogramm in Hannover Herrenhausen**

Nach drei Jahren Freibewitterung (1990 bis 1993) verblieben auf der Oberfläche des Titanzinks folgende Werte für die fest anhaftenden Korrosionsprodukte (Werte aus Abbildung 110 bzw. 111):

- Fläche 1-V-7-W: 10,4 g/m<sup>2</sup> → ergeben rd. 41 % der Korrosionsprodukte
  - Fläche 9-B-7-W: 13,0 g/m<sup>2</sup> → ergeben rd. 45 % der Korrosionsprodukte
  - Fläche 5-V-45-W: 8,9 g/m<sup>2</sup> → ergeben rd. 42 % der Korrosionsprodukte
  - Fläche 13-B-45-W: 10,5 g/m<sup>2</sup> → ergeben rd. 43 % der Korrosionsprodukte
- Mittelwert für alle Flächen: rd. 43 %



**Abbildung 112:** Versuchsflächen 1-V-7-W / 9-B-7-W / 5-V-45-W / 13-B-45-W.  
 Standort A. Erster und zweiter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2003.  
 Grafische Darstellung, der fest anhaftenden Korrosionsprodukte (hier unter Verwendung der Werte der festanhaftenden Korrosionsprodukte aus den ersten drei Versuchsjahren), der Zinkfrachten und der Gesamtwerte.

Unter der Annahme eines nahezu gleich bleibenden „Grenzwertes“ für die fest anhaftenden Korrosionsprodukte ergeben sich für den ersten und zweiten Versuchsabschnitt (27.11.1990 bis 19.10.2003) für den Anteil der fest anhaftenden Korrosionsprodukte am „Gesamt“ folgende gerundete, prozentuale Werte; siehe auch Abbildung 112:

- o Fläche 1-V-7-W: 17 % - Fläche 9-B-7-W: 21 %
- o Fläche 5-V-45-W: 18 % - Fläche 13-B-45-W: 20 %.

#### **Gegenüberstellung der 7° geneigten Versuchsflächen 1-V-7-W und 9-B-7-W:**

- o Im Bereich der **Zinkfrachten** weist die vorbewitterte blaugraue Versuchsfläche den größeren Wert auf (50,006 zu 49,332 g/m<sup>2</sup>). Differenz: 0,674 g/m<sup>2</sup>. Mittelwert: 49,669 g/m<sup>2</sup>.  
 Werte aus einer Versuchsdauer von 4710 Tagen (rd. 12,9 Jahre).
- o Im Bereich der **fest anhaftenden Korrosionsprodukte** weist die walzblanke Versuchsfläche den größeren Wert auf (13,0 zu 10,4 g/m<sup>2</sup>). Differenz: 2,6 g/m<sup>2</sup>. Mittelwert: 11,7 g/m<sup>2</sup>.  
 Werte aus einer Versuchsdauer von 3,069 Jahren.
- o Im Bereich **„Gesamt“** weist die walzblanke Versuchsfläche den größeren Wert auf (62,332 zu 60,402 g/m<sup>2</sup>). Differenz: 1,93 g/m<sup>2</sup>. Mittelwert: 61,367 g/m<sup>2</sup>.  
 Werte aus einer Versuchsdauer von 4710 Tagen (rd. 12,9 Jahre, bzw. 3,069 Jahren).

### **Gegenüberstellung der 45° geneigten Versuchsflächen 5-V-45-W und 13-B-45-W:**

- o Im Bereich der **Zinkfrachten** weist die walzblanken Versuchsfläche den größeren Wert auf (40,957 zu 40,742 g/m<sup>2</sup>). Differenz: 0,215 g/m<sup>2</sup>. Mittelwert: 40,85 g/m<sup>2</sup>.  
Werte aus einer Versuchsdauer von 4710 Tagen (rd. 12,9 Jahre).
- o Im Bereich der **fest anhaftenden Korrosionsprodukte** weist die walzblanken Versuchsfläche den größeren Wert auf (10,5 zu 8,9 g/m<sup>2</sup>). Differenz: 1,6 g/m<sup>2</sup>. Mittelwert: 9,7 g/m<sup>2</sup>.  
Werte aus einer Versuchsdauer von 3,069 Jahren.
- o Im Bereich **„Gesamt“** weist die walzblanken Versuchsfläche den größeren Wert auf (51,457 zu 49,642 g/m<sup>2</sup>). Differenz: 1,815 g/m<sup>2</sup>. Mittelwert: 50,55 g/m<sup>2</sup>.  
Werte aus einer Versuchsdauer von 4710 Tagen (rd. 12,9 Jahre, bzw. 3,069 Jahren).

### **Gegenüberstellung 7° geneigte Versuchsflächen zu 45° geneigte Versuchsflächen, jeweils Mittelwerte aus den walzblanken und den vorbewittert blaugrauen Oberflächen:**

- o In allen drei Bereichen - Zinkfrachten, fest anhaftende Korrosionsprodukte und **„Gesamt“** - weisen die 7° geneigten Versuchsflächen die größeren Werte auf.
- o Im Bereich der **Zinkfrachten** ergibt sich eine Differenz von: 8,819 g/m<sup>2</sup>.  
Gesamtwerte: 49,669 g/m<sup>2</sup> bzw. 40,85 g/m<sup>2</sup>.
- o Im Bereich der **fest anhaftenden Korrosionsprodukte** ergibt sich eine Differenz von: 2,0 g/m<sup>2</sup>.  
Gesamtwerte: 11,7 g/m<sup>2</sup> bzw. 9,7 g/m<sup>2</sup>.
- o Im Bereich **„Gesamt“** ergibt sich eine Differenz von: 10,817 g/m<sup>2</sup>.  
Gesamtwerte: 61,367 g/m<sup>2</sup> bzw. 50,55 g/m<sup>2</sup>.



## 5.2 Freibewitterungsversuch in Hannover-Langenhagen - Standort B Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013

### 5.2.1 Allgemeine Angaben zum Standort B und zur Durchführung der Untersuchungen

Der zweite Standort (Standort B) des Dachflächen-Freibewitterungsversuchs wurde am 20.10.2003 in Hannover-Langenhagen eingerichtet, Abbildungen 113 und 114; siehe hierzu auch die Abbildungen 153 bis 155 in Abschnitt 8.2 Kartenmaterial.



**Abbildung 113:** Dachflächen-Freibewitterungsversuch in Hannover-Langenhagen, Standort B. Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013. Gesamtansicht.



**Abbildung 114:** Dachflächen-Freibewitterungsversuch in Hannover-Langenhagen, Standort B. Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013. Versuchsfläche 9-B-7-W.



Die Untersuchungen wurden an den ausgewählten Flächen des ersten und zweiten Versuchsabschnittes vom Standort A hier weiter geführt, siehe Abbildung 115.

<b>Standort Hannover-Langenhagen - Standort B</b>				
<b>Fortführung des ersten und zweiten Versuchsabschnittes aus Hannover-Herrenhausen</b>				
<b>Bezeichnung</b>	<b>Nr.</b>	<b>Material</b>	<b>Neigung</b>	<b>Orientierung</b>
<b>1-V-7-W</b>	1	V	7°	Westen
<b>9-B-7-W</b>	9	B	7°	Westen
<b>5-V-45-W</b>	5	V	45°	Westen
<b>13-B-45-W</b>	13	B	45°	Westen

**Abbildung 115:** Dachflächen des dritten Versuchsabschnittes - Standort B.

Der Versuchsstandort B befindet sich in einem Industriegebiet mit überwiegend LKW-Verkehr aus Verkehrsbetrieben und Verteilerzentren (z. B. UPS). Der Standort liegt in den Flugschneisen des Flughafens (Entfernung ca. 2 km). Ebenfalls in westlicher Richtung, im Abstand von ca. 700 m, befindet sich die Autobahn A 352 (Querverbindung zwischen der A7 und der A2).

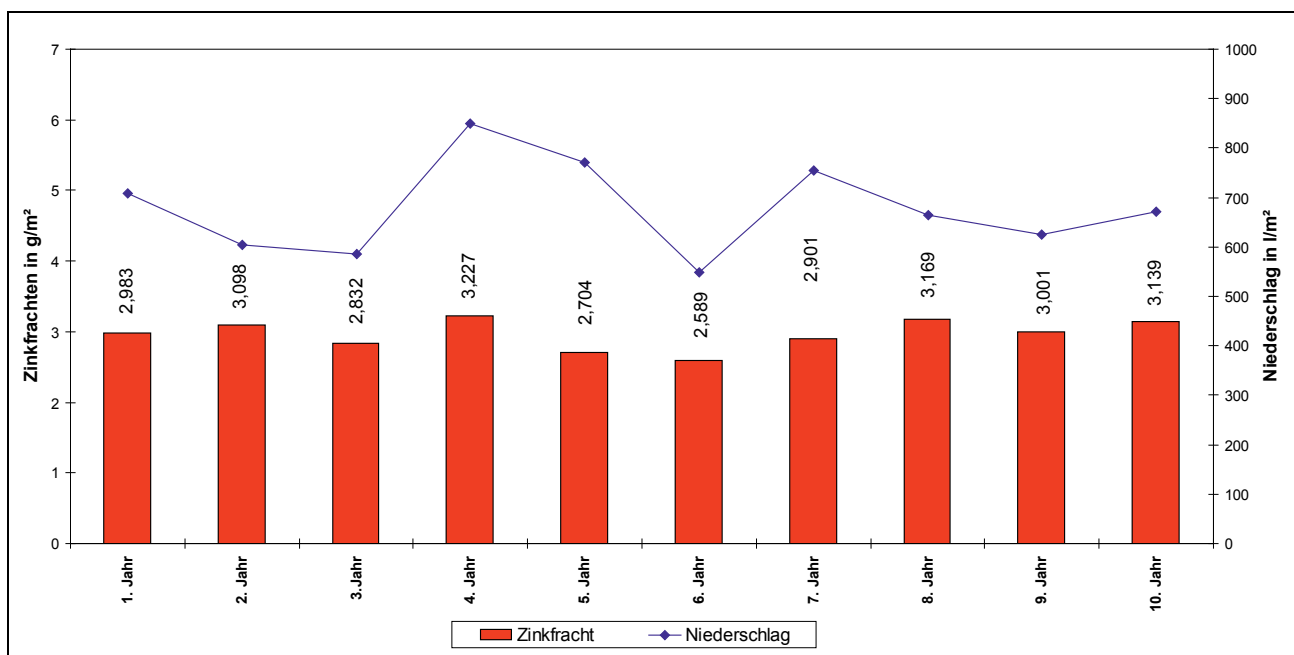
Im Flughafenbereich befindet sich die Mess-Station 10 338 Hannover des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Die Messwerte dieser Station standen für den dritten Versuchsabschnitt zu Verfügung. Für die Schadstoffgehalte der Luft, wie z. B. die Konzentrationen von SO<sub>2</sub> - NO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub>, standen für den Standort Hannover-Langenhagen keine Werte zur Verfügung.

Am Standort Hannover-Langenhagen (seit 19.10.2003) erfolgte die Bestimmung der Niederschlagsmengen, der Zinkionenkonzentrationen und damit der Zinkfrachten durchgängig im Abstand von zwei Monaten. Der Entnahmeprozess der Niederschläge, die Bestimmung der Niederschlagsmengen und der Zinkionenkonzentrationen erfolgten in der gleichen Art und Weise wie dies schon in den Abschnitten 5.1.3 und 5.1.4 beschrieben worden ist.

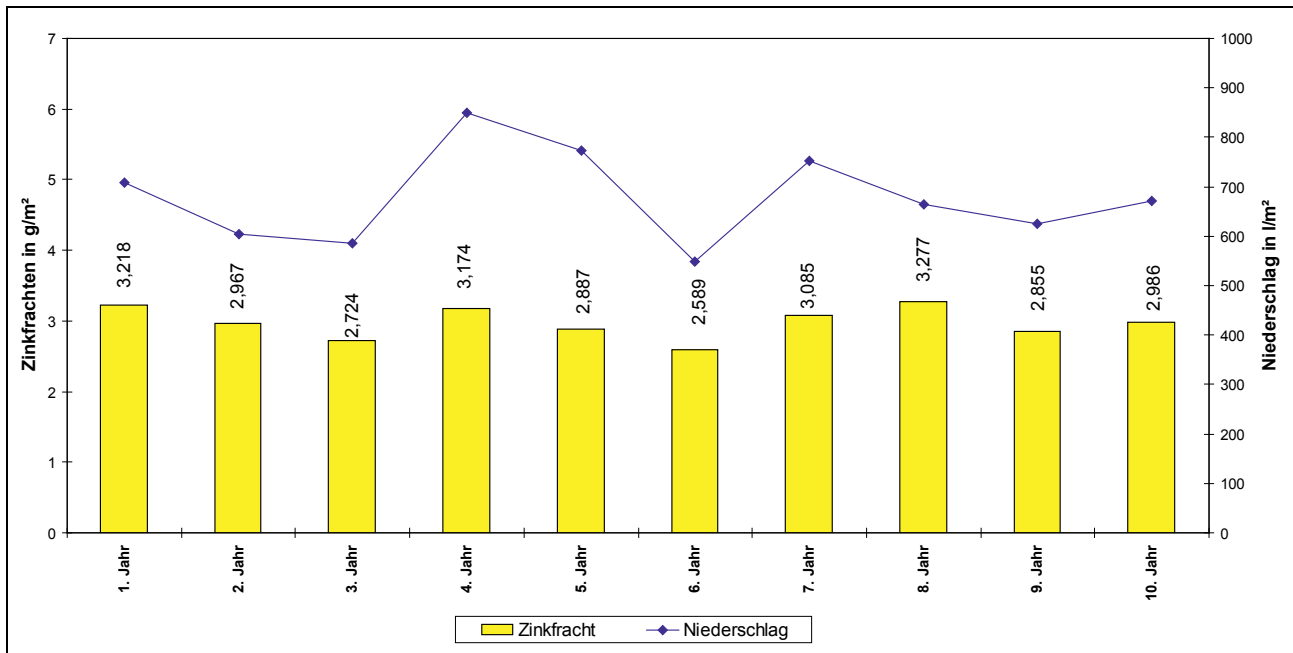
**5.2.2 Ergebnisse für Zinkfrachten und Niederschlag - Standort B**  
**Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013**

<u>7° geneigte Versuchsflächen</u>						
20.10.2003 bis 19.10.2013 (3653 Tage bzw. 10 Jahre)						
Versuchsflächen						
Jahr	Periode	Tage	<u>1-V-7-W</u>		<u>9-B-7-W</u>	
			Zink g/(m <sup>2</sup> · a)	Niederschlag l/(m <sup>2</sup> · a)	Zink g/(m <sup>2</sup> · a)	Niederschlag l/(m <sup>2</sup> · a)
1	20.10.03 - 19.10.04	366	2,983	707,5	3,218	708,0
2	20.10.04 - 19.10.05	365	3,098	603,9	2,967	603,9
3	20.10.05 - 19.10.06	365	2,832	585,5	2,724	585,0
4	20.10.06 - 19.10.07	365	3,227	850,0	3,174	850,1
5	20.10.07 - 19.10.08	366	2,704	771,6	2,887	772,6
6	20.10.08 - 19.10.09	365	2,589	548,6	2,589	548,5
7	20.10.09 - 19.10.10	365	2,901	753,5	3,085	753,3
8	20.10.10 - 19.10.11	365	3,169	665,3	3,277	665,3
9	20.10.11 - 19.10.12	366	3,001	624,8	2,855	624,8
10	20.10.12 - 19.10.13	365	3,139	591,0	3,080	591,0
<b>Gesamtwerte pro m<sup>2</sup>:</b>			<b>29,64 g</b>	<b>6701,7 l</b>	<b>29,86 g</b>	<b>6702,5 l</b>
<b>Mittelwerte in g/(m<sup>2</sup> · a) bzw. l/(m<sup>2</sup> · a):</b>			<b>2,964</b>	<b>670,2</b>	<b>2,986</b>	<b>670,3</b>
<b>Anmerkung:</b>						
Die o. a. Daten sind in den Abbildungen 117 und 118 grafisch dargestellt.						

**Abbildung 116:** *Versuchsflächen 7° geneigt, Standort B, Dritter Versuchsabschnitt. Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag, Gesamtwerte und Mittelwerte für 10 Jahre.*



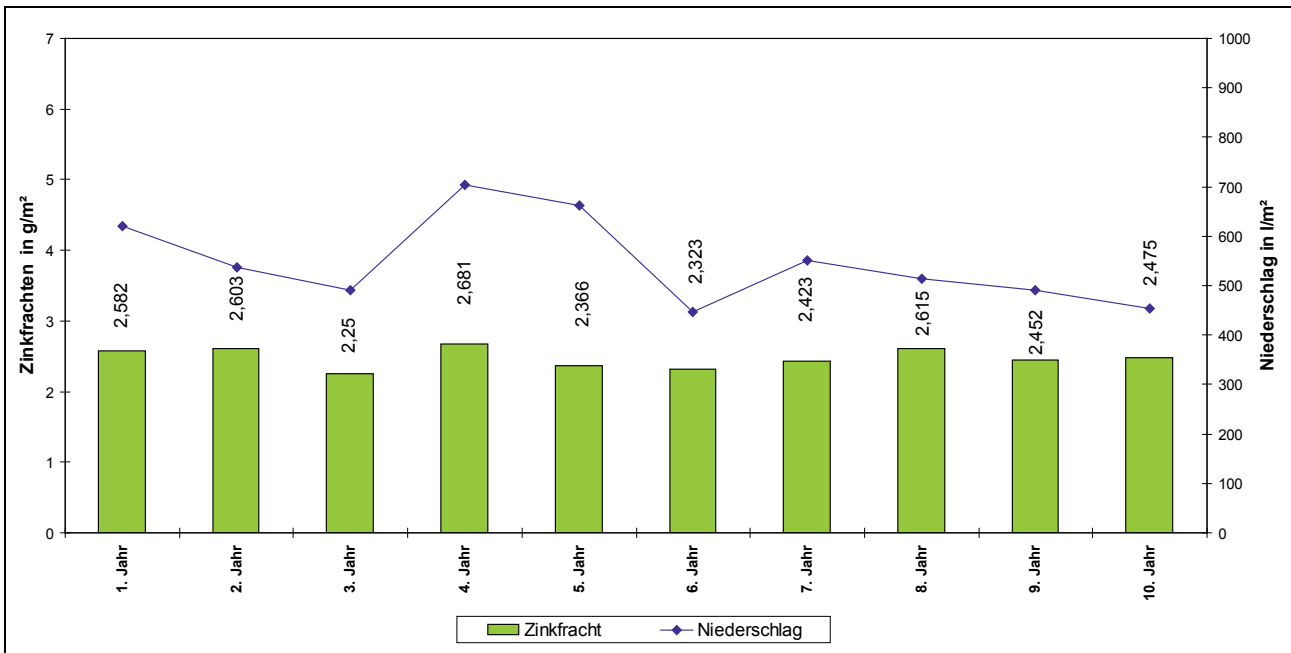
**Abbildung 117:** *Versuchsfläche 1-V-7-W, Standort B, Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013. Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag.*



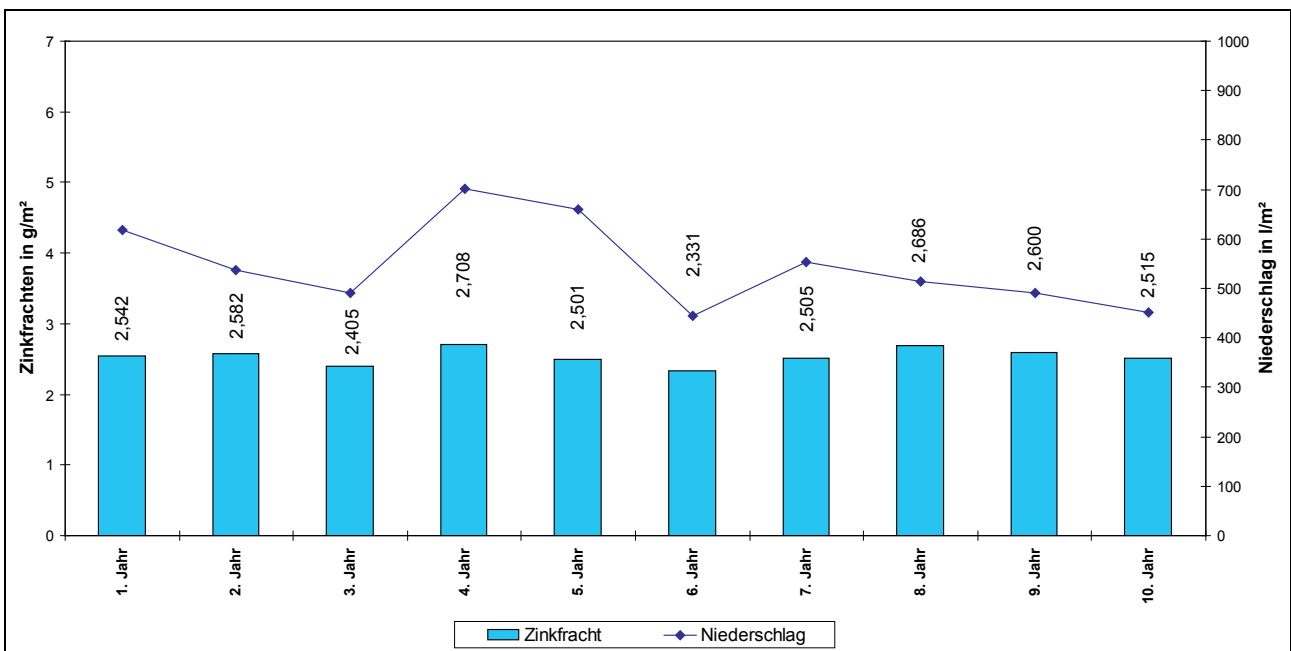
**Abbildung 118:** *Versuchsfläche 9-B-7-W, Standort B, Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013. Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag.*

<b>45° geneigte Versuchsflächen</b>						
<b>20.10.2003 bis 19.10.2013 (3653 Tage bzw. 10 Jahre)</b>						
<b>Versuchsflächen</b>						
			<b>5-V-45-W</b>		<b>13-B-45-W</b>	
<b>Jahr</b>	<b>Periode</b>	<b>Tage</b>	<b>Zink g/(m² · a)</b>	<b>Niederschlag l/(m² · a)</b>	<b>Zink g/(m² · a)</b>	<b>Niederschlag l/(m² · a)</b>
1	20.10.03 - 19.10.04	366	2,582	620,5	2,542	618,0
2	20.10.04 - 19.10.05	365	2,603	537,8	2,582	537,8
3	20.10.05 - 19.10.06	365	2,250	491,4	2,405	490,3
4	20.10.06 - 19.10.07	365	2,681	702,8	2,708	700,6
5	20.10.07 - 19.10.08	366	2,366	662,5	2,501	658,8
6	20.10.08 - 19.10.09	365	2,323	447,1	2,331	444,8
7	20.10.09 - 19.10.10	365	2,423	551,4	2,505	554,3
8	20.10.10 - 19.10.11	365	2,615	513,8	2,686	513,8
9	20.10.11 - 19.10.12	366	2,452	491,0	2,600	491,0
10	20.10.12 - 19.10.13	365	2,475	452,9	2,515	452,2
<b>Gesamtwerte pro m²:</b>			<b>24,77 g</b>	<b>5471,2 l</b>	<b>25,38 g</b>	<b>5461,6 l</b>
<b>Mittelwerte in g/(m² · a) bzw. l/(m² · a):</b>			<b>2,477</b>	<b>547,1</b>	<b>2,538</b>	<b>546,2</b>
<b>Anmerkung:</b>						
Die o. a. Daten sind in den Abbildungen 120 und 121 grafisch dargestellt.						

**Abbildung 119:** *Versuchsflächen 45° geneigt, Standort B, Dritter Versuchsabschnitt. Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag, Gesamtwerte und Mittelwerte für 10 Jahre.*



**Abbildung 120:** Versuchsfläche 5-V-45-W. Standort B. Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013. Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag.



**Abbildung 121:** Versuchsfläche 13-B-45-W. Standort B. Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013. Grafische Darstellung der Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag.

Es folgen die Zusammenstellung der Zinkfrachten für den dritten Versuchsabschnitt, siehe hierzu die Abbildung 122 und die Ermittlung der Differenzen der Zinkfrachten zwischen den 7° und 45° geneigten Flächen in Abbildung 123.

<b><u>Zinkfrachten der 7° und 45° geneigten Versuchsf lächen</u></b>		
<b>20.10.2003 bis 19.10.2013 (3653 Tage bzw. 10 Jahre)</b>		
<b>Fläche</b>	<b>Gesamtwert</b>	<b>Jahreswerte grafisch dargestellt</b>
<b>1-V-7-W</b>	<b>29,64 g/m<sup>2</sup></b>	Abbildung 117
<b>9-B-7-W</b>	<b>29,86 g/m<sup>2</sup></b>	Abbildung 118
<b>Mittelwert für die 7 ° geneigten Versuchsf lächen: 29,75 g/m<sup>2</sup></b>		
<b>5-V-45-W</b>	<b>24,77 g/m<sup>2</sup></b>	Abbildung 120
<b>13-B-45-W</b>	<b>25,38 g/m<sup>2</sup></b>	Abbildung 121
<b>Mittelwert für die 45 ° geneigten Versuchsf lächen: 25,08 g/m<sup>2</sup></b>		

**Abbildung 122:** *Versuchsf lächen 7° und 45° geneigt. Standort B.  
Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013.  
Gesamtwerte der Zinkfrachten.*

<b><u>Differenzen der Zinkfrachten zwischen den 7° und 45° geneigten Fl ächen</u></b>		
<b>Periode</b>	<b>Differenz [g/m<sup>2</sup>] 1-V-7-W – 5-V-45-W</b>	<b>Differenz [g/m<sup>2</sup>] 9-B-7-W – 13-B-45-W</b>
1. Jahr	2,983 - 2,582 = 0,401	3,218 - 2,542 = 0,676
2. Jahr	3,098 - 2,603 = 0,495	2,967 - 2,582 = 0,385
3. Jahr	2,832 - 2,250 = 0,582	2,724 - 2,405 = 0,319
4. Jahr	3,227 - 2,681 = 0,546	3,174 - 2,708 = 0,466
5. Jahr	2,704 - 2,366 = 0,338	2,887 - 2,501 = 0,386
6. Jahr	2,589 - 2,323 = 0,266	2,589 - 2,331 = 0,258
7. Jahr	2,901 - 2,423 = 0,478	3,085 - 2,505 = 0,580
8. Jahr	3,169 - 2,615 = 0,554	3,277 - 2,686 = 0,591
9. Jahr	3,001 - 2,452 = 0,549	2,855 - 2,600 = 0,255
10. Jahr	3,139 - 2,475 = 0,664	3,080 - 2,515 = 0,565
<b>Mittelwert (Abb. 119 u. 122): 2,964 - 2,477 = 0,487 g/m<sup>2</sup>      2,986 - 2,538 = 0,448 g/m<sup>2</sup></b>		

**Abbildung 123:** *Versuchsf lächen 7° und 45° geneigt. Standort B.  
Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013.  
Differenzen der Jahreswerte der Zinkfrachten zwischen den  
vorbewitterten und walzblanken Versuchsf lächen.*

Es folgen für die Jahreswerte die Differenzbildungen zwischen den Fl ächen mit den Oberfl ächen „vorbewittert blaugrau“ (V) und „walzblank“ (B) jeweils für die 7° und 45° geneigten Fl ächen, siehe die Abbildung 124 und 125.

In den Abbildungen 126 bis 129 geschieht dies auch für die Drei-Jahresperioden. Hierbei wird der „Angleichungsprozess“ zwischen den unterschiedlichen Oberfl ächen sehr deutlich erkennbar.

<b>7° geneigte Versuchsf lächen</b>			
<b>Oberfl ächen „vorbewittert blaugrau“ (V) und „walzblank“ (B)</b>			
<b>Differenz zwischen den Jahreswerten der Zinkfrachten</b>			
<b>Periode</b>	<b><u>1-V-7-W</u> g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b><u>9-B-7-W</u> g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>Differenz g/m<sup>2</sup></b>
1. Jahr	<u>2,983</u>	<u>3,218</u>	<u>0,235</u>
2. Jahr	<u>3,098</u>	2,967	0,131
3. Jahr	<u>2,832</u>	2,724	0,108
4. Jahr	<u>3,227</u>	3,174	0,053
5. Jahr	2,704	<u>2,887</u>	<u>0,183</u>
6. Jahr	2,589	2,589	0,000
7. Jahr	2,901	<u>3,085</u>	<u>0,184</u>
8. Jahr	3,169	<u>3,277</u>	<u>0,108</u>
9. Jahr	<u>3,001</u>	2,855	0,146
10. Jahr	<u>3,139</u>	3,080	0,059
<b>Gesamt (10 Jahre)</b>	<b>29,64 g/m<sup>2</sup></b>	<b><u>29,86 g/m<sup>2</sup></u></b>	<b><u>0,22 g/m<sup>2</sup></u></b>

**Abbildung 124:** *Versuchsf lächen 7° geneigt. Oberfl ächen „vorbewittert blaugrau“ und „walzblank“.*  
*Standort B. Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013.*  
*Differenzen der Jahreswerte für Zinkfrachten.*

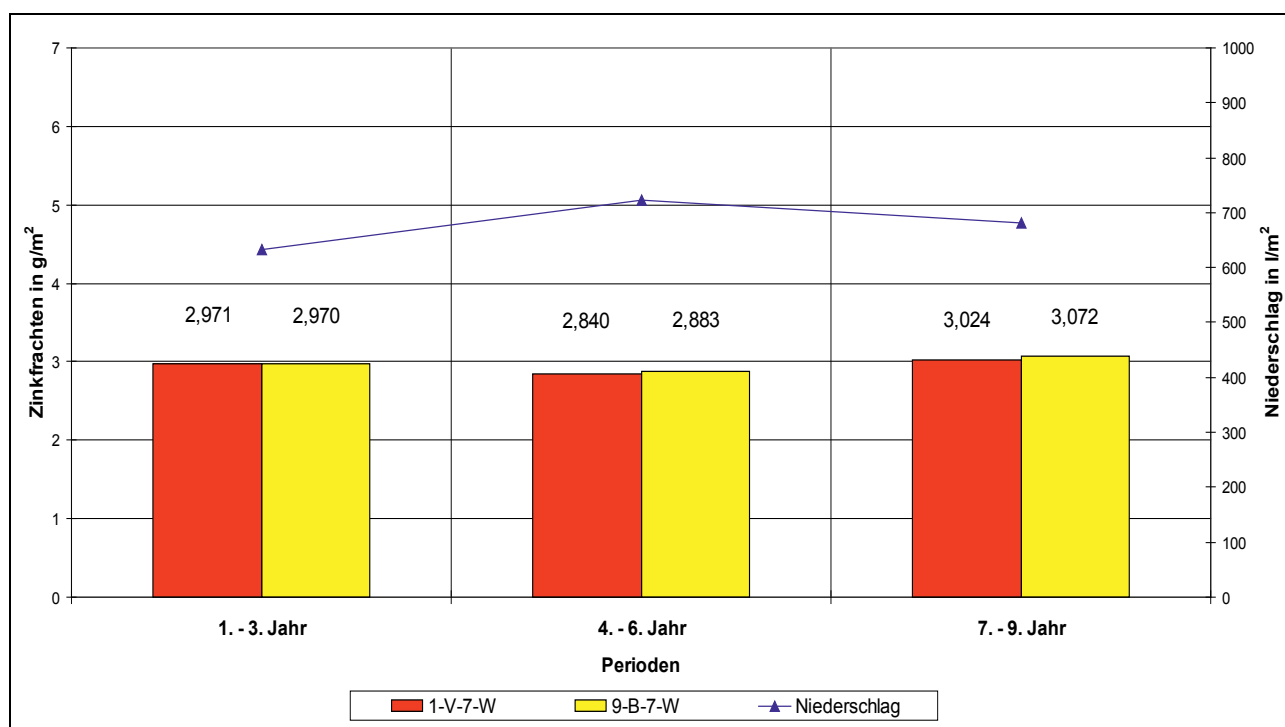
<b>45° geneigte Versuchsf lächen</b>			
<b>Oberfl ächen „vorbewittert blaugrau“ (V) und „walzblank“ (B)</b>			
<b>Differenz zwischen den Jahreswerten der Zinkfrachten</b>			
<b>Periode</b>	<b><u>5-V-45-W</u> g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b><u>13-B-45-W</u> g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>Differenz g/m<sup>2</sup></b>
1. Jahr	<u>2,582</u>	2,542	0,040
2. Jahr	<u>2,603</u>	2,582	0,021
3. Jahr	2,250	<u>2,405</u>	<u>0,155</u>
4. Jahr	2,681	<u>2,708</u>	<u>0,027</u>
5. Jahr	2,366	<u>2,501</u>	<u>0,135</u>
6. Jahr	2,323	<u>2,331</u>	<u>0,008</u>
7. Jahr	2,423	<u>2,505</u>	<u>0,082</u>
8. Jahr	2,615	<u>2,686</u>	<u>0,071</u>
9. Jahr	2,452	<u>2,600</u>	<u>0,148</u>
10. Jahr	2,475	<u>2,515</u>	<u>0,040</u>
<b>Gesamt (10 Jahre)</b>	<b>24,77 g/m<sup>2</sup></b>	<b><u>25,38 g/m<sup>2</sup></u></b>	<b><u>0,61 g/m<sup>2</sup></u></b>

**Abbildung 125:** *Versuchsf lächen 45° geneigt. Oberfl ächen „vorbewittert blaugrau“ und „walzblank“.*  
*Standort B. Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013.*  
*Differenzen der Jahreswerte für Zinkfrachten.*



<b>7° geneigte Versuchsflächen</b>			
<b>Oberflächen „vorbewittert blaugrau“ (V) und „walzblank“ (B)</b>			
<b>Differenz der Mittelwerte der Zinkfrachten für die Perioden</b>			
<b>1. bis 3. Jahr - 4. bis 6. Jahr - 7. bis 9. Jahr und insgesamt (10 Jahre)</b>			
Periode	<u>1-V-7-W</u> g/(m <sup>2</sup> · a)	<u>9-B-7-W</u> g/(m <sup>2</sup> · a)	Differenz g/m <sup>2</sup>
1. - 3. Jahr	2,971	2,970	0,001
4. - 6. Jahr	2,840	<u>2,883</u>	<u>0,043</u>
7. - 9. Jahr	3,024	<u>3,072</u>	<u>0,048</u>
<b>Gesamt (10 Jahre)</b>	<b>2,964</b>	<b><u>2,986</u></b>	<b><u>0,022</u></b>
<b>Anmerkung:</b>			
Die o. a. Daten sind in Abbildung 127 grafisch dargestellt.			

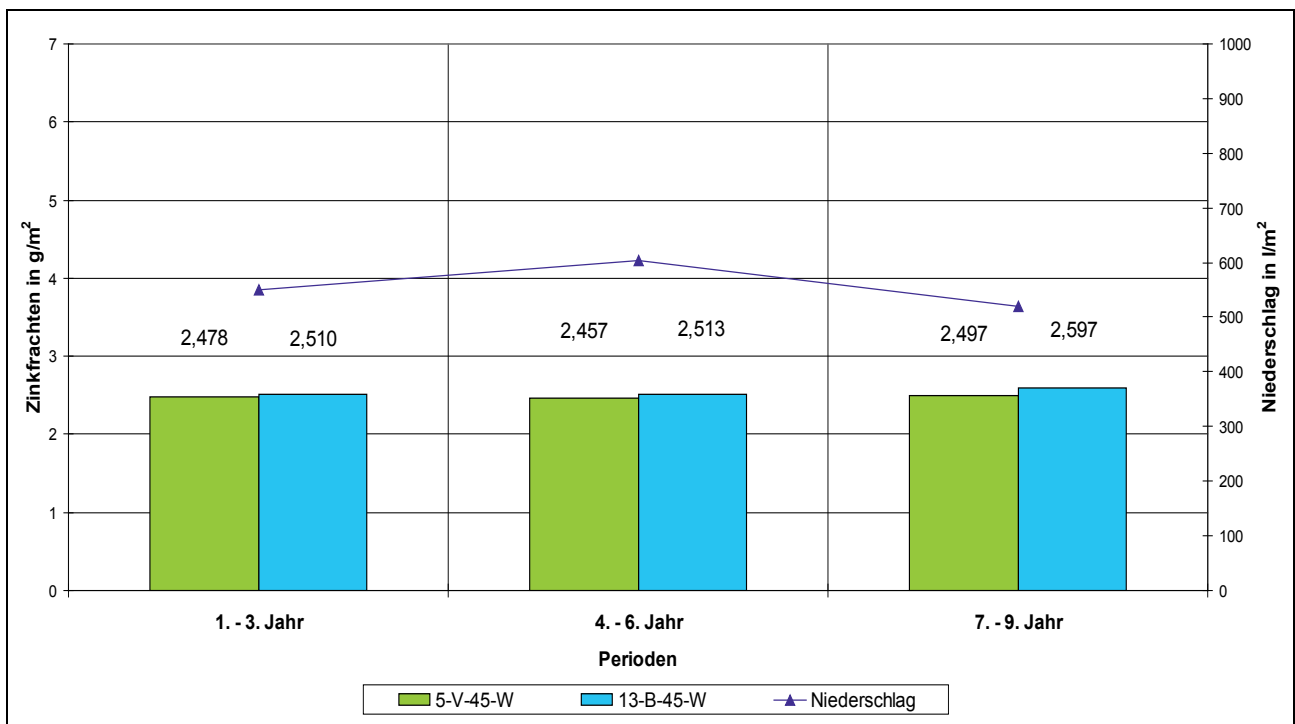
**Abbildung 126:** *Versuchsflächen 7° geneigt. Oberflächen „vorbewittert blaugrau“ und „walzblank“. Standort B. Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013. Differenz der Zinkfrachten und Mittelwerte aus Drei-Jahresperioden.*



**Abbildung 127:** *Versuchsflächen 7° geneigt. Oberflächen „vorbewittert blaugrau“ und „walzblank“. Standort B. Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013. Werte für Zinkfrachten und Niederschlag, Mittelwerte aus Drei-Jahresperioden.*

<b>45° geneigte Versuchsflächen</b>			
<b>Oberflächen „vorbewittert blaugrau“ (V) und „walzblank“ (B)</b>			
<b>Differenz der Mittelwerte der Zinkfrachten für die Perioden</b>			
<b>1. bis 3. Jahr - 4. bis 6. Jahr - 7. bis 9. Jahr und insgesamt (10 Jahre)</b>			
Periode	<u>5-V-45-W</u> g/(m <sup>2</sup> · a)	<u>13-B-45-W</u> g/(m <sup>2</sup> · a)	Differenz g/m <sup>2</sup>
1.- 3. Jahr	2,478	<u>2,510</u>	<u>0,032</u>
4.- 6. Jahr	2,457	<u>2,513</u>	<u>0,056</u>
7.- 9. Jahr	2,497	<u>2,597</u>	<u>0,100</u>
<b>Gesamt (10 Jahre)</b>	<b>2,477</b>	<b><u>2,538</u></b>	<b><u>0,061</u></b>
<b>Anmerkung:</b> Die o. a. Daten sind in Abbildung 129 grafisch dargestellt.			

**Abbildung 128:** *Versuchsflächen 45° geneigt. Oberflächen „vorbewittert blaugrau“ und „walzblank“. Standort B. Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013. Differenz der Zinkfrachten und Mittelwerte aus Drei-Jahresperioden.*



**Abbildung 129:** *Versuchsflächen 45° geneigt. Oberflächen „vorbewittert blaugrau“ und „walzblank“. Standort B. Dritter Versuchsabschnitt: 20.10.2003 bis 19.10.2013. Mittelwerte aus Drei-Jahresperioden, Werte für Zinkfrachten und Niederschlag.*

Die aufgeführten Zusammenstellungen der Zinkfrachten zeigen deutlich, dass der schon am Standort Hannover-Herrenhausen festgestellte Angleichungsprozess - dort nach ca. 10 Jahren - bei den Oberflächen „walzblank“ und „vorbewittert blaugrau“ - Dachneigungen 7° und 45°, auch hier vorhanden ist.

### **5.3 Problemstellung bei der Auswertung im Hinblick auf partikuläres Zink**

Neben der Abschwemmung von Zinkionen mit dem Niederschlag (Zinkfrachten) kann auch ein Zinkverlust durch einen partikulären Zinkabtrag, d. h. durch eine metallische Ablösung, erfolgen. Hierbei wirken chemische und physikalische Einflüsse auf die Titanzinkoberfläche ein, z. B. der SO<sub>2</sub>-Eintrag im Zusammenhang mit Erosionsvorgängen über Wind in Verbindung mit sandartigem Staub (Sandstrahleffekt).

Die Untersuchung bzw. die eindeutige quantitative Bestimmung von partikulärem Zink in den Regenwasserproben ist sehr aufwändig und in der Durchführung schwierig. Daher wurden diese Untersuchungen im Rahmen des 23-jährigen Langzeitversuchs nur an einigen Versuchsflächen stichprobenartig durchgeführt.

Im Juni und November 2001 wurde im Institut für Anorganische Chemie der Versuch unternommen, partikuläres Zink zu bestimmen. Dazu wurden für die Versuchsflächen 1-V-7-W und 5-V-45-W jeweils 20 Liter aus dem gesammelten Niederschlagswasser einer Periode gefiltert.

Der Rückstand wurde getrocknet und es wurde eine genaue Einwaage gemacht. Der getrocknete Rückstand wurde mit Königswasser und Wärme aufgeschlossen und mit Wasser aufgenommen. In dieser so aufbereiteten Probe wurde mit Hilfe der AAS danach das Zink gemessen.

#### **Messung im Juni 2001:**

Für die Versuchsfläche 1-V-7-W wurde folgender Wert ermittelt: 0,042 mg/l

Für die Versuchsfläche 5-V-45-W wurde folgender Wert ermittelt: 0,150 mg/l

#### **Messung im November 2001:**

Für die Versuchsfläche 1-V-7-W wurde folgender Wert ermittelt: 0,062 mg/l.

Die entsprechenden Arbeitsschritte für weiterführende Untersuchungen werden nachfolgend kurz vorgestellt:

- o Filtern des Regenwassers,  
Cellulose Acetat Membranfilter (0,2 µm Porengröße, 47 cm Durchmesser),
- o Zinkpartikel-Charakterisierung in Filtrerrückständen mit Hilfe der Raster-Elektronen-Mikroskopie und energiedispersiven Röntgenstrahlung (REM / EDX), Rückstände aus der Filtrierung mit Goldschicht bedampft,
- o Mikrowellenaufschlüsse (0,3 ml HF und 3 ml HNO<sub>3</sub>),
- o ICP-AES-Messung 2 % HNO<sub>3</sub> (65 % - 1,39 g/ml),
- o Graphit-AAS-Messung, Probe 1:1000 verdünnt, 0,5 % HNO<sub>3</sub> (65 %, - 1,39 g/ml).

**Bei dieser Art und Weise der Analysetechnik ergibt sich folgende Problemstellung:**

- o Zinkionen, die im Niederschlagswasser in Lösung gegangen sind, gelangen durch den Filter und werden, wie schon beschrieben, hinsichtlich ihrer Konzentration in der 1-Liter-Mischprobe, mit Hilfe der AAS quantitativ bestimmt.
- o Zinkionen, die sich dagegen an Bestandteilen der Filterrückstände „angelagert“ haben, oder gar als Bestandteil von natürlich organischen Partikeln im Rückstand zu finden sind, d. h. den Filter **nicht** passiert haben, werden durch die o. a. Methodik (Analysetechnik) als „partikulares Zink“ ermittelt und können somit das Ergebnis u. U. verfälschen.
- o Zur Vermeidung von Sedimentationseinflüssen im gesammelten Regenwasser müsste für **jede** Versuchsfläche und bei **jeder** Tonnenentleerung die gesamte Wassermenge etwa 110 Liter gefiltert werden. Dies ist sehr aufwändig und ließe sich zudem nur an den Standorten der Versuchsflächen durchführen.

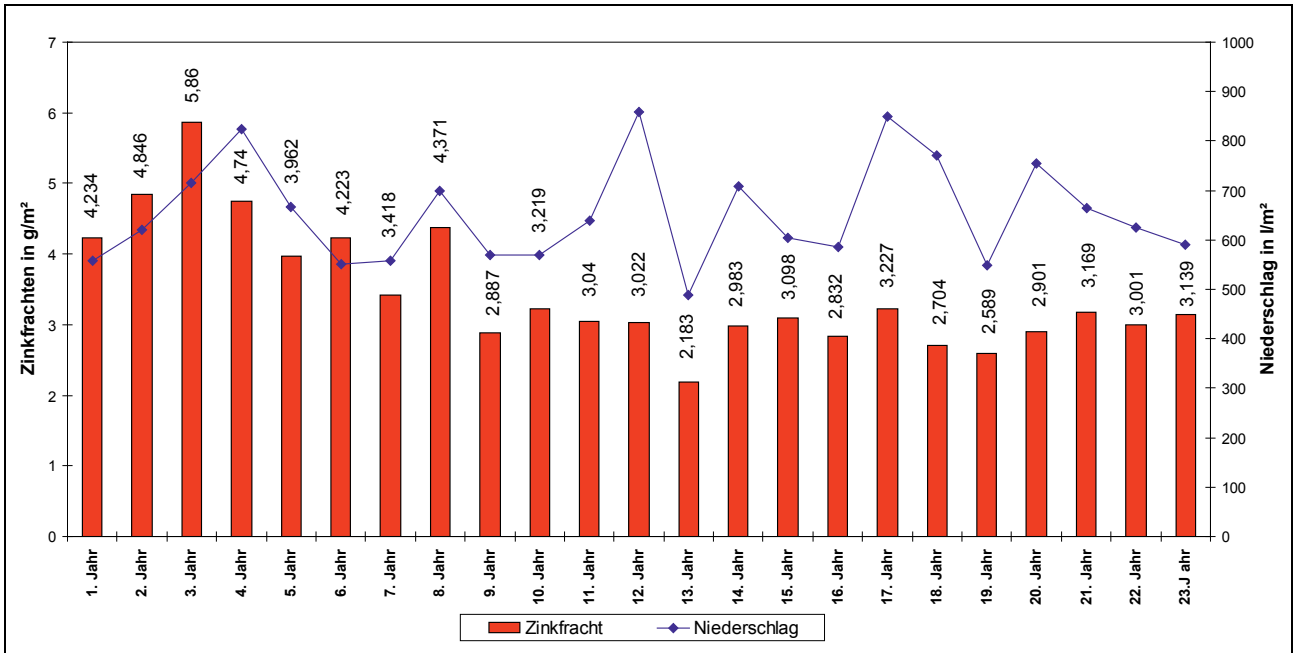
Um diese Problemstellungen weiter eingrenzen zu können, müssen weiterführende Untersuchungen vorgenommen werden. Die o. a. Ergebnisse aus dem Jahr 2001 sind daher nur unter einem gewissen Vorbehalt zu betrachten.

## 5.4 Zusammenfassung der Mess- und Auswertungsergebnisse für die Standorte Hannover-Herrenhausen (Standort A) und Hannover-Langenhagen (Standort B)

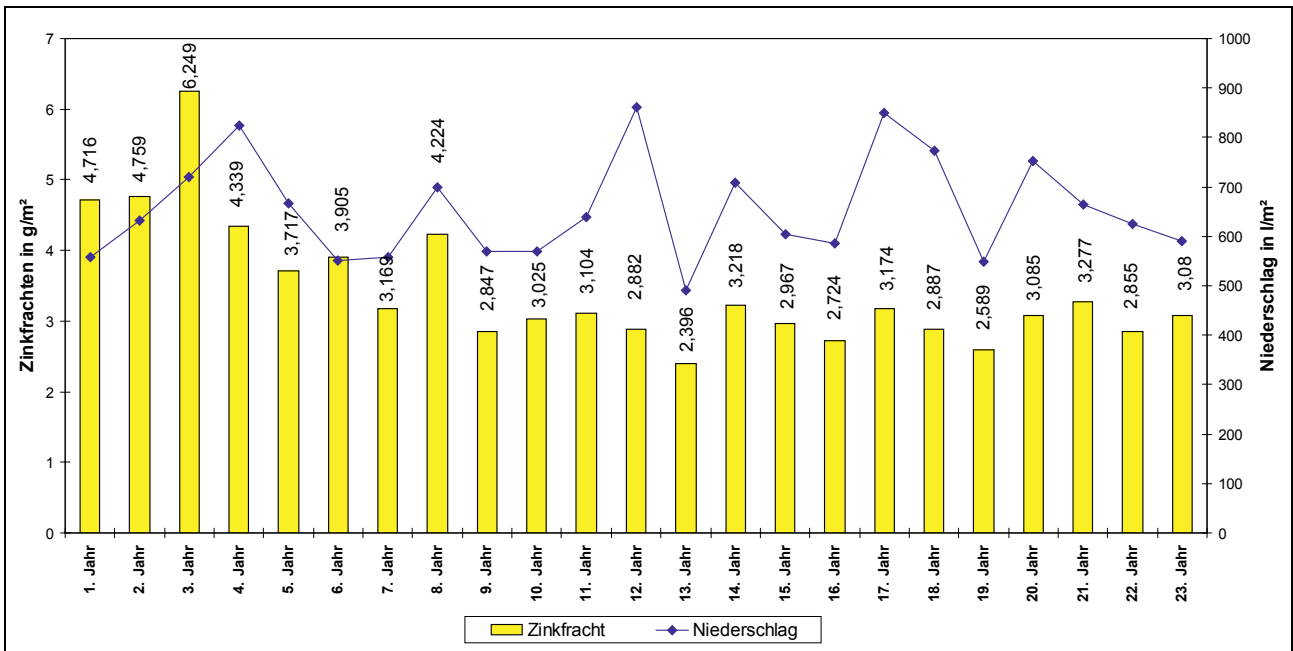
### 5.4.1 Ergebnisse für Zinkfrachten und Niederschlag

<b>7° geneigte Versuchsflächen</b>						
<b>Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag</b>						
<b>Zusammenfassung der Ergebnisse von den Standorten A und B</b>						
<b>27.11.1990 bis 19.10.2013 - (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre)</b>						
<b>Versuchsflächen</b>						
<b>Jahr</b>	<b>Periode</b>	<b>Tage</b>	<b>1-V-7-W</b>		<b>9-B-7-W</b>	
			<b>Zink g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>Niederschlag l/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>Zink g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>Niederschlag l/(m<sup>2</sup> · a)</b>
1	27.11.90 - 26.11.91	365	4,234	557,6	4,716	557,6 <sup>2)</sup>
2	27.11.91 - 26.11.92	366	4,846	619,3	4,759	631,3 <sup>2)</sup>
3	27.11.92 - 26.11.93	365	5,860	715,0	6,249	719,0 <sup>2)</sup>
4	27.11.93 - 26.11.94	365	4,740	825,0	4,339	825,0 <sup>2)</sup>
5	27.11.94 - 26.11.95	365	3,962	666,4	3,717	666,4 <sup>2)</sup>
6	27.11.95 - 26.11.96	366	4,223	550,8	3,905	550,8 <sup>2)</sup>
7	27.11.96 - 26.11.97	365	3,418	557,8	3,169	557,8 <sup>2)</sup>
8	27.11.97 - 26.11.98	365	4,371	699,3	4,224	699,3 <sup>2)</sup>
9	27.11.98 - 26.11.99	365	2,887	570,0	2,847	570,0 <sup>2)</sup>
10	27.11.99 - 26.11.00	366	3,219	570,2	3,025	570,2 <sup>2)</sup>
11	27.11.00 - 26.11.01	365	3,040	638,4	3,104	638,4 <sup>2)</sup>
12	27.11.01 - 26.11.02	365	3,022	858,7	2,882	860,7 <sup>2)</sup>
13	27.11.02 - 19.10.03	327	2,183	488,6	2,396	491,6 <sup>1)</sup>
14	20.10.03 - 19.10.04	366	2,983	707,5	3,218	708,0 <sup>3)</sup>
15	20.10.04 - 19.10.05	365	3,098	603,9	2,967	603,9 <sup>3)</sup>
16	20.10.05 - 19.10.06	365	2,832	585,5	2,724	585,0 <sup>3)</sup>
17	20.10.06 - 19.10.07	365	3,227	850,0	3,174	850,1 <sup>3)</sup>
18	20.10.07 - 19.10.08	366	2,704	771,6	2,887	772,6 <sup>3)</sup>
19	20.10.08 - 19.10.09	365	2,589	548,6	2,589	548,5 <sup>3)</sup>
20	20.10.09 - 19.10.10	365	2,901	753,5	3,085	753,3 <sup>3)</sup>
21	20.10.10 - 19.10.11	365	3,169	665,3	3,277	665,3 <sup>3)</sup>
22	20.10.11 - 19.10.12	366	3,001	624,8	2,855	624,8 <sup>3)</sup>
23	20.10.12 - 19.10.13	365	3,139	591,0	3,080	591,0 <sup>3)</sup>
<b>Gesamtwerte g/m<sup>2</sup> bzw. l/m<sup>2</sup>:</b>			<b>79,648</b>	<b>15018,8</b>	<b>79,188</b>	<b>15040,6</b>
<b>Mittelwerte:</b>			<b>3,476</b>	<b>655,5</b>	<b>3,456</b>	<b>656,4</b>
<b>Erläuterungen:</b>						
1) Kein volles Jahr, nur 327 Tage. 2) Standort A 3) Standort B						
Die o.a. Daten sind in den Abbildungen 131 und 132 grafisch dargestellt.						

**Abbildung 130:** *Versuchsflächen 7° geneigt. Zusammenfassung der Ergebnisse von den Standorten A und B. Erster bis dritter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2013 (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre). Jahreswerte und Gesamtwerte für Zinkfrachten und Niederschlag.*



**Abbildung 131:** Versuchsfläche 1-V-7-W. Ergebnisse von den Standorten A und B.  
 Erster bis dritter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2013 (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre).  
 13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.  
 Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag.

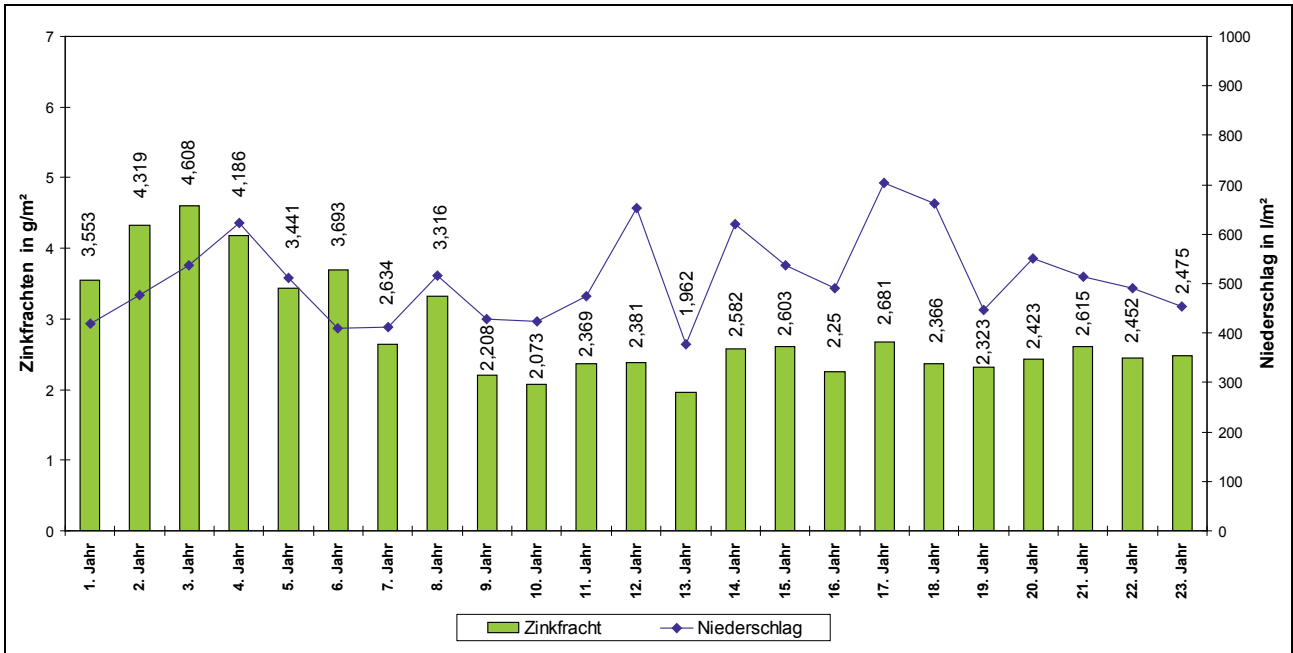


**Abbildung 132:** Versuchsfläche 9-B-7-W. Ergebnisse von den Standorten A und B.  
 Erster bis dritter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2013 (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre).  
 13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.  
 Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag.

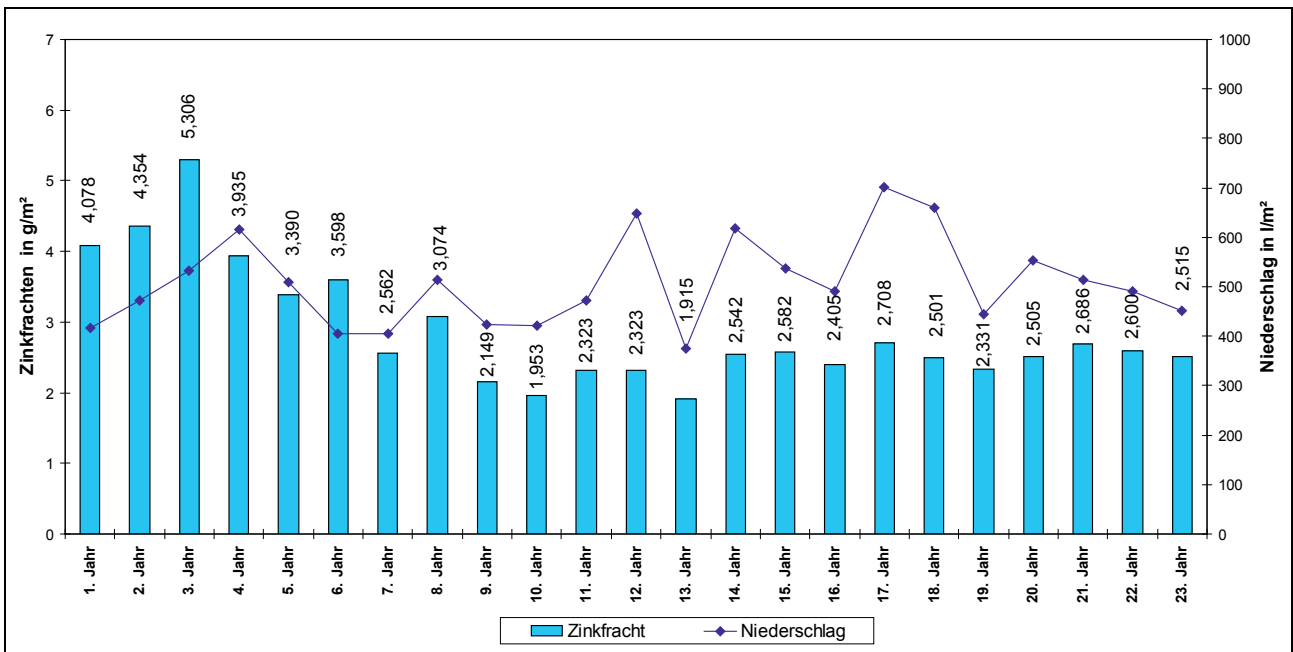


<b>45° geneigte Versuchsflächen</b>						
<b>Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag</b>						
<b>Zusammenfassung der Ergebnisse von den Standorten A und B</b>						
<b>27.11.1990 bis 19.10.2013 - (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre)</b>						
<b>Versuchsflächen</b>						
			<b>5-V-45-W</b>		<b>13-B-45-W</b>	
<b>Jahr</b>	<b>Periode</b>	<b>Tage</b>	<b>Zink g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>Niederschlag l/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>Zink g/(m<sup>2</sup> · a)</b>	<b>Niederschlag l/(m<sup>2</sup> · a)</b>
1	27.11.90 - 26.11.91	365	3,533	419,4	4,078	417,2 <sup>2)</sup>
2	27.11.91 - 26.11.92	366	4,319	476,8	4,354	472,2 <sup>2)</sup>
3	27.11.92 - 26.11.93	365	4,608	536,7	5,306	532,7 <sup>2)</sup>
4	27.11.93 - 26.11.94	365	4,186	622,9	3,935	615,7 <sup>2)</sup>
5	27.11.94 - 26.11.95	365	3,441	512,6	3,390	508,6 <sup>2)</sup>
6	27.11.95 - 26.11.96	366	3,693	408,7	3,598	405,7 <sup>2)</sup>
7	27.11.96 - 26.11.97	365	2,634	411,2	2,562	406,2 <sup>2)</sup>
8	27.11.97 - 26.11.98	365	3,316	517,2	3,074	513,2 <sup>2)</sup>
9	27.11.98 - 26.11.99	365	2,208	428,5	2,149	423,5 <sup>2)</sup>
10	27.11.99 - 26.11.00	366	2,073	423,5	1,953	421,5 <sup>2)</sup>
11	27.11.00 - 26.11.01	365	2,369	474,1	2,323	473,1 <sup>2)</sup>
12	27.11.01 - 26.11.02	365	2,381	653,6	2,323	647,6 <sup>2)</sup>
13	27.11.02 - 19.10.03	327	1,962	376,8	1,915	374,8 <sup>1)</sup>
14	20.10.03 - 19.10.04	366	2,582	620,5	2,542	618,0 <sup>3)</sup>
15	20.10.04 - 19.10.05	365	2,603	537,8	2,582	537,8 <sup>3)</sup>
16	20.10.05 - 19.10.06	365	2,250	491,4	2,405	490,3 <sup>3)</sup>
17	20.10.06 - 19.10.07	365	2,681	702,8	2,708	700,6 <sup>3)</sup>
18	20.10.07 - 19.10.08	366	2,366	662,5	2,501	658,8 <sup>3)</sup>
19	20.10.08 - 19.10.09	365	2,323	447,1	2,331	444,8 <sup>3)</sup>
20	20.10.09 - 19.10.10	365	2,423	551,4	2,505	554,3 <sup>3)</sup>
21	20.10.10 - 19.10.11	365	2,615	513,8	2,686	513,8 <sup>3)</sup>
22	20.10.11 - 19.10.12	366	2,452	491,0	2,600	491,0 <sup>3)</sup>
23	20.10.12 - 19.10.13	365	2,475	452,9	2,515	452,2 <sup>3)</sup>
<b>Gesamtwerte g/m<sup>2</sup> bzw. l/m<sup>2</sup>:</b>			<b>65,513</b>	<b>11733,2</b>	<b>66,335</b>	<b>11673,6</b>
<b>Mittelwerte:</b>			<b>2,859</b>	<b>512,9</b>	<b>2,895</b>	<b>509,5</b>
<b>Erläuterungen:</b>						
1) Kein volles Jahr, nur 327 Tage. 2) Standort A 3) Standort B						
Die o. a. Daten sind in den Abbildungen 134 und 135 grafisch dargestellt.						

**Abbildung 133:** Versuchsflächen 45° geneigt. Zusammenfassung der Ergebnisse von den Standorten A und B. Erster bis dritter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2013 (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre). Jahreswerte und Gesamtwerte für Zinkfrachten und Niederschlag.



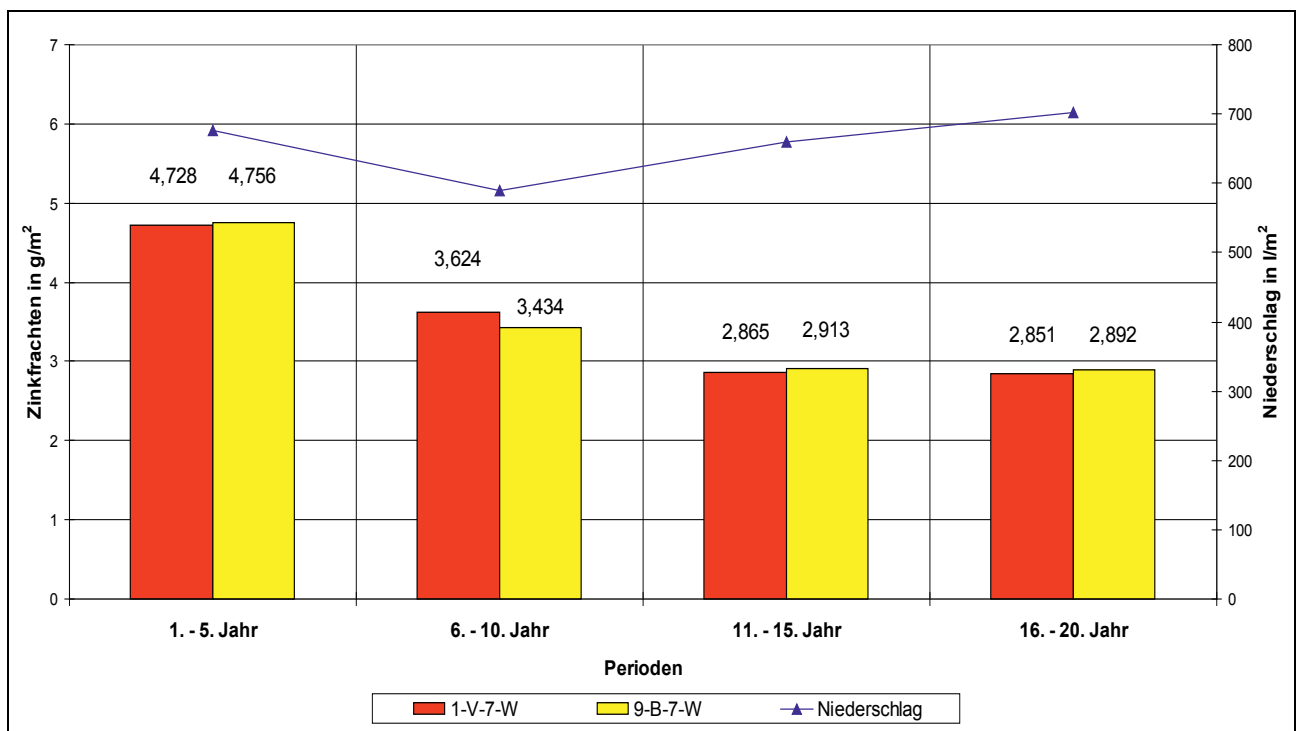
**Abbildung 134:** Versuchsfläche 5-V-45-W. Ergebnisse von den Standorten A und B.  
 Erster bis dritter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2013 (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre).  
 13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.  
 Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag.



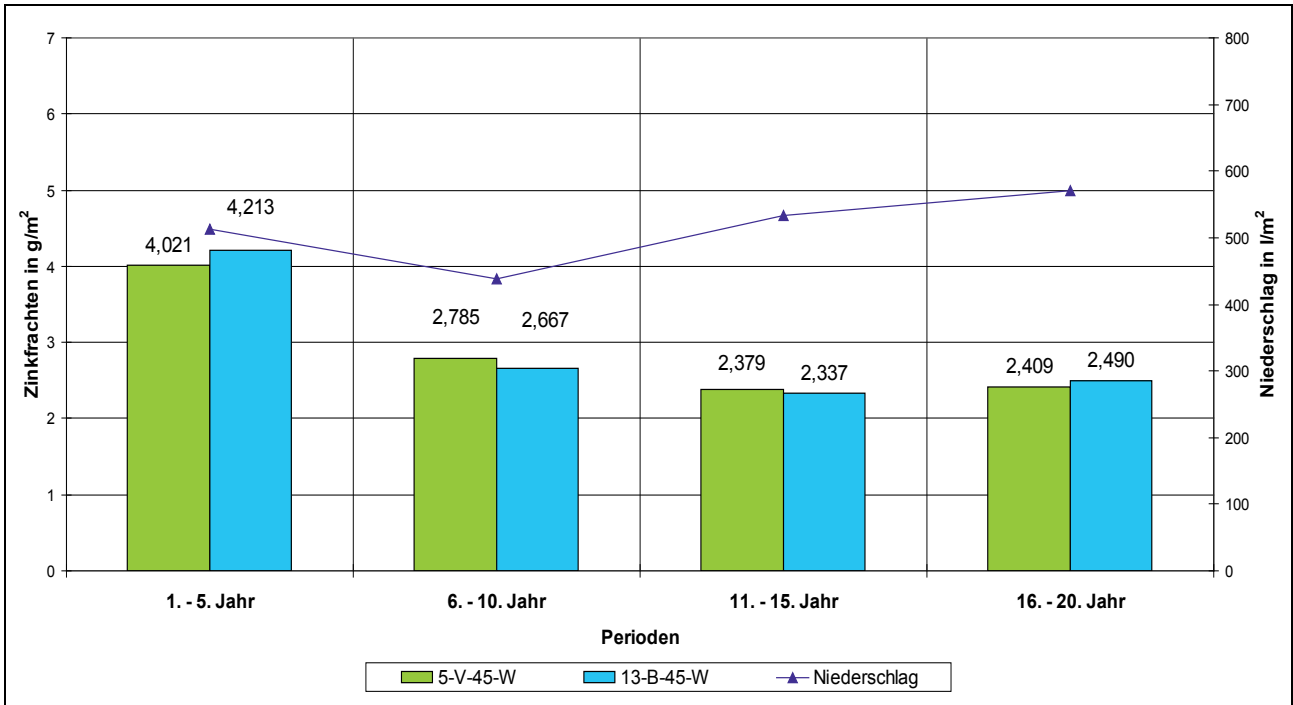
**Abbildung 135:** Versuchsfläche 13-B-45-W. Ergebnisse von den Standorten A und B.  
 Erster bis dritter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2013 (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre).  
 13. Jahr kein volles Jahr, nur 327 Tage.  
 Jahreswerte für Zinkfrachten und Niederschlag.

In den Abbildungen 136 und 137 sind die Mittelwerte aus Fünf-Jahresperioden für Zinkfrachten und Niederschlag der 7° geneigten Versuchsfächen, bzw. der 45° geneigten Versuchsfächen, grafisch dargestellt. In der Abbildung 138 ist der „Verlauf“ der Addition der Zinkfrachten aus den einzelnen Perioden über den gesamten Freibewitterungsversuch (Standort A und Standort B) für die vier Versuchsfächen ebenfalls grafisch dargestellt. In allen drei Abbildungen lässt sich Folgendes erkennen:

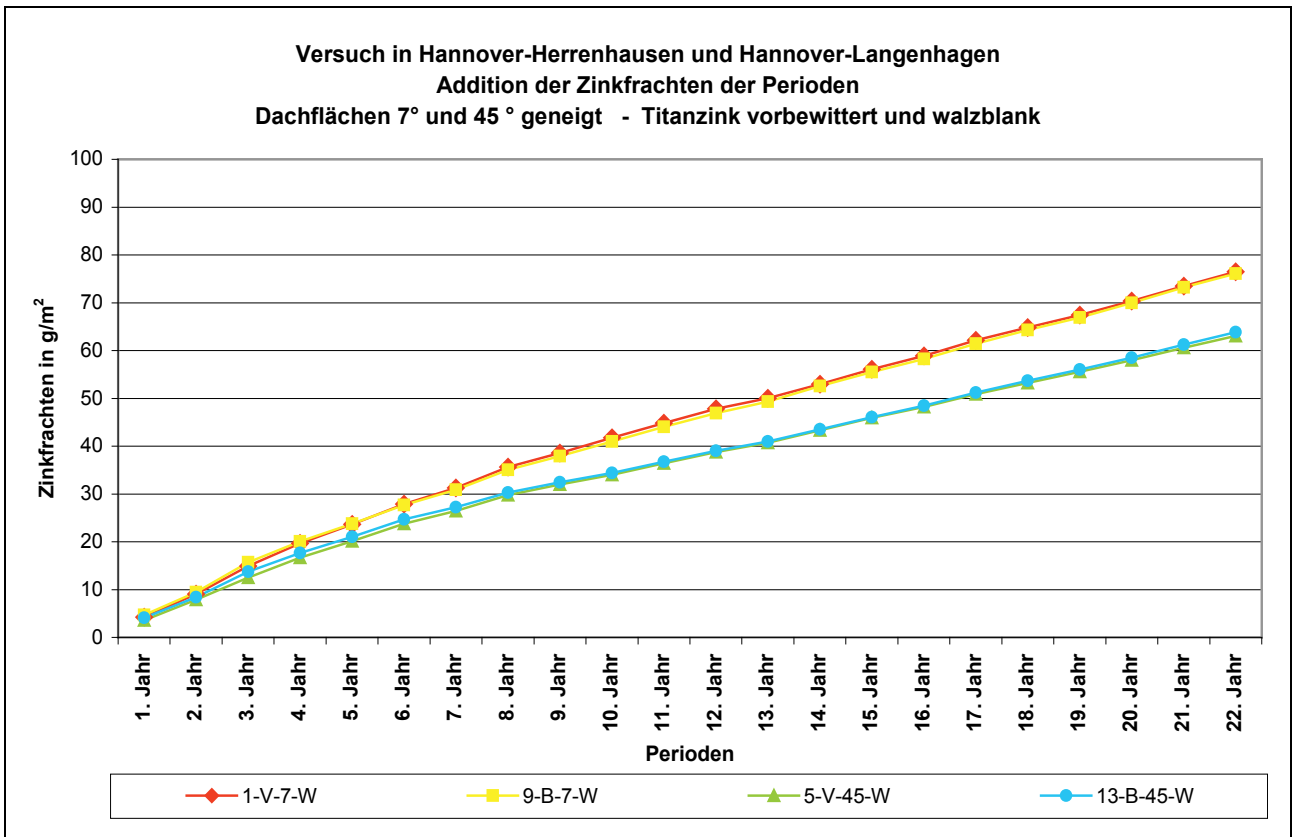
- o Nach dem 11. Versuchsjahr ist praktisch kein Unterschied mehr zwischen den Zinkfrachten der vorbewitterten und den walzblanken Versuchsfächen vorhanden.
- o Nach dem 11. Versuchsjahr müssen an den Standorten A und B sehr ähnliche klimatische Verhältnisse vorhanden gewesen sein. Am deutlichsten zeigt dies der nahezu lineare Verlauf der Addition der Zinkfrachten in Abbildung 138.
- o In den letzten 10 Versuchsjahren waren zwischen den Ergebnissen der Zinkfrachten der einzelnen Jahre nur noch geringe Unterschiede vorhanden. Am deutlichsten lässt sich dies in den Abbildungen 127 und 129 ablesen.



**Abbildung 136:** Versuchsfächen 1-V-7-W und 9-B-7-W. Ergebnisse von den Standorten A und B. Erster bis dritter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2013 (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre). Fünf-Jahresmittelwerte für Zinkfrachten und Niederschlag.



**Abbildung 137:** Versuchsflächen 5-V-45-W und 13-B-45-W. Ergebnisse von den Standorten A und B. Erster bis dritter Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 19.10.2013 (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre). Fünf-Jahresmittelwerte für Zinkfrachten und Niederschlag.



**Abbildung 138:** Versuchsflächen 1-V-7-W / 9-B-7-W / 5-V-45-W / 13-B-45-W. Ergebnisse von den Standorten A und B. Addition der Zinkfrachten aus 22 Versuchsjahren.

## 5.4.2 Ergebnisse für die fest anhaftenden Korrosionsprodukte und Gesamtabtrag

Am 21.12.1993 fand im Rahmen des ersten Versuchsabschnittes (Standort A) eine Bestimmung der fest anhaftenden Korrosionsprodukte statt; siehe hierzu [Lit. 22]. Hierbei wurden die vier Versuchsflächen 1-V-7-W / 9-B-7-W / 5-V-45-W / 13-B-45-W **nicht** in diese spezielle Untersuchung einbezogen, da sie für die weiteren Versuchsabschnitte „ungestört“ verbleiben sollten. Im Rahmen dieser Ausarbeitung wurden für die Orientierung Westen als „Ersatz“ die Werte der S-N-O - Orientierung herangezogen; siehe hierzu auch die Ausführungen in Abschnitt 5.1.12.

Am 06.06.2013 fand eine Probenentnahme zur Bestimmung der fest anhaftenden Korrosionsprodukte für die o. a. vier Versuchsflächen statt. Das Vorgehen im Rahmen der Probenentnahme und der Bestimmung der Werte für die fest anhaftenden Korrosionsprodukte erfolgte - bis auf drei Modifikationen, die nachfolgend erläutert werden - analog dem Vorgehen bei der Bestimmung am 21.12.1993.

### Modifikationen in der Versuchsdurchführung (Entnahme der Proben am 6.6.2013)

Im Rahmen der **zweiten** Bestimmung der fest anhaftenden Korrosionsprodukte mussten die Unterseiten der Proben gereinigt werden, da hier, bedingt durch die lange Versuchsdauer von rd. 23 Jahren, sich an einigen Stellen Bestandteile aus der bituminösen Trennlage zwischen der Titanzinkdeckung und der Holzwerkstoffplatte angelagert hatten. Diese Anlagerungen mussten von den entnommenen Proben mechanisch entfernt werden. Dadurch wurden auch die fest anhaftenden Korrosionsprodukte, einschließlich der Korrosionsprodukte, die sich durch die Vorbewitterung im Werk an der Unterseite der entnommenen Proben gebildet hatte, entfernt, so dass praktisch eine „frische“ walzblanke untere Oberfläche entstanden ist (erste Modifikation).

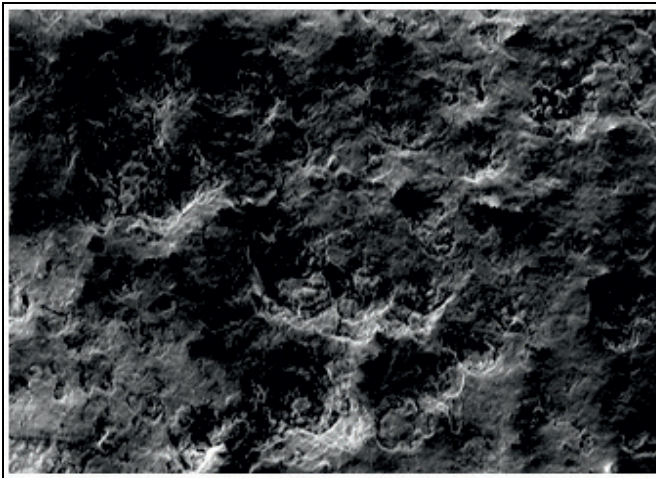
Die Durchführung des Versuchs [Lit. 49] erfolgte im ersten Schritt analog dem Vorgehen bei der Bestimmung am 21.12.1993:

Die Proben wurden zuerst mit Wasser und anschließend mit Ethanol gereinigt. Es folgte eine 10-minütige Trocknung bei 50 °C und eine 10-minütige Abkühlung im Exsikator. Danach wurden sie bis zur Gewichtskonstanz eingewogen. Nach diesem Vorgang wurden die getrockneten Proben für fünf Minuten in eine 10-prozentige Ammoniumchloridlösung bei 70 °C eingetaucht. Es folgten eine erneute Reinigung mit Wasser und Ethanol, eine Trocknung bei 50 °C, eine Abkühlung im Exsikator und eine Wägung bis zur Gewichtskonstanz.

Die optische Prüfung, siehe Abbildung 139, der so behandelten Proben ergab, dass noch fest anhaftende Korrosionsprodukte auf der Oberfläche verblieben waren. Dieses Ergebnis ist auf eine Veränderung in der Beschaffenheit der fest anhaftenden Korrosionsprodukte (Zusammensetzung und Dichte der Schicht) im Vergleich mit der „Situation“ zum Zeitpunkt der Untersuchung am 21.12.1993 zurückzuführen (längere Freibewitterungszeit von rd. 19 Jahren in Verbindung mit einer Verringerung der Schadstoffbelastung aus der Atmosphäre).

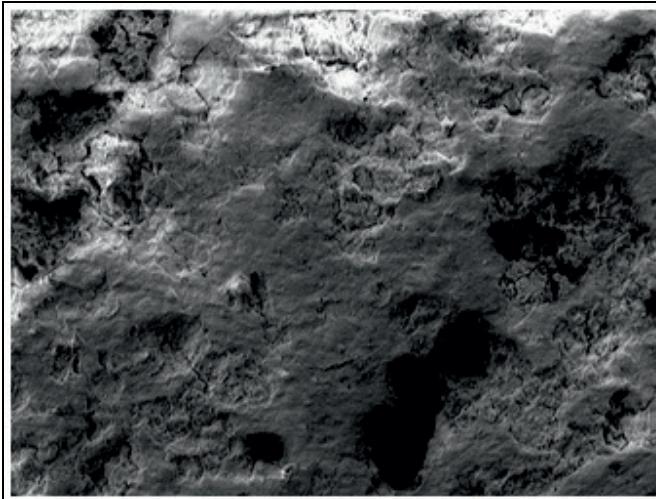
Daraufhin wurde eine zweite Extraktion nach dem ersten Schritt durchgeführt. Die Verweildauer der Proben in der 10-prozentigen Ammoniumchloridlösung wurde auf 120 Minuten verlängert (zweite Modifikation). Für die Gewichtsbestimmungen wurde eine Analysenwaage (d=0,0001 g) verwendet.

Anhand einer Probe wurde eine REM- und eine EDX-Untersuchung durchgeführt, Abbildung 139 (dritte Modifikation).



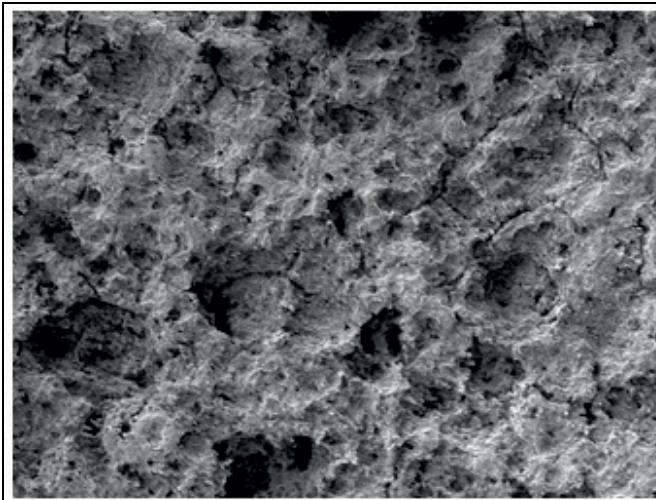
Element	Masse / Gew. %	Masse / At. %
Zink	56.7	25.5
Sauerstoff	34.0	59.7
Kohlenstoff	4.6	11.1
Eisen	1.9	0.9
Phosphor	1.1	1.0
Aluminium	1.2	1.2
Silicium	1.2	1.1
Schwefel	0.4	0.3
Chlor	0.3	0.2
Calcium	0.3	0.2

**Situation a:** Oberfläche vor der Extraktion.



Element	Masse / Gew. %	Masse / At. %
Zink	48.0	21.6
Sauerstoff	37.0	62.0
Eisen	3.0	1.6
Aluminium	3.2	3.3
Phosphor	3.2	2.8
Calcium	2.1	1.7
Kohlenstoff	3.0	6.4
Silicium	1.5	1.5

**Situation b:** Oberfläche nach der ersten Extraktion.



Element	Masse / Gew. %	Masse / At. %
Zink	95.3	81.6
Sauerstoff	2.7	9.2
Kohlenstoff	2.0	9.2

**Situation c:** Oberfläche nach der zweiten Extraktion.

**Abbildung 139:** SE-Abbildungen der Oberfläche und die jeweilige 1-Punkt-Quantifizierung (EDX). (Die Aufnahmen wurden bei einer 250-fachen Vergrößerungen gemacht). [Lit. 49] Die o.a. Ergebnisse stammen von verschiedenen Orten einer Probe



„Bei der Betrachtung der Oberflächen lassen sich nur wenige Unterschiede ausmachen. Die Abbildung 1 - (Situation a in Abbildung 139) - und Abbildung 2 - (Situation b in Abbildung 139) - weisen noch verhältnismäßig ebene Flächen auf, wohingegen die Oberfläche in Abbildung 3 - (Situation c in Abbildung 139) - eher rau erscheint. Anhand der EDX-Analyse ist allerdings zu erkennen, dass nach der 2. Extraktion die Oberfläche größtenteils nur noch aus Zn besteht. Es ist somit anzunehmen, dass die Korrosionsschicht (nahezu) vollständig abgelöst werden konnte.“ [Lit. 49].

In der nachfolgenden Abbildung 140 wurden die in [Lit. 49] an den kleinen Proben ermittelten Werte auf die Bezugsfläche von 1 m<sup>2</sup> hochgerechnet.

<b><u>Fest anhaftende Korrosionsprodukte</u></b>	
<b>Standorte A und B - Erster bis dritter Versuchsabschnitt</b>	
<b>Untersuchungszeitraum: 27.11.1990 bis 6.6.2013 (Entnahme der Proben 6.6.2013)</b>	
<b><u>Versuchsflächen 7° geneigt</u></b>	
<u>Vorbewitterte blaugraue</u> Versuchsfläche 1-V-7-W:	6,844 g/m <sup>2</sup>
<u>Walzblanke</u> Versuchsfläche 9-B-7-W:	6,906 g/m <sup>2</sup>
Mittelwert für die 7° geneigten Flächen („walzblank“ und „vorbewittert blaugrau“): <b>6,875 g/m<sup>2</sup></b>	
<b><u>Versuchsflächen 45° geneigt</u></b>	
<u>Vorbewitterte blaugraue</u> Versuchsfläche 5-V-45-W:	5,625 g/m <sup>2</sup>
<u>Walzblanke</u> Versuchsfläche 13-B-45-W:	5,641 g/m <sup>2</sup>
Mittelwert für die 45° geneigten Flächen („walzblank“ und „vorbewittert blaugrau“): <b>5,633 g/m<sup>2</sup></b>	

**Abbildung 140:** Versuchsflächen 7° und 45° geneigt. Standort A und B.  
 Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 6.6.2013 (Entnahme der Proben am 6.6.2013).  
 Werte der fest anhaftenden Korrosionsprodukte, ermittelt nach Angaben in [Lit. 49].

Für die fest anhaftenden Korrosionsprodukte ergeben sich für den ersten, zweiten und dritten Versuchsabschnitt (27.11.1990 bis 6.6.2013) folgende prozentuale Werte:

- o Fläche 1-V-7-W rd. 8 % - Fläche 9-B-7-W rd. 8,1 %
- o Fläche 5-V-45-W rd. 8 % - Fläche 13-B-45-W rd. 8 %.

Im Rahmen der **ersten** Bestimmung der fest anhaftenden Korrosionsprodukte (Entnahme der Proben am 21.12.1993) hat **keine** unterseitige Reinigung der Proben stattgefunden, da sich nach den drei Jahren Versuchsdauer keine Bitumenrückstände angelagert hatten. Eine REM- und eine EDX-Untersuchung wurde bei der ersten Bestimmung nicht durchgeführt. Dies bedeutet, dass in den ermittelten Größenordnungen auch Werte enthalten sind, die nicht durch die von außen wirkenden Einflüsse der atmosphärischen Korrosion entstanden sind (z. B. Anteil aus dem Vorbewitterungsprozess des walzblanken Materials im Werk).

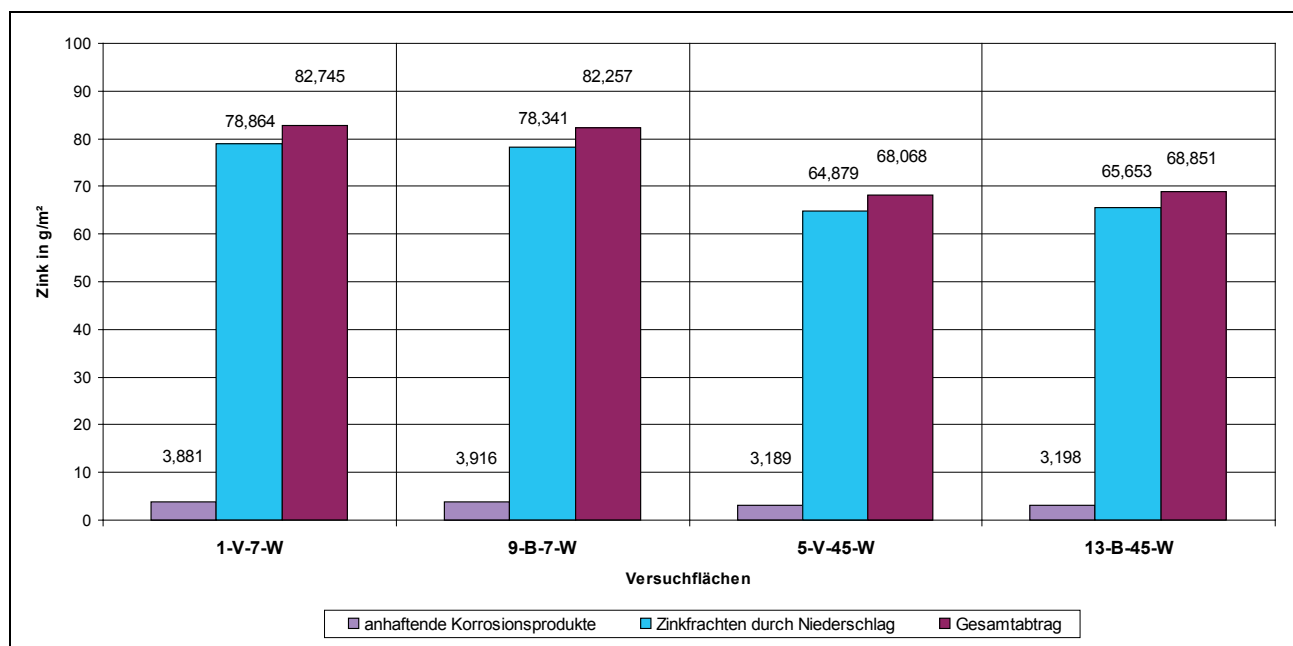
Diese Einflüsse müssen beim Vergleich und der Interpretation der Werte in den Abbildungen 110 bzw. 111 einerseits und 139 bzw. 140 andererseits, zusätzlich zu den auf den Seiten 143/144 erwähnten „Unsicherheiten“ berücksichtigt werden, siehe hierzu auch die nachfolgende Zusammenstellung mit einer Differenzbildung für die Verringerung der festanhaftenden Korrosionsprodukte.

Versuchsfläche	Fest anhaftende Korrosionsprodukte 27.11.1990 - 21.12.1993	Fest anhaftende Korrosionsprodukte 27.11.1990 - 06.06.2013	Differenz (gerundete Werte)	Differenz in %
1-V-7-W:	10,4 g/m <sup>2</sup>	6,844 g/m <sup>2</sup>	3,6 g/m <sup>2</sup>	34,6
9-B-7-W:	13,0 g/m <sup>2</sup>	6,906 g/m <sup>2</sup>	6,1 g/m <sup>2</sup>	46,9
5-V-45-W:	8,9 g/m <sup>2</sup>	5,625 g/m <sup>2</sup>	3,3 g/m <sup>2</sup>	37,1
13-B-45-W:	10,5 g/m <sup>2</sup>	5,641 g/m <sup>2</sup>	4,9 g/m <sup>2</sup>	46,7

Die in Abbildung 139 dargestellte Untersuchungsreihe zeigt in der EDX-Untersuchung die Zusammensetzung der fest anhaftenden Korrosionsprodukte. Bei der Verwendung der Größenordnung der festanhaftenden Korrosionsprodukte zur Bestimmung der Gesamt-Abtragsraten, bzw. der Verringerung der Dicke des Titanzinks, darf **nur** der Anteil des Zinks verwendet werden, hier der Wert der „Situation a: Oberfläche **vor** der Extraktion“ (siehe Abbildung 139): Unter der Annahme einer homogenen Verteilung des Zinkanteils in der Schicht der festanhaftenden Korrosionsprodukte ergibt sich der Korrekturfaktor zu 56,7 % (Situation a: Oberfläche **vor** der Extraktion) aus Abbildung 139.

#### Anmerkung:

Um diesen Korrekturfaktor - repräsentativ für die ganze Schicht der festanhaftenden Korrosionsprodukte - genauer bestimmen zu können, bedarf es weiterführender Untersuchungen.



**Abbildung 141:** *Versuchsfläche 1-V-7-W / 9-B-7-W / 5-V-45-W / 13-B-45-W. Standort A und B. Versuchsabschnitt: 27.11.1990 bis 6.6.2013 (Entnahme der Proben am 6.6.2013). Grafische Darstellung der **Zinkanteile** aus den fest anhaftenden Korrosionsprodukten, der Zinkfrachten und des Gesamtabtrags für den gesamten Untersuchungszeitraum.*

In den nachfolgenden Abbildungen 142 bis 145 werden die entsprechenden Daten für den **gesamten** Untersuchungszeitraum - Versuchsdauer: 27.11.1990 bis 19.10.2013 (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre) - in einer Übersicht zusammengestellt.

<b><u>Versuchsfläche 1-V-7-W</u></b>		
<b>Zusammenfassung der Ergebnisse von den Standorten A und B</b>		
<b>Versuchsdauer: 27.11.1990 bis 19.10.2013 (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre)</b>		
1	Zinkfrachten :	<b><u>79,648 g/m<sup>2</sup></u></b>
2	Jahresmittelwert für die Zinkfrachten (aus 1):	<b>3,476 g/(m<sup>2</sup> · a)</b>
	Mittlere Dickenabnahme aus dem Abtrag über Zinkfrachten:	<b><u>0,483 µm/a</u></b>
3	Masse des Zinkanteils der anhaftenden Korrosionsprodukte: (Anteil am Gesamtabtrag: rd. 4,7 %)	<b>3,881 g/m<sup>2</sup></b> <sup>1)</sup>
4	Gesamtabtrag (Summe 1 + 3):	<b><u>83,529 g/m<sup>2</sup></u></b> <sup>1)</sup>
5	Jahresmittelwert für den Gesamtabtrag:	<b>3,646 g/(m<sup>2</sup> · a)</b>
	<b>Mittlere Dickenabnahme aus dem Gesamtabtrag:</b>	<b><u>0,506 µm/a</u></b> <sup>1)</sup>
<b>Anmerkung:</b>		
1) Die Proben für die Ermittlung der anhaftenden Korrosionsprodukte wurden am 6.6.2013 entnommen. Dieser Wert wurde auch für die Gesamtauswertung bis 19.10.2013 verwendet unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors von 56,7 % (siehe Seite 165).		

**Abbildung 142:** Versuchsfläche 1-V-7-W.

Standort A und B. Versuchsdauer: 27.11.1990 bis 19.10.2013 (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre).  
Zinkfrachten, Zinkanteil aus den fest anhaftenden Korrosionsprodukten -  
Gesamtabtrag und Dickenabnahme.

<b><u>Versuchsfläche 9-B-7-W</u></b>		
<b>Zusammenfassung der Ergebnisse von den Standorten A und B</b>		
<b>Versuchsdauer: 27.11.1990 bis 19.10.2013 (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre)</b>		
1	Zinkfrachten:	<b><u>79,188 g/m<sup>2</sup></u></b>
2	Jahresmittelwert für die Zinkfrachten (aus 1):	<b>3,456 g/(m<sup>2</sup> · a)</b>
	Mittlere Dickenabnahme aus dem Abtrag über Zinkfrachten:	<b><u>0,480 µm/a</u></b>
3	Masse des Zinkanteils der anhaftenden Korrosionsprodukte: (Anteil am Gesamtabtrag: rd. 4,8 %)	<b>3,916 g/m<sup>2</sup></b> <sup>1)</sup>
4	Gesamtabtrag (Summe 1 +3):	<b><u>83,104 g/m<sup>2</sup></u></b> <sup>1)</sup>
5	Jahresmittelwert für den Gesamtabtrag:	<b>3,627 g/(m<sup>2</sup> · a)</b>
	<b>Mittlere Dickenabnahme aus dem Gesamtabtrag:</b>	<b><u>0,504 µm/a</u></b> <sup>1)</sup>
<b>Anmerkung:</b>		
1) Die Proben für die Ermittlung der anhaftenden Korrosionsprodukte wurden am 6.6.2013 entnommen. Dieser Wert wurde auch für die Gesamtauswertung bis 19.10.2013 verwendet unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors von 56,7 % (siehe Seite 165).		

**Abbildung 143:** Versuchsfläche 9-B-7-W.

Standort A und B. Versuchsdauer: 27.11.1990 bis 19.10.2013 (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre).  
Zinkfrachten, Zinkanteil aus den fest anhaftenden Korrosionsprodukten -  
Gesamtabtrag und Dickenabnahme.

<b><u>Versuchsfläche 5-V-45-W</u></b>		
<b>Zusammenfassung der Ergebnisse von den Standorten A und B</b>		
<b>Versuchsdauer: 27.11.1990 bis 19.10.2013 (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre)</b>		
1	Zinkfrachten:	<b><u>65,513 g/m<sup>2</sup></u></b>
2	Jahresmittelwert für die Zinkfrachten (aus 1):	<b>2,859 g/(m<sup>2</sup> · a)</b>
	Mittlere Dickenabnahme aus dem Abtrag über Zinkfrachten:	<b><u>0,397 µm/a</u></b>
3	Masse des Zinkanteils der anhaftenden Korrosionsprodukte: (Anteil am Gesamtabtrag: rd. 4,7 %)	<b>3,189 g/m<sup>2</sup></b> <sup>1)</sup>
4	Gesamtabtrag (Summe 1 + 3):	<b><u>68,702 g/m<sup>2</sup></u></b> <sup>1)</sup>
5	Jahresmittelwert für den Gesamtabtrag:	<b>2,998 g/(m<sup>2</sup> · a)</b>
	<b>Mittlere Dickenabnahme aus dem Gesamtabtrag:</b>	<b><u>0,416 µm/a</u></b> <sup>1)</sup>
<b>Anmerkung:</b>		
1) Die Proben für die Ermittlung der anhaftenden Korrosionsprodukte wurden am 6.6.2013 entnommen. Dieser Wert wurde auch für die Gesamtauswertung bis 19.10.2013 verwendet unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors von 56,7 % (siehe Seite 165).		

**Abbildung 144:** Versuchsfläche 5-V-45-W.  
Standort A und B. Versuchsdauer: 27.11.1990 bis 19.10.2013 (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre).  
Zinkfrachten, Zinkanteil aus den fest anhaftenden Korrosionsprodukten -  
Gesamtabtrag und Dickenabnahme.

<b><u>Versuchsfläche 13-B-45-W</u></b>		
<b>Zusammenfassung der Ergebnisse von den Standorten A und B</b>		
<b>Versuchsdauer: 27.11.1990 bis 19.10.2013 (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre)</b>		
1	Zinkfrachten:	<b><u>66,335 g/m<sup>2</sup></u></b>
2	Jahresmittelwert für die Zinkfrachten (aus 1):	<b>2,895 g/(m<sup>2</sup> · a)</b>
	Mittlere Dickenabnahme aus dem Abtrag über Zinkfrachten:	<b><u>0,402 µm/a</u></b>
3	Masse des Zinkanteils der anhaftenden Korrosionsprodukte: (Anteil am Gesamtabtrag: rd. 4,6 %)	<b>3,198 g/m<sup>2</sup></b> <sup>1)</sup>
4	Gesamtabtrag (Summe 1 + 3):	<b><u>69,533 g/m<sup>2</sup></u></b> <sup>1)</sup>
5	Jahresmittelwert für den Gesamtabtrag:	<b>3,035 g/(m<sup>2</sup> · a)</b>
	<b>Mittlere Dickenabnahme aus dem Gesamtabtrag:</b>	<b><u>0,421 µm/a</u></b> <sup>1)</sup>
<b>Anmerkung:</b>		
1) Die Proben für die Ermittlung der anhaftenden Korrosionsprodukte wurden am 6.6.2013 entnommen. Dieser Wert wurde auch für die Gesamtauswertung bis 19.10.2013 verwendet unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors von 56,7 % (siehe Seite 165).		

**Abbildung 145:** Versuchsfläche 13-B-45-W.  
Standort A und B. Versuchsdauer: 27.11.1990 bis 19.10.2013 (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre).  
Zinkfrachten, Zinkanteil aus den fest anhaftenden Korrosionsprodukten -  
Gesamtabtrag und Dickenabnahme.

## 6 Vergleichende Betrachtung der Ergebnisse der Untersuchungsverfahren

- Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik
- Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag

### 6.1 Vorbemerkungen

Das Ziel der vergleichenden Betrachtung ist, zu prüfen, ob, und unter welchen Randbedingungen sich auch das Messverfahren „Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik“ für die Bestimmung der Dickenänderungen von Dachdeckungen mit Titanzink auf Grund atmosphärischer Korrosion eignet.

Hierfür wurde an den vier Versuchsflächen 1-V-7-W / 9-B-7-W / 5-V-45-W / 13-B-45-W die Veränderung der Dicke mit den beiden Untersuchungsverfahren - „Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik“ und „Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag“ - bestimmt.

Für die vergleichende Betrachtung der beiden unterschiedlichen Verfahren wurden die Messergebnisse der Dachflächen-Freibewitterungsversuche in Hannover-Herrenhausen (Standort A) und in Hannover-Langenhagen (Standort B) verwendet.

Die Messergebnisse für die **vergleichende** Betrachtung beider Untersuchungsverfahren stammen:

- o am Standort A (Hannover-Herrenhausen) aus der Zeit vom 02.07.1996 bis 19.10.2003 und
- o am Standort B (Hannover-Langenhagen) aus der Zeit vom 20.10.2003 bis 19.10.2012.

Die Summe der Untersuchungszeiten aus beiden Standorten für die **vergleichende** Betrachtung beträgt 5950 Tage bzw. 16,3 Jahre.

Der „Start“ für die **separate** Betrachtung des Untersuchungsverfahrens „Bestimmung der Zinkfrachten im Niederschlag“ war der 27.11.1990.

Der „Start“ für die **vergleichende** Betrachtung der Messergebnisse **beider Verfahren** war der 02.07.1996. Er erfolgte somit etwa fünf Jahre später. Die Gründe für diesen späteren Beginn der Messungen mit der Ultraschall-Prüftechnik für die vergleichende Betrachtung sind:

- o Bei der Ultraschall-Wanddickenmessung ist die Schicht aus den fest anhaftenden Korrosionsprodukten (die Patina) Bestandteil der Mess-Strecke. Beim Starttermin der Freibewitterungsversuche, am 27.11.1990, hatten sich bei den fabrikneuen, walzblanken Dachdeckungen aus Titanzink fest anhaftenden Korrosionsprodukte nur in sehr geringem Maße ausgebildet, bzw. bei dem vorbewitterten blaugrauen Titanzink hatte sich die Patina noch nicht „komplettiert“.
- o Dieser schon in Abschnitt 5.1.12 beschriebene Vorgang der Patinabildung, zeitlich gesehen, führt neben einer Verlangsamung der Korrosion von Titanzink auch zu einer Annäherung der Abtragsrate an die so genannte Abschwemmrate (Zinkfrachten). Jetzt werden etwa genau so viele Korrosionsprodukte abgeschwemmt, wie durch den Korrosionsprozess am metallischen Zink für die Patina „nachgeliefert“ werden. Nach einer bestimmten Zeit bildet sich - nahezu gleich bleibende Einflüsse für die atmosphärische Korrosion vorausgesetzt - eine fast konstant bleibende „Grenzdicke“ für die fest anhaftenden Korrosionsprodukte aus.

### **Anmerkungen:**

- o Die Schichtdicke des Koppelmittels ist auch ein Bestandteil der Mess-Strecke. Das Auftragen des Koppelmittels bei allen Messvorgängen und die Maßnahmen zur Erzielung einer kleinen Schichtdicke wurden immer von derselben Person und in derselben Art und Weise durchgeführt. Dadurch ist sichergestellt, dass die Schichtdicke des Koppelmittels bei allen Messungen nahezu in gleicher Größenordnung vorhanden war - sie muss also für die vergleichende Betrachtung **nicht** berücksichtigt werden.
- o Für den nachfolgend vorgenommenen Vergleich sind die Werte aus dem Untersuchungsverfahren: „Bestimmung der Zinkfrachten im Niederschlag“ in den Zusammenstellungen in Abschnitt 5 enthalten. Sie werden hier detailliert nicht nochmals aufgeführt.
- o Die Werte aus dem Untersuchungsverfahren: „Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik“ für die vier Freibewitterungs-Versuchsflächen 1-V-7-W / 9-B-7-W / 5-V-45-W und 13-B-45-W (Objekt 54) müssen noch aufgeführt werden. Dies geschieht in der folgenden Zusammenstellung in Abschnitt 6.2. Sie umfasst nicht nur die Ergebnisse, sondern gibt auch eine Übersicht z. B. über das Vorgehen der Untersuchung, Ermittlung der Vertrauensbereiche und grafische Darstellungen.



## 6.2 Objekt 54 mit vier Freibewitterungs-Versuchsflächen Hannover-Herrenhausen (Standort A) und Hannover-Langenhagen (Standort B) Auswertungsergebnisse der Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik

In den nachfolgend aufgeführten Stationen der Auswertung sind die jeweiligen „Endergebnisse“ gelb unterlegt.

<p><b>Allgemeine Angaben</b></p> <p><b>Kurze Beschreibung:</b> Freiland-Versuchsflächen, jede Versuchsfläche besitzt zwei Schare, Scharbreite 65 cm. Doppelstehfalzdeckung, die Titanzinkdeckung ist oben und an den beiden Längsseiten aufgekantet. Nenndicke der Metaldeckung 0,7 mm. Die Versuchsflächen, zwei Dächer mit 7 ° Neigung und zwei Dächer mit 45 ° Neigung sind mit Titanzink gedeckt, jeweils mit der Oberflächenbeschaffenheit "walzblank" und "vorbewittert". Die Größe der Versuchsflächen beträgt 4 m<sup>2</sup>.</p> <p>Standort der Versuchsflächen in Hannover-Herrenhausen 27.11.1990 bis 19.10.2003. Standort der Versuchsflächen in Hannover-Langenhagen seit 20.10.2003. Die Versuchsreihe wird weitergeführt, freie Lage an beiden Standorten.</p> <p>Das Regenwasser wurde in Tonnen gesammelt und periodisch (zwei Monate) wurde anteilmäßig eine Mischprobe zusammengestellt. Aus diesen Proben wurde die jeweilige Zinkkonzentration und die Abschwemmrate ermittelt.</p> <p>Die folgenden Daten (US-Messungen) stammen aus dem Zeitraum 02.07.1996 bis 19.10.2012</p> <p>Das Objekt wurde <b>dreimal</b> gemessen:</p> <p>1. Messung am: 02.07.1996 (Standort Hannover-Herrenhausen) 2. Messung am: 16.06.2001 (Standort Hannover-Herrenhausen) 3. Messung am: 19.10.2012 (Standort Hannover-Langenhagen)</p> <p>Der Dickenänderung wurde mit Hilfe zweier Verfahren bestimmt.</p> <p>Messverfahren: Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag. Messverfahren: Dickenmessung mit der Ultraschall-Prüftechnik.</p>
---

Blatt 1

<b>Temperaturabhängige Korrekturwerte in mm - Gewichteter Mittelwert, Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C</b>
--

Korrekturwert für Nenndicke 0,650 mm		Korrekturwert für Nenndicke 0,700 mm		Korrekturwert für Nenndicke 0,800 mm	
Temp. °C	Korr.-Wert	Temp. °C	Korr.-Wert	Temp. °C	Korr.-Wert
		0	0,00352560	31	-0,00067800
		1	0,00339000	32	-0,00081360
		2	0,00325440	33	-0,00094920
		3	0,00311880	34	-0,00108480
		4	0,00298320	35	-0,00122040
		5	0,00284760	36	-0,00135600
		6	0,00271200	37	-0,00149160
		7	0,00257640	38	-0,00162720
		8	0,00244080	39	-0,00176280
		9	0,00230520	40	-0,00189840
		10	0,00216960	41	-0,00203400
		11	0,00203400	42	-0,00216960
		12	0,00189840	43	-0,00230520
		13	0,00176280	44	-0,00244080
		14	0,00162720	45	-0,00257640
		15	0,00149160	46	-0,00271200
		16	0,00135600	47	-0,00284760
		17	0,00122040	48	-0,00298320
		18	0,00108480	49	-0,00311880
		19	0,00094920	50	-0,00325440
		20	0,00081360		
		21	0,00067800		
		22	0,00054240		
		23	0,00040680		
		24	0,00027120		
		25	0,00013560		
		<b>26 (0)</b>	<b>0,00000000</b>		
		27	-0,00013560		
		28	-0,00027120		
		29	-0,00040680		
		30	-0,00054240		

Blatt 2

### Zeitkorrektur (Normierung) für die Bestimmung der mittleren Dickenänderung pro Jahr (Teil 1 von 2)

Mit der Normierung werden **vergleichbare** Jahresmittelwerte für die Dickenänderung, Angabe in  $\mu\text{m/a}$ , für die einzelnen Objekte ermittelt.

Die mittlere Dickenänderung pro Jahr ergibt sich aus der Differenz der temperaturkorrigierten Dicken einer Messperiode der jeweiligen Dachflächen- bzw. Wandflächengruppe (gleiche Neigung, gleiche Orientierung zur Himmelrichtung). Für den Fall, dass jeweils die Messungen (im Abstand von 4, 8 bzw. 12 Jahren) bezüglich auf den Monat und Tag übereinstimmen, kann der Wert für die mittlere Dickenänderung pro Jahr, angegeben in  $\mu\text{m/a}$ , relativ einfach bestimmt werden:

Der Wert der Dickenänderung, ermittelt aus dem temperaturkorrigierten Messwert der ersten Messung, minus dem temperaturkorrigierten Messwert der nächsten Messung, wird durch die Anzahl der Jahre des jeweiligen Messzeitraums geteilt.

Für Objekte mit **drei** Messungen im Abstand von jeweils 4 Jahren ergeben sich 4 bzw. 8 Jahre. Es ergeben sich Differenzen aus:

1. Messung - 2. Messung, 2. Messung - 3. Messung und 1. Messung - 3. Messung.

Für Objekte mit **vier** Messungen im Abstand von jeweils vier Jahren ergeben sich 4, 8 und 12 Jahre. Es ergeben sich Differenzen aus:

1. Messung - 2. Messung, 2. Messung - 3. Messung, 3. Messung - 4. Messung und 1. Messung - 4. Messung.

Dieser o. a. "Idealfall" war aus naheliegenden Gründen (Regenperioden, Zugänglichkeit der Objekte, persönliche Gründe usw.) nicht erreichbar.

Aus Gründen der Vereinfachung wurde in der ersten Stufe der Auswertung, bei der Bestimmung des Abtrags pro Jahr, die jeweilige Dickenänderung durch die Anzahl der Jahre der Messperiode (4, 8 bzw. 12) geteilt. Es wurde hierbei noch **keine** Zeitkorrektur durchgeführt.

Für die Bewertung der mittleren Dickenänderung pro Jahr der einzelnen Messperioden und der Objekte untereinander muss daher eine "Zeitkorrektur" durchgeführt werden.

#### Vorgehensweise:

- Ermittlung der Anzahl der Tage der jeweiligen Messperiode (der Einfluss von Schaltjahren wird vernachlässigt).
- Ermittlung der Dickenänderung in der jeweiligen Messperiode, ermittelt aus den temperaturkorrigierten Messwerten.
- Der Wert aus Punkt b) wird durch die Anzahl der Tage, siehe Punkt a), dividiert. Ergebnis: Mittlere Dickenänderung pro Tag.
- Der Wert von Punkt c) wird mit der Jahrestagzahl 365 multipliziert (der Einfluss von Schaltjahren wird vernachlässigt).

**Ergebnis:** Mittlere Dickenänderung pro Jahr, angegeben in  $\mu\text{m/a}$ , für die jeweils betrachtete Messperiode (je nach Objekt 4, 8 bzw. 12 Jahre, für das Objekt 54 insgesamt 16,3 Jahre).

### Blatt 3

### Zeitkorrektur (Normierung) für die Bestimmung der mittleren Dickenänderung pro Jahr (Teil 2 von 2)

Die Messungen wurden im Abstand von 5, 11 und 16 Jahren vorgenommen.

Es ergeben sich für die Differenzbildung folgende Tageswerte (der Einfluss von Schaltjahren wurde vernachlässigt):

1. Messung und 2. Messung (05 Jahre): 1825 Tage (unkorrigiert)
2. Messung und 3. Messung (11 Jahre): 4015 Tage (unkorrigiert)
1. Messung und 3. Messung (16 Jahre): 5840 Tage (unkorrigiert)

Die Normierung wurde mit folgender Gleichung vorgenommen:

$$z = (D/x) \cdot 365 \cdot 1000$$

- z - Zeitkorrigierter Jahresmittelwert der jeweiligen Messperiode in  $\mu\text{m/a}$   
D - Differenz aus den nicht zeitkorrigierten Messwerten der jeweiligen Messperiode  
365 - Jahrestagzahl (der Einfluss von Schaltjahren wurden vernachlässigt)  
1000 - Umrechnung von  $\text{mm/a}$  in  $\mu\text{m/a}$   
x - Genaue Tagzahl der jeweiligen Messperiode

Für das **Objekt 54** ergeben sich für die Normierung folgende Werte:

Messperiode (1. Messung - 2. Messung): Genaue Tagzahl  $x = 1810$  Tage -- Unkorrigierter Wert 1825 Tage -- Differenz: - 015 Tage  
Messperiode (2. Messung - 3. Messung): Genaue Tagzahl  $x = 4140$  Tage -- Unkorrigierter Wert 4015 Tage -- Differenz: + 125 Tage  
Messperiode (1. Messung - 3. Messung): Genaue Tagzahl  $x = 5950$  Tage -- Unkorrigierter Wert 5840 Tage -- Differenz: + 110 Tage

**Hinweis:** Die "Zeitkorrektur" wurde in das verwendete Auswertungsprogramm eingearbeitet, die Ergebnisse werden als solche gekennzeichnet bzw. auf separaten Seiten dargestellt.

### Blatt 4

### Zusammenfassung von Dachflächen zu einer "Ersatzdachfläche" für die statistische Auswertung

Die Dachflächen (Kurzbezeichnung DF) mit einer Neigung bis 7 ° (8 °) werden unabhängig von der jeweiligen Zuordnung zur Himmelsrichtung für die statistische Auswertung der Messdaten zusammengefasst ("Ersatzdachfläche") und ausgewertet.

#### Begründung für dieses Vorgehen:

In einem weiteren Forschungsvorhaben (Start 27.11.1990 - Ende 23.11.1993) wurden Versuchsobjekte mit jeweils 4 m<sup>2</sup> Dachfläche, jeweils 7 ° und 45 ° geneigt, Orientierung jeweils nach Nord - Ost - Süd - West und jeweils mit der Materialqualität "vorbewittert" und "walzblank" eingedeckt, freibewittert untersucht. Es konnte festgestellt werden, dass für die Versuchsobjekte mit der Dachneigung 7 ° der Einfluss der Orientierung zu den Himmelsrichtungen im Hinblick auf die Größenordnung der Zinkabgabe (Bestimmung der Zinkionen im gesammelten Regenwasser) vernachlässigt werden kann.

**Anmerkung:** Siehe hierzu auch die Promotionsschrift von B. Lehmann.

"Freibewitterungsverhalten von Dächern mit Metalldeckung - Untersuchung zur Zinkabgabe von Dachdeckungen mit Titanzink", Universität Hannover, 1995.

Es ist daher vertretbar, die Ultraschallmessungen an den Dachflächen der realen Objekte (Gebäude), d. h. Dachflächen mit einer Neigung bis 7 ° (8 °), zusammengefasst zu bewerten. Dies gestattet zum einen das Forschungsvorhaben "Ultraschallverfahren" überschaubarer zu gestalten; zum anderen verbessert dieses Vorgehen auch die Aussagewahrscheinlichkeit des hier verwendeten Ultraschall-Meßverfahrens im Hinblick auf die Bewertungen des Mittelwertes und des Vertrauensbereichs (Vergleich Methode 1 mit Methode 2),

#### Voraussetzung:

Die Zusammenfassung der Dachflächen mit unterschiedlichen Orientierungen wurde nur vorgenommen bei Objekten, bei denen **keine** Behinderung der Freibewitterung ("Verschattungen") durch gebäudenaher Vegetation oder höhere Gebäudeteile vorhanden waren.

#### Ergebnis:

Für das Objekt 54: Versuchsflächen Hannover-Herrenhausen und neuer Standort Hannover-Langenhagen sind keine entsprechenden Dachflächen vorhanden. Es werden jedoch in der Gesamtauswertung die Versuchsflächen 7 ° geneigt (Oberflächen "walzblank" und "vorbewittert") und die Versuchsflächen 45 ° geneigt (Oberflächen "walzblank" und "vorbewittert") jeweils zu einer Dachfläche zusammengefasst.

Blatt 5

### Zusammenfassung der Auswertungsergebnisse (Teil 1 von 2) - Vertrauensbereich, ermittelt mit Methode 2 - Zeitkorrigierte Werte

Messtermine: 3 Messungen und zwar in den Jahren 1996 - 2001 - 2012. Damit erfasste Zeit: 16 Jahre

Ort	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Abtrag Mittelwert in µm/a	Vertrauensbereich in µm/a					
1-V-7-W	7 °	West	40	0,445	0,408 bis 0,483					
9-B-7-W	7 °	West	40	0,439	0,402 bis 0,476					
5-V-45-W	45 °	West	40	0,393	0,355 bis 0,430					
13-B-45-W	45 °	West	40	0,373	0,335 bis 0,410					
1-V-7 u. 9-B-7	7 °	West	80	0,442	0,405 bis 0,479					
5-V-45 u. 13-B	45 °	West	80	0,383	0,345 bis 0,420					

Mittelwert des Abtrags aller 7 ° geneigten Flächen : 0,442 µm/a  
Mittelwert des Abtrags aller 45 ° geneigten Flächen : 0,383 µm/a

Maximaltemperatur des Titanzinkmaterials: 43,0 °C  
Mitteltemperatur des Titanzinkmaterials: 26,0 °C  
Minimaltemperatur des Titanzinkmaterials: 9,0 °C  
Abstand von den Extremtemperaturen: 16,5 °C

Blatt 6

**Zusammenfassung der Auswertungsergebnisse (Teil 2 von 2)**

Temperaturkorrigierte und zeitkorrigierte (normierte) Dickenänderungen für die Messperioden, Angabe des Abtrags in [µm/a]

Messtermine: 3 Messungen und zwar in den Jahren 1996 - 2001 - 2012. Damit erfasste Zeit: 16 Jahre

Ort	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Perioden bei drei Messungen						Diagrammdarstellung
				1.-2. Mess. [µm/a]	2.-3. Mess. [µm/a]	1.-3. Mess. [µm/a]				
1-V-7-W	7 °	West	40	0,426	0,454	0,445				Blatt 14
9-B-7-W	7 °	West	40	0,557	0,387	0,439				Blatt 21
5-V-45-W	45 °	West	40	0,374	0,401	0,393				Blatt 33
13-B-45-W	45 °	West	40	0,428	0,348	0,373				Blatt 40
1-V-7 u. 9-B-7	7 °	West	80	0,492	0,420	0,442				Blatt 26
5-V-45 u. 13-B	45 °	West	80	0,401	0,374	0,383				Blatt 45

Blatt 7

**Dachfläche 1-V-7-W - Orientierung: West - Dachneigung: 7 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C**

Messort 1-V-7-W links	Erste Messung: 02.07.1996 Metalltemperatur: 21 °C		Zweite Messung: 16.06.2001 Metalltemperatur: 24 °C		Dritte Messung: 19.10.2012 Metalltemperatur: 10 °C		
Messpunkte	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	
Messpunkt 01	0,693	0,693678	0,693	0,693271	0,686	0,688170	
Messpunkt 02	0,692	0,692678	0,697	0,697271	0,687	0,688920	
Messpunkt 03	0,692	0,692678	0,695	0,695271	0,693	0,694920	
Messpunkt 04	0,695	0,695678	0,693	0,693271	0,691	0,693170	
Messpunkt 05	0,696	0,696678	0,690	0,690271	0,688	0,690170	
Messpunkt 06	0,697	0,697678	0,698	0,698271	0,682	0,683670	
Messpunkt 07	0,697	0,697678	0,695	0,695271	0,686	0,688170	
Messpunkt 08	0,695	0,695678	0,694	0,694271	0,692	0,694170	
Messpunkt 09	0,699	0,699678	0,689	0,689271	0,688	0,689670	
Messpunkt 10	0,698	0,698678	0,695	0,695271	0,680	0,681670	
Messpunkt 11	0,699	0,699678	0,693	0,693271	0,681	0,682670	
Messpunkt 12	0,699	0,699678	0,689	0,689271	0,686	0,687670	
Messpunkt 13	0,697	0,697678	0,690	0,690271	0,688	0,690420	
Messpunkt 14	0,700	0,700678	0,696	0,696271	0,687	0,688670	
Messpunkt 15	0,700	0,700678	0,695	0,695271	0,679	0,680920	
Messpunkt 16	0,693	0,693678	0,689	0,689271	0,684	0,685920	
Messpunkt 17	0,693	0,693678	0,694	0,694271	0,687	0,689420	
Messpunkt 18	0,692	0,692678	0,699	0,699271	0,688	0,690170	
Messpunkt 19	0,692	0,692678	0,696	0,696271	0,693	0,694670	
Messpunkt 20	0,693	0,693678	0,693	0,693271	0,685	0,687170	
Mittelwert	0,695600	0,696278	0,693650	0,693921	0,686350	0,688520	
Max	0,700	0,700678	0,699	0,699271	0,693	0,694920	
Min	0,692	0,692678	0,689	0,689271	0,679	0,680920	
Standardabw.	0,002945	0,002945	0,002996	0,002996	0,004076	0,004076	
Diff. Max - Min	0,008	0,008000	0,010	0,010000	0,014	0,014000	
Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	unterer Wert Mittelwert oberer Wert 1/2 Range (+/-)	0,694902 0,696278 0,697654 0,001376		0,692521 0,693921 0,695321 0,001400		0,686675 0,688520 0,690425 0,001905	
Differenz der temperaturcorr. Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002357	Lage des Messortes von 1-V-7-W links: Dachfläche 1-V-7-W, linke Schar 50 cm von unten Scharbreite 65 cm		
Differenz der temperaturcorr. Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,005402			
Differenz der temperaturcorr. Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				—			
Differenz der temperaturcorr. Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,007758	Abtrag/Jahr in mm/a bzw. in µm/a:	0,000485	0,485
Differenz der temperaturcorr. Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				—	Abtrag/Jahr in mm/a bzw. in µm/a:	—	—

Blatt 8

**Dachfläche 1-V-7-W - Orientierung: West - Dachneigung: 7 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C**

Messort 1-V-7-W rechts	Erste Messung: 02.07.1996 Metalltemperatur: 21 °C		Zweite Messung: 16.06.2001 Metalltemperatur: 23 °C		Dritte Messung: 19.10.2012 Metalltemperatur: 11 °C		
Messpunkte	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	
Messpunkt 01	0,703	<b>0,703678</b>	0,705	<b>0,705407</b>	0,687	<b>0,689034</b>	
Messpunkt 02	0,695	<b>0,695678</b>	0,704	<b>0,704407</b>	0,694	<b>0,696034</b>	
Messpunkt 03	0,699	<b>0,699678</b>	0,706	<b>0,706407</b>	0,700	<b>0,702367</b>	
Messpunkt 04	0,699	<b>0,699678</b>	0,695	<b>0,695407</b>	0,691	<b>0,693367</b>	
Messpunkt 05	0,702	<b>0,702678</b>	0,699	<b>0,699407</b>	0,699	<b>0,701034</b>	
Messpunkt 06	0,705	<b>0,705678</b>	0,695	<b>0,695407</b>	0,687	<b>0,688701</b>	
Messpunkt 07	0,704	<b>0,704678</b>	0,699	<b>0,699407</b>	0,691	<b>0,692701</b>	
Messpunkt 08	0,702	<b>0,702678</b>	0,691	<b>0,691407</b>	0,694	<b>0,696367</b>	
Messpunkt 09	0,704	<b>0,704678</b>	0,701	<b>0,701407</b>	0,693	<b>0,695034</b>	
Messpunkt 10	0,705	<b>0,705678</b>	0,702	<b>0,702407</b>	0,698	<b>0,700034</b>	
Messpunkt 11	0,705	<b>0,705678</b>	0,699	<b>0,699407</b>	0,697	<b>0,698701</b>	
Messpunkt 12	0,704	<b>0,704678</b>	0,699	<b>0,699407</b>	0,695	<b>0,697367</b>	
Messpunkt 13	0,704	<b>0,704678</b>	0,698	<b>0,698407</b>	0,694	<b>0,695701</b>	
Messpunkt 14	0,706	<b>0,706678</b>	0,703	<b>0,703407</b>	0,698	<b>0,699701</b>	
Messpunkt 15	0,706	<b>0,706678</b>	0,706	<b>0,706407</b>	0,693	<b>0,694701</b>	
Messpunkt 16	0,700	<b>0,700678</b>	0,695	<b>0,695407</b>	0,691	<b>0,693367</b>	
Messpunkt 17	0,696	<b>0,696678</b>	0,702	<b>0,702407</b>	0,693	<b>0,695367</b>	
Messpunkt 18	0,701	<b>0,701678</b>	0,706	<b>0,706407</b>	0,698	<b>0,699701</b>	
Messpunkt 19	0,699	<b>0,699678</b>	0,705	<b>0,705407</b>	0,695	<b>0,697034</b>	
Messpunkt 20	0,702	<b>0,702678</b>	0,699	<b>0,699407</b>	0,691	<b>0,693034</b>	
<b>Mittelwert</b>	0,702050	<b>0,702728</b>	0,700450	<b>0,700857</b>	0,693933	<b>0,695967</b>	
<b>Max</b>	0,706	<b>0,706678</b>	0,706	<b>0,706407</b>	0,700	<b>0,702367</b>	
<b>Min</b>	0,695	<b>0,695678</b>	0,691	<b>0,691407</b>	0,687	<b>0,688701</b>	
<b>Standardabw.</b>	0,003187	<b>0,003187</b>	0,004310	<b>0,004310</b>	0,003688	<b>0,003688</b>	
<b>Diff. Max - Min</b>	0,011	<b>0,011000</b>	0,015	<b>0,015000</b>	0,014	<b>0,013667</b>	
<b>Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09</b>	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i> 1/2 Range (+/-)	<b>0,701239</b> <b>0,702728</b> <b>0,704217</b> <b>0,001489</b>		<b>0,698842</b> <b>0,700857</b> <b>0,702871</b> <b>0,002014</b>		<b>0,694244</b> <b>0,695967</b> <b>0,697691</b> <b>0,001723</b>	
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:</b>				<b>0,001871</b>	<b>Lage des Messortes von 1-V-7 rechts:</b> Dachfläche 1-V-7-W, rechte Schar 50 cm von unten Scharbreite 65 cm		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:</b>				<b>0,004889</b>			
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:</b>				—			
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:</b>				<b>0,006761</b>	<b>Abtrag/Jahr in mm/a bzw. in µm/a:</b>	<b>0,000423</b>	<b>0,423</b>
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:</b>				—	<b>Abtrag/Jahr in mm/a bzw. in µm/a:</b>	—	—

**Blatt 9**

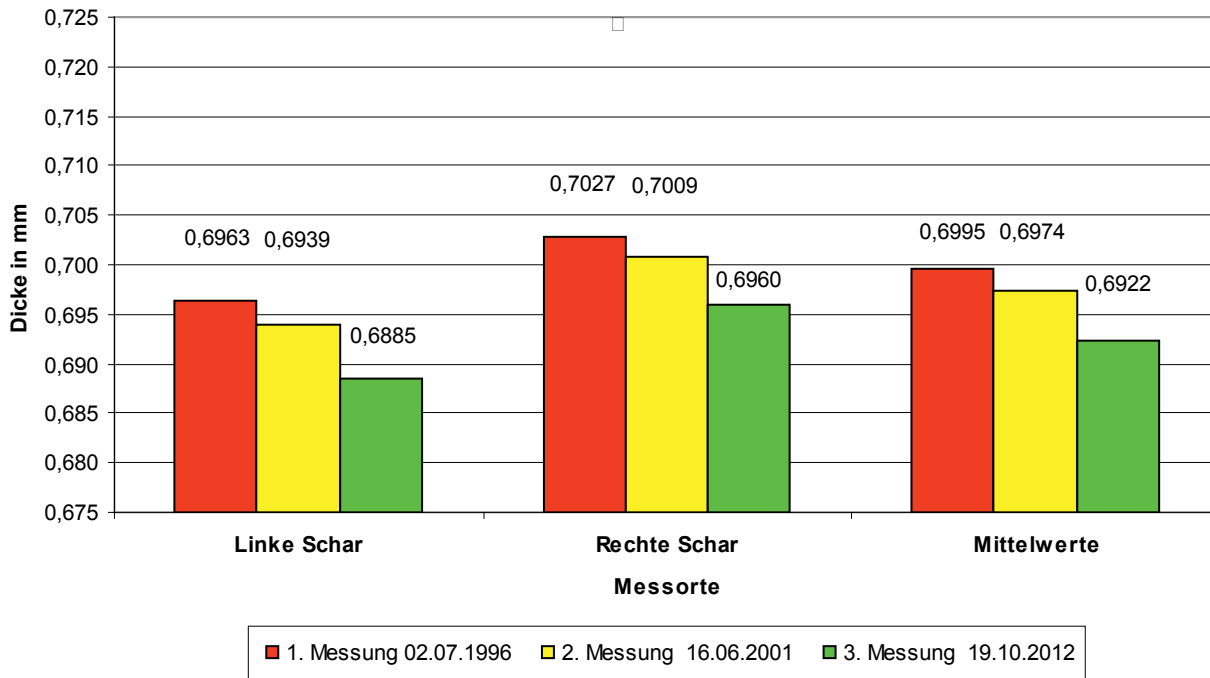
**Dachfläche 1-V-7-W - Orientierung: West - Dachneigung: 7 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C**

Messort 1-V-7-W l. und r.	Erste Messung: 02.07.1996		Zweite Messung: 16.06.2001		Dritte Messung: 19.10.2012		
Messpunkte	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	
<b>Links (MP01)</b>		0,693678		0,693271		0,688170	
Messpunkt 02		0,692678		0,697271		0,688920	
Messpunkt 03		0,692678		0,695271		0,694920	
Messpunkt 04		0,695678		0,693271		0,693170	
Messpunkt 05		0,696678		0,690271		0,690170	
Messpunkt 06		0,697678		0,698271		0,683670	
Messpunkt 07		0,697678		0,695271		0,688170	
Messpunkt 08		0,695678		0,694271		0,694170	
Messpunkt 09		0,699678		0,689271		0,689670	
Messpunkt 10		0,698678		0,695271		0,681670	
Messpunkt 11		0,699678		0,693271		0,682670	
Messpunkt 12		0,699678		0,689271		0,687670	
Messpunkt 13		0,697678		0,690271		0,690420	
Messpunkt 14		0,700678		0,696271		0,688670	
Messpunkt 15		0,700678		0,695271		0,680920	
Messpunkt 16		0,693678		0,689271		0,685920	
Messpunkt 17		0,693678		0,694271		0,689420	
Messpunkt 18		0,692678		0,699271		0,690170	
Messpunkt 19		0,692678		0,696271		0,694670	
Messpunkt 20		0,693678		0,693271		0,687170	
<b>Rechts (MP01)</b>		0,703678		0,705407		0,689034	
Messpunkt 02		0,695678		0,704407		0,696034	
Messpunkt 03		0,699678		0,706407		0,702367	
Messpunkt 04		0,699678		0,695407		0,693367	
Messpunkt 05		0,702678		0,699407		0,701034	
Messpunkt 06		0,705678		0,695407		0,688701	
Messpunkt 07		0,704678		0,699407		0,692701	
Messpunkt 08		0,702678		0,691407		0,696367	
Messpunkt 09		0,704678		0,701407		0,695034	
Messpunkt 10		0,705678		0,702407		0,700034	
Messpunkt 11		0,705678		0,699407		0,698701	
Messpunkt 12		0,704678		0,699407		0,697367	
Messpunkt 13		0,704678		0,698407		0,695701	
Messpunkt 14		0,706678		0,703407		0,699701	
Messpunkt 15		0,706678		0,706407		0,694701	
Messpunkt 16		0,700678		0,695407		0,693367	
Messpunkt 17		0,696678		0,702407		0,695367	
Messpunkt 18		0,701678		0,706407		0,699701	
Messpunkt 19		0,699678		0,705407		0,697034	
Messpunkt 20		0,702678		0,699407		0,693034	
<b>Mittelwert</b>		0,699503		0,697389		0,692243	
<b>Max</b>		0,706678		0,706407		0,702367	
<b>Min</b>		0,692678		0,689271		0,680920	
<b>Standardabw.</b>		0,004454		0,005075		0,005380	
<b>Diff. Max - Min</b>		0,014000		0,017136		0,021448	
<b>Vertrauensber. Methode 1</b>	<i>unterer Wert</i>	0,698080		0,695767		0,690524	
	<i>Mittelwert</i>	0,699503		0,697389		0,692243	
<b>Aussagew. p=95%</b>	<i>oberer Wert</i>	0,700926		0,699011		0,693963	
<b>n=40;f=39;t=2,021</b>	<i>1/2 Range (+/-)</i>	0,001423		0,001622		0,001719	
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>	1. Messung - 2. Messung:			0,002114			Lage der Messorte von 1-V-7-W linke und rechte Schar: Genaue Angaben hierzu, siehe bei den einzelnen Messorten Scharbreite 65 cm
	2. Messung - 3. Messung:			0,005146			
	3. Messung - 4. Messung:			—			
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>	1. Messung - 3. Messung:			0,007260			<b>Abtrag pro Jahr (zeitkorrigiert) [µm] : 0,445</b>
	1. Messung - 4. Messung:			—			<b>Abtrag/Jahr in mm/a bzw. in µm/a: —</b>
<b>Vertrauensber. Methode 2</b>	<i>unterer Wert</i>	0,699200		0,697086		0,691940	
	<i>Mittelwert</i>	0,699503		0,697389		0,692243	
<b>u<sub>E</sub>=k · u<sub>st</sub>; k=2</b>	<i>oberer Wert</i>	0,699806		0,697692		0,692547	

Blatt 10

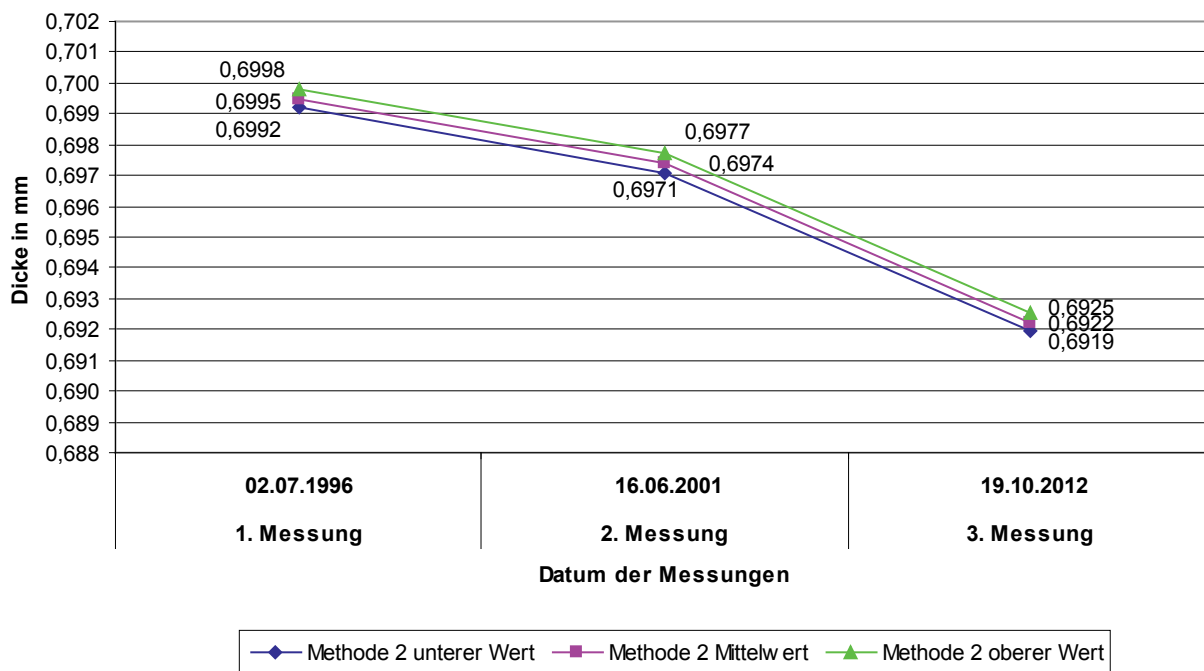


**Objekt 54: Freibewitterungsversuch in H-Herrenhausen und H-Langenhagen**  
**Dachfläche 1-V-7-W**  
**Orientierung West - Dachneigung 7 °**  
**Messwerte und Mittelwerte ohne Vertrauensbereich - temperaturkorrigiert - nicht zeitkorrigiert**



Blatt 11

**Objekt 54: Freibewitterungsversuch in H-Herrenhausen und H-Langenhagen**  
**Dachfläche 1-V-7-W**  
**Orientierung West - Dachneigung 7 °**  
**Mittelwerte mit Vertrauensbereich - temperaturkorr. - nicht zeitkorr.**  
**Methode 2: "u<sub>E</sub>-Funktion", mit k=2; Signifikanzniveau 95 %**



Blatt 12

**Dachfläche 1-V-7-W** - Orientierung: West - Dachneigung: 7 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C

**Zeitkorrigierte Grenzwerte des Vertrauensbereichs gemäß Methode 2**  
(jeweils oberer und unterer Grenzwert der ersten und letzten Messung)

**Fall A**

Erste Messung **oberer** Grenzwert - **letzte** Messung **unterer** Grenzwert

Erste Messung oberer Grenzwert	Letzte Messung unterer Grenzwert	Ergebnis	Mittlerer Abtrag pro Jahr (betrachtete Zeit 16,3 Jahre)	
			in mm/a	in µm/a
0,699806	0,691940	0,007866	0,000483	0,482533

**Fall B**

Erste Messung **unterer** Grenzwert - **letzte** Messung **oberer** Grenzwert

Erste Messung unterer Grenzwert	Letzte Messung oberer Grenzwert	Ergebnis	Mittlerer Abtrag pro Jahr (betrachtete Zeit 16,3 Jahre)	
			in mm/a	in µm/a
0,699200	0,692547	0,006653	0,000408	0,408132

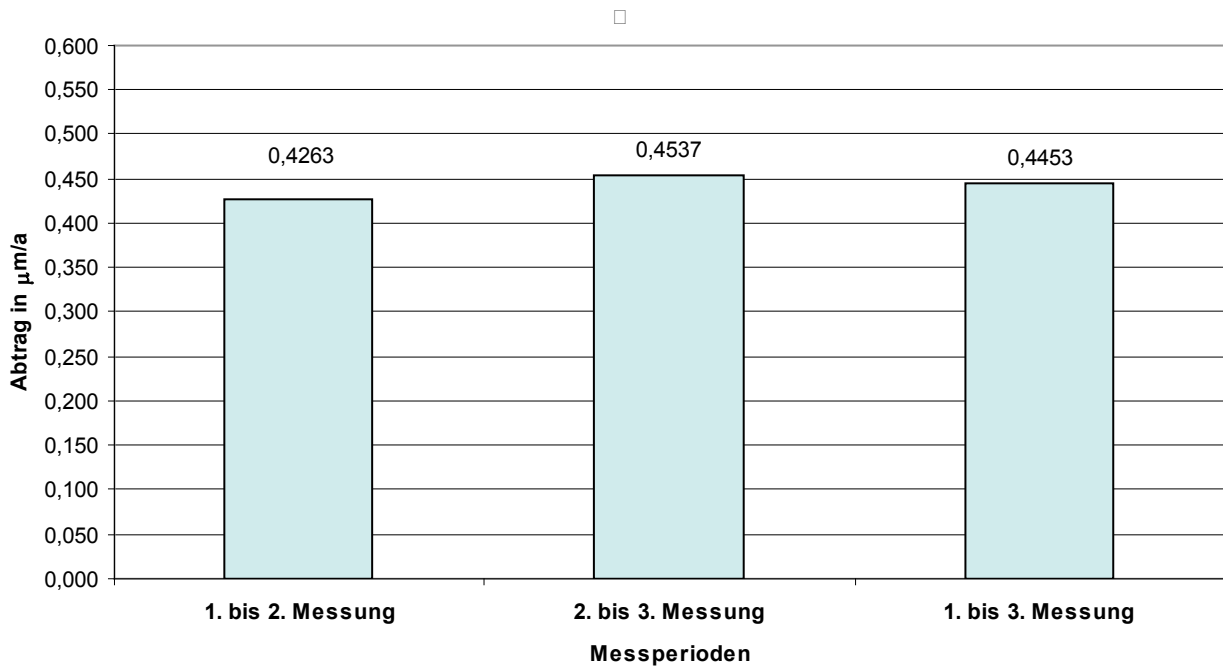
**Ergebnis**

Der wahre Wert des mittleren Abtrags in den Grenzen des Vertrauensbereichs liegt zwischen:

0,000408132	Angaben in mm/a	und	0,000482533	Angaben in µm/a	und	0,408	und	0,483
-------------	-----------------	-----	-------------	-----------------	-----	-------	-----	-------

Blatt 13

**Objekt 54: Freibewitterungsversuch in H-Herrenhausen und H-Langenhagen**  
**Dachfläche 1-V-7-W**  
Orientierung West - Dachneigung 7 °  
Messtermine 1996 - 2001 - 2012  
Temperatur- und zeitkorrigierte (normierte) Werte  
Angabe des Abtrags in µm/a



Blatt 14

**Dachfläche 9-B-7-W - Orientierung: West - Dachneigung: 7 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C**

Messort 9-B-7-W links	Erste Messung: 02.07.1996 Metalltemperatur: 23 °C		Zweite Messung: 16.06.2001 Metalltemperatur: 26 °C		Dritte Messung: 19.10.2012 Metalltemperatur: 13 °C		
	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	
Messpunkt 01	0,710	0,710407	0,703	0,703000	0,693	0,694763	
Messpunkt 02	0,708	0,708407	0,701	0,701000	0,691	0,692263	
Messpunkt 03	0,710	0,710407	0,704	0,704000	0,695	0,696513	
Messpunkt 04	0,707	0,707407	0,703	0,703000	0,699	0,700513	
Messpunkt 05	0,707	0,707407	0,702	0,702000	0,701	0,702263	
Messpunkt 06	0,707	0,707407	0,703	0,703000	0,696	0,697763	
Messpunkt 07	0,706	0,706407	0,701	0,701000	0,697	0,698763	
Messpunkt 08	0,708	0,708407	0,703	0,703000	0,699	0,700513	
Messpunkt 09	0,706	0,706407	0,704	0,704000	0,702	0,703513	
Messpunkt 10	0,706	0,706407	0,707	0,707000	0,702	0,703763	
Messpunkt 11	0,707	0,707407	0,705	0,705000	0,695	0,696513	
Messpunkt 12	0,709	0,709407	0,708	0,708000	0,694	0,696013	
Messpunkt 13	0,706	0,706407	0,703	0,703000	0,700	0,701513	
Messpunkt 14	0,707	0,707407	0,706	0,706000	0,702	0,703763	
Messpunkt 15	0,706	0,706407	0,704	0,704000	0,701	0,703013	
Messpunkt 16	0,704	0,704407	0,705	0,705000	0,699	0,700763	
Messpunkt 17	0,702	0,702407	0,703	0,703000	0,697	0,699013	
Messpunkt 18	0,707	0,707407	0,705	0,705000	0,706	0,708013	
Messpunkt 19	0,703	0,703407	0,702	0,702000	0,704	0,705763	
Messpunkt 20	0,704	0,704407	0,708	0,708000	0,703	0,704763	
<b>Mittelwert</b>	0,706500	0,706907	0,704000	0,704000	0,698725	0,700488	
<b>Max</b>	0,710	0,710407	0,708	0,708000	0,706	0,708013	
<b>Min</b>	0,702	0,702407	0,701	0,701000	0,691	0,692263	
<b>Standardabw.</b>	0,002090	0,002090	0,002052	0,002052	0,004030	0,004030	
<b>Diff. Max - Min</b>	0,008	0,008000	0,007	0,007000	0,016	0,015750	
<b>Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09</b>	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i> 1/2 Range (+/-)	0,705930 0,706907 0,707884 0,000977		0,703041 0,704000 0,704959 0,000959		0,698604 0,700488 0,702371 0,001884	
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:</b>				0,002907	<b>Lage des Messortes von 9-B-7-W links:</b>		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:</b>				0,003512	Dachfläche 9-B-7-W, linke Schar 50 cm von unten		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:</b>				—	Scharbreite 65 cm		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:</b>				0,006419	<b>Abtrag/Jahr in mm/a bzw. in µm/a:</b> 0,000401 0,401		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:</b>				—	<b>Abtrag/Jahr in mm/a bzw. in µm/a:</b> — —		

Blatt 15

**Dachfläche 9-B-7-W - Orientierung: West - Dachneigung: 7 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C**

Messort 9-B-7-W rechts	Erste Messung: 02.07.1996 Metalltemperatur: 21 °C		Zweite Messung: 16.06.2001 Metalltemperatur: 23 °C		Dritte Messung: 19.10.2012 Metalltemperatur: 10 °C		
	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	
Messpunkt 01	0,708	0,708678	0,705	0,705407	0,697	0,698920	
Messpunkt 02	0,709	0,709678	0,707	0,707407	0,697	0,698920	
Messpunkt 03	0,709	0,709678	0,706	0,706407	0,696	0,697670	
Messpunkt 04	0,707	0,707678	0,705	0,705407	0,697	0,698670	
Messpunkt 05	0,705	0,705678	0,705	0,705407	0,695	0,697420	
Messpunkt 06	0,710	0,710678	0,706	0,706407	0,697	0,698920	
Messpunkt 07	0,708	0,708678	0,706	0,706407	0,697	0,699420	
Messpunkt 08	0,708	0,708678	0,706	0,706407	0,701	0,702920	
Messpunkt 09	0,707	0,707678	0,708	0,708407	0,699	0,700670	
Messpunkt 10	0,704	0,704678	0,707	0,707407	0,698	0,700420	
Messpunkt 11	0,710	0,710678	0,706	0,706407	0,698	0,700420	
Messpunkt 12	0,708	0,708678	0,706	0,706407	0,699	0,700920	
Messpunkt 13	0,710	0,710678	0,707	0,707407	0,701	0,702920	
Messpunkt 14	0,707	0,707678	0,706	0,706407	0,700	0,701920	
Messpunkt 15	0,705	0,705678	0,706	0,706407	0,701	0,702920	
Messpunkt 16	0,709	0,709678	0,705	0,705407	0,698	0,700420	
Messpunkt 17	0,706	0,706678	0,703	0,703407	0,698	0,699920	
Messpunkt 18	0,708	0,708678	0,701	0,701407	0,699	0,701170	
Messpunkt 19	0,707	0,707678	0,701	0,701407	0,699	0,700920	
Messpunkt 20	0,706	0,706678	0,702	0,702407	0,699	0,701170	
<b>Mittelwert</b>	0,707550	0,708228	0,705200	0,705607	0,698163	0,700332	
<b>Max</b>	0,710	0,710678	0,708	0,708407	0,701	0,702920	
<b>Min</b>	0,704	0,704678	0,701	0,701407	0,695	0,697420	
<b>Standardabw.</b>	0,001731	0,001731	0,001963	0,001963	0,001625	0,001625	
<b>Diff. Max - Min</b>	0,006	0,006000	0,007	0,007000	0,006	0,005500	
<b>Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09</b>	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i> 1/2 Range (+/-)	0,707419 0,708228 0,709037 0,000809		0,704689 0,705607 0,706524 0,000917		0,699573 0,700332 0,701091 0,000759	
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:</b>				0,002621	<b>Lage des Messortes von 9-B-7-W rechts:</b>		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:</b>				0,005275	Dachfläche 9-B-7-W, rechte Schar 50 cm von unten		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:</b>				—	Scharbreite 65 cm		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:</b>				0,007896	<b>Abtrag/Jahr in mm/a bzw. in µm/a:</b> 0,000493 0,493		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:</b>				—	<b>Abtrag/Jahr in mm/a bzw. in µm/a:</b> — —		

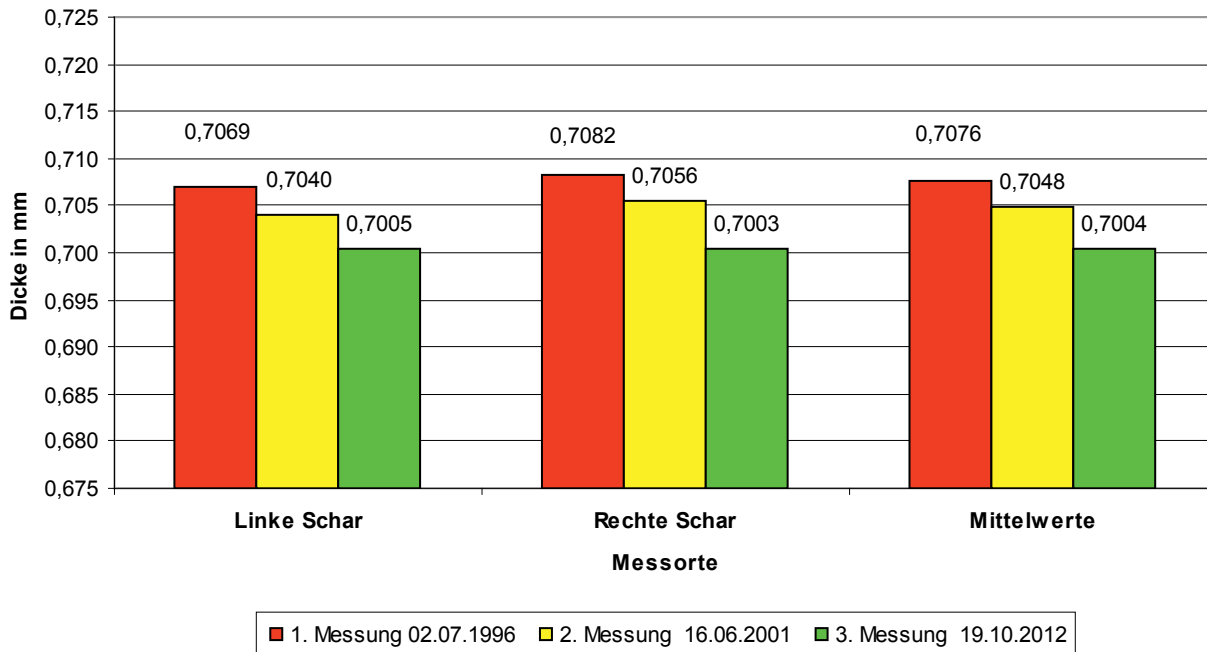
Blatt 16

**Dachfläche 9-B-7-W - Orientierung: West - Dachneigung: 7 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C**

Messort 9-B-7-W l. und r.	Erste Messung: 02.07.1996		Zweite Messung: 16.06.2001		Dritte Messung: 19.10.2012		
Messpunkte	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	
<b>Links (MP01)</b>		0,710407		0,703000		0,694763	
Messpunkt 02		0,708407		0,701000		0,692263	
Messpunkt 03		0,710407		0,704000		0,696513	
Messpunkt 04		0,707407		0,703000		0,700513	
Messpunkt 05		0,707407		0,702000		0,702263	
Messpunkt 06		0,707407		0,703000		0,697763	
Messpunkt 07		0,706407		0,701000		0,698763	
Messpunkt 08		0,708407		0,703000		0,700513	
Messpunkt 09		0,706407		0,704000		0,703513	
Messpunkt 10		0,706407		0,707000		0,703763	
Messpunkt 11		0,707407		0,705000		0,696513	
Messpunkt 12		0,709407		0,708000		0,696013	
Messpunkt 13		0,706407		0,703000		0,701513	
Messpunkt 14		0,707407		0,706000		0,703763	
Messpunkt 15		0,706407		0,704000		0,703013	
Messpunkt 16		0,704407		0,705000		0,700763	
Messpunkt 17		0,702407		0,703000		0,699013	
Messpunkt 18		0,707407		0,705000		0,708013	
Messpunkt 19		0,703407		0,702000		0,705763	
Messpunkt 20		0,704407		0,708000		0,704763	
<b>Rechts (MP01)</b>		0,708678		0,705407		0,698920	
Messpunkt 02		0,709678		0,707407		0,698920	
Messpunkt 03		0,709678		0,706407		0,697670	
Messpunkt 04		0,707678		0,705407		0,698670	
Messpunkt 05		0,705678		0,705407		0,697420	
Messpunkt 06		0,710678		0,706407		0,698920	
Messpunkt 07		0,708678		0,706407		0,699420	
Messpunkt 08		0,708678		0,706407		0,702920	
Messpunkt 09		0,707678		0,708407		0,700670	
Messpunkt 10		0,704678		0,707407		0,700420	
Messpunkt 11		0,710678		0,706407		0,700420	
Messpunkt 12		0,708678		0,706407		0,700920	
Messpunkt 13		0,710678		0,707407		0,702920	
Messpunkt 14		0,707678		0,706407		0,701920	
Messpunkt 15		0,705678		0,706407		0,702920	
Messpunkt 16		0,709678		0,705407		0,700420	
Messpunkt 17		0,706678		0,703407		0,699920	
Messpunkt 18		0,708678		0,701407		0,701170	
Messpunkt 19		0,707678		0,701407		0,700920	
Messpunkt 20		0,706678		0,702407		0,701170	
<b>Mittelwert</b>		0,707567		0,704803		0,700410	
<b>Max</b>		0,710678		0,708407		0,708013	
<b>Min</b>		0,702407		0,701000		0,692263	
<b>Standardabw.</b>		0,002009		0,002142		0,003034	
<b>Diff. Max - Min</b>		0,008271		0,007407		0,015750	
<b>Vertrauensber. Methode 1</b>	<i>unterer Wert</i>	0,706925		0,704119		0,699440	
	<i>Mittelwert</i>	0,707567		0,704803		0,700410	
<b>Aussagew. p=95%</b>	<i>oberer Wert</i>	0,708209		0,705488		0,701379	
<b>n=40;f=39;t=2,021</b>	<i>1/2 Range (+/-)</i>	0,000642		0,000685		0,000970	
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>	1. Messung - 2. Messung:			0,002764	<b>Lage von 9-B-7-W linke und rechte Schar:</b> Genaue Angaben hierzu, siehe bei den einzelnen Messorten Scharbreite 65 cm		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>	2. Messung - 3. Messung:			0,004393			
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>	3. Messung - 4. Messung:			—			
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>	1. Messung - 3. Messung:			0,007157	<b>Abtrag pro Jahr (zeitkorrigiert) in [µm] :</b> 0,439		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>	1. Messung - 4. Messung:			—			
<b>Vertrauensber. Methode 2</b>	<i>unterer Wert</i>	0,707264		0,704500		0,700107	
	<i>Mittelwert</i>	0,707567		0,704803		0,700410	
<b>u<sub>E</sub>=k · u<sub>st</sub>; k=2</b>	<i>oberer Wert</i>	0,707871		0,705107		0,700713	

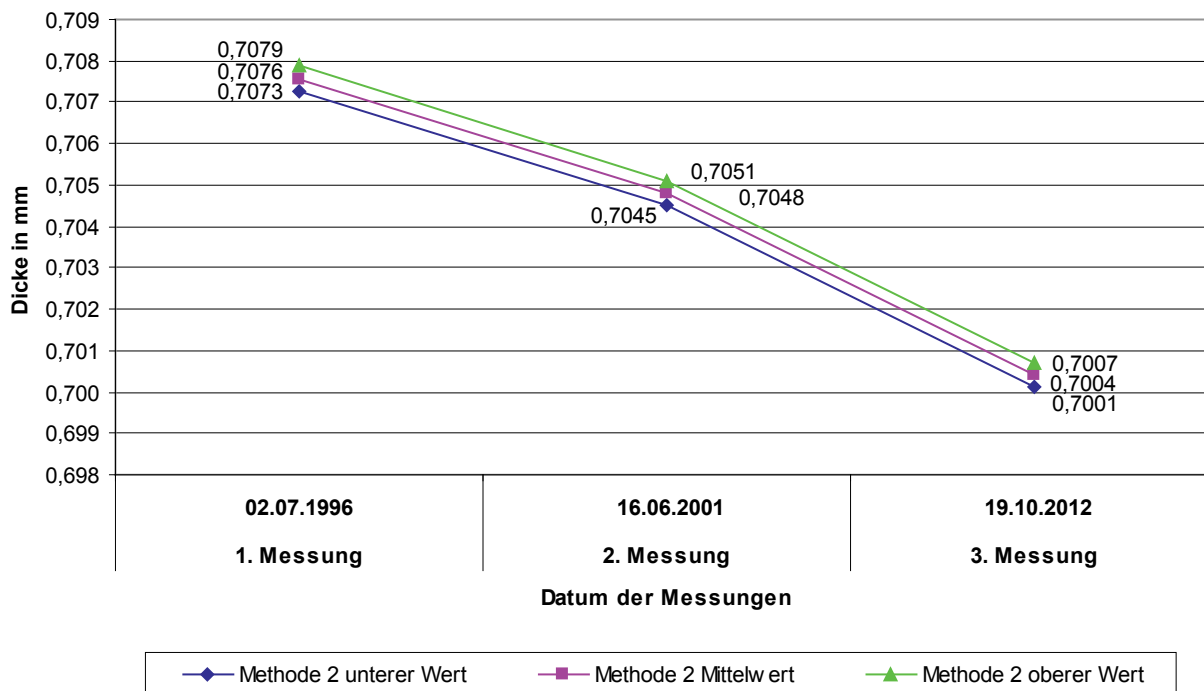
Blatt 17

**Objekt 54: Freibewitterungsversuch in H-Herrenhausen und H-Langenhagen**  
**Dachfläche 9-B-7-W**  
**Orientierung West - Dachneigung 7 °**  
**Messwerte und Mittelwerte ohne Vertrauensbereich - temperaturkorrigiert - nicht zeitkorrigiert**



Blatt 18

**Objekt 54: Freibewitterungsversuch H-Herrenhausen und H-Langenhagen**  
**Dachfläche 9-B-7-W**  
**Orientierung West - Dachneigung 7 °**  
**Mittelwerte mit Vertrauensbereich - temperaturkorr. - nicht zeitkorr.**  
**Methode 2: "u<sub>E</sub>-Funktion", mit k=2; Signifikanzniveau 95 %**



Blatt 19

**Dachfläche 9-B-7-W** - Orientierung: West - Dachneigung: 7 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C

Zeitkorrigierte Grenzwerte des Vertrauensbereichs gemäß Methode 2  
(jeweils oberer und unterer Grenzwert der ersten und letzten Messung)

**Fall A**

Erste Messung oberer Grenzwert - letzte Messung unterer Grenzwert

Erste Messung oberer Grenzwert	Letzte Messung unterer Grenzwert	Ergebnis	Mittlerer Abtrag pro Jahr (betrachtete Zeit 16,3 Jahre)	
			in mm/a	in µm/a
0,707871	0,700107	0,007764	0,000476	0,476271

**Fall B**

Erste Messung unterer Grenzwert - letzte Messung oberer Grenzwert

Erste Messung unterer Grenzwert	Letzte Messung oberer Grenzwert	Ergebnis	Mittlerer Abtrag pro Jahr (betrachtete Zeit 16,3 Jahre)	
			in mm/a	in µm/a
0,707264	0,700713	0,006551	0,000402	0,401870

**Ergebnis**

Der wahre Wert des mittleren Abtrags in den Grenzen des Vertrauensbereichs liegt zwischen:

0,000401870	Angaben in mm/a und	0,000476271	Angaben in µm/a und	0,476
-------------	---------------------	-------------	---------------------	-------

Blatt 20

**Objekt 54: Freibewitterungsversuch in H-Herrenhausen und H-Langenhagen**

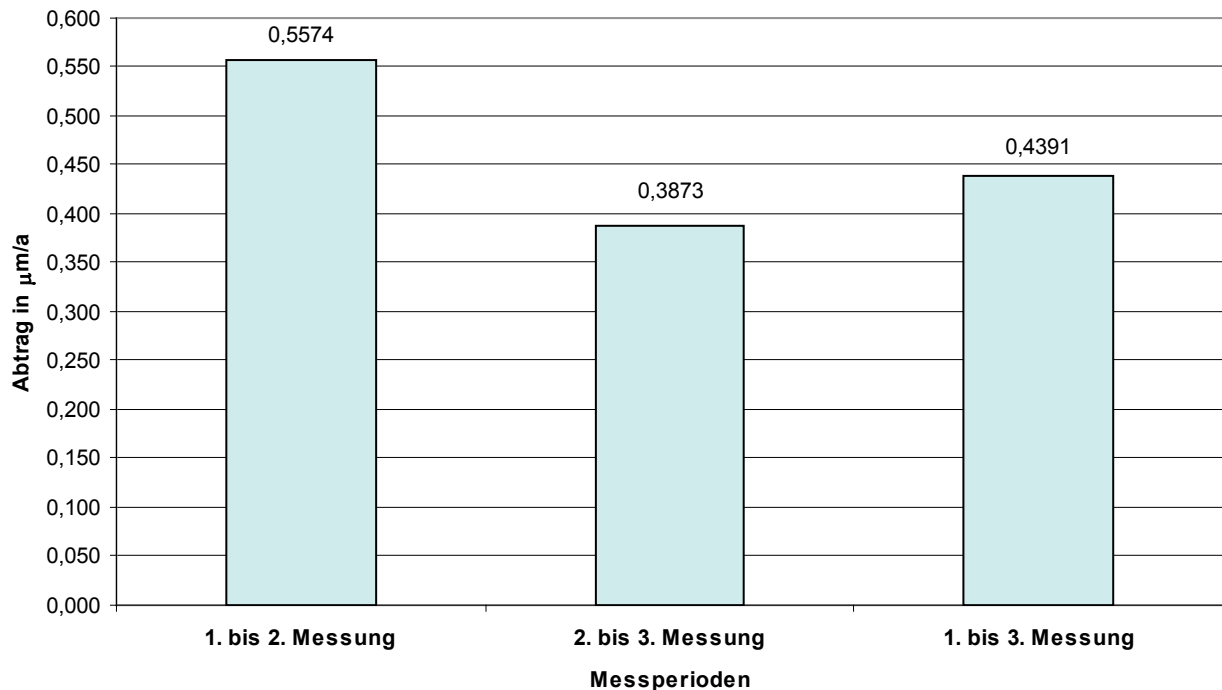
**Dachfläche 9-B-7-W**

Orientierung West - Dachneigung 7 °

Messtermine 1996 - 2001 - 2012

Temperatur- und zeitkorrigierte (normierte) Werte

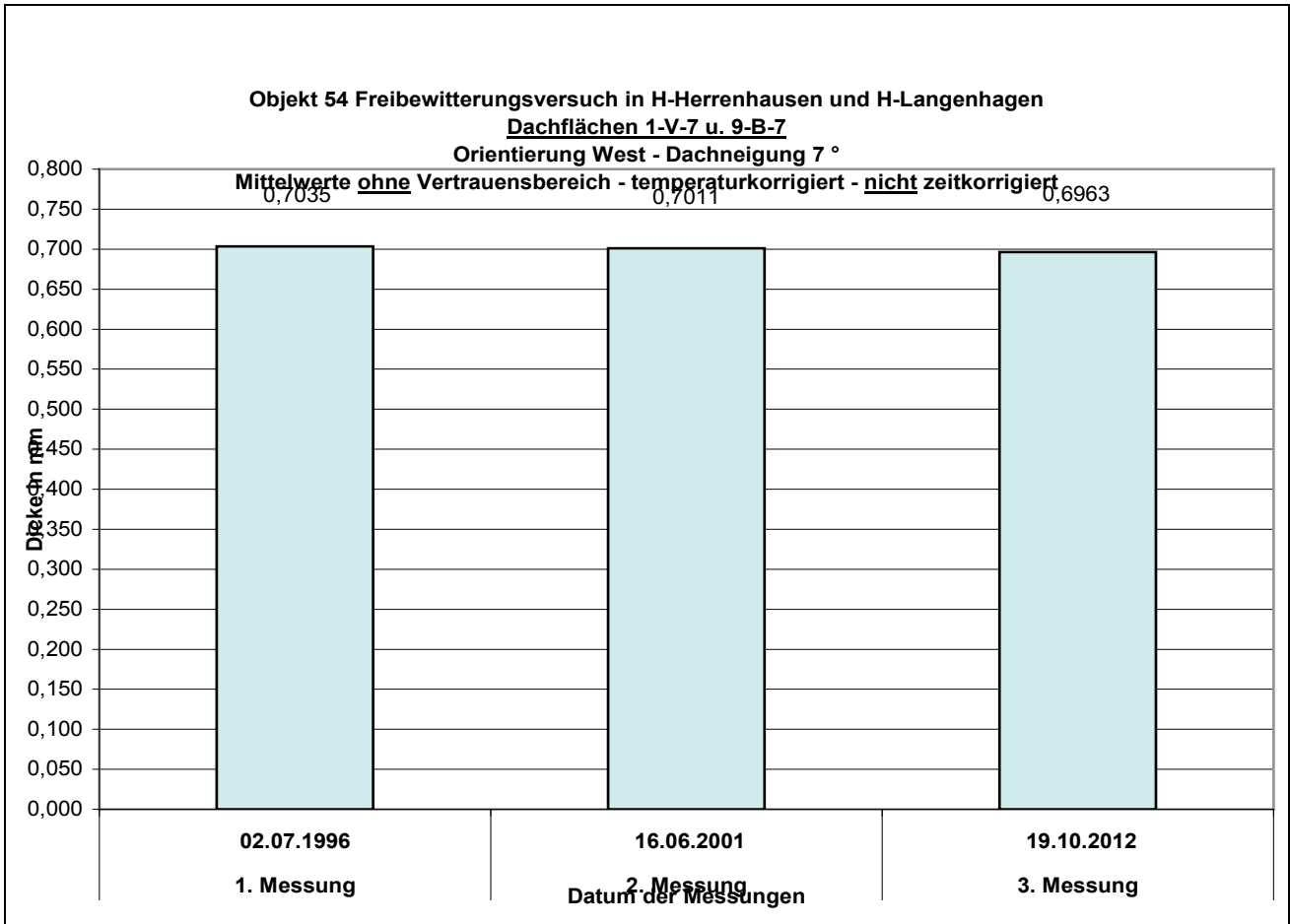
Angabe des Abtrags in µm/a



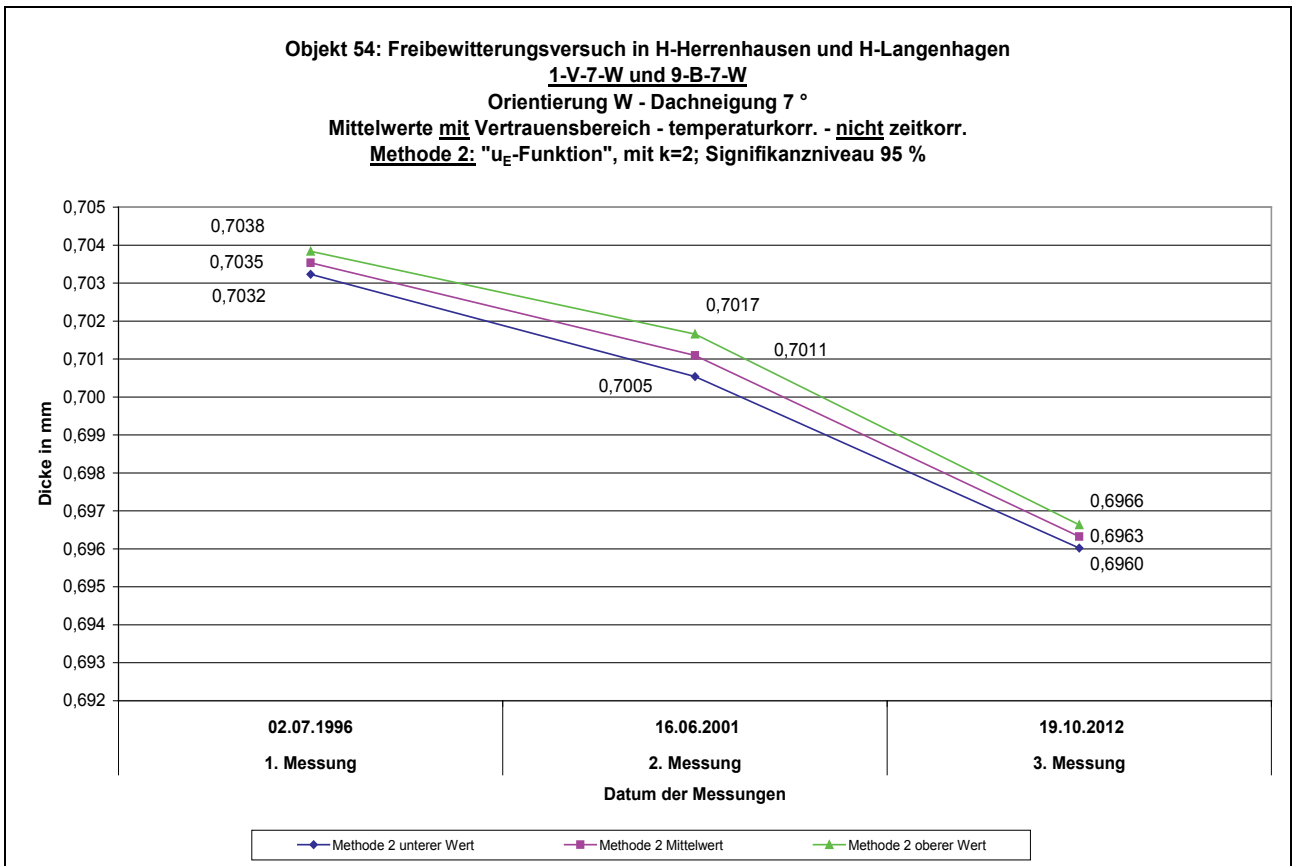
Blatt 21



Dachflächen 9-B-7-W und 1-V-7-W - Orientierung: West - Dachneigung: 7 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C							
Dachflächen 1-V-7-W u.9-B-7-W	Erste Messung: 02.07.1996		Zweite Messung: 16.06.2001		Dritte Messung: 19.10.2012		
Messpunkte	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	
<b>Links (MP01)</b>		0,710407		0,703000		0,694763	
Messpunkt 02		0,708407		0,701000		0,692263	
Messpunkt 03		0,710407		0,704000		0,696513	
Messpunkt 04		0,707407		0,703000		0,700513	
Messpunkt 05		0,707407		0,702000		0,702263	
Messpunkt 06		0,707407		0,703000		0,697763	
Messpunkt 07		0,706407		0,701000		0,698763	
Messpunkt 08		0,708407		0,703000		0,700513	
Messpunkt 09		0,706407		0,704000		0,703513	
Messpunkt 10		0,706407		0,707000		0,703763	
Messpunkt 11		0,707407		0,705000		0,696513	
Messpunkt 12		0,709407		0,708000		0,696013	
Messpunkt 13		0,706407		0,703000		0,701513	
Messpunkt 14		0,707407		0,706000		0,703763	
Messpunkt 15		0,706407		0,704000		0,703013	
Messpunkt 16		0,704407		0,705000		0,700763	
Messpunkt 17		0,702407		0,703000		0,699013	
Messpunkt 18		0,707407		0,705000		0,708013	
Messpunkt 19		0,703407		0,702000		0,705763	
Messpunkt 20		0,704407		0,708000		0,704763	
<b>Rechts (MP01)</b>		0,708678		0,705407		0,698920	
Messpunkt 02		0,709678		0,707407		0,698920	
Messpunkt 03		0,709678		0,706407		0,697670	
Messpunkt 04		0,707678		0,705407		0,698670	
Messpunkt 05		0,705678		0,705407		0,697420	
Messpunkt 06		0,710678		0,706407		0,698920	
Messpunkt 07		0,708678		0,706407		0,699420	
Messpunkt 08		0,708678		0,706407		0,702920	
Messpunkt 09		0,707678		0,708407		0,700670	
Messpunkt 10		0,704678		0,707407		0,700420	
Messpunkt 11		0,710678		0,706407		0,700420	
Messpunkt 12		0,708678		0,706407		0,700920	
Messpunkt 13		0,710678		0,707407		0,702920	
Messpunkt 14		0,707678		0,706407		0,701920	
Messpunkt 15		0,705678		0,706407		0,702920	
Messpunkt 16		0,709678		0,705407		0,700420	
Messpunkt 17		0,706678		0,703407		0,699920	
Messpunkt 18		0,708678		0,701407		0,701170	
Messpunkt 19		0,707678		0,701407		0,700920	
Messpunkt 20		0,706678		0,702407		0,701170	
<b>Links (MP01)</b>		0,693678		0,693271		0,688170	
Messpunkt 02		0,692678		0,697271		0,688920	
Messpunkt 03		0,692678		0,695271		0,694920	
Messpunkt 04		0,695678		0,693271		0,693170	
Messpunkt 05		0,696678		0,690271		0,690170	
Messpunkt 06		0,697678		0,698271		0,683670	
Messpunkt 07		0,697678		0,695271		0,688170	
Messpunkt 08		0,695678		0,694271		0,694170	
Messpunkt 09		0,699678		0,689271		0,689670	
Messpunkt 10		0,698678		0,695271		0,681670	
Messpunkt 11		0,699678		0,693271		0,682670	
Messpunkt 12		0,699678		0,689271		0,687670	
Messpunkt 13		0,697678		0,690271		0,690420	
Messpunkt 14		0,700678		0,696271		0,688670	
Messpunkt 15		0,700678		0,695271		0,680920	
Messpunkt 16		0,693678		0,689271		0,685920	
Messpunkt 17		0,693678		0,694271		0,689420	
Messpunkt 18		0,692678		0,699271		0,690170	
Messpunkt 19		0,692678		0,696271		0,694670	
Messpunkt 20		0,693678		0,693271		0,687170	
<b>Rechts (MP01)</b>		0,703678		0,705407		0,689034	
Messpunkt 02		0,695678		0,704407		0,696034	
Messpunkt 03		0,699678		0,706407		0,702367	
Messpunkt 04		0,699678		0,695407		0,693367	
Messpunkt 05		0,702678		0,699407		0,701034	
Messpunkt 06		0,705678		0,695407		0,688701	
Messpunkt 07		0,704678		0,699407		0,692701	
Messpunkt 08		0,702678		0,691407		0,696367	
Messpunkt 09		0,704678		0,701407		0,695034	
Messpunkt 10		0,705678		0,702407		0,700034	
Messpunkt 11		0,705678		0,699407		0,698701	
Messpunkt 12		0,704678		0,699407		0,697367	
Messpunkt 13		0,704678		0,698407		0,695701	
Messpunkt 14		0,706678		0,703407		0,699701	
Messpunkt 15		0,706678		0,706407		0,694701	
Messpunkt 16		0,700678		0,695407		0,693367	
Messpunkt 17		0,696678		0,702407		0,695367	
Messpunkt 18		0,701678		0,706407		0,699701	
Messpunkt 19		0,699678		0,705407		0,697034	
Messpunkt 20		0,702678		0,699407		0,693034	
<b>Mittelwert</b>		0,703535		0,701096		0,696327	
<b>Max</b>		0,710678		0,708407		0,708013	
<b>Min</b>		0,692678		0,689271		0,692263	
<b>Standardabw.</b>		0,005315		0,005376		0,005976	
<b>Diff. Max - Min</b>		0,018000		0,019136		0,015750	
<b>Vertrauensber. Methode 1</b>	<i>unterer Wert</i>	0,702353		0,699900		0,694997	
	<i>Mittelwert</i>	0,703535		0,701096		0,696327	
<b>Aussagew. p=95%</b>	<i>oberer Wert</i>	0,704718		0,702292		0,697656	
<b>n=80; f=79; t=1,99</b>	<i>1/2 Range (+/-)</i>	0,001183		0,001196		0,001330	
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>	1. Messung - 2. Messung:			0,002439			
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>	2. Messung - 3. Messung:			0,004769			
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>	3. Messung - 4. Messung:						
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>	1. Messung - 3. Messung:			0,007208			
<b>Vertrauensber. Methode 2</b>	<i>unterer Wert</i>	0,703232		0,700537		0,696023	
	<i>Mittelwert</i>	0,703535		0,701096		0,696327	
<b>u<sub>E</sub>=k · u<sub>St</sub>; k=2</b>	<i>oberer Wert</i>	0,703838		0,701655		0,696630	
					<b>Abtrag pro Jahr (zeitkorrigiert) in [µm]: 0,442</b>		
					<b>Lage Messorte 9-B-7-W und 1-V-7-W linke und rechte Schar: Genaue Angaben hierzu, siehe bei den einzelnen Messorten Scharbreite 65 cm</b>		



Blatt 23



Blatt 24

Dachfläche 1-V-7-W u. 9-B-7-W - Orientierung: West - Dachneigung: 7 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C

Zeitkorrigierte Grenzwerte des Vertrauensbereichs gemäß Methode 2  
(jeweils oberer und unterer Grenzwert der ersten und letzten Messung)

**Fall A**

Erste Messung oberer Grenzwert - letzte Messung unterer Grenzwert

Erste Messung oberer Grenzwert	Letzte Messung unterer Grenzwert	Ergebnis	Mittlerer Abtrag pro Jahr (betrachtete Zeit 16,3 Jahre)	
			in mm/a	in µm/a
0,703838	0,696023	0,007815	0,000479	0,479402

**Fall B**

Erste Messung unterer Grenzwert - letzte Messung oberer Grenzwert

Erste Messung unterer Grenzwert	Letzte Messung oberer Grenzwert	Ergebnis	Mittlerer Abtrag pro Jahr (betrachtete Zeit 16,3 Jahre)	
			in mm/a	in µm/a
0,703232	0,696630	0,006602	0,000405	0,405001

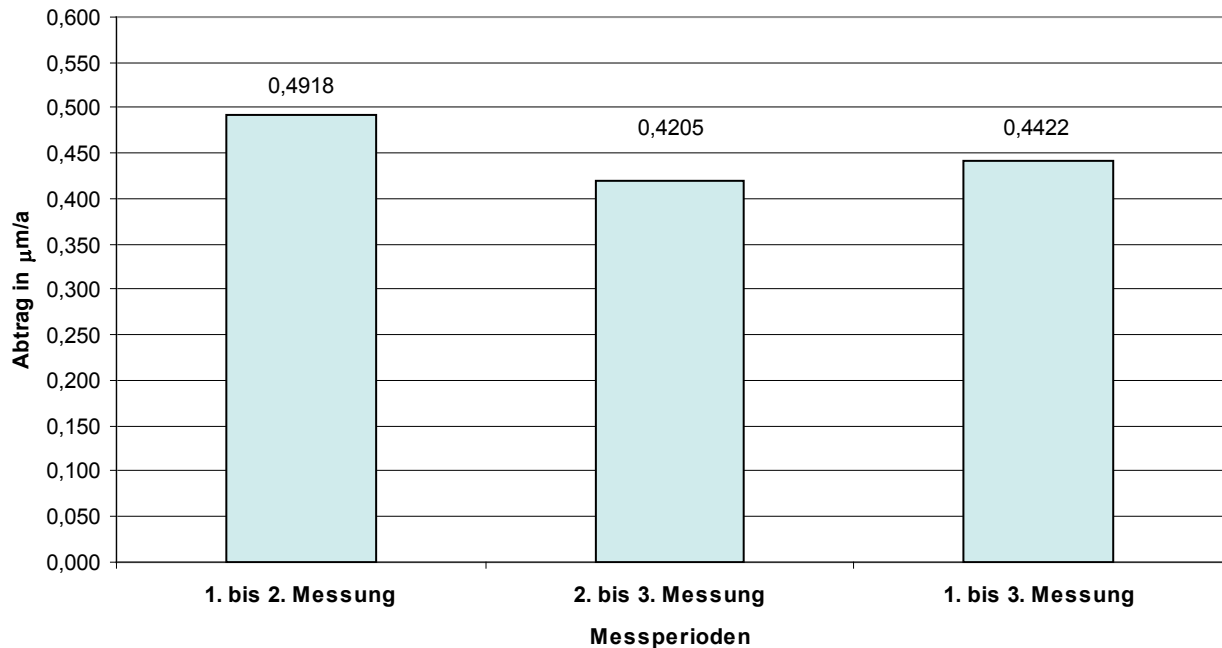
**Ergebnis**

Der wahre Wert des mittleren Abtrags in den Grenzen des Vertrauensbereichs liegt zwischen:

0,000405001	Angaben in mm/a und	0,000479402	Angaben in µm/a und	0,405	0,479
-------------	---------------------	-------------	---------------------	-------	-------

Blatt 25

Objekt 54: Freibewitterungsversuch in H-Herrenhausen und H-Langenhagen  
Dachflächen 1-V-7-W und 9-B-7-W  
Orientierung West - Dachneigung 7 °  
Messtermine 1996 - 2001 - 2012  
Temperatur- und zeitkorrigierte (normierte) Werte  
Angabe des Abtrags in µm/a



Blatt 26

**Dachfläche 5-V-45-W - Orientierung: West - Dachneigung: 45 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C**

Messort 5-V-45-W links	Erste Messung: 02.07.1996 Metalltemperatur: 18 °C		Zweite Messung: 16.06.2001 Metalltemperatur: 42 °C		Dritte Messung: 19.10.2012 Metalltemperatur: 9 °C		
Messpunkte	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	
Messpunkt 01	0,686	<b>0,687085</b>	0,693	<b>0,690830</b>	0,679	<b>0,681055</b>	
Messpunkt 02	0,692	<b>0,693085</b>	0,693	<b>0,690830</b>	0,681	<b>0,682805</b>	
Messpunkt 03	0,690	<b>0,691085</b>	0,690	<b>0,687830</b>	0,681	<b>0,683305</b>	
Messpunkt 04	0,690	<b>0,691085</b>	0,688	<b>0,685830</b>	0,681	<b>0,683305</b>	
Messpunkt 05	0,682	<b>0,683085</b>	0,692	<b>0,689830</b>	0,679	<b>0,680805</b>	
Messpunkt 06	0,691	<b>0,692085</b>	0,693	<b>0,690830</b>	0,682	<b>0,684305</b>	
Messpunkt 07	0,692	<b>0,693085</b>	0,691	<b>0,688830</b>	0,681	<b>0,683055</b>	
Messpunkt 08	0,688	<b>0,689085</b>	0,689	<b>0,686830</b>	0,680	<b>0,682305</b>	
Messpunkt 09	0,687	<b>0,688085</b>	0,691	<b>0,688830</b>	0,678	<b>0,680305</b>	
Messpunkt 10	0,686	<b>0,687085</b>	0,690	<b>0,687830</b>	0,683	<b>0,685055</b>	
Messpunkt 11	0,690	<b>0,691085</b>	0,691	<b>0,688830</b>	0,682	<b>0,683805</b>	
Messpunkt 12	0,689	<b>0,690085</b>	0,690	<b>0,687830</b>	0,680	<b>0,682305</b>	
Messpunkt 13	0,690	<b>0,691085</b>	0,691	<b>0,688830</b>	0,680	<b>0,682305</b>	
Messpunkt 14	0,692	<b>0,693085</b>	0,693	<b>0,690830</b>	0,684	<b>0,685805</b>	
Messpunkt 15	0,686	<b>0,687085</b>	0,691	<b>0,688830</b>	0,684	<b>0,685805</b>	
Messpunkt 16	0,691	<b>0,692085</b>	0,685	<b>0,682830</b>	0,681	<b>0,683555</b>	
Messpunkt 17	0,687	<b>0,688085</b>	0,690	<b>0,687830</b>	0,680	<b>0,682305</b>	
Messpunkt 18	0,693	<b>0,694085</b>	0,691	<b>0,688830</b>	0,685	<b>0,687555</b>	
Messpunkt 19	0,691	<b>0,692085</b>	0,692	<b>0,689830</b>	0,684	<b>0,686305</b>	
Messpunkt 20	0,690	<b>0,691085</b>	0,687	<b>0,684830</b>	0,683	<b>0,684805</b>	
<b>Mittelwert</b>	0,689150	<b>0,690235</b>	0,690550	<b>0,688380</b>	0,681238	<b>0,683543</b>	
<b>Max</b>	0,693	<b>0,694085</b>	0,693	<b>0,690830</b>	0,685	<b>0,687555</b>	
<b>Min</b>	0,682	<b>0,683085</b>	0,685	<b>0,682830</b>	0,678	<b>0,680305</b>	
<b>Standardabw.</b>	0,002758	<b>0,002758</b>	0,002089	<b>0,002089</b>	0,001915	<b>0,001915</b>	
<b>Diff. Max - Min</b>	0,011	<b>0,011000</b>	0,008	<b>0,008000</b>	0,007	<b>0,007250</b>	
<b>Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09</b>	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i> 1/2 Range (+/-)	<b>0,688946</b> <b>0,690235</b> <b>0,691524</b> <b>0,001289</b>		<b>0,687404</b> <b>0,688380</b> <b>0,689357</b> <b>0,000977</b>		<b>0,682648</b> <b>0,683543</b> <b>0,684438</b> <b>0,000895</b>	
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:</b>				<b>0,001854</b>	<b>Lage des Messortes von 5-V-45-W linke Schar:</b>		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:</b>				<b>0,004838</b>	Dachfläche 5-V-45-W, linke Schar 50 cm von unten		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:</b>				—	Scharbreite 65 cm		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:</b>				<b>0,006692</b>	<b>Abtrag/Jahr in mm/a bzw. in µm/a: 0,000418 0,418</b>		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:</b>				—	<b>Abtrag/Jahr in mm/a bzw. in µm/a: — —</b>		

Blatt 27

**Dachfläche 5-V-45-W - Orientierung: West - Dachneigung: 45 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C**

Messort 5-V-45-W rechts	Erste Messung: 02.07.1996 Metalltemperatur: 18 °C		Zweite Messung: 16.06.2001 Metalltemperatur: 42 °C		Dritte Messung: 19.10.2012 Metalltemperatur: 9 °C		
Messpunkte	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	
Messpunkt 01	0,699	<b>0,700085</b>	0,691	<b>0,688830</b>	0,680	<b>0,681805</b>	
Messpunkt 02	0,698	<b>0,699085</b>	0,693	<b>0,690830</b>	0,685	<b>0,687555</b>	
Messpunkt 03	0,696	<b>0,697085</b>	0,696	<b>0,693830</b>	0,686	<b>0,688305</b>	
Messpunkt 04	0,691	<b>0,692085</b>	0,694	<b>0,691830</b>	0,687	<b>0,689305</b>	
Messpunkt 05	0,696	<b>0,697085</b>	0,694	<b>0,691830</b>	0,682	<b>0,684055</b>	
Messpunkt 06	0,701	<b>0,702085</b>	0,693	<b>0,690830</b>	0,685	<b>0,687305</b>	
Messpunkt 07	0,699	<b>0,700085</b>	0,694	<b>0,691830</b>	0,689	<b>0,691305</b>	
Messpunkt 08	0,692	<b>0,693085</b>	0,693	<b>0,690830</b>	0,689	<b>0,690805</b>	
Messpunkt 09	0,700	<b>0,701085</b>	0,696	<b>0,693830</b>	0,685	<b>0,686805</b>	
Messpunkt 10	0,699	<b>0,700085</b>	0,696	<b>0,693830</b>	0,687	<b>0,689305</b>	
Messpunkt 11	0,692	<b>0,693085</b>	0,696	<b>0,693830</b>	0,688	<b>0,690305</b>	
Messpunkt 12	0,690	<b>0,691085</b>	0,692	<b>0,689830</b>	0,692	<b>0,694055</b>	
Messpunkt 13	0,690	<b>0,691085</b>	0,699	<b>0,696830</b>	0,686	<b>0,688055</b>	
Messpunkt 14	0,693	<b>0,694085</b>	0,700	<b>0,697830</b>	0,684	<b>0,686305</b>	
Messpunkt 15	0,691	<b>0,692085</b>	0,697	<b>0,694830</b>	0,690	<b>0,691805</b>	
Messpunkt 16	0,690	<b>0,691085</b>	0,694	<b>0,691830</b>	0,690	<b>0,692055</b>	
Messpunkt 17	0,691	<b>0,692085</b>	0,697	<b>0,694830</b>	0,685	<b>0,687305</b>	
Messpunkt 18	0,690	<b>0,691085</b>	0,699	<b>0,696830</b>	0,685	<b>0,687305</b>	
Messpunkt 19	0,690	<b>0,691085</b>	0,696	<b>0,693830</b>	0,689	<b>0,691055</b>	
Messpunkt 20	0,689	<b>0,690085</b>	0,695	<b>0,692830</b>	0,690	<b>0,691805</b>	
<b>Mittelwert</b>	0,693850	<b>0,694935</b>	0,695250	<b>0,693080</b>	0,686525	<b>0,688830</b>	
<b>Max</b>	0,701	<b>0,702085</b>	0,700	<b>0,697830</b>	0,692	<b>0,694055</b>	
<b>Min</b>	0,689	<b>0,690085</b>	0,691	<b>0,688830</b>	0,680	<b>0,681805</b>	
<b>Standardabw.</b>	0,004133	<b>0,004133</b>	0,002403	<b>0,002403</b>	0,002948	<b>0,002948</b>	
<b>Diff. Max - Min</b>	0,012	<b>0,012000</b>	0,009	<b>0,009000</b>	0,012	<b>0,012250</b>	
<b>Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09</b>	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i> 1/2 Range (+/-)	<b>0,693003</b> <b>0,694935</b> <b>0,696866</b> <b>0,001932</b>		<b>0,691957</b> <b>0,693080</b> <b>0,694204</b> <b>0,001123</b>		<b>0,687452</b> <b>0,688830</b> <b>0,690208</b> <b>0,001378</b>	
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:</b>				<b>0,001854</b>	<b>Lage des Messortes von 5-V-45-W rechte Schar:</b>		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:</b>				<b>0,004250</b>	Dachfläche 5-V-45-W, rechte Schar 50 cm von unten		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:</b>				—	Scharbreite 65 cm		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:</b>				<b>0,006105</b>	<b>Abtrag/Jahr in mm/a bzw. in µm/a: 0,000382 0,382</b>		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:</b>				—	<b>Abtrag/Jahr in mm/a bzw. in µm/a: — —</b>		

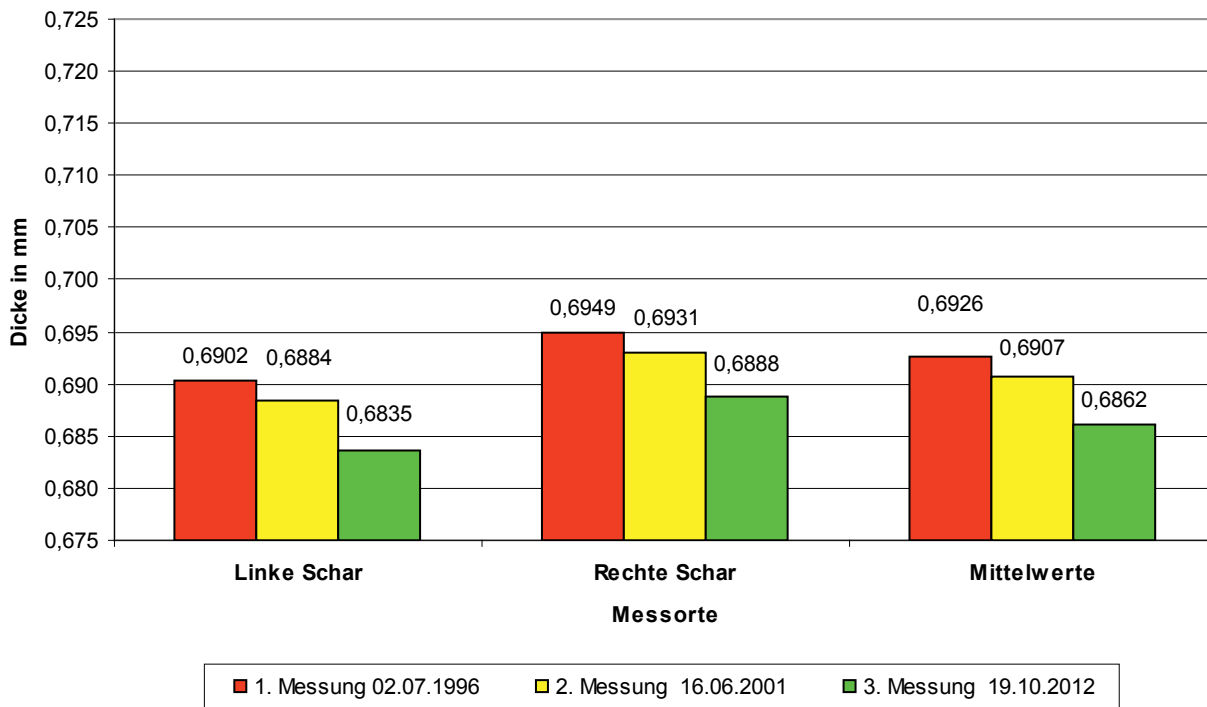
Blatt 28

**Dachfläche 5-V-45-W - Orientierung: West - Dachneigung: 45 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C**

Messort 5-V-45-W l. und r.	Erste Messung: 02.07.1996		Zweite Messung: 16.06.2001		Dritte Messung: 19.10.2012		
Messpunkte	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	
<b>Links (MP01)</b>		0,687085		0,690830		0,681055	
Messpunkt 02		0,693085		0,690830		0,682805	
Messpunkt 03		0,691085		0,687830		0,683305	
Messpunkt 04		0,691085		0,685830		0,683305	
Messpunkt 05		0,683085		0,689830		0,680805	
Messpunkt 06		0,692085		0,690830		0,684305	
Messpunkt 07		0,693085		0,688830		0,683055	
Messpunkt 08		0,689085		0,686830		0,682305	
Messpunkt 09		0,688085		0,688830		0,680305	
Messpunkt 10		0,687085		0,687830		0,685055	
Messpunkt 11		0,691085		0,688830		0,683805	
Messpunkt 12		0,690085		0,687830		0,682305	
Messpunkt 13		0,691085		0,688830		0,682305	
Messpunkt 14		0,693085		0,690830		0,685805	
Messpunkt 15		0,687085		0,688830		0,685805	
Messpunkt 16		0,692085		0,682830		0,683555	
Messpunkt 17		0,688085		0,687830		0,682305	
Messpunkt 18		0,694085		0,688830		0,687555	
Messpunkt 19		0,692085		0,689830		0,686305	
Messpunkt 20		0,691085		0,684830		0,684805	
<b>Rechts (MP01)</b>		0,700085		0,688830		0,681805	
Messpunkt 02		0,699085		0,690830		0,687555	
Messpunkt 03		0,697085		0,693830		0,688305	
Messpunkt 04		0,692085		0,691830		0,689305	
Messpunkt 05		0,697085		0,691830		0,684055	
Messpunkt 06		0,702085		0,690830		0,687305	
Messpunkt 07		0,700085		0,691830		0,691305	
Messpunkt 08		0,693085		0,690830		0,690805	
Messpunkt 09		0,701085		0,693830		0,686805	
Messpunkt 10		0,700085		0,693830		0,689305	
Messpunkt 11		0,693085		0,693830		0,690305	
Messpunkt 12		0,691085		0,689830		0,694055	
Messpunkt 13		0,691085		0,696830		0,688055	
Messpunkt 14		0,694085		0,697830		0,686305	
Messpunkt 15		0,692085		0,694830		0,691805	
Messpunkt 16		0,691085		0,691830		0,692055	
Messpunkt 17		0,692085		0,694830		0,687305	
Messpunkt 18		0,691085		0,696830		0,687305	
Messpunkt 19		0,691085		0,693830		0,691055	
Messpunkt 20		0,690085		0,692830		0,691805	
<b>Mittelwert</b>		0,692585		0,690730		0,686186	
<b>Max</b>		0,702085		0,697830		0,694055	
<b>Min</b>		0,683085		0,682830		0,680305	
<b>Standardabw.</b>		0,004206		0,003257		0,003632	
<b>Diff. Max - Min</b>		0,019000		0,015000		0,013750	
<b>Vertrauensber. Methode 1</b>	<i>unterer Wert</i>	0,691241		0,689690		0,685026	
	<i>Mittelwert</i>	0,692585		0,690730		0,686186	
<b>Aussagew. p=95%</b>	<i>oberer Wert</i>	0,693929		0,691771		0,687347	
<b>n=40;f=39;t=2,021</b>	<i>1/2 Range (+/-)</i>	0,001344		0,001041		0,001160	
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:</b>				0,001854	<b>Lage der Messorte von 5-V-45-W linke und rechte Schar:</b> Genaue Angaben hierzu, siehe bei den einzelnen Messorten Scharbreite 65 cm		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:</b>				0,004544			
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:</b>				_____			
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:</b>				0,006398	<b>Abtrag pro Jahr (zeitkorrigiert) in [µm] : 0,393</b>		
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:</b>				_____			
<b>Vertrauensber. Methode 2</b>	<i>unterer Wert</i>	0,692282		0,690171		0,685883	
	<i>Mittelwert</i>	0,692585		0,690730		0,686186	
<b>u<sub>E</sub>=k · u<sub>st</sub>; k=2</b>	<i>oberer Wert</i>	0,692888		0,691289		0,686490	

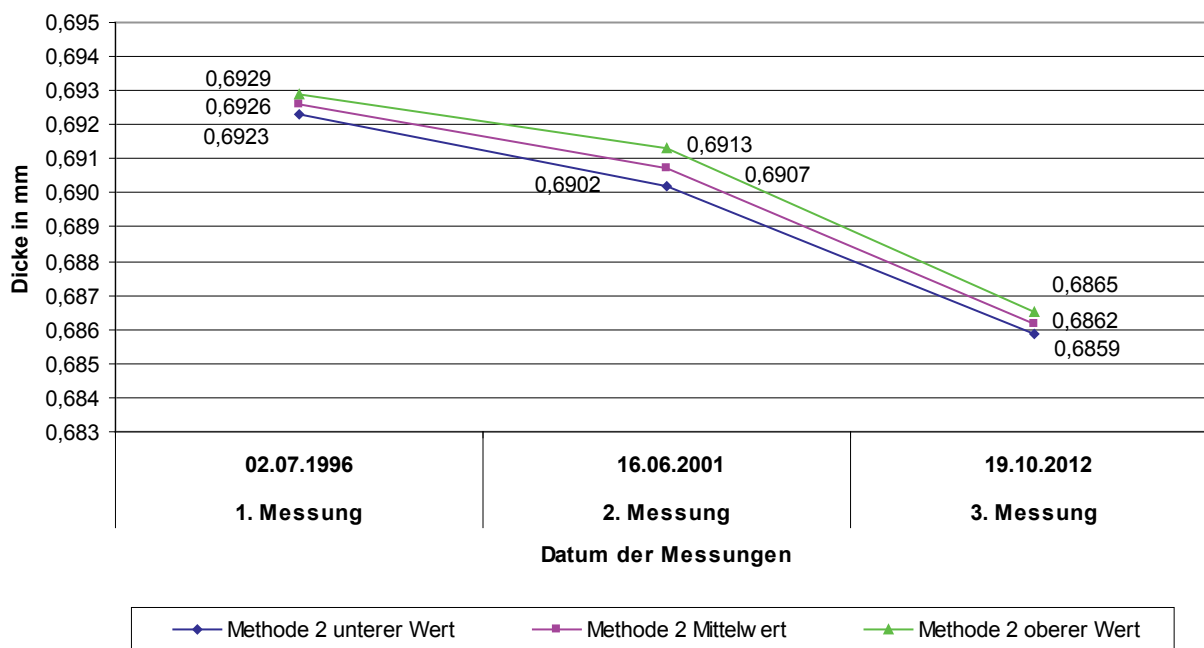
Blatt 29

**Objekt 54: Freibewitterungsversuch in H-Herrenhausen und H-Langenhagen**  
**Dachfläche 5-V-45-W**  
**Orientierung West - Dachneigung 45 °**  
**Messwerte und Mittelwerte ohne Vertrauensbereich - temperaturkorrigiert - nicht zeitkorrigiert**



Blatt 30

**Objekt 54: Freibewitterungsversuch in H-Herrenhausen und H-Langenhagen**  
**Dachfläche 5-V-45-W**  
**Orientierung W - Dachneigung 45 °**  
**Mittelwerte mit Vertrauensbereich - temperaturkorr. - nicht zeitkorr.**  
**Methode 2: "u<sub>E</sub>-Funktion", mit k=2; Signifikanzniveau 95%**



Blatt 31



**Dachfläche 5-V-45-W** - Orientierung: West - Dachneigung: 45 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C

Zeitkorrigierte Grenzwerte des Vertrauensbereichs gemäß Methode 2  
(jeweils oberer und unterer Grenzwert der ersten und letzten Messung)

**Fall A**

Erste Messung oberer Grenzwert - letzte Messung unterer Grenzwert

Erste Messung oberer Grenzwert	Letzte Messung unterer Grenzwert	Ergebnis	Mittlerer Abtrag pro Jahr (betrachtete Zeit 16,3 Jahre)	
			in mm/a	in µm/a
0,692888	0,685883	0,007005	0,000430	0,429704

**Fall B**

Erste Messung unterer Grenzwert - letzte Messung oberer Grenzwert

Erste Messung unterer Grenzwert	Letzte Messung oberer Grenzwert	Ergebnis	Mittlerer Abtrag pro Jahr (betrachtete Zeit 16,3 Jahre)	
			in mm/a	in µm/a
0,692282	0,686490	0,005792	0,000355	0,355303

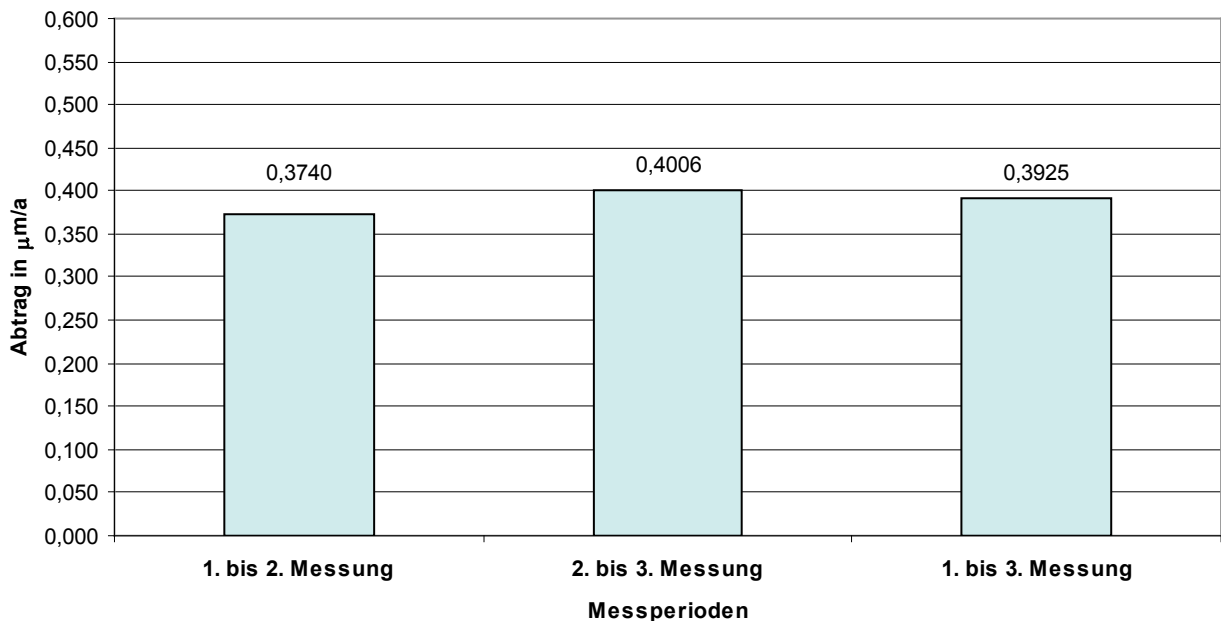
**Ergebnis**

Der wahre Wert des mittleren Abtrags in den Grenzen des Vertrauensbereichs liegt zwischen:

0,000355303	Angaben in mm/a und	0,000429704	Angaben in µm/a und	0,355	0,430
-------------	------------------------	-------------	------------------------	-------	-------

Blatt 32

**Objekt 54: Freibewitterungsversuch in H-Herrenhausen und H-Langenhagen**  
**Dachfläche 5-V-45-W**  
**Orientierung West - Dachneigung 45 °**  
**Messtermine 1996 - 2001 - 2012**  
**Temperatur- und zeitkorrigierte (normierte) Werte**  
**Angabe des Abtrags in µm/a**



Blatt 33

**Dachfläche 13-B-45-W - Orientierung: West - Dachneigung: 45 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C**

Messort 13-B-45-W links	Erste Messung: 02.07.1996 Metalltemperatur: 18 °C		Zweite Messung: 16.06.2001 Metalltemperatur: 40 °C		Dritte Messung: 19.10.2012 Metalltemperatur: 9 °C			
Messpunkte	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert		
Messpunkt 01	0,695	0,696085	0,704	0,702102	0,690	0,692055		
Messpunkt 02	0,699	0,700085	0,704	0,702102	0,691	0,692805		
Messpunkt 03	0,699	0,700085	0,703	0,701102	0,692	0,694555		
Messpunkt 04	0,696	0,697085	0,704	0,702102	0,690	0,692055		
Messpunkt 05	0,700	0,701085	0,703	0,701102	0,692	0,693805		
Messpunkt 06	0,699	0,700085	0,703	0,701102	0,693	0,694805		
Messpunkt 07	0,700	0,701085	0,703	0,701102	0,692	0,693805		
Messpunkt 08	0,700	0,701085	0,701	0,699102	0,691	0,692805		
Messpunkt 09	0,699	0,700085	0,699	0,697102	0,690	0,692055		
Messpunkt 10	0,700	0,701085	0,702	0,700102	0,692	0,694555		
Messpunkt 11	0,701	0,702085	0,701	0,699102	0,691	0,693555		
Messpunkt 12	0,699	0,700085	0,701	0,699102	0,690	0,692305		
Messpunkt 13	0,703	0,704085	0,701	0,699102	0,696	0,698305		
Messpunkt 14	0,703	0,704085	0,700	0,698102	0,697	0,699055		
Messpunkt 15	0,703	0,704085	0,702	0,700102	0,696	0,698555		
Messpunkt 16	0,704	0,705085	0,701	0,699102	0,695	0,697305		
Messpunkt 17	0,703	0,704085	0,698	0,696102	0,694	0,696555		
Messpunkt 18	0,704	0,705085	0,701	0,699102	0,696	0,698055		
Messpunkt 19	0,703	0,704085	0,701	0,699102	0,696	0,698305		
Messpunkt 20	0,703	0,704085	0,700	0,698102	0,694	0,696055		
Mittelwert	0,700650	0,701735	0,701600	0,699702	0,692763	0,695068		
Max	0,704	0,705085	0,704	0,702102	0,697	0,699055		
Min	0,695	0,696085	0,698	0,696102	0,690	0,692055		
Standardabw.	0,002560	0,002560	0,001667	0,001667	0,002485	0,002485		
Diff. Max - Min	0,009	0,009000	0,006	0,006000	0,007	0,007000		
Vertrauensbereich bei statist. Sicher- heit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i> 1/2 Range (+/-)	0,700538 0,701735 0,702931 0,001197		0,698923 0,699702 0,700481 0,000779		0,693906 0,695068 0,696229 0,001161		
Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte	1. Messung - 2. Messung:				0,002033		Lage des Messortes von 13-B-45-W linke Schar:	
Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte	2. Messung - 3. Messung:				0,004634		Dachfläche 13-B-45-W, linke Schar 50 cm von unten	
Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte	3. Messung - 4. Messung:				—		Scharbreite 65 cm	
Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte	1. Messung - 3. Messung:				0,006667		Abtrag/Jahr in mm/a bzw. in µm/a: 0,000417 0,417	
Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte	1. Messung - 4. Messung:				—		Abtrag/Jahr in mm/a bzw. in µm/a: — —	

Blatt 34

**Dachfläche 13-B-45-W - Orientierung: West - Dachneigung: 45 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C**

Messort 13-B-45-W rechts	Erste Messung: 02.07.1996 Metalltemperatur: 18 °C		Zweite Messung: 06.06.2001 Metalltemperatur: 38 °C		Dritte Messung: 19.10.2012 Metalltemperatur: 10 °C			
Messpunkte	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert		
Messpunkt 01	0,723	0,724085	0,723	0,721373	0,712	0,713920		
Messpunkt 02	0,718	0,719085	0,721	0,719373	0,712	0,714420		
Messpunkt 03	0,717	0,718085	0,719	0,717373	0,711	0,713420		
Messpunkt 04	0,719	0,720085	0,725	0,723373	0,713	0,715420		
Messpunkt 05	0,724	0,725085	0,724	0,722373	0,712	0,714170		
Messpunkt 06	0,719	0,720085	0,725	0,723373	0,712	0,713670		
Messpunkt 07	0,720	0,721085	0,722	0,720373	0,717	0,718670		
Messpunkt 08	0,721	0,722085	0,720	0,718373	0,715	0,716670		
Messpunkt 09	0,723	0,724085	0,721	0,719373	0,714	0,716420		
Messpunkt 10	0,721	0,722085	0,718	0,716373	0,710	0,712420		
Messpunkt 11	0,718	0,719085	0,718	0,716373	0,714	0,716420		
Messpunkt 12	0,721	0,722085	0,720	0,718373	0,712	0,714420		
Messpunkt 13	0,724	0,725085	0,727	0,725373	0,716	0,717670		
Messpunkt 14	0,722	0,723085	0,722	0,720373	0,716	0,718170		
Messpunkt 15	0,719	0,720085	0,718	0,716373	0,720	0,722170		
Messpunkt 16	0,723	0,724085	0,722	0,720373	0,722	0,724170		
Messpunkt 17	0,723	0,724085	0,722	0,720373	0,717	0,718920		
Messpunkt 18	0,724	0,725085	0,727	0,725373	0,715	0,716670		
Messpunkt 19	0,720	0,721085	0,720	0,718373	0,715	0,717170		
Messpunkt 20	0,722	0,723085	0,717	0,715373	0,716	0,718170		
Mittelwert	0,721050	0,722135	0,721550	0,719923	0,714488	0,716657		
Max	0,724	0,725085	0,727	0,725373	0,72200	0,724170		
Min	0,717	0,718085	0,717	0,715373	0,71025	0,712420		
Standardabw.	0,002212	0,002212	0,002946	0,002946	0,002943	0,002943		
Diff. Max - Min	0,007	0,007000	0,010	0,010000	0,01175	0,011750		
Vertrauensbereich bei statist. Sicher- heit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i> 1/2 Range (+/-)	0,721101 0,722135 0,723168 0,001034		0,718546 0,719923 0,721300 0,001377		0,715282 0,716657 0,718032 0,001375		
Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte	1. Messung - 2. Messung:				0,002212		Lage des Messortes von 13-B-45-W rechte Schar:	
Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte	2. Messung - 3. Messung:				0,003266		Dachfläche 13-B-45-W, rechte Schar 50 cm von unten	
Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte	3. Messung - 4. Messung:				—		Scharbreite 65 cm	
Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte	1. Messung - 3. Messung:				0,005478		Abtrag/Jahr in mm/a bzw. in µm/a: 0,000342 0,342	
Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte	1. Messung - 4. Messung:				—		Abtrag/Jahr in mm/a bzw. in µm/a: — —	

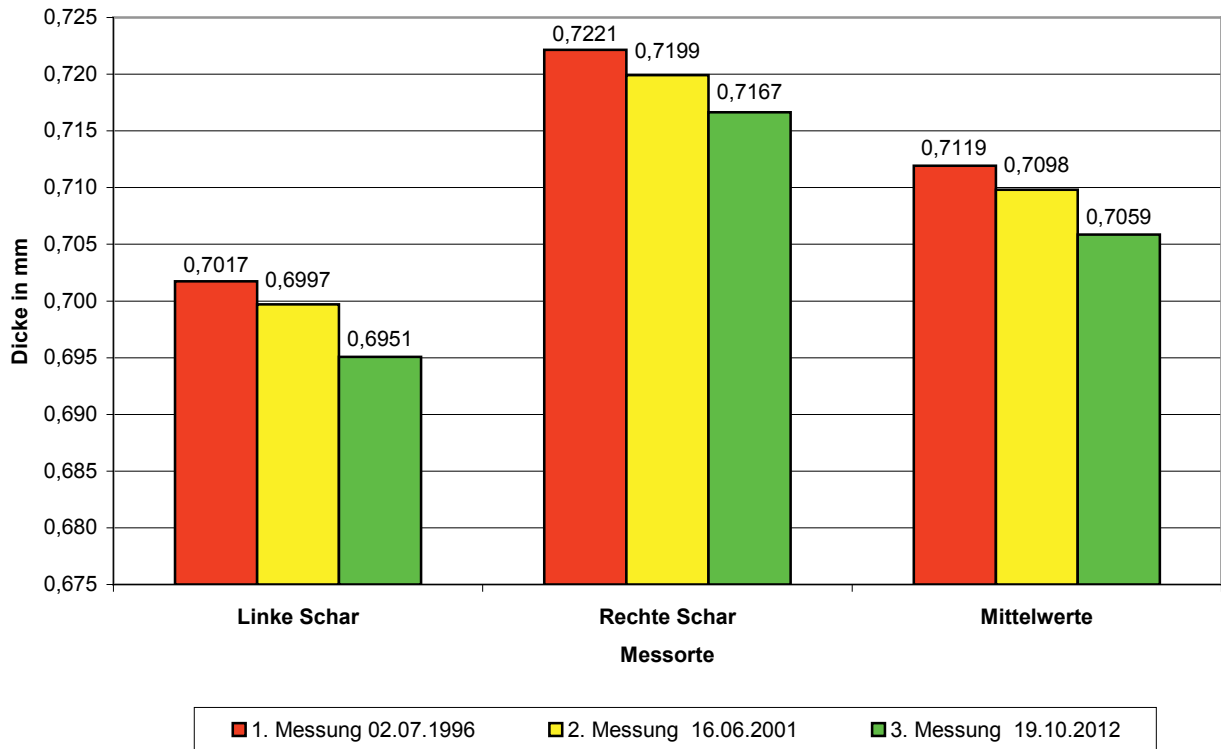
Blatt 35

**Dachfläche 13-B-45-W - Orientierung: West - Dachneigung: 45 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C**

Messorte 13-B-45-W l. und r.	Erste Messung: 02.07.1996		Zweite Messung: 16.06.2001		Dritte Messung: 19.10.2012		
Messpunkte	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	
<b>Links (MP01)</b>		0,696085		0,702102		0,692055	
Messpunkt 02		0,700085		0,702102		0,692805	
Messpunkt 03		0,700085		0,701102		0,694555	
Messpunkt 04		0,697085		0,702102		0,692055	
Messpunkt 05		0,701085		0,701102		0,693805	
Messpunkt 06		0,700085		0,701102		0,694805	
Messpunkt 07		0,701085		0,701102		0,693805	
Messpunkt 08		0,701085		0,699102		0,692805	
Messpunkt 09		0,700085		0,697102		0,692055	
Messpunkt 10		0,701085		0,700102		0,694555	
Messpunkt 11		0,702085		0,699102		0,693555	
Messpunkt 12		0,700085		0,699102		0,692305	
Messpunkt 13		0,704085		0,699102		0,698305	
Messpunkt 14		0,704085		0,698102		0,699055	
Messpunkt 15		0,704085		0,700102		0,698555	
Messpunkt 16		0,705085		0,699102		0,697305	
Messpunkt 17		0,704085		0,696102		0,696555	
Messpunkt 18		0,705085		0,699102		0,698055	
Messpunkt 19		0,704085		0,699102		0,698305	
Messpunkt 20		0,704085		0,698102		0,696055	
<b>Rechts (MP01)</b>		0,724085		0,721373		0,713920	
Messpunkt 02		0,719085		0,719373		0,714420	
Messpunkt 03		0,718085		0,717373		0,713420	
Messpunkt 04		0,720085		0,723373		0,715420	
Messpunkt 05		0,725085		0,722373		0,714170	
Messpunkt 06		0,720085		0,723373		0,713670	
Messpunkt 07		0,721085		0,720373		0,718670	
Messpunkt 08		0,722085		0,718373		0,716670	
Messpunkt 09		0,724085		0,719373		0,716420	
Messpunkt 10		0,722085		0,716373		0,712420	
Messpunkt 11		0,719085		0,716373		0,716420	
Messpunkt 12		0,722085		0,718373		0,714420	
Messpunkt 13		0,725085		0,725373		0,717670	
Messpunkt 14		0,723085		0,720373		0,718170	
Messpunkt 15		0,720085		0,716373		0,722170	
Messpunkt 16		0,724085		0,720373		0,724170	
Messpunkt 17		0,724085		0,720373		0,718920	
Messpunkt 18		0,725085		0,725373		0,716670	
Messpunkt 19		0,721085		0,718373		0,717170	
Messpunkt 20		0,723085		0,715373		0,718170	
<b>Mittelwert</b>		0,711935		0,709812		0,705862	
<b>Max</b>		0,725085		0,725373		0,724170	
<b>Min</b>		0,696085		0,696102		0,692055	
<b>Standardabw.</b>		0,010596		0,010509		0,011258	
<b>Diff. Max - Min</b>		0,029000		0,029271		0,032114	
<b>Vertrauensber. Methode 1</b>	<i>unterer Wert</i>	0,708549		0,706454		0,702265	
	<i>Mittelwert</i>	0,711935		0,709812		0,705862	
<b>Aussagew. p=95% n=40;f=39;t=2,021</b>	<i>oberer Wert</i>	0,715321		0,713170		0,709460	
	<i>1/2 Range (+/-)</i>	0,003386		0,003358		0,003597	
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>			1. Messung - 2. Messung:	0,002123			Lage der Messorte von 13-B-45-W linke und rechte Schar: Genauere Angaben hierzu, siehe bei den einzelnen Messorten Scharbreite 65 cm
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>			2. Messung - 3. Messung:	0,003950			
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>			3. Messung - 4. Messung:	—			
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>			1. Messung - 3. Messung:	0,006072		<b>Abtrag pro Jahr (zeitkorrigiert) in [µm]:</b>	<b>0,373</b>
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>			1. Messung - 4. Messung:	—			
<b>Vertrauensber. Methode 2</b>	<i>unterer Wert</i>	0,711632		0,709253		0,705559	
	<i>Mittelwert</i>	0,711935		0,709812		0,705862	
<b>u<sub>E</sub>=k · u<sub>St</sub>; k=2</b>	<i>oberer Wert</i>	0,712238		0,710371		0,706166	

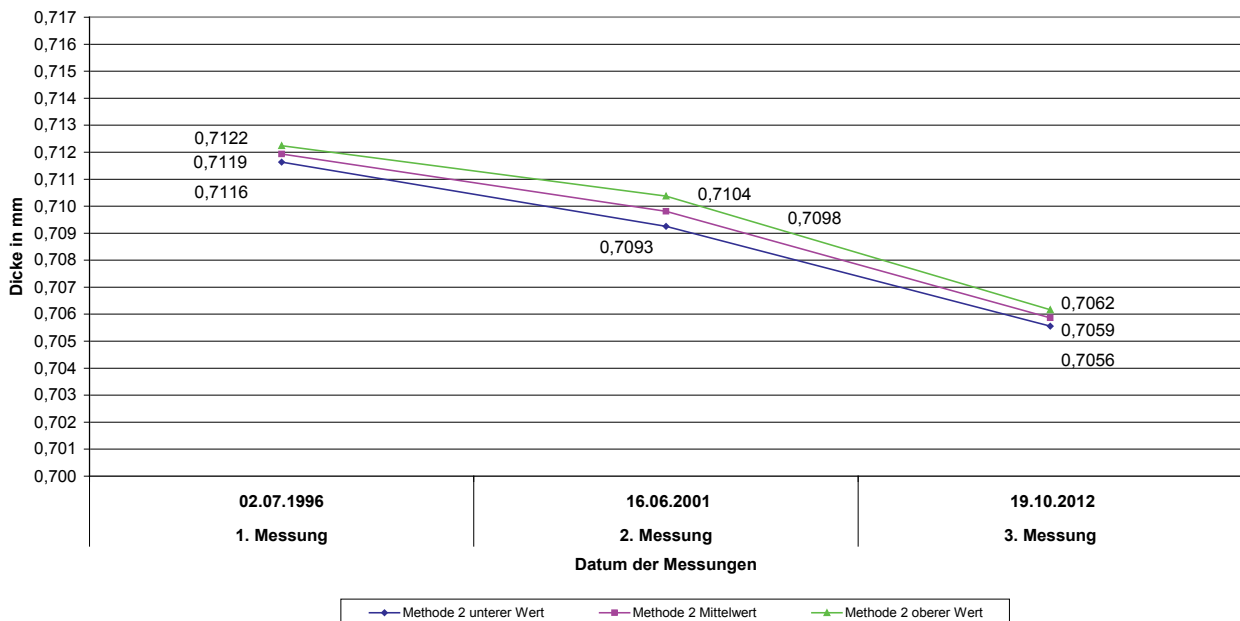
Blatt 36

**Objekt 54: Freibewitterungsversuch in H-Herrenhausen und H-Langenhagen**  
**Dachfläche 13-B-45-W**  
**Orientierung West - Dachneigung 45 °**  
**Messwerte und Mittelwerte ohne Vertrauensbereich - temperaturkorrigiert - nicht zeitkorrigiert**



Blatt 37

**Objekt 54: Freibewitterungsversuch in H-Herrenhausen und H-Langenhagen**  
**Dachfläche 13-B-45-W**  
**Orientierung W - Dachneigung 45 °**  
**Mittelwerte mit Vertrauensbereich - temperaturkorr. - nicht zeitkorr.**  
**Methode 2: "u<sub>E</sub>-Funktion", mit k=2; Signifikanzniveau 95 %**



Blatt 38

**Dachfläche 13-B-45-W** - Orientierung: West - Dachneigung: 45 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C

Zeitkorrigierte Grenzwerte des Vertrauensbereichs gemäß Methode 2  
(jeweils oberer und unterer Wert der ersten und letzten Messung)

**Fall A**

Erste Messung oberer Grenzwert - letzte Messung unterer Grenzwert

Erste Messung oberer Grenzwert	Letzte Messung unterer Grenzwert	Ergebnis	Mittlerer Abtrag pro Jahr (betrachtete Zeit 16,3 Jahre)	
			in mm/a	in $\mu\text{m/a}$
0,712238	0,705559	0,006679	0,000410	0,409709

**Fall B**

Erste Messung unterer Grenzwert - letzte Messung oberer Grenzwert

Erste Messung unterer Grenzwert	Letzte Messung oberer Grenzwert	Ergebnis	Mittlerer Abtrag pro Jahr (betrachtete Zeit 16,3 Jahre)	
			in mm/a	in $\mu\text{m/a}$
0,711632	0,706166	0,005466	0,000335	0,335308

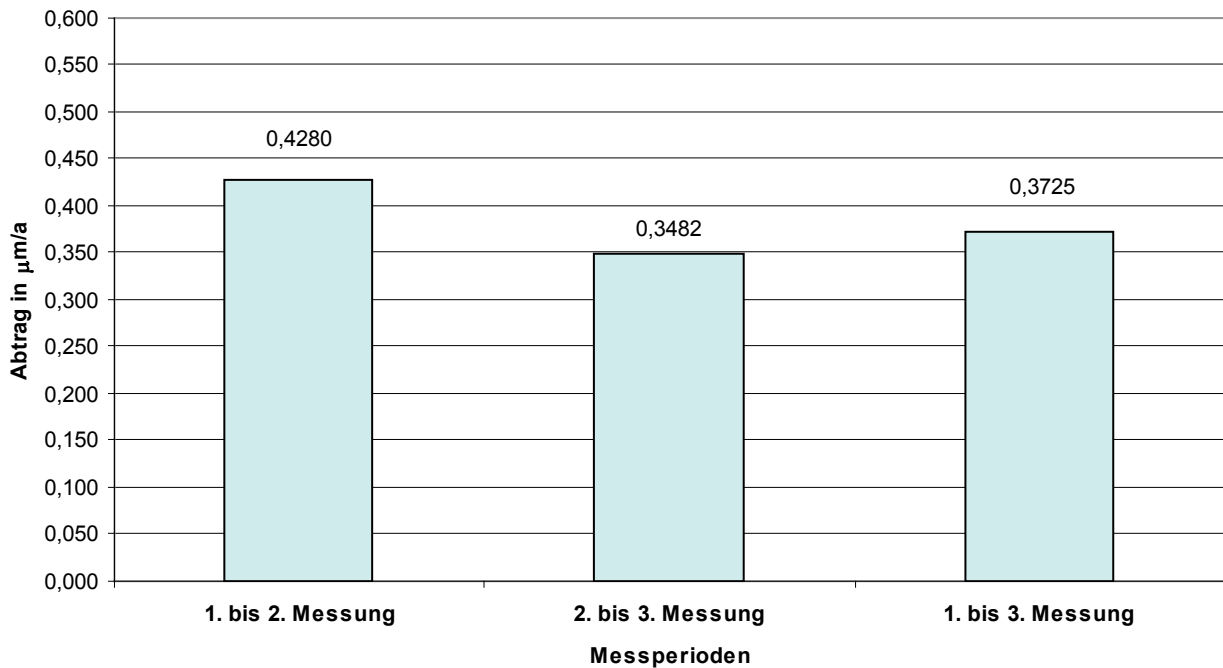
**Ergebnis**

Der wahre Wert des mittleren Abtrags in den Grenzen des Vertrauensbereichs liegt zwischen:

0,000335308	Angaben in mm/a und	0,000409709	Angaben in $\mu\text{m/a}$ und	0,335	0,410
-------------	------------------------	-------------	-----------------------------------	-------	-------

Blatt 39

**Objekt 54: Freibewitterungsversuch in H-Herrenhausen und H-Langenhagen**  
**Dachfläche 13-B-45-W**  
 Orientierung West - Dachneigung 45 °  
 Messtermine 1996 - 2001 - 2012  
 Temperatur- und zeitkorrigierte (normierte) Werte  
 Angabe des Abtrags in  $\mu\text{m/a}$

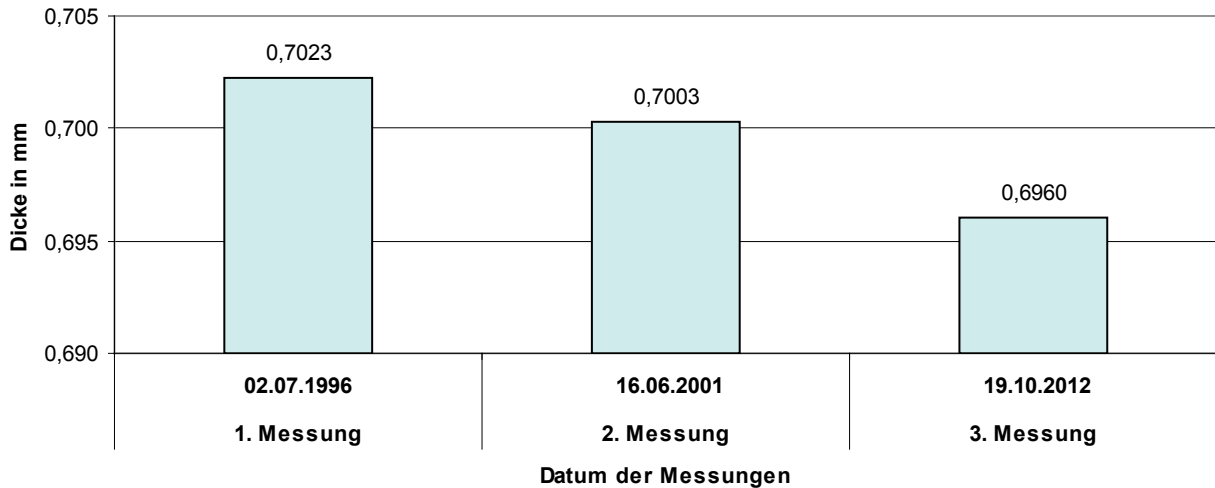


Blatt 40

Dachflächen 5-V-45-W und 13-B-45-W - Orientierung: West - Dachneigung: 45° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C							
Dachflächen 5-V-45 u.13-B-45	Erste Messung: 02.07.1996		Zweite Messung: 16.06.2001		Dritte Messung: 19.10.2012		
	Messpunkte	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	Temp. korrigiert	Gemess. Wert	
<b>Links (MP01)</b>		0,687085		0,690830		0,681055	
Messpunkt 02		0,693085		0,690830		0,682805	
Messpunkt 03		0,691085		0,687830		0,683305	
Messpunkt 04		0,691085		0,685830		0,683305	
Messpunkt 05		0,683085		0,689830		0,680805	
Messpunkt 06		0,692085		0,690830		0,684305	
Messpunkt 07		0,693085		0,688830		0,683055	
Messpunkt 08		0,689085		0,686830		0,682305	
Messpunkt 09		0,688085		0,688830		0,680305	
Messpunkt 10		0,687085		0,687830		0,685055	
Messpunkt 11		0,691085		0,688830		0,683805	
Messpunkt 12		0,690085		0,687830		0,682305	
Messpunkt 13		0,691085		0,688830		0,682305	
Messpunkt 14		0,693085		0,690830		0,685805	
Messpunkt 15		0,687085		0,688830		0,685805	
Messpunkt 16		0,692085		0,682830		0,683555	
Messpunkt 17		0,688085		0,687830		0,682305	
Messpunkt 18		0,694085		0,688830		0,687555	
Messpunkt 19		0,692085		0,689830		0,686305	
Messpunkt 20		0,691085		0,684830		0,684805	
<b>Rechts (MP01)</b>		0,700085		0,688830		0,681805	
Messpunkt 02		0,699085		0,690830		0,687555	
Messpunkt 03		0,697085		0,693830		0,688305	
Messpunkt 04		0,692085		0,691830		0,689305	
Messpunkt 05		0,697085		0,691830		0,684055	
Messpunkt 06		0,702085		0,690830		0,687305	
Messpunkt 07		0,700085		0,691830		0,691305	
Messpunkt 08		0,693085		0,690830		0,690805	
Messpunkt 09		0,701085		0,693830		0,686805	
Messpunkt 10		0,700085		0,693830		0,689305	
Messpunkt 11		0,693085		0,693830		0,690305	
Messpunkt 12		0,691085		0,689830		0,694055	
Messpunkt 13		0,691085		0,696830		0,688055	
Messpunkt 14		0,694085		0,697830		0,686305	
Messpunkt 15		0,692085		0,694830		0,691805	
Messpunkt 16		0,691085		0,691830		0,692055	
Messpunkt 17		0,692085		0,694830		0,687305	
Messpunkt 18		0,691085		0,696830		0,687305	
Messpunkt 19		0,691085		0,693830		0,691055	
Messpunkt 20		0,690085		0,692830		0,691805	
<b>Links (MP01)</b>		0,696085		0,702102		0,692055	
Messpunkt 02		0,700085		0,702102		0,692805	
Messpunkt 03		0,700085		0,701102		0,694555	
Messpunkt 04		0,697085		0,702102		0,692055	
Messpunkt 05		0,701085		0,701102		0,693805	
Messpunkt 06		0,700085		0,701102		0,694805	
Messpunkt 07		0,701085		0,701102		0,693805	
Messpunkt 08		0,701085		0,699102		0,692805	
Messpunkt 09		0,700085		0,697102		0,692055	
Messpunkt 10		0,701085		0,700102		0,694555	
Messpunkt 11		0,702085		0,699102		0,693555	
Messpunkt 12		0,700085		0,699102		0,692305	
Messpunkt 13		0,704085		0,699102		0,698305	
Messpunkt 14		0,704085		0,698102		0,699055	
Messpunkt 15		0,704085		0,700102		0,698555	
Messpunkt 16		0,705085		0,699102		0,697305	
Messpunkt 17		0,704085		0,696102		0,696555	
Messpunkt 18		0,705085		0,699102		0,698055	
Messpunkt 19		0,704085		0,699102		0,698305	
Messpunkt 20		0,704085		0,698102		0,696055	
<b>Rechts (MP01)</b>		0,724085		0,721373		0,713920	
Messpunkt 02		0,719085		0,719373		0,714420	
Messpunkt 03		0,718085		0,717373		0,713420	
Messpunkt 04		0,720085		0,723373		0,715420	
Messpunkt 05		0,725085		0,722373		0,714170	
Messpunkt 06		0,720085		0,723373		0,713670	
Messpunkt 07		0,721085		0,720373		0,718670	
Messpunkt 08		0,722085		0,718373		0,716670	
Messpunkt 09		0,724085		0,719373		0,716420	
Messpunkt 10		0,722085		0,716373		0,712420	
Messpunkt 11		0,719085		0,716373		0,716420	
Messpunkt 12		0,722085		0,718373		0,714420	
Messpunkt 13		0,725085		0,725373		0,717670	
Messpunkt 14		0,723085		0,720373		0,718170	
Messpunkt 15		0,720085		0,716373		0,722170	
Messpunkt 16		0,724085		0,720373		0,724170	
Messpunkt 17		0,724085		0,720373		0,718920	
Messpunkt 18		0,725085		0,725373		0,716670	
Messpunkt 19		0,721085		0,718373		0,717170	
Messpunkt 20		0,723085		0,715373		0,718170	
<b>Mittelwert</b>		0,702260		0,700271		0,696024	
<b>Max</b>		0,725085		0,725373		0,694055	
<b>Min</b>		0,683085		0,682830		0,680305	
<b>Standardabw.</b>		0,012608		0,012326		0,012926	
<b>Diff. Max - Min</b>		0,042000		0,042542		0,013750	
<b>Vertrauensber. Methode 1</b>	<i>unterer Wert</i>	0,699455		0,697529		0,693748	
	<i>Mittelwert</i>	0,702260		0,700271		0,696024	
<b>Aussagew. p=95%</b>	<i>oberer Wert</i>	0,705065		0,703014		0,698900	
<b>n=80; f=79; t=1,99</b>	<i>1/2 Range (+/-)</i>	0,002805		0,002742		0,002876	
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>	1. Messung - 2. Messung:			0,001988			Lage Messorte 5-V-45-W u. 13-B-45-W linke und rechte Schar: Genauere Angaben hierzu, siehe bei den einzelnen Messorten Scharbreite 65 cm
	2. Messung - 3. Messung:			0,004247			
	3. Messung - 4. Messung:						
<b>Differenz der temperaturkorr. Mittelwerte</b>	1. Messung - 3. Messung:			0,006235		<b>Abtrag pro Jahr (zeitkorrigiert) in [µm]:</b>	<b>0,383</b>
<b>Vertrauensber. Methode 2</b>	<i>unterer Wert</i>	0,701957		0,699712		0,695721	
	<i>Mittelwert</i>	0,702260		0,700271		0,696024	
<b>u<sub>E</sub>=k · u<sub>St</sub>; k=2</b>	<i>oberer Wert</i>	0,702563		0,700830		0,696328	



Objekt 54: Freibewitterungsversuch in H-Herrenhausen und H-Langenhagen  
Dachflächen 5-V-45-W und 13-B-45-W  
 Orientierung West - Dachneigung 45 °  
 Mittelwerte ohne Vertrauensbereich - temperaturkorr. - nicht zeitkorr.



Blatt 42

Objekt 54: Freibewitterungsversuch in H-Herrenhausen u. H-Langenhagen  
5-V-45-W u. 13-B-45-W  
 Orientierung W - Dachneigung 45 °  
 Mittelwerte mit Vertrauensbereich - temperaturkorr. - nicht zeitkorr.  
Methode 2: "u<sub>E</sub>-Funktion", mit k=2; Signifikanzniveau 95%



Blatt 43

Dachfläche 5-V-45- u. 13-B-45 - Orientierung: West - Dachneigung: 45 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 26 °C

Zeitkorrigierte Grenzwerte des Vertrauensbereichs gemäß Methode 2  
(jeweils oberer und unterer Wert der ersten und letzten Messung)

**Fall A**

Erste Messung oberer Grenzwert - letzte Messung unterer Grenzwert

Erste Messung oberer Grenzwert	Letzte Messung unterer Grenzwert	Ergebnis	Mittlerer Abtrag pro Jahr (betrachtete Zeit 16,3 Jahre)	
			in mm/a	in µm/a
0,702563	0,695721	0,006842	0,000420	0,419707

**Fall B**

Erste Messung unterer Grenzwert - letzte Messung oberer Grenzwert

Erste Messung unterer Grenzwert	Letzte Messung oberer Grenzwert	Ergebnis	Mittlerer Abtrag pro Jahr (betrachtete Zeit 16,3 Jahre)	
			in mm/a	in µm/a
0,701957	0,696328	0,005629	0,000345	0,345306

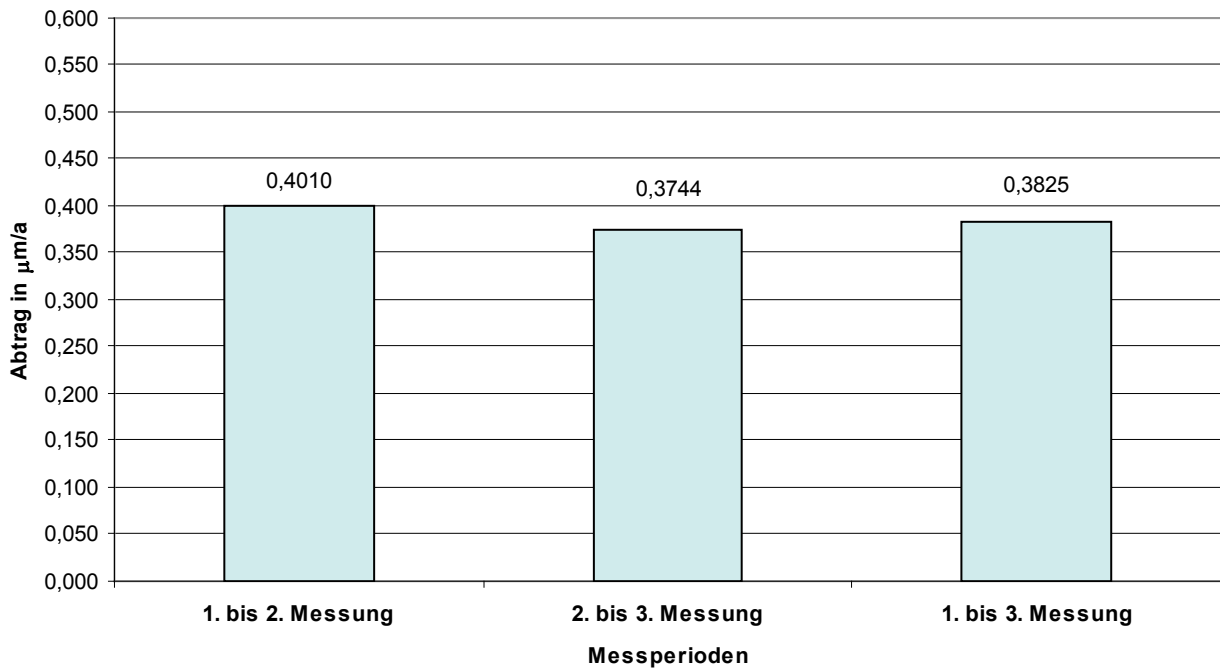
**Ergebnis**

Der wahre Wert des mittleren Abtrags in den Grenzen des Vertrauensbereichs liegt zwischen:

0,000345306	Angaben in mm/a und	0,000419707	Angaben in µm/a und	0,345	0,420
-------------	------------------------	-------------	------------------------	-------	-------

Blatt 44

Objekt 54: Freibewitterungsversuch in H-Herrenhausen u. H-Langenhagen  
Dachflächen 5-V-45-W u. 13-B-45-W  
Orientierung West - Dachneigung 45 °  
Messtermine 1996 - 2001 - 2012  
Temperatur- und zeitkorrigierte (normierte) Werte  
Angabe des Abtrags in µm/a



Blatt 45

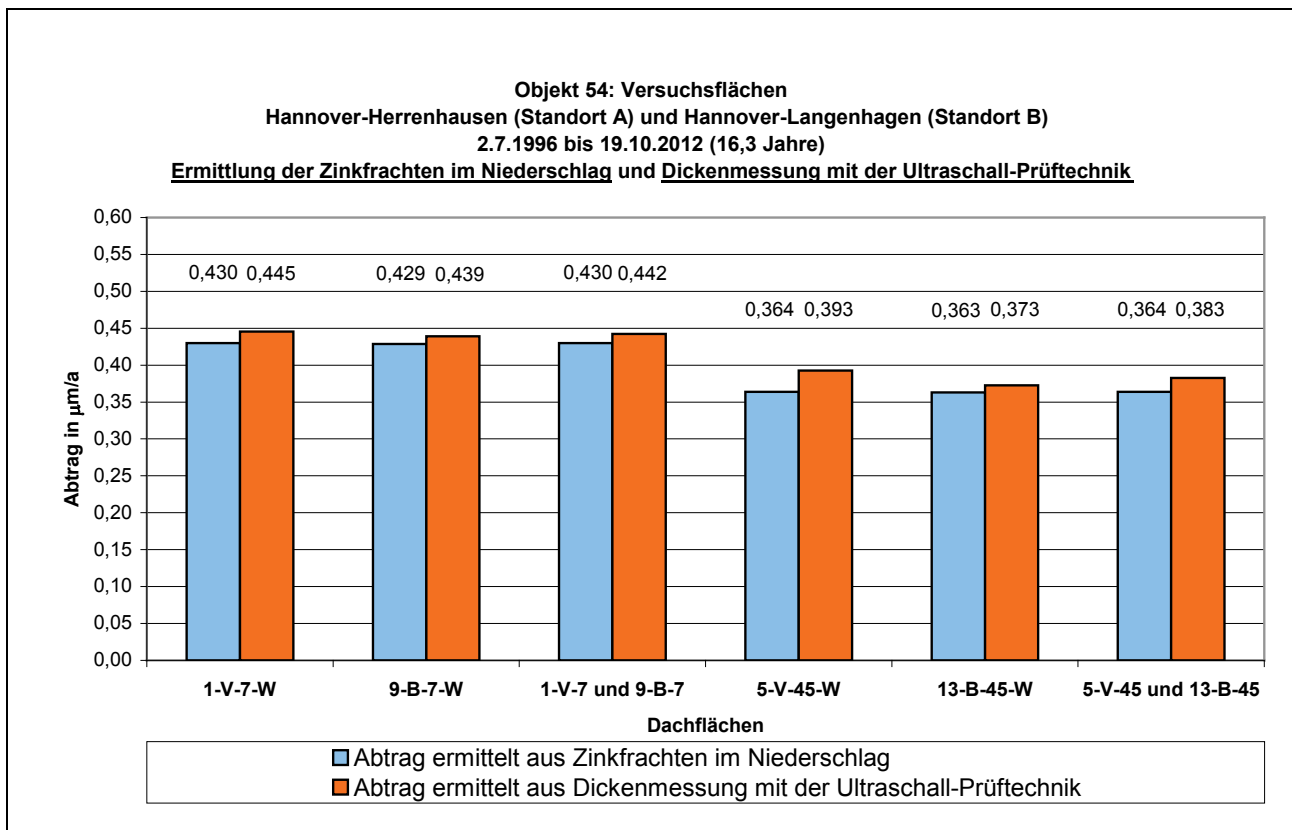
### 6.3 Auswertung und Beurteilung der Ergebnisse der beiden Untersuchungsverfahren Objekt 54 mit vier Freibewitterungs-Versuchsflächen

In Abbildung 146 sind die Ergebnisse aus beiden Untersuchungsverfahren aufgeführt. Das Verfahren „Dickenmessung mit der Ultraschall-Prüftechnik“ ergibt für die Dickenänderungen pro betrachteter Jahres-Periode bzw. für den betrachteten Gesamtzeitraum sofort die Angabe in  $\mu\text{m/a}$ .

Bei der Auswertung des Verfahrens „Bestimmung der Zinkfrachten im Niederschlag“ musste der Vergleichswert, die Angabe in  $\mu\text{m/a}$ , aus der Angabe in  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  durch eine Umrechnung ermittelt werden. Die Zinkfrachten können, wie schon ausgeführt, unabhängig von dem vorliegenden chemischen Bindungszustand, auf den elementaren Zustand umgerechnet werden. Dies geschieht mit der Dichte des Metalls, bei Titanzink mit  $7,2 \text{ g/cm}^3$ .

Veränderung der Dicke von Dachdeckungen aus Titanzink Hannover-Herrenhausen (Standort A) und Hannover-Langenhagen (Standort B) Messverfahren: <u>Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag</u>					
Dachflächen Dachneigung	<u>1-V-7-W</u> 7°	<u>9-B-7-W</u> 7°	<u>5-V-45-W</u> 45°	<u>13-B-45-W</u> 45°	Tage
Summe $[\text{g}/\text{m}^2]$ (02.07.96 bis 19.10.03)	23,953	23,502	20,104	19,724	2664
Summe $[\text{g}/\text{m}^2]$ (20.10.03 bis 19.10.12)	26,500	26,816	22,618	22,884	3286
Summe $[\text{g}/\text{m}^2]$ (02.07.96 bis 19.10.12)	50,453	50,317	42,722	42,608	5950
Mittelwert in $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (Zeit:16,3 Jahre)	3,095	3,087	2,621	2,614	
Dickenabtrag $[\mu\text{m/a}]$ (Zeit:16,3 Jahre)	<b>0,430</b>	<b>0,429</b>	<b>0,364</b>	<b>0,363</b>	
<b>Mittelwert für die 7° geneigten Flächen (Zeit:16,3 Jahre):</b>	<b>0,430 <math>[\mu\text{m/a}]</math></b>				<b>Jahre</b>
<b>Mittelwert für die 45° geneigten Flächen (Zeit:16,3 Jahre):</b>	<b>0,364 <math>[\mu\text{m/a}]</math></b>				<b>16,3</b>
Veränderung der Dicke von Dachdeckungen aus Titanzink Hannover-Herrenhausen (Standort A) und Hannover-Langenhagen (Standort B) Messverfahren: <u>Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik</u>					
Dachflächen Dachneigung	<u>1-V-7-W</u> 7°	<u>9-B-7-W</u> 7°	<u>5-V-45-W</u> 45°	<u>13-B-45-W</u> 45°	Tage
1. - 2. Messung $[\mu\text{m/a}]$ (02.07.96 - 16.06.01)	0,426	0,557	0,374	0,428	1810
2. - 3. Messung $[\mu\text{m/a}]$ (17.06.96 - 19.10.12)	0,454	0,387	0,401	0,348	4140
1. - 3. Messung $[\mu\text{m/a}]$ (02.07.96 - 19.10.12)	0,445	0,439	0,393	0,373	5950
Dickenabtrag $[\mu\text{m/a}]$ (Zeit:16,3 Jahre)	<b>0,445</b>	<b>0,439</b>	<b>0,393</b>	<b>0,373</b>	
<b>Mittelwert für die 7° geneigten Flächen (Zeit:16,3 Jahre):</b>	<b>0,442 <math>[\mu\text{m/a}]</math></b>				<b>Jahre</b>
<b>Mittelwert für die 45° geneigten Flächen (Zeit:16,3 Jahre):</b>	<b>0,383 <math>[\mu\text{m/a}]</math></b>				<b>16,3</b>

**Abbildung 146:** Auswertung der Messwerte aus den beiden Untersuchungsverfahren (Zeitraum 16,3 Jahre):  
„Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag“ und  
„Dickenmessung mit der Ultraschall-Prüftechnik“.



**Abbildung 147:** Grafische Darstellung der Auswertung der Messwerte aus den beiden Untersuchungsverfahren (Zeitraum 16,3 Jahre). Werte aus Abbildung 146.

Für die weitere Betrachtung bzw. Auswertung der in Abbildungen 146 und 147 dargestellten Ergebnisse werden jeweils die Mittelwerte für die 7° und 45° geneigten Versuchsflächen (jeweils walzblank und vorbewittert blaugrau) verwendet, siehe die folgende Abbildung 148.

Versuchsflächen („walzblank“ u. „vorbewittert blaugrau“)	Zinkfrachten [µm/a]	Ultraschall [µm/a]	Differenz [µm/a]	Differenz [%]
Mittelwerte für die 7° geneigten Flächen	<b>0,430</b>	<b>0,442</b>	<b>0,012</b>	<b>2,8</b>
Mittelwerte für die 45° geneigten Flächen	<b>0,364</b>	<b>0,383</b>	<b>0,019</b>	<b>5,2</b>

**Abbildung 148:** Mittelwerte und Differenzen zwischen den Ergebnisse aus den beiden Verfahren: „Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag“ und „Dickenmessung mit der Ultraschall-Prüftechnik“.

Es fällt auf, dass das Verfahren „Ultraschall- Prüftechnik“ für beide Dachneigungsgruppen die größeren Abtragswerte ergibt. Nachfolgend werden in Abbildung 149 in einer Gegenüberstellung mögliche Ursachen dafür qualitativ aufgeführt.

<b><u>Erklärungen/Ursachen</u></b> <b><u>für die Differenz zwischen den Ergebnisse der beiden Untersuchungsverfahren</u></b>	
<b><u>Zinkionen-Bestimmung</u></b>	<b><u>Ultraschall-Verfahren</u></b>
Die Größenordnung des Abtrag durch partikulares Zink wurde nicht erfasst (siehe hierzu auch die Ausführungen in Abschnitt 5.3)	Die Größenordnung des Abtrag durch partikulares Zink kann „isoliert“ nicht erfasst werden. Dies Abtragsart ist aber im Ergebnis der Messung der Dicke enthalten.
Die Größenordnung des Abtrags aus den Legierungsbestandteilen, z. B. Kupfer (0,08 bis 1,0 %) wurde in der Auswertung dieser Messung nicht berücksichtigt. Zu Anfang der Versuchsreihe wurden sehr geringe Werte ermittelt (z. B. 0,006 mg/l). Im späteren Verlauf der Versuchsreihe lagen diese Werte oft unterhalb der Nachweisgrenze.	Die Größenordnung des Abtrags aus dem Legierungsbestandteil Kupfer kann „isoliert“ nicht erfasst werden. Dies Abtragsart ist aber, wenn auch nur sehr gering, im Ergebnis der Messung der Dicke enthalten.
Die Masse der fest anhaftenden Korrosionsprodukte kann hierbei nicht erfasst werden.	Bei diesem Messverfahren ist die Dicke der Schicht aus fest anhaftenden Korrosionsprodukten immer Bestandteil der Mess-Strecke.

**Abbildung 149:** Zusammenstellung der Erklärungen/Ursachen für die Differenz zwischen den Ergebnisse der beiden Untersuchungsverfahren.

Als Fehler für diese Untersuchungen (Berücksichtigung der Anteile Kupfer, partikulares Zink, mögliche Veränderungen der Zinkionenkonzentration aus dem gelegentlichen Überlaufen der Fässer, vermutete Inhomogenität von Zink im Bereich der festanhaftenden Korrosionsprodukte) wurde der Wert mit 3 % abgeschätzt

### **Fazit**

Die Auswertung dieser Gegenüberstellung ergibt eine gute Übereinstimmung der Messergebnisse aus beiden Messverfahren.

Das Verfahren „Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik“ - unter Beachtung der nachfolgend aufgeführten Randbedingungen bzw. Anmerkungen - eignet sich gut für baupraktische Belange zur Bestimmung der Dickenänderung von Dachdeckungen bzw. Bekleidungen von Wänden aus Titanzink.

Das Untersuchungsverfahren „Bestimmung der Zinkfrachten im Niederschlag“ eignet sich aus praktischen Gründen nur für kleine bis mittelgroße Dachflächen-Freibewitterungsversuche, bzw. für kleinere Dächer von Gebäuden, da das Auffangen von Regenwasser, welches über größere Dach-

flächen von Gebäuden geflossen ist, einen sehr großen Aufwand erforderlich macht, bzw. sich in der Praxis kaum durchführen lässt.

Das Untersuchungsverfahren „Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik“ eignet sich für jede Flächengröße. Hierbei sind allerdings einige Besonderheiten zu berücksichtigen:

a) Der Einfluss der Rauigkeit der äußeren Oberfläche des Titanzinks.

Große Rauigkeiten können eine Unbestimmtheit in den Messergebnissen infolge größerer Schichtdicken des Koppelmittels bzw. durch Streuung des Ultraschall-Impulses im zu prüfenden Material verursachen.

b) Der zeitliche Einfluss auf die Patinabildung in Bezug auf die Zusammensetzung, die Dicke und die Dichte. Hinweis: Die Dicke der Patinaschicht ist Bestandteil der Mess-Strecke.

### **Ausführungen zu a)**

Die Rauigkeit der äußeren Oberfläche der Titanzinkdeckung nimmt im Laufe der Zeit zu; siehe hierzu auch die Ergebnisse von zwei Rauigkeitsmessungen in Abschnitt 3.3, dort die Abbildung 23.

Die Probetafel „fabrikneu - vorbewittert blaugrau“ ergab folgende Werte:

(Mittelwerte aus den Messungen „Quer“ und „Längs“) →  $R_{\max} = 2,71 \mu\text{m}$  und  $R_z = 1,67 \mu\text{m}$

Die Probetafel „acht Jahre freibewittert“ ergab folgende Werte:

(Mittelwerte aus den Messungen „Quer“ und „Längs“) →  $R_{\max} = 7,65 \mu\text{m}$  und  $R_z = 4,04 \mu\text{m}$

In Lit. [25] dort in Abschnitt „7.3 Messstellenvorbereitung“ wird als Richtwert für die zulässige Rauigkeit, sowie für die Unebenheit der Messstelle der Wert  $R_z < 30 \mu\text{m}$  angeführt. Die Werte für die Rauigkeit in dem Zeitabschnitt von 16,3 Jahren dürften sehr deutlich unterhalb des angegebenen Richtwertes liegen, so dass hier dieser Einfluss bei der Auswertung der Messergebnisse vernachlässigt werden kann.

Um die zeitliche Abhängigkeit in der Zunahme der Rauigkeit bestimmen zu können, bedarf es weiterführender Untersuchungen.

### **Ausführungen zu b)**

Da die Schicht aus den fest anhaftenden Korrosionsprodukten, die Patina, Bestandteil der Mess-Strecke ist, sollte die erste Präzisions-Messung mittels der Ultraschall-Prüftechnik erst nach etwa fünf Jahren Freibewitterung (Verringerung des Einflusses aus der Ausbildung der Patina) erfolgen.

## 7 Schlussbetrachtung und Ausblick

Die Auswertung der Ergebnisse der beiden Untersuchungsverfahren:

- o „**Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik**“  
und
- o „**Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag**“

gestattet folgende Beurteilung:

Das Verfahren „Dickenmessungen mit der Ultraschall-Prüftechnik“ eignen sich für die Praxis, unter Beachtung bestimmter Randbedingungen (Einflüsse aus der Temperatur, der Rauigkeit der Oberflächen, der Patinabildung) gleichermaßen gut zur Bestimmung der Dickenänderung von Dachdeckungen bzw. Bekleidungen von Wänden aus Titanzink.

Die Auswertung der Ergebnisse des Untersuchungsverfahrens „Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag“ erbrachte als Langzeitversuch weiterhin folgende Erkenntnisse:

- o In den ersten drei Versuchsjahren war ein deutlicher Unterschied zwischen den Zinkfrachten der walzblanken und den vorbewittert blaugrauen Versuchsfächen erkennbar. Nach etwa zehn bis zwölf Jahren war praktisch kein Unterschied mehr vorhanden. Dies gilt für die 7° und 45° geneigten Versuchsfächen gleichermaßen.
- o Die Größenordnung der Zinkfrachten aus den Jahresperioden reduzierte sich in den ersten zwölf Jahren sehr deutlich, danach konnten im Verlauf der weiteren Versuchsjahre nur noch kleinere Verringerungen festgestellt werden.
- o Die Verringerung der Zinkfrachten im gesamten Untersuchungszeitraum von 22,9123 Jahren wird nachfolgend in einer Differenzbildung detailliert dargestellt. Als „Startwert“ für die Differenzbildung wurde der Mittelwert der zweiten Drei-Jahresperiode gewählt, um den Einfluss aus der Patinabildung in den ersten drei Jahre zu minimieren. Als „Endwert“ für die Differenzbildung wurde der Mittelwert der letzten Drei-Jahresperiode des Untersuchungszeitraumes gewählt.

Bei dieser Betrachtung verringerten sich die Zinkfrachten bei den vier Versuchsfächen im Mittel um rd. 29 %. Bei Verwendung des Startwertes - Mittelwert aus der ersten Drei-Jahresperiode - erhöht sich die o. a. Verringerung des Abtrags von rd. 29 % auf rd. 40 % .

### **Anmerkung:**

Beide Ergebnisse wurden auch durch die Veränderung in der Abnahme der Emissionen z. B. von SO<sub>2</sub> beeinflusst.

In der folgenden Zusammenstellung, Abbildung 150, wird die Verringerung der Zinkfrachten detaillierter untersucht.



<b><u>Verringerung der Zinkfrachten</u></b> <b>Ergebnisse von den Standorten A und B</b> <b>27.11.1990 bis 19.10.2013 - (8363 Tage bzw. 22,9123 Jahre)</b>				
Fläche	Drei-Jahresmittelwerte		Differenz g/m <sup>2</sup>	Verringerung der Zinkfrachten %
	4. bis 6. Jahr g/m <sup>2</sup>	21. bis 23. Jahr g/m <sup>2</sup>		
<b>1-V-7-W</b>	4,308	3,103	1,205	<b>rd. 28</b>
<b>9-B-7-W</b>	3,987	3,071	0,916	<b>rd. 23</b>
<b>5-V-45-W</b>	3,773	2,514	1,259	<b>rd. 33</b>
<b>13-B-45-W</b>	3,641	2,600	1,041	<b>rd. 29</b>

**Abbildung 150:** Differenz zwischen den Messergebnissen der Mittelwerte der zweiten Drei-Jahresperiode und der letzten Drei-Jahresperiode und Angabe der Verringerung der Zinkfrachten in Prozent. Untersuchungsverfahren: „Ermittlung der Zinkfrachten im Niederschlag“.

Die weitere Auswertung der Daten aus Abbildung 150 ergibt folgende Ergebnisse:

- o Mittelwert der prozentualen Verringerung der 7° geneigten Flächen: rd. 26 %
- o Mittelwert der prozentualen Verringerung der 45° geneigten Flächen: rd. 31 %
- o Mittelwert der prozentualen Verringerung aller Flächen: rd. 29 %
- o Differenz der prozentualen Verringerung:
  - zwischen den 7° geneigten Flächen „vorbewittert“ und „walzblank“: rd. 5 %
  - zwischen den 45° geneigten Flächen „vorbewittert“ und „walzblank“: rd. 4 %

Die Veränderung der Größenordnungen der **fest anhaftenden Korrosionsprodukte** ist in der folgenden Gegenüberstellung (Werte nach rd. 3 Jahren und für die Zeit von 22,9 Jahren) aufgeführt.

Versuchsfläche	Fest anhaftende	Fest anhaftende	Differenz (gerundete) Werte	Differenz in %
	Korrosionsprodukte 27.11.1990 - 21.12.1993	Korrosionsprodukte 27.11.1990 - 06.06.2013		
<b>1-V-7-W:</b>	10,4 g/m <sup>2</sup>	6,844 g/m <sup>2</sup>	3,6 g/m <sup>2</sup>	<b>rd. 34,6</b>
<b>9-B-7-W:</b>	13,0 g/m <sup>2</sup>	6,906 g/m <sup>2</sup>	6,1 g/m <sup>2</sup>	<b>rd. 46,9</b>
<b>5-V-45-W:</b>	8,9 g/m <sup>2</sup>	5,625 g/m <sup>2</sup>	3,3 g/m <sup>2</sup>	<b>rd. 37,1</b>
<b>13-B-45-W:</b>	10,5 g/m <sup>2</sup>	5,641 g/m <sup>2</sup>	4,9 g/m <sup>2</sup>	<b>rd. 46,7</b>

**Anmerkung:** In den Korrosionsprodukten sind neben dem Element Zink auch noch andere Elemente enthalten, siehe hierzu auch die Abbildung 139.

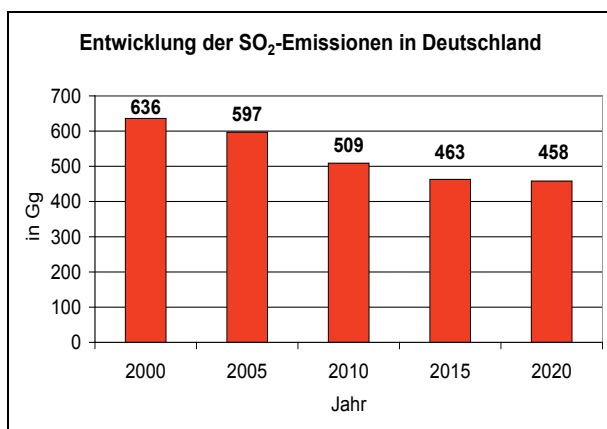
Die Auswertungen dieses Langzeitversuchs und die Ergebnisse von zahlreichen Grundlagen-Forschungsvorhaben an anderen Standorten, z. B. in [Lit. 30], haben ergeben, dass der Luftschadstoff SO<sub>2</sub> einen wesentlichen Anteil am Korrosionsgeschehen hat. Die SO<sub>2</sub>-Konzentration und auch die Konzentrationen der anderen Schadstoffe in der Atmosphäre haben sich auf Grund verbesserter Maßnahmen im Umweltschutz in der Region Hannover deutlich verringert; siehe die Abbildungen 56 und 85.

Die Abnahme der SO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Luft wurde auch durch Untersuchungen in anderen Ländern bestätigt. So wurde z. B. für den Standort Stockholm in der Zeit von 1978 bis 1992 eine Abnahme der SO<sub>2</sub>-Konzentration von etwa 90 µg/m<sup>3</sup> auf etwa 10 µg/m<sup>3</sup> ermittelt [Lit. 29].

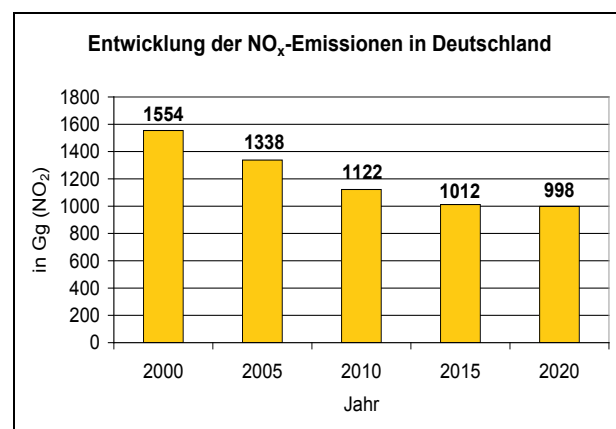
Die Emissionsberechnungen bzw. Schätzungen des Instituts für Zukunftsstudien und Technologiebewertung IZT, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes [Lit. 14], gehen davon aus, dass die SO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen in Deutschland zwischen 2000 und 2020 deutlich zurückgehen und sich danach stabilisieren werden, siehe die Abbildungen 151 und 152.

Nach dieser Studie stammen die SO<sub>2</sub>-Emissionen fast ausschließlich aus stationären Quellen, der Anteil des Verkehrs wird als gering eingestuft. Nach dieser Studie wird die Emissionsreduktion von SO<sub>2</sub> hauptsächlich über die Änderung des Energieträgermixes hin zu weniger schwefelhaltigen Energieträgern erreicht.

Die Emissionsreduktion von NO<sub>x</sub> ist vor allem auf Maßnahmen im Straßenverkehr zurückzuführen. Bei der in Abbildung 152 dargestellten Entwicklung ist noch anzumerken: „Die NO<sub>x</sub>-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden (Größenordnung 2000: 20 Gg NO<sub>2</sub>) wurden im Rahmen des Vorhabens nicht mitbilanziert, da diese Emissionen nicht in die Berechnungsgrundlage der Emissionsobergrenzen der NEC-Richtlinie bzw. des Göteborg-Protokoll der UN/ECE eingeflossen waren.“ [Lit. 14].



**Abbildung 151:** Prognostizierte Entwicklung der SO<sub>2</sub>-Emissionen für die Jahre 2000 - 2020 [nach Lit. 14].



**Abbildung 152:** Prognostizierte Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen für die Jahre 2000 - 2020 [nach Lit. 14].

Sollten sich diese Tendenzen [Lit. 14] insgesamt bestätigen - die bereits gemessenen und aufgeführten Werte für die Zinkfrachten für die Zeit von 2000 bis 2013 bestätigen für den Standort Hannover indirekt diese Tendenz - so kann mit einer weiteren Verringerung der Korrosionsraten von Titanzink gerechnet werden, allerdings nicht mehr in der Größenordnung, wie sie für die Zeit von 1990 bis 2013 ermittelt worden sind.

Die ermittelten, deutlich geringeren Abtragswerte für Titanzink - im Vergleich mit älteren, sehr deutlich größeren Werten - können dazu beitragen, die teilweise noch kontrovers geführten Diskussionen über das Thema „Eintrag von Zink in die Umwelt“, zu versachlichen.

Die relativ einfache Bedienung der heutigen Ultraschall-Dickenmesseräte „verführt“ dazu, Dickenmessungen im Baubereich relativ „sorglos“ durchzuführen, siehe hierzu auch [Lit. 25], Seite 5. Die mit dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse (Prüf- und Auswertungskonzept) können - speziell für das Material Titanzink - mit dazu beitragen, Ultraschall-Dickenmessungen an mit Titanzink gedeckten Dächern sorgfältiger zu gestalten (siehe hierzu auch die Ausführungen in den Abschnitten 4.2 - 4.3 - 4.4 - 4.5.2 - 4.5.3 - 4.6 - 4.8 - 4.9), um verwertbare Ergebnisse erzielen zu können.

In der Baupraxis können Ultraschall-Dickenmessungen - unter Beachtung der im Rahmen dieser Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse - verlässliche Werte liefern, z. B. bei der Durchführung einer Qualitätskontrolle von Dachdeckungen mit Titanzink an Standorten mit extremen mikroklimatischen Beanspruchungen und Schadstoffbelastungen.

Im Laufe der durchgeführten Untersuchungen hat sich hinsichtlich der fest anhaftenden Korrosionsprodukte Klärungsbedarf ergeben, der weitere Untersuchungen im Bereich der Chemie / Metallurgie sinnvoll erscheinen lassen. Die Untersuchung folgender Aspekte - in Abhängigkeit von der Zeit, den klimatischen Veränderungen und den Schadstoffbelastungen - wäre hilfreich:

- o Die Ermittlung der Homogenität in der Verteilung des Zinkanteils,
- o Veränderungen der Bestandteile,
- o der Dichte,
- o der Unterschiede in der Zusammensetzung bei vorbewitterten und walzblanken Materialien,
- o die Entwicklung der Rauigkeit.

## 8 Anhang

### 8.1 Objektbeispiel: Gebäude Nr. 14, Lehrbäckerei, Bad Zwischenahn OT Rostrup

In den Stationen der jeweiligen Auswertungsschritte sind die „Endergebnisse“ gelb unterlegt dargestellt.

<b>Allgemeine Angaben</b>
<b>Datum der Messungen</b> Das Objekt 14 wurde viermal mit dem Ultraschall-Wanddickenmessgerät CL 304 gemessen: <b>1. Messung am: 30.09.1992      2. Messung am: 29.06.1996      3. Messung am: 09.06.2000      4. Messung am: 24.07.2004</b>
<b>Kurze Beschreibung des Messobjektes</b> Lehrbäckerei, Pultdach mit Gefällestoß, Dachlänge ca. 18 m, Doppelstehfalzdeckung, Scharbreite 55 cm. Höhe der Dachfläche über Grund ca. 5 m. Seitlich an das Hauptdach war ein vierzügiger Schornstein angeordnet. Dessen Wände waren mit Titanzink bekleidet. Die obere Abdeckung des Schornsteins besteht aus Titanzink, freie Lage, keine Behinderung in der Freibewitterung.
<b>Kurze Beschreibung der Abfolge der Tätigkeiten bei der Messung der Dicke des Titanzinks</b> <ul style="list-style-type: none"><li>o Einstellung der Prüf-Schallgeschwindigkeit (3477 m/s) im Wanddickenmessgerät und Grundmessung (Eichung) an einer Tafel aus Titanzink, Nenndicke 0,7 mm, im Labor.</li><li>o Untersuchung (nach Augenschein) der Dach- bzw. Wandflächen im Hinblick auf mechanisch bedingte Schäden, Fehlstellen in der Fläche, starke Verschmutzungen usw.</li><li>o Kontrolle der Einstellung der Prüf-Schallgeschwindigkeit (3477 m/s) im Ultraschall-Wanddickenmessgerät CL 304.</li><li>o Festlegung des Messortes auf der Dachfläche und Bezeichnung des Messortes, z. B. DF1.2 - 19. Schar von links, 8 m vom First (DF1.2 bedeutet: Dachfläche 1 des Objektes und dort der 2. Messort mit 20 Messpunkten. Die Angaben links, bzw. rechts erfolgen immer mit Blick auf den First).</li><li>o Auflegen der Schablone (Plexiglas) mit 20 Messpunkten (20 Bohrungen, Ø 20 mm) auf die Dachfläche. Die genaue Lage der Schablone auf der Dachfläche wird im Bereich von drei "Einpassbohrungen" in der Schablone (außerhalb des Messbereichs) mit kleinen Farbpunkten (Lackstift) auf dem Titanzink markiert.</li><li>o Aufbringen der Koppelpaste im Bereich der 20 Bohrungen, danach wird die Schablone von der Dachfläche abgehoben.</li><li>o Messungen der Temperatur des Titanzinks (Thermometer mit Oberflächenfühler) im Bereich der 20 Messpunkte und Eintragung der Werte durch eine zweite Person in das Formblatt des jeweiligen Messortes.</li><li>o Messung der Dicke des Titanzinks mit dem Wanddickenmessgerät CL 304 und Eintragung der Werte (pro Messort 20 Werte) durch eine zweite Person in das Formblatt.</li><li>o Erneute Messungen der Temperatur des Titanzinks (Thermometer mit Oberflächenfühler) und Eintragung der Werte in das Formblatt.</li><li>o Entfernen der Koppelpaste mittels Schwamm und Wasser.</li><li>o Nach Beendigung aller Messungen des Objektes wurde die Einstellung der Prüf-Schallgeschwindigkeit vor Ort erneut kontrolliert. Es ergaben sich keine Veränderungen.</li><li>o Kontrolle der Prüf-Schallgeschwindigkeit im Ultraschall-Wanddickenmessgerät und Nachmessung (Eichung) an einer Tafel aus Titanzink, Nenndicke 0,7 mm, im Labor.</li></ul>

#### Blatt 1

<b>Angaben zur Ermittlung der temperaturabhängigen Korrekturwerte und der Bestimmung der Bezugstemperatur (Nullpunkt)</b>
Das Ultraschall-Wanddickenmessgerät arbeitet ähnlich wie Sonar und zwar nach dem Impuls-Echo-Prinzip. Für die Wanddickenmessung muss die Schallgeschwindigkeit in dem zu untersuchenden Material bekannt sein. Die Schallgeschwindigkeit wird hier im Wesentlichen bestimmt von: <ul style="list-style-type: none"><li>a) der Zusammensetzung des Materials (hier der Legierung und der Verteilung der Legierungsbestandteile im Titanzink),</li><li>b) der Verarbeitung des Titanzinks (z. B. auf der Baustelle stark kalt verformte Bereiche des Materials der Dachdeckung bzw. der Wandbekleidung),</li><li>c) der Temperatur des Titanzinks der Dachdeckung bzw. der Wandbekleidung zum Zeitpunkt der Messung vor Ort.</li></ul> Die Prüf-Schallgeschwindigkeit für Titanzink mit der hier vorliegenden Legierung beträgt 3477 m/s. Dieser Wert wurde im Ultraschall-Wanddickenmessgerät fest eingestellt. Diese Einstellung wurde jeweils vor und nach der Messung eines Objektes kontrolliert. In Abhängigkeit von der jeweiligen Jahreszeit, der Tageszeit, der Wetterlage und von "Verschattungen" der Messorte zum Zeitpunkt der Messungen, ergaben sich zum Teil sehr unterschiedliche Metalltemperaturen. Damit die Messergebnisse z. B. für einen Vergleich der Dickenänderung in den verschiedenen Messperioden verwendet werden können, musste eine Temperaturkorrektur an den Messwerten vorgenommen werden. Hierfür wurden Korrekturwerte ermittelt und zwar durch Dickenmessungen in einer Klimakammer an Titanzinktafeln mit den Nenndicken 0,65 mm, 0,7 mm und 0,8 mm. Die Messungen wurden bei folgenden Nenntemperaturen (10 °C / 20 °C / 30 °C / 40 °C und 50 °C) durchgeführt. Für die Objekte wurde kein einheitlicher, willkürlich bestimmter Nullpunkt, z. B. 20 °C, festgelegt, sondern für jedes Objekt wurde ein eigener <b>Nullpunkt</b> ermittelt. Bei dieser Ermittlung wurde für jedes <b>Objekt</b> wie folgt vorgegangen: <ul style="list-style-type: none"><li>a) Für jeden Messort (20 Messpunkte) wurde für die Metalltemperatur (Thermometer mit Oberflächenfühler) ein Mittelwert aus vier Messungen bestimmt. Die Temperaturmessung erfolgte jeweils zu Beginn und Ende der Ultraschallmessung eines Messortes. Sie wurden jeweils mit zwei Messgeräten vorgenommen.</li><li>b) Aus allen Messungen eines Objektes (nach 4, 8 bzw. 12 Jahren) ergibt sich eine minimale und eine maximale Metalltemperatur.</li><li>c) Aus diesen beiden Extremwerten, gültig für alle Messorte, wurde ein Kontrollwert (einfacher Mittelwert) gebildet. Er beträgt für das Objekt 14: 34,0 °C.</li><li>d) Der Mittelwert, gültig für alle Messorte, wurde aus <b>allen</b> gemessenen Metalltemperaturen der Messorte (siehe Punkt a) des Objektes ermittelt.</li></ul> Dieser Mittelwert (siehe Punkt d) ist der <b>Nullpunkt</b> . Er beträgt (auf ein volles Grad gerundet) für das <b>Objekt 14: 32 °C</b> . Bei Temperaturen über dem Nullpunkt ist der Korrekturwert ein Minuswert. Bei Temperaturen unter dem Nullpunkt ist der Korrekturwert ein Pluswert. Dieses o. a. Vorgehen ist sinnvoll, da dadurch der Einfluss der realen Dickenänderung in Abhängigkeit von der Metalltemperatur und dem thermischen Expansionskoeffizienten (für die Orientierung senkrecht zur Walzrichtung) für Titanzink vernachlässigbar klein gehalten werden kann. Auf der folgenden Seite sind die temperaturabhängigen Korrekturwerte, Angabe in [mm], für die jeweilige Nenndicke des Titanzinkmaterials des betreffenden Objektes aufgeführt.

#### Blatt 2

**Temperaturabhängige Korrekturwerte [mm] - Nullpunkt für die Korrekturwerte: 32 °C**

Korrekturwerte für Nenndicke 0,65 mm				Korrekturwerte für Nenndicke 0,7 mm				Korrekturwerte für Nenndicke 0,8 mm			
Temp. °C	Korr.-Wert	Temp. °C	Korr.-Wert	Temp. °C	Korr.-Wert	Temp. °C	Korr.-Wert	Temp. °C	Korr.-Wert	Temp. °C	Korr.-Wert
				5	0,00366120	36	-0,00054240				
				6	0,00352560	37	-0,00067800				
				7	0,00339000	38	-0,00081360				
				8	0,00325440	39	-0,00094920				
				9	0,00311880	40	-0,00108480				
				10	0,00298320	41	-0,00122040				
				11	0,00284760	42	-0,00135600				
				12	0,00271200	43	-0,00149160				
				13	0,00257640	44	-0,00162720				
				14	0,00244080	45	-0,00176280				
				15	0,00230520	46	-0,00189840				
				16	0,00216960	47	-0,00203400				
				17	0,00203400	48	-0,00216960				
				18	0,00189840	49	-0,00230520				
				19	0,00176280	50	-0,00244080				
				20	0,00162720	51	-0,00257640				
				21	0,00149160	52	-0,00271200				
				22	0,00135600	53	-0,00284760				
				23	0,00122040	54	-0,00298320				
				24	0,00108480	55	-0,00311880				
				25	0,00094920	56	-0,00325440				
				26	0,00081360	57	-0,00339000				
				27	0,00067800	58	-0,00352560				
				28	0,00054240	59	-0,00366120				
				29	0,00040680	60	-0,00379680				
				30	0,00027120	61	-0,00393240				
				31	0,00013560						
				<b>32 (0)</b>	<b>0,00000000</b>						
				33	-0,00013560						
				34	-0,00027120						
				35	-0,00040680						

**Blatt 3**

**Angaben zur Zeitkorrektur (Normierung) - (Teil 1 von 2)**

Zusätzlich zur Temperaturkorrektur werden mit der Zeitkorrektur (Normierung) **einheitliche** Werte für die Dickenänderung pro Jahr innerhalb der Messperioden der einzelnen Objekte ermittelt. Erst diese Werte ermöglichen eine korrekte, vergleichende Betrachtung bzw. Beurteilung der Messperioden bzw. der Objekte.

Der Mittelwert für die Dickenänderung pro Jahr ergibt sich aus der Differenz der temperaturkorrigierten Dicken einer Messperiode der betrachteten Dachflächen- bzw. Wandflächen-Gruppe. Für den Fall, dass jeweils die Messungen (im Abstand von 4, 8 bzw. 12 Jahren) bezüglich auf den Monat und Tag übereinstimmen (Idealfall), kann der Mittelwert für die Dickenänderung pro Jahr relativ einfach bestimmt werden.

Dieser Wert wird aus einer Differenzbildung errechnet, z. B.:

Temperaturkorrigierter Mittelwert der ersten Messung minus temperaturkorrigiertem Mittelwert der nächsten Messung.

Diese Differenz wird durch die Anzahl der Jahre des betrachteten Messzeitraums geteilt.

Für Objekte mit **drei** Messungen ergeben sich 4 und 8 Jahre. Es werden Differenzen gebildet aus:

1. - 2. Messung, 2. - 3. Messung und 1. - 3. Messung.

Für Objekte mit **vier** Messungen ergeben sich 4, 8 und 12 Jahre. Es werden Differenzen gebildet aus:

1. - 2. Messung, 2. - 3. Messung, 3. - 4. Messung, 1. - 3. Messung und 1. - 4. Messung.

Dieser o. a. Idealfall konnte aus naheliegenden Gründen (Regenperioden, Zugänglichkeit der Objekte, persönliche Gründe usw.) nicht erreicht werden.

Für die Bestimmung des Mittelwertes des Abtrags pro Jahr innerhalb der einzelnen Messperioden eines Objektes musste daher eine Zeitkorrektur durchgeführt werden.

Aus Gründen der Vereinfachung wurde in der ersten Stufe der Auswertung bei den einzelnen **Messorten**, z.B. DF1.1, DF1.2 und DF1.3, noch keine Zeitkorrektur vorgenommen.

Bei der Auswertung der **ganzen Fläche**, z.B. DF1, wurde jedoch die Zeitkorrektur für den **gesamten Messzeitraum** bereits durchgeführt und dort auch so entsprechend gekennzeichnet.

Die zeitkorrigierten Mittelwerte des Abtrags, angegeben in [µm/a], innerhalb der Messperioden werden für jede Dach- bzw. Wandflächen-Gruppe auf einem eigenen Blatt dargestellt.

**Vorgehensweise:**

- Ermittlung der Anzahl der Tage der betrachteten Messperiode (der Einfluss von Schaltjahren wird vernachlässigt).
- Bestimmung der Dickenänderung in der betrachteten Messperiode, ermittelt aus der Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte dieser Messperiode.
- Der Wert aus Punkt b) wird durch die Anzahl der Tage der betrachteten Messperiode, (siehe Punkt a), dividiert. Zwischenergebnis: Dickenänderung pro Tag.
- Der Wert von Punkt c) wird mit der Jahrestagzahl 365 multipliziert (der Einfluss von Schaltjahren wird vernachlässigt).

**Ergebnis:** Mittelwert der Dickenänderung, angegeben in [µm/a], für die jeweils betrachtete Messperiode (je nach Objekt für 4, 8 bzw. 12 Jahre).

**Blatt 4**

## Angaben zur Zeitkorrektur (Normierung) - (Teil 2 von 2)

Die Messungen wurden jeweils im Abstand von 4 Jahren vorgenommen.

Es ergeben sich für die Messperioden folgende Anzahl von Tagen (Tagzahlen). Der Einfluss von Schaltjahren wurde vernachlässigt:

Messperiode (1. Messung bis 2. Messung) Dauer 04 Jahre: 1460 Tage (für unkorrigierte Normaljahre, d. h. 365 Tage pro Jahr)  
Messperiode (2. Messung bis 3. Messung) Dauer 04 Jahre: 1460 Tage (für unkorrigierte Normaljahre, d. h. 365 Tage pro Jahr)  
Messperiode (3. Messung bis 4. Messung) Dauer 04 Jahre: 1460 Tage (für unkorrigierte Normaljahre, d. h. 365 Tage pro Jahr)  
Messperiode (1. Messung bis 3. Messung) Dauer 08 Jahre: 2920 Tage (für unkorrigierte Normaljahre, d. h. 365 Tage pro Jahr)  
Messperiode (1. Messung bis 4. Messung) Dauer 12 Jahre: 4380 Tage (für unkorrigierte Normaljahre, d. h. 365 Tage pro Jahr)

Die Normierung wurde mit folgender Gleichung vorgenommen:

$$z = (D/x) \cdot 365 \cdot 1000$$

Hierbei bedeuten:

z → Zeitkorrigierter Jahresmittelwert für die betrachtete Messperiode, Angabe in [µm/a]  
D → Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte der betrachteten Messperiode (z. B. 1. Messung bis 2. Messung), Angabe in [mm]  
x → Genaue Tagzahl der jeweiligen Messperiode  
365 → Jahrestagzahl (der Einfluss von Schaltjahren wurde vernachlässigt)  
1000 → Umrechnung von [mm] in [µm]

Für das **Objekt 14** ergeben sich für die Normierung folgende Werte:

Messperiode (1. Messung bis 2. Messung): Genaue Tagzahl x = 1368 -- Unkorrigierte Tagzahl 1460 -- Angabe der Differenz: - 092 Tage  
Messperiode (2. Messung bis 3. Messung): Genaue Tagzahl x = 1441 -- Unkorrigierte Tagzahl 1460 -- Angabe der Differenz: - 019 Tage  
Messperiode (3. Messung bis 4. Messung): Genaue Tagzahl x = 1504 -- Unkorrigierte Tagzahl 1460 -- Angabe der Differenz: + 044 Tage  
Messperiode (1. Messung bis 3. Messung): Genaue Tagzahl x = 2808 -- Unkorrigierte Tagzahl 2920 -- Angabe der Differenz: - 112 Tage  
Messperiode (1. Messung bis 4. Messung): Genaue Tagzahl x = 4313 -- Unkorrigierte Tagzahl 4380 -- Angabe der Differenz: - 067 Tage

**Hinweis:** Die Zeitkorrektur wurde in das Auswertungsprogramm eingearbeitet.

Die Ergebnisse werden in der Auswertung als solche gekennzeichnet bzw. auf eigenen Seiten dargestellt.

### Blatt 5

## Zusammenfassung der Dachflächen mit gleichen Randbedingungen zu einer "Ersatzdachfläche" für die statistische Auswertung

Die Dachflächen (Kurzbezeichnung DF) mit einer Neigung bis 7 ° bzw. 8 ° werden unabhängig von der jeweiligen Zuordnung zur Himmelsrichtung für die statistische Auswertung der Messdaten zusammengefasst ("Ersatzdachfläche") und ausgewertet.

### Begründung für dieses Vorgehen:

In einem weiteren Forschungsvorhaben (Start 27.11.1990 - Ende 23.11.1993) wurden Versuchsobjekte mit jeweils 4 m<sup>2</sup> Dachfläche, jeweils 7 ° und 45 ° geneigt, Orientierung jeweils nach Nord - Ost - Süd - West und jeweils mit der Materialqualität "vorbewittert" und "walzblank" eingedeckt, freibewittert untersucht. Es konnte festgestellt werden, dass für die Versuchsobjekte mit der Dachneigung 7 ° der Einfluss der Orientierung zu den Himmelsrichtungen im Hinblick auf die Größenordnung der Zinkabgabe (Bestimmung der Zinkionen im gesammelten Regenwasser) vernachlässigt werden kann.

### Anmerkung:

Siehe hierzu auch die Promotionsschrift von Burkhard Lehmann:

"Freibewitterungsverhalten von Dächern mit Metaldeckung - Untersuchung zur Zinkabgabe von Dachdeckungen mit Titanzink", Universität Hannover, 1995. [Lit. 22]

Es ist daher vertretbar, die Ultraschallmessungen an den Dachflächen der realen Objekte (Gebäude), d. h. Dachflächen mit einer Neigung bis 7 ° (8 °), zusammengefasst zu bewerten. Dies gestattet zum einen das Forschungsvorhaben "Ultraschallverfahren" überschaubarer zu gestalten; zum anderen verbessert dieses Vorgehen auch die Aussagewahrscheinlichkeit des hier verwendeten Ultraschall-Meßverfahrens im Hinblick auf die Bewertungen des Mittelwertes und des Vertrauensbereichs (Vergleich Methode 1 mit Methode 2).

### Voraussetzung:

Die Zusammenfassung der Dachflächen mit unterschiedlichen Orientierungen wurde nur vorgenommen bei Objekten, bei denen nach Augenschein **keine** Beeinträchtigung der Freibewitterung ("Verschattungen") durch gebäudenähe Vegetation oder höhere Gebäudeteile vorhanden war.

### Ergebnis:

Für das Objekt 14: Lehrbäckerei OT Rostrup, Bad Zwischenahn sind **keine** entsprechenden Dachflächen vorhanden.

### Blatt 6

## Allgemeine Angaben zur Ermittlung des Vertrauensbereichs der Mittelwerte und der Dickenänderung pro Jahr

Für jedes **Messobjekt** wurden verschiedene **Messorte** auf den Dach- bzw. Wandflächen festgelegt. Jeder **Messort** umfasst 20 **Messpunkte**, die mittels einer Schablone auf den Dach- bzw. Wandflächen eingemessen und gekennzeichnet wurden. Die Messungen wurden im Abstand von vier Jahren wiederholt. Es ergeben sich zwei Gruppen von Objekten.

Objekte der **Gruppe A**: Drei durchgeführte Messungen (erfasste Zeit 8 Jahre). - Objekte der **Gruppe B**: Vier durchgeführte Messungen (erfasste Zeit 12 Jahre).

Die Auswertung der Messungen erfolgte in drei Schritten.

**Schritt 1:** Getrennte Auswertung der jeweiligen Messorte, z. B. von DF3.1, für drei bzw. vier Messungen. Diese Ergebnisse werden ohne Angabe eines Vertrauensbereichs für den Mittelwert dargestellt, um das Forschungsvorhaben noch überschaubar zu gestalten. Sie dienen hier vorwiegend der Verlaufskontrolle der Messungen im Abstand von vier Jahren.

**Schritt 2:** Zusammengefasste Auswertung **aller** Messorte einer Dach- bzw. Wandfläche mit gleichen Randbedingungen im Hinblick auf die Dachneigung, die Himmelsrichtung und die Freibewitterung (z. B. DF3.1 - DF3.2 - DF3.3 usw. ergibt DF3). Somit ergibt sich für die jeweilige Fläche **ein** Wert für die Dickenänderung, Angabe in [mm/a] bzw. in [µm/a].

**Schritt 3:** Ermittlung und Darstellung der zeitkorrigierten (normierten) Werte der Dickenänderung pro Jahr für die Messperioden der einzelnen Objekte (Zielwerte der Auswertung).

Für die Bestimmung des Vertrauensbereichs der Mittelwerte werden nachfolgend zwei Methoden vorgestellt.

**Methode 1:** Die Streuung des Mittelwertes der Grundgesamtheit ist unbekannt. Kurzbezeichnung für die Methode 1: "t-Funktion". Der Wert für  $t$  ist abhängig von der gewünschten Aussagewahrscheinlichkeit  $p$ , dem Stichprobenumfang  $n$  und dem Freiheitsgrad  $f = n - 1$  aus Tabellenwerken für Integralgrenzen der  $t$ -Verteilung zu entnehmen.

Der Vertrauensbereich für diese Methode ist wie folgt definiert:  $x - t_{(f;p)} \cdot s/\sqrt{n} \leq \mu \leq x + t_{(f;p)} \cdot s/\sqrt{n}$

Der auf diese Art und Weise ermittelte Vertrauensbereich ist nicht für jeden Fall aussagekräftig. Der Grund: Die untersuchten Materialien weisen durch den Walzprozess eine "Unebenheit" auf; sie liegt aber immer im zulässigen Toleranzbereich der Produkte. Führt man die Ermittlung des Vertrauensbereichs der Mittelwerte mit Hilfe der "t-Funktion" durch, so wird die vorhandene "Unebenheit" mit ihren Werten aus 20 Messpunkten bei der Bestimmung der Standardabweichung  $s$  als Messunsicherheit - die aber de facto in diesem Ausmaß nicht vorhanden ist - in den Rechengang übernommen. Dies hat zur Folge, dass sich für die Standardabweichung  $s$  und damit auch in Folge für den Vertrauensbereich relativ große Werte ergeben können. Dadurch kann in einigen Fällen die Genauigkeit der statistischen Auswertung in Frage gestellt werden.

**Methode 2:** Die Beträge der Unsicherheitsquellen werden quadratisch addiert, wobei die Fehler unabhängig voneinander sein müssen:  $u_{st}^2 = s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_n^2$

Nach Ziehen der Wurzel ergibt sich die kombinierte Standardunsicherheit  $u_{st}$ . Durch Multiplikation mit dem Faktor  $k$  erhält man die erweiterte Unsicherheit  $u_E$ ;  $u_E = k \cdot u_{st}$

Hinreichend genau für die anstehende technische Fragestellung ist der Faktor  $k = 2$  mit einem Signifikanzniveau von 95 %. Der mögliche Einfluss des Ultraschallgerätes kürzt sich bei dieser Vorgehensweise heraus, da keine Absolutwerte für die Dicke der Metalldeckung bestimmt werden, sondern "nur" Mittelwerte für die Dickenänderungen pro Jahr, ermittelt aus einer Differenzbildung. Gestützt wird diese Annahme durch die Überprüfung des Ultraschall-Messgerätes an einer Eichprobe im Labor jeweils vor und nach einer Messung vor Ort.

Folgende Messunsicherheiten können daher durch die  $s$ -Werte berücksichtigt werden:

- o Der Temperatureinfluss bei den Messungen in der Klimakammer im Labor bei der Bestimmung des Korrekturwertes (Wert  $s_1$ ).
- o Der Temperatureinfluss bei den Messungen "vor Ort", d. h. auf den Dächern bzw. an den Wänden der einzelnen Objekte (Wert  $s_2$ ).

Blatt 7

## Werte für die Ermittlung des Vertrauensbereichs der Mittelwerte gemäß Methode 2

Die verwendeten Temperaturmessgeräte haben einen Genauigkeitsbereich von rd. 1 % des Messwertes. Im Labor (2006) wurden alle bisher vor Ort verwendeten Messgeräte mit geeichten und kalibrierten Geräten nochmals kontrolliert. Es ergab sich eine sehr gute Übereinstimmung.

### Temperatur-Messunsicherheitsquelle 1 ("Labor"), Kurzbezeichnung ( $s_1$ )

Hier ist der Wert von 0,5 °C zutreffend, da die zu messenden Proben, die Messgeräte und die Koppelpaste durch Lagerung in der Klimakammer alle die gleiche Temperatur aufwiesen. Der Wert für  $s_1$  wird wie folgt bestimmt: Korrekturwert für 1 °C (für die jeweilige Nenndicke) multipliziert mit dem Wert 0,5.

### Temperatur-Messunsicherheitsquelle 2 ("vor Ort"), Kurzbezeichnung ( $s_2$ )

Bei Metalltemperaturen, die deutlich größer sind als die Lufttemperatur, ergibt sich das Problem der so genannten "Wärmesenke". Der niedriger temperierte Messfühler, bzw. der Ultraschallprüfkopf einschließlich der Koppelpaste, entziehen der nur etwa 0,7 mm dicken Metalldeckung Wärme, so dass hierdurch eine Messunsicherheit auftritt, die größer ist als bei den Messungen im Labor. Dieser Einfluss wurde in einer kleinen Studie untersucht. Die Ergebnisse der Studie werden in zwei Temperaturbereichen berücksichtigt:

- o Metalltemperaturen "vor Ort" von etwa 10 °C bis etwa 30 °C - Die Temperaturmessunsicherheit beträgt 1 °C -  $s_{2\ 10-30}$ : Korrekturwert für 1 °C multipliziert mit dem Wert 1
- o Metalltemperaturen "vor Ort" von etwa 30 °C bis etwa 60 °C - Die Temperaturmessunsicherheit beträgt 2 °C -  $s_{2\ 30-60}$ : Korrekturwert für 1 °C multipliziert mit dem Wert 2

### Werte zur Ermittlung des Vertrauensbereichs der Mittelwerte für Deckungsmaterial der Nenndicke 0,650 mm, 0,700 mm und 0,800 mm

Die Werte für die verschiedenen Nenndicken wurden mit Hilfe der nachfolgend aufgeführten Gleichungen ermittelt:

$$u_{st}^2 = s_1^2 + s_2^2$$

$$u_{st} = \sqrt{s_1^2 + s_2^2}$$

$$u_E = k \cdot u_{st}; \text{ mit } k = 2 \text{ (Signifikanzniveau 95 \%)}$$

Nenndicke 0,65 mm	
Temperaturbereich vor Ort: 10 - 30 °C	Temperaturbereich vor Ort: 30 - 60 °C
$u_{E\ 10-30}$ 0,000267	$u_{E\ 30-60}$ 0,000492

Nenndicke 0,7 mm	
Temperaturbereich vor Ort: 10 - 30 °C	Temperaturbereich vor Ort: 30 - 60 °C
$u_{E\ 10-30}$ 0,000303	$u_{E\ 30-60}$ 0,000559

Nenndicke 0,8 mm	
Temperaturbereich vor Ort: 10 - 30 °C	Temperaturbereich vor Ort: 30 - 60 °C
$u_{E\ 10-30}$ 0,000343	$u_{E\ 30-60}$ 0,000632

Blatt 8



Zusammenfassung der Auswertungsergebnisse (Teil 1 von 2) - Vertrauensbereich, ermittelt mit Methode 2 - Zeitkorrigierte Werte											
Messstermine: Vier Messungen und zwar in den Jahren 1992 - 1996 - 2000 - 2004 - Damit erfasste Zeit: 12 Jahre											
Ort	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Abtrag		Ort	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Abtrag	
				Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]					Mittelwert [µm/a]	Vertrauensbereich [µm]
DF1	10 °	Südwest	400	0,562	0,489 bis 0,635						
WF1	90 °	Südost	60	0,216	0,143 bis 0,289						
SA1	4 °	Südost	60	0,632	0,581 bis 0,684						
Mittelwert d. 10 ° geneigten Fläche (SW) in µm/a:				0,562		Maximaltemperatur des Titanzinkmaterials: 50,0 °C					
Mittelwert d. 90 ° geneigten Fläche (SO) in µm/a:				0,216		Mitteltemperatur des Titanzinkmaterials: 34,0 °C Abstand von den Extremtemperaturen: 16,0 °C					
Mittelwert der 4 ° geneigten Fläche (SO) in µm/a:				0,632		Minimaltemperatur des Titanzinkmaterials: 18,0 °C					
Erläuterungen: DF (Dachfläche) - WF (Wandfläche) - SA (Schornsteinabdeckung)											

**Blatt 9**

Zusammenfassung der Auswertungsergebnisse (Teil 2 von 2) Temperaturkorrigierte und zeitkorrigierte (normierte) Dickenänderungen für die Messperioden, Angabe des Abtrags in [µm/a]												
Messstermine: Vier Messungen und zwar in den Jahren 1992 - 1996 - 2000 - 2004 - Damit erfasste Zeit: 12 Jahre												
Ort	Neigung	Orientierung	Messpunkte	Perioden bei drei Messungen			Perioden bei vier Messungen					Diagrammdarstellung
				1.-2. Mess. [µm/a]	2.-3. Mess. [µm/a]	1.-3. Mess. [µm/a]	1.-2. Mess. [µm/a]	2.-3. Mess. [µm/a]	3.-4. Mess. [µm/a]	1.-3. Mess. [µm/a]	1.-4. Mess. [µm/a]	
DF1	10 °	Südwest	400				0,569	0,598	0,523	0,584	0,562	Blatt 36
WF1	90 °	Südost	60				0,200	0,235	0,211	0,218	0,216	Blatt 45
SA1	4 °	Südost	60				0,655	0,673	0,573	0,665	0,632	Blatt 54
Erläuterungen: DF (Dachfläche) - WF (Wandfläche) - SA (Schornsteinabdeckung)												

**Blatt 10**

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind nicht zeitkorrigiert											
Messort DF 1.1	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 30 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 26 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 49 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 37 °C				
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]			
Messpunkt 01	0,696	0,696271	0,700	0,700814	0,700	0,697695	0,698	0,697322	MP 01		
Messpunkt 02	0,701	0,701271	0,702	0,702814	0,705	0,702695	0,701	0,700322	MP 02		
Messpunkt 03	0,701	0,701271	0,689	0,689814	0,703	0,700695	0,700	0,699322	MP 03		
Messpunkt 04	0,702	0,702271	0,697	0,697814	0,700	0,697695	0,696	0,695322	MP 04		
Messpunkt 05	0,699	0,699271	0,700	0,700814	0,699	0,696695	0,694	0,693322	MP 05		
Messpunkt 06	0,698	0,698271	0,702	0,702814	0,704	0,701695	0,699	0,698322	MP 06		
Messpunkt 07	0,708	0,708271	0,701	0,701814	0,697	0,694695	0,697	0,696322	MP 07		
Messpunkt 08	0,708	0,708271	0,699	0,699814	0,701	0,698695	0,694	0,693322	MP 08		
Messpunkt 09	0,699	0,699271	0,700	0,700814	0,701	0,698695	0,697	0,696322	MP 09		
Messpunkt 10	0,705	0,705271	0,700	0,700814	0,705	0,702695	0,702	0,701322	MP 10		
Messpunkt 11	0,703	0,703271	0,700	0,700814	0,701	0,698695	0,697	0,696322	MP 11		
Messpunkt 12	0,706	0,706271	0,702	0,702814	0,700	0,697695	0,699	0,698322	MP 12		
Messpunkt 13	0,700	0,700271	0,699	0,699814	0,699	0,696695	0,695	0,694322	MP 13		
Messpunkt 14	0,701	0,701271	0,704	0,704814	0,702	0,699695	0,703	0,702322	MP 14		
Messpunkt 15	0,703	0,703271	0,701	0,701814	0,700	0,697695	0,697	0,696322	MP 15		
Messpunkt 16	0,704	0,704271	0,700	0,700814	0,700	0,697695	0,697	0,696322	MP 16		
Messpunkt 17	0,699	0,699271	0,698	0,698814	0,698	0,695695	0,692	0,691322	MP 17		
Messpunkt 18	0,708	0,708271	0,704	0,704814	0,703	0,700695	0,697	0,696322	MP 18		
Messpunkt 19	0,708	0,708271	0,703	0,703814	0,700	0,697695	0,697	0,696322	MP 19		
Messpunkt 20	0,702	0,702271	0,697	0,697814	0,696	0,693695	0,695	0,694322	MP 20		
Mittelwert	0,702550	0,702821	0,699900	0,700714	0,700700	0,698395	0,697350	0,696672			
Max	0,708	0,708271	0,704	0,704814	0,705	0,702695	0,703	0,702322			
Min	0,696	0,696271	0,689	0,689814	0,696	0,693695	0,692	0,691322			
Standardabw.	0,003663	0,003663	0,003243	0,003243	0,002430	0,002430	0,002758	0,002758			
Diff. Max - Min	0,012	0,012000	0,015	0,015000	0,009	0,009000	0,011	0,011000			
Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09 1/2 Range (+/-)	unterer Wert Mittelwert oberer Wert	0,701109 0,702821 0,704533		0,699198 0,700714 0,702229		0,697259 0,698395 0,699531		0,695383 0,696672 0,697961			
		0,001712		0,001516		0,001136		0,001289			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:	0,002108				Lage des Messortes DF 1.1:						
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:	0,002319				6. Schar von links, 2 m von oben						
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:	0,001723				Scharbreite 55 cm						
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:	0,004426				Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:					0,000553	0,553
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:	0,006149				Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:					0,000512	0,512

**Blatt 11**

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind nicht zeitkorrigiert								
Messort DF 1.2	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 23 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 25 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 44 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 36 °C	
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]
Messpunkt 01	0,712	0,713220	0,713	0,713949	0,708	0,706373	0,709	0,708458
Messpunkt 02	0,714	0,715220	0,712	0,712949	0,711	0,709373	0,710	0,709458
Messpunkt 03	0,713	0,714220	0,712	0,712949	0,707	0,705373	0,705	0,704458
Messpunkt 04	0,708	0,709220	0,713	0,713949	0,707	0,705373	0,705	0,704458
Messpunkt 05	0,708	0,709220	0,712	0,712949	0,715	0,713373	0,708	0,707458
Messpunkt 06	0,711	0,712220	0,712	0,712949	0,712	0,710373	0,709	0,708458
Messpunkt 07	0,718	0,719220	0,710	0,710949	0,710	0,708373	0,706	0,705458
Messpunkt 08	0,711	0,712220	0,712	0,712949	0,718	0,716373	0,705	0,704458
Messpunkt 09	0,718	0,719220	0,709	0,709949	0,710	0,708373	0,707	0,706458
Messpunkt 10	0,718	0,719220	0,711	0,711949	0,709	0,707373	0,703	0,702458
Messpunkt 11	0,714	0,715220	0,711	0,711949	0,710	0,708373	0,708	0,707458
Messpunkt 12	0,713	0,714220	0,711	0,711949	0,709	0,707373	0,707	0,706458
Messpunkt 13	0,709	0,710220	0,710	0,710949	0,710	0,708373	0,707	0,706458
Messpunkt 14	0,709	0,710220	0,712	0,712949	0,710	0,708373	0,701	0,700458
Messpunkt 15	0,711	0,712220	0,712	0,712949	0,707	0,705373	0,710	0,709458
Messpunkt 16	0,718	0,719220	0,712	0,712949	0,715	0,713373	0,707	0,706458
Messpunkt 17	0,709	0,710220	0,710	0,710949	0,711	0,709373	0,713	0,712458
Messpunkt 18	0,711	0,712220	0,710	0,710949	0,712	0,710373	0,712	0,711458
Messpunkt 19	0,712	0,713220	0,700	0,700949	0,713	0,711373	0,710	0,709458
Messpunkt 20	0,711	0,712220	0,709	0,709949	0,714	0,712373	0,713	0,712458
Mittelwert	0,712400	0,713620	0,710650	0,711599	0,710900	0,709273	0,707750	0,707208
Max	0,718	0,719220	0,713	0,713949	0,718	0,716373	0,713	0,712458
Min	0,708	0,709220	0,700	0,700949	0,707	0,705373	0,701	0,700458
Standardabw.	0,003362	0,003362	0,002777	0,002777	0,002954	0,002954	0,003143	0,003143
Diff. Max - Min	0,010	0,010000	0,013	0,013000	0,011	0,011000	0,012	0,012000
Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	unterer Wert Mittelwert oberer Wert 1/2 Range (+/-)	0,712049 0,713620 0,715192 0,001571		0,710301 0,711599 0,712897 0,001298		0,707892 0,709273 0,710653 0,001381		0,705738 0,707208 0,708677 0,001469
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:					0,002021	Lage des Messortes DF 1.2:		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:					0,002326	6. Schar von links, 6 m von oben		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:					0,002065	Scharbreite 55 cm		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:					0,004348	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:	0,000543	0,543
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:					0,006413	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:	0,000534	0,534

Blatt 12

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind nicht zeitkorrigiert								
Messort DF 1.3	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 28 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 22 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 45 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 40 °C	
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]
Messpunkt 01	0,718	0,718542	0,719	0,720356	0,713	0,711237	0,707	0,705915
Messpunkt 02	0,717	0,717542	0,715	0,716356	0,711	0,709237	0,711	0,709915
Messpunkt 03	0,718	0,718542	0,713	0,714356	0,710	0,708237	0,709	0,707915
Messpunkt 04	0,718	0,718542	0,713	0,714356	0,713	0,711237	0,715	0,713915
Messpunkt 05	0,717	0,717542	0,714	0,715356	0,714	0,712237	0,712	0,710915
Messpunkt 06	0,717	0,717542	0,713	0,714356	0,713	0,711237	0,708	0,706915
Messpunkt 07	0,716	0,716542	0,709	0,710356	0,712	0,710237	0,707	0,705915
Messpunkt 08	0,713	0,713542	0,715	0,716356	0,711	0,709237	0,707	0,705915
Messpunkt 09	0,714	0,714542	0,714	0,715356	0,715	0,713237	0,713	0,711915
Messpunkt 10	0,712	0,712542	0,713	0,714356	0,715	0,713237	0,707	0,705915
Messpunkt 11	0,712	0,712542	0,713	0,714356	0,715	0,713237	0,711	0,709915
Messpunkt 12	0,710	0,710542	0,712	0,713356	0,712	0,710237	0,711	0,709915
Messpunkt 13	0,715	0,715542	0,712	0,713356	0,715	0,713237	0,709	0,707915
Messpunkt 14	0,718	0,718542	0,711	0,712356	0,713	0,711237	0,707	0,705915
Messpunkt 15	0,718	0,718542	0,710	0,711356	0,710	0,708237	0,711	0,709915
Messpunkt 16	0,714	0,714542	0,709	0,710356	0,711	0,709237	0,711	0,709915
Messpunkt 17	0,712	0,712542	0,711	0,712356	0,718	0,716237	0,711	0,709915
Messpunkt 18	0,714	0,714542	0,711	0,712356	0,715	0,713237	0,714	0,712915
Messpunkt 19	0,717	0,717542	0,709	0,710356	0,712	0,710237	0,713	0,711915
Messpunkt 20	0,713	0,713542	0,712	0,713356	0,715	0,713237	0,716	0,714915
Mittelwert	0,715150	0,715692	0,712400	0,713756	0,713150	0,711387	0,710500	0,709415
Max	0,718	0,718542	0,719	0,720356	0,718	0,716237	0,716	0,714915
Min	0,710	0,710542	0,709	0,710356	0,710	0,708237	0,707	0,705915
Standardabw.	0,002560	0,002560	0,002415	0,002415	0,002084	0,002084	0,002819	0,002819
Diff. Max - Min	0,008	0,008000	0,010	0,010000	0,008	0,008000	0,009	0,009000
Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	unterer Wert Mittelwert oberer Wert 1/2 Range (+/-)	0,714496 0,715692 0,716889 0,001197		0,712627 0,713756 0,714885 0,001129		0,710413 0,711387 0,712361 0,000974		0,708098 0,709415 0,710733 0,001318
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:					0,001936	Lage des Messortes DF 1.3:		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:					0,002369	6. Schar von links, 2 m von der Traufe		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:					0,001972	Scharbreite 55 cm		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:					0,004305	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:	0,000538	0,538
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:					0,006277	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:	0,000523	0,523

Blatt 13

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind nicht zeitkorrigiert									
Messort DF 1.4	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 28 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 23 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 46 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 36 °C		
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	
Messpunkt 01	0,711	0,711542	0,707	0,708220	0,713	0,711102	0,707	0,706458	MP 01
Messpunkt 02	0,712	0,712542	0,711	0,712220	0,712	0,710102	0,707	0,706458	MP 02
Messpunkt 03	0,715	0,715542	0,707	0,708220	0,712	0,710102	0,707	0,706458	MP 03
Messpunkt 04	0,713	0,713542	0,713	0,714220	0,711	0,709102	0,709	0,708458	MP 04
Messpunkt 05	0,710	0,710542	0,709	0,710220	0,716	0,714102	0,709	0,708458	MP 05
Messpunkt 06	0,712	0,712542	0,710	0,711220	0,712	0,710102	0,708	0,707458	MP 06
Messpunkt 07	0,712	0,712542	0,709	0,710220	0,713	0,711102	0,708	0,707458	MP 07
Messpunkt 08	0,716	0,716542	0,715	0,716220	0,711	0,709102	0,709	0,708458	MP 08
Messpunkt 09	0,710	0,710542	0,709	0,710220	0,708	0,706102	0,706	0,705458	MP 09
Messpunkt 10	0,712	0,712542	0,709	0,710220	0,711	0,709102	0,708	0,707458	MP 10
Messpunkt 11	0,714	0,714542	0,705	0,706220	0,708	0,706102	0,707	0,706458	MP 11
Messpunkt 12	0,712	0,712542	0,712	0,713220	0,713	0,711102	0,708	0,707458	MP 12
Messpunkt 13	0,709	0,709542	0,710	0,711220	0,711	0,709102	0,707	0,706458	MP 13
Messpunkt 14	0,715	0,715542	0,712	0,713220	0,711	0,709102	0,707	0,706458	MP 14
Messpunkt 15	0,716	0,716542	0,711	0,712220	0,710	0,708102	0,708	0,707458	MP 15
Messpunkt 16	0,718	0,718542	0,713	0,714220	0,715	0,713102	0,708	0,707458	MP 16
Messpunkt 17	0,710	0,710542	0,711	0,712220	0,707	0,705102	0,709	0,708458	MP 17
Messpunkt 18	0,716	0,716542	0,714	0,715220	0,712	0,710102	0,708	0,707458	MP 18
Messpunkt 19	0,713	0,713542	0,710	0,711220	0,708	0,706102	0,708	0,707458	MP 19
Messpunkt 20	0,717	0,717542	0,712	0,713220	0,711	0,709102	0,710	0,709458	MP 20
Mittelwert	0,713150	0,713692	0,710450	0,711670	0,711250	0,709352	0,707900	0,707358	
Max	0,718	0,718542	0,715	0,716220	0,716	0,714102	0,710	0,709458	
Min	0,709	0,709542	0,705	0,706220	0,707	0,705102	0,706	0,705458	
Standardabw.	0,002601	0,002601	0,002481	0,002481	0,002291	0,002291	0,000968	0,000968	
Diff. Max - Min	0,009	0,009000	0,010	0,010000	0,009	0,009000	0,004	0,004000	
Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	unterer Wert Mittelwert oberer Wert 1/2 Range (+/-)	0,712477 0,713692 0,714908 0,001216		0,710511 0,711670 0,712830 0,001159		0,708281 0,709352 0,710422 0,001071		0,706905 0,707358 0,707810 0,000452	
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002022	Lage des Messortes DF 1.4:				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002319	8. Schar von links, 2 m von oben				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,001994	Scharbreite 55 cm				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,004341	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000543	0,543	
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,006335	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000528	0,528	

Blatt 14

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind nicht zeitkorrigiert									
Messort DF 1.5	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 28 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 24 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 46 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 38 °C		
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	
Messpunkt 01	0,719	0,719542	0,712	0,713085	0,717	0,715102	0,712	0,711186	MP 01
Messpunkt 02	0,719	0,719542	0,719	0,720085	0,722	0,720102	0,719	0,718186	MP 02
Messpunkt 03	0,719	0,719542	0,717	0,718085	0,718	0,716102	0,715	0,714186	MP 03
Messpunkt 04	0,722	0,722542	0,717	0,718085	0,718	0,716102	0,715	0,714186	MP 04
Messpunkt 05	0,716	0,716542	0,714	0,715085	0,716	0,714102	0,715	0,714186	MP 05
Messpunkt 06	0,720	0,720542	0,718	0,719085	0,719	0,717102	0,713	0,712186	MP 06
Messpunkt 07	0,721	0,721542	0,719	0,720085	0,718	0,716102	0,711	0,710186	MP 07
Messpunkt 08	0,719	0,719542	0,716	0,717085	0,713	0,711102	0,711	0,710186	MP 08
Messpunkt 09	0,716	0,716542	0,715	0,716085	0,715	0,713102	0,712	0,711186	MP 09
Messpunkt 10	0,720	0,720542	0,716	0,717085	0,719	0,717102	0,713	0,712186	MP 10
Messpunkt 11	0,717	0,717542	0,719	0,720085	0,720	0,718102	0,714	0,713186	MP 11
Messpunkt 12	0,722	0,722542	0,716	0,717085	0,717	0,715102	0,718	0,717186	MP 12
Messpunkt 13	0,720	0,720542	0,713	0,714085	0,713	0,711102	0,713	0,712186	MP 13
Messpunkt 14	0,719	0,719542	0,718	0,719085	0,718	0,716102	0,714	0,713186	MP 14
Messpunkt 15	0,719	0,719542	0,719	0,720085	0,719	0,717102	0,713	0,712186	MP 15
Messpunkt 16	0,722	0,722542	0,716	0,717085	0,716	0,714102	0,713	0,712186	MP 16
Messpunkt 17	0,716	0,716542	0,715	0,716085	0,714	0,712102	0,718	0,717186	MP 17
Messpunkt 18	0,720	0,720542	0,720	0,721085	0,720	0,718102	0,716	0,715186	MP 18
Messpunkt 19	0,719	0,719542	0,718	0,719085	0,718	0,716102	0,718	0,717186	MP 19
Messpunkt 20	0,718	0,718542	0,718	0,719085	0,718	0,716102	0,714	0,713186	MP 20
Mittelwert	0,719150	0,719692	0,716750	0,717835	0,717400	0,715502	0,714350	0,713536	
Max	0,722	0,722542	0,720	0,721085	0,722	0,720102	0,719	0,718186	
Min	0,716	0,716542	0,712	0,713085	0,713	0,711102	0,711	0,710186	
Standardabw.	0,001872	0,001872	0,002173	0,002173	0,002349	0,002349	0,002390	0,002390	
Diff. Max - Min	0,006	0,006000	0,008	0,008000	0,009	0,009000	0,008	0,008000	
Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	unterer Wert Mittelwert oberer Wert 1/2 Range (+/-)	0,718818 0,719692 0,720567 0,000875		0,716819 0,717835 0,718851 0,001016		0,714404 0,715502 0,716599 0,001098		0,712419 0,713536 0,714653 0,001117	
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,001858	Lage des Messortes DF 1.5:				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002333	8. Schar von links, 6 m von oben				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,001965	Scharbreite 55 cm				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,004191	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000524	0,524	
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,006156	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000513	0,513	

Blatt 15

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind nicht zeitkorrigiert								
Messort DF 1.6	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 26 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 21 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 43 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 40 °C	
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]
Messpunkt 01	0,728	0,728814	0,720	0,721492	0,724	0,722508	0,722	0,720915
Messpunkt 02	0,728	0,728814	0,724	0,725492	0,718	0,716508	0,716	0,714915
Messpunkt 03	0,728	0,728814	0,721	0,722492	0,721	0,719508	0,717	0,715915
Messpunkt 04	0,722	0,722814	0,720	0,721492	0,719	0,717508	0,716	0,714915
Messpunkt 05	0,728	0,728814	0,727	0,728492	0,723	0,721508	0,724	0,722915
Messpunkt 06	0,728	0,728814	0,725	0,726492	0,722	0,720508	0,718	0,716915
Messpunkt 07	0,728	0,728814	0,721	0,722492	0,720	0,718508	0,717	0,715915
Messpunkt 08	0,723	0,723814	0,721	0,722492	0,719	0,717508	0,717	0,715915
Messpunkt 09	0,724	0,724814	0,723	0,724492	0,722	0,720508	0,719	0,717915
Messpunkt 10	0,722	0,722814	0,719	0,720492	0,718	0,716508	0,717	0,715915
Messpunkt 11	0,720	0,720814	0,720	0,721492	0,720	0,718508	0,719	0,717915
Messpunkt 12	0,722	0,722814	0,720	0,721492	0,720	0,718508	0,717	0,715915
Messpunkt 13	0,722	0,722814	0,724	0,725492	0,728	0,726508	0,724	0,722915
Messpunkt 14	0,722	0,722814	0,721	0,722492	0,725	0,723508	0,724	0,722915
Messpunkt 15	0,721	0,721814	0,722	0,723492	0,726	0,724508	0,719	0,717915
Messpunkt 16	0,720	0,720814	0,718	0,719492	0,726	0,724508	0,719	0,717915
Messpunkt 17	0,721	0,721814	0,724	0,725492	0,722	0,720508	0,720	0,718915
Messpunkt 18	0,728	0,728814	0,718	0,719492	0,721	0,719508	0,718	0,716915
Messpunkt 19	0,725	0,725814	0,718	0,719492	0,721	0,719508	0,718	0,716915
Messpunkt 20	0,721	0,721814	0,720	0,721492	0,718	0,716508	0,716	0,714915
Mittelwert	0,724050	0,724864	0,721300	0,722792	0,721650	0,720158	0,718850	0,717765
Max	0,728	0,728814	0,727	0,728492	0,728	0,726508	0,724	0,722915
Min	0,720	0,720814	0,718	0,719492	0,718	0,716508	0,716	0,714915
Standardabw.	0,003187	0,003187	0,002494	0,002494	0,002907	0,002907	0,002661	0,002661
Diff. Max - Min	0,008	0,008000	0,009	0,009000	0,010	0,010000	0,008	0,008000
Vertrauensbereich bei statist. Sicher- heit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i> 1/2 Range (+/-)	0,723374 0,724864 0,726353 0,001489		0,721626 0,722792 0,723957 0,001166		0,718800 0,720158 0,721517 0,001359		0,716522 0,717765 0,719009 0,001244
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002072	Lage des Messortes DF 1.6:			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002633	8. Schar von links, 2 m von der Traufe			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,002393	Scharbreite 55 cm			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,004705	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000588	0,588
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,007098	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000592	0,592

Blatt 16

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind nicht zeitkorrigiert								
Messort DF 1.7	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 28 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 23 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 50 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 34 °C	
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]
Messpunkt 01	0,706	0,706542	0,700	0,701220	0,701	0,698559	0,697	0,696729
Messpunkt 02	0,707	0,707542	0,704	0,705220	0,704	0,701559	0,700	0,699729
Messpunkt 03	0,707	0,707542	0,703	0,704220	0,706	0,703559	0,703	0,702729
Messpunkt 04	0,706	0,706542	0,704	0,705220	0,706	0,703559	0,706	0,705729
Messpunkt 05	0,700	0,700542	0,700	0,701220	0,701	0,698559	0,697	0,696729
Messpunkt 06	0,707	0,707542	0,702	0,703220	0,706	0,703559	0,700	0,699729
Messpunkt 07	0,702	0,702542	0,703	0,704220	0,704	0,701559	0,700	0,699729
Messpunkt 08	0,707	0,707542	0,707	0,708220	0,708	0,705559	0,703	0,702729
Messpunkt 09	0,703	0,703542	0,704	0,705220	0,702	0,699559	0,696	0,695729
Messpunkt 10	0,708	0,708542	0,703	0,704220	0,705	0,702559	0,702	0,701729
Messpunkt 11	0,701	0,701542	0,700	0,701220	0,702	0,699559	0,698	0,697729
Messpunkt 12	0,709	0,709542	0,703	0,704220	0,707	0,704559	0,703	0,702729
Messpunkt 13	0,707	0,707542	0,705	0,706220	0,702	0,699559	0,694	0,693729
Messpunkt 14	0,707	0,707542	0,705	0,706220	0,703	0,700559	0,697	0,696729
Messpunkt 15	0,701	0,701542	0,701	0,702220	0,705	0,702559	0,697	0,696729
Messpunkt 16	0,709	0,709542	0,700	0,701220	0,705	0,702559	0,701	0,700729
Messpunkt 17	0,708	0,708542	0,702	0,703220	0,701	0,698559	0,698	0,697729
Messpunkt 18	0,708	0,708542	0,704	0,705220	0,705	0,702559	0,703	0,702729
Messpunkt 19	0,706	0,706542	0,703	0,704220	0,702	0,699559	0,698	0,697729
Messpunkt 20	0,706	0,706542	0,706	0,707220	0,706	0,703559	0,699	0,698729
Mittelwert	0,705750	0,706292	0,702950	0,704170	0,704050	0,701609	0,699600	0,699329
Max	0,709	0,709542	0,707	0,708220	0,708	0,705559	0,706	0,705729
Min	0,700	0,700542	0,700	0,701220	0,701	0,698559	0,694	0,693729
Standardabw.	0,002770	0,002770	0,002038	0,002038	0,002164	0,002164	0,003033	0,003033
Diff. Max - Min	0,009	0,009000	0,007	0,007000	0,007	0,007000	0,012	0,012000
Vertrauensbereich bei statist. Sicher- heit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i> 1/2 Range (+/-)	0,704998 0,706292 0,707587 0,001294		0,703218 0,704170 0,705123 0,000953		0,700598 0,701609 0,702620 0,001011		0,697911 0,699329 0,700746 0,001418
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002122	Lage des Messortes DF 1.7:			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002561	10. Schar von links, 2 m von oben			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,002280	Scharbreite 55 cm			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,004683	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000585	0,585
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,006964	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000580	0,580

Blatt 17

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind <u>nicht</u> zeitkorrigiert									
Messort DF 1.8	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 30 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 26 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 46 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 30 °C		
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	
Messpunkt 01	0,715	0,715271	0,711	0,711814	0,706	0,704102	0,702	0,702271	MP 01
Messpunkt 02	0,718	0,718271	0,719	0,719814	0,711	0,709102	0,709	0,709271	MP 02
Messpunkt 03	0,715	0,715271	0,714	0,714814	0,709	0,707102	0,704	0,704271	MP 03
Messpunkt 04	0,719	0,719271	0,715	0,715814	0,708	0,706102	0,706	0,706271	MP 04
Messpunkt 05	0,712	0,712271	0,712	0,712814	0,705	0,703102	0,704	0,704271	MP 05
Messpunkt 06	0,716	0,716271	0,716	0,716814	0,713	0,711102	0,710	0,710271	MP 06
Messpunkt 07	0,713	0,713271	0,707	0,707814	0,713	0,711102	0,707	0,707271	MP 07
Messpunkt 08	0,716	0,716271	0,713	0,713814	0,705	0,703102	0,707	0,707271	MP 08
Messpunkt 09	0,718	0,718271	0,709	0,709814	0,713	0,711102	0,704	0,704271	MP 09
Messpunkt 10	0,717	0,717271	0,712	0,712814	0,715	0,713102	0,710	0,710271	MP 10
Messpunkt 11	0,711	0,711271	0,713	0,713814	0,715	0,713102	0,709	0,709271	MP 11
Messpunkt 12	0,716	0,716271	0,715	0,715814	0,714	0,712102	0,710	0,710271	MP 12
Messpunkt 13	0,711	0,711271	0,707	0,707814	0,704	0,702102	0,707	0,707271	MP 13
Messpunkt 14	0,715	0,715271	0,710	0,710814	0,717	0,715102	0,709	0,709271	MP 14
Messpunkt 15	0,709	0,709271	0,710	0,710814	0,713	0,711102	0,705	0,705271	MP 15
Messpunkt 16	0,716	0,716271	0,711	0,711814	0,711	0,709102	0,710	0,710271	MP 16
Messpunkt 17	0,706	0,706271	0,706	0,706814	0,713	0,711102	0,706	0,706271	MP 17
Messpunkt 18	0,718	0,718271	0,710	0,710814	0,719	0,717102	0,712	0,712271	MP 18
Messpunkt 19	0,711	0,711271	0,708	0,708814	0,716	0,714102	0,710	0,710271	MP 19
Messpunkt 20	0,709	0,709271	0,710	0,710814	0,713	0,711102	0,710	0,710271	MP 20
Mittelwert	0,714050	0,714321	0,711400	0,712214	0,711650	0,709752	0,707550	0,707821	
Max	0,719	0,719271	0,719	0,719814	0,719	0,717102	0,712	0,712271	
Min	0,706	0,706271	0,706	0,706814	0,704	0,702102	0,702	0,702271	
Standardabw.	0,003605	0,003605	0,003331	0,003331	0,004234	0,004234	0,002743	0,002743	
Diff. Max - Min	0,013	0,013000	0,013	0,013000	0,015	0,015000	0,010	0,010000	
Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	unterer Wert Mittelwert oberer Wert 1/2 Range (+/-)	0,712636 0,714321 0,716006 0,001685		0,710657 0,712214 0,713770 0,001557		0,707773 0,709752 0,711730 0,001979		0,706539 0,707821 0,709103 0,001282	
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:					0,002108		Lage des Messortes DF 1.8:		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:					0,002462		10. Schar von links, 6 m von oben		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:					0,001930		Scharbreite 55 cm		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:					0,004570		Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000571 0,571
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:					0,006500		Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000542 0,542

Blatt 18

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind <u>nicht</u> zeitkorrigiert									
Messort DF 1.9	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 26 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 21 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 47 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 33 °C		
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	
Messpunkt 01	0,710	0,710814	0,708	0,709492	0,708	0,705966	0,703	0,702864	MP 01
Messpunkt 02	0,712	0,712814	0,707	0,708492	0,703	0,700966	0,701	0,700864	MP 02
Messpunkt 03	0,713	0,713814	0,709	0,710492	0,705	0,702966	0,701	0,700864	MP 03
Messpunkt 04	0,708	0,708814	0,709	0,710492	0,711	0,708966	0,705	0,704864	MP 04
Messpunkt 05	0,707	0,707814	0,706	0,707492	0,709	0,706966	0,703	0,702864	MP 05
Messpunkt 06	0,711	0,711814	0,704	0,705492	0,703	0,700966	0,699	0,698864	MP 06
Messpunkt 07	0,711	0,711814	0,706	0,707492	0,703	0,700966	0,701	0,700864	MP 07
Messpunkt 08	0,707	0,707814	0,710	0,711492	0,707	0,704966	0,703	0,702864	MP 08
Messpunkt 09	0,708	0,708814	0,709	0,710492	0,708	0,705966	0,709	0,708864	MP 09
Messpunkt 10	0,710	0,710814	0,703	0,704492	0,700	0,697966	0,701	0,700864	MP 10
Messpunkt 11	0,710	0,710814	0,707	0,708492	0,703	0,700966	0,700	0,699864	MP 11
Messpunkt 12	0,708	0,708814	0,708	0,709492	0,708	0,705966	0,703	0,702864	MP 12
Messpunkt 13	0,707	0,707814	0,704	0,705492	0,711	0,708966	0,706	0,705864	MP 13
Messpunkt 14	0,707	0,707814	0,704	0,705492	0,707	0,704966	0,704	0,703864	MP 14
Messpunkt 15	0,708	0,708814	0,704	0,705492	0,708	0,705966	0,706	0,705864	MP 15
Messpunkt 16	0,708	0,708814	0,707	0,708492	0,711	0,708966	0,708	0,707864	MP 16
Messpunkt 17	0,711	0,711814	0,707	0,708492	0,708	0,705966	0,704	0,703864	MP 17
Messpunkt 18	0,707	0,707814	0,704	0,705492	0,708	0,705966	0,704	0,703864	MP 18
Messpunkt 19	0,710	0,710814	0,701	0,702492	0,711	0,708966	0,707	0,706864	MP 19
Messpunkt 20	0,710	0,710814	0,708	0,709492	0,712	0,709966	0,707	0,706864	MP 20
Mittelwert	0,709150	0,709964	0,706250	0,707742	0,707200	0,705166	0,703750	0,703614	
Max	0,713	0,713814	0,710	0,711492	0,712	0,709966	0,709	0,708864	
Min	0,707	0,707814	0,701	0,702492	0,700	0,697966	0,699	0,698864	
Standardabw.	0,001872	0,001872	0,002425	0,002425	0,003365	0,003365	0,002789	0,002789	
Diff. Max - Min	0,006	0,006000	0,009	0,009000	0,012	0,012000	0,010	0,010000	
Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	unterer Wert Mittelwert oberer Wert 1/2 Range (+/-)	0,709089 0,709964 0,710838 0,000875		0,706608 0,707742 0,708875 0,001133		0,703593 0,705166 0,706739 0,001573		0,702311 0,703614 0,704918 0,001303	
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:					0,002222		Lage des Messortes DF 1.9:		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:					0,002576		10. Schar von links, 2 m von der Traufe		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:					0,001552		Scharbreite 55 cm		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:					0,004798		Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000600 0,600
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:					0,006349		Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000529 0,529

Blatt 19

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind nicht zeitkorrigiert								
Messort DF 1.10	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 28 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 23 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 47 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 42 °C	
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]
Messpunkt 01	0,704	0,704542	0,704	0,705220	0,696	0,693966	0,693	0,691644
Messpunkt 02	0,707	0,707542	0,704	0,705220	0,702	0,699966	0,700	0,698644
Messpunkt 03	0,707	0,707542	0,705	0,706220	0,701	0,698966	0,700	0,698644
Messpunkt 04	0,707	0,707542	0,699	0,700220	0,701	0,698966	0,696	0,694644
Messpunkt 05	0,708	0,708542	0,702	0,703220	0,699	0,696966	0,698	0,696644
Messpunkt 06	0,706	0,706542	0,705	0,706220	0,702	0,699966	0,697	0,695644
Messpunkt 07	0,708	0,708542	0,702	0,703220	0,702	0,699966	0,700	0,698644
Messpunkt 08	0,704	0,704542	0,705	0,706220	0,703	0,700966	0,700	0,698644
Messpunkt 09	0,708	0,708542	0,702	0,703220	0,699	0,696966	0,699	0,697644
Messpunkt 10	0,703	0,703542	0,701	0,702220	0,701	0,698966	0,699	0,697644
Messpunkt 11	0,703	0,703542	0,703	0,704220	0,703	0,700966	0,702	0,700644
Messpunkt 12	0,706	0,706542	0,701	0,702220	0,703	0,700966	0,697	0,695644
Messpunkt 13	0,699	0,699542	0,697	0,698220	0,703	0,700966	0,699	0,697644
Messpunkt 14	0,702	0,702542	0,701	0,702220	0,701	0,698966	0,702	0,700644
Messpunkt 15	0,708	0,708542	0,701	0,702220	0,706	0,703966	0,703	0,701644
Messpunkt 16	0,704	0,704542	0,700	0,701220	0,703	0,700966	0,702	0,700644
Messpunkt 17	0,697	0,697542	0,694	0,695220	0,705	0,702966	0,700	0,698644
Messpunkt 18	0,704	0,704542	0,703	0,704220	0,704	0,701966	0,701	0,699644
Messpunkt 19	0,700	0,700542	0,699	0,700220	0,706	0,703966	0,702	0,700644
Messpunkt 20	0,699	0,699542	0,700	0,701220	0,704	0,701966	0,699	0,697644
Mittelwert	0,704200	0,704742	0,696000	0,702620	0,702200	0,700166	0,699450	0,698094
Max	0,708	0,708542	0,702	0,706220	0,706	0,703966	0,703	0,701644
Min	0,697	0,697542	0,701	0,695220	0,696	0,693966	0,693	0,691644
Standardabw.	0,003397	0,003397	0,010000	0,002798	0,002419	0,002419	0,002417	0,002417
Diff. Max - Min	0,011	0,011000	0,699	0,011000	0,010	0,010000	0,010	0,010000
Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	unterer Wert Mittelwert oberer Wert 1/2 Range (+/-)	0,703155 0,704742 0,706330 0,001587	     	0,701313 0,702620 0,703928 0,001308	     	0,699035 0,700166 0,701297 0,001131	     	0,696965 0,698094 0,699223 0,001129
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002122	Lage des Messortes DF 1.10:			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002454	12. Schar von links, 2 m von oben			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,002072	Scharbreite 55 cm			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,004576	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000572	0,572
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,006648	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000554	0,554

Blatt 20

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind nicht zeitkorrigiert								
Messort DF 1.11	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 29 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 25 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 47 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 40 °C	
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]
Messpunkt 01	0,716	0,716407	0,712	0,712949	0,714	0,711966	0,710	0,708915
Messpunkt 02	0,718	0,718407	0,712	0,712949	0,714	0,711966	0,710	0,708915
Messpunkt 03	0,714	0,714407	0,712	0,712949	0,717	0,714966	0,711	0,709915
Messpunkt 04	0,714	0,714407	0,712	0,712949	0,718	0,715966	0,718	0,716915
Messpunkt 05	0,714	0,714407	0,714	0,714949	0,716	0,713966	0,714	0,712915
Messpunkt 06	0,712	0,712407	0,713	0,713949	0,718	0,715966	0,709	0,707915
Messpunkt 07	0,718	0,718407	0,712	0,712949	0,711	0,708966	0,709	0,707915
Messpunkt 08	0,711	0,711407	0,712	0,712949	0,714	0,711966	0,709	0,707915
Messpunkt 09	0,715	0,715407	0,713	0,713949	0,714	0,711966	0,709	0,707915
Messpunkt 10	0,718	0,718407	0,716	0,716949	0,717	0,714966	0,709	0,707915
Messpunkt 11	0,714	0,714407	0,710	0,710949	0,713	0,710966	0,709	0,707915
Messpunkt 12	0,716	0,716407	0,713	0,713949	0,713	0,710966	0,708	0,706915
Messpunkt 13	0,717	0,717407	0,713	0,713949	0,709	0,706966	0,718	0,716915
Messpunkt 14	0,718	0,718407	0,713	0,713949	0,713	0,710966	0,718	0,716915
Messpunkt 15	0,718	0,718407	0,712	0,712949	0,710	0,707966	0,707	0,705915
Messpunkt 16	0,718	0,718407	0,715	0,715949	0,714	0,711966	0,709	0,707915
Messpunkt 17	0,717	0,717407	0,716	0,716949	0,711	0,708966	0,709	0,707915
Messpunkt 18	0,715	0,715407	0,717	0,717949	0,713	0,710966	0,709	0,707915
Messpunkt 19	0,720	0,720407	0,713	0,713949	0,714	0,711966	0,709	0,707915
Messpunkt 20	0,715	0,715407	0,716	0,716949	0,713	0,710966	0,708	0,706915
Mittelwert	0,715900	0,716307	0,713300	0,714249	0,713800	0,711766	0,710600	0,709515
Max	0,720	0,720407	0,717	0,717949	0,718	0,715966	0,718	0,716915
Min	0,711	0,711407	0,710	0,710949	0,709	0,706966	0,707	0,705915
Standardabw.	0,002315	0,002315	0,001809	0,001809	0,002484	0,002484	0,003470	0,003470
Diff. Max - Min	0,009	0,009000	0,007	0,007000	0,009	0,009000	0,011	0,011000
Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	unterer Wert Mittelwert oberer Wert 1/2 Range (+/-)	0,715225 0,716307 0,717389 0,001082	     	0,713404 0,714249 0,715095 0,000846	     	0,710605 0,711766 0,712927 0,001161	     	0,707893 0,709515 0,711137 0,001622
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002058	Lage des Messortes DF 1.11:			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002483	12. Schar von links, 6 m von oben			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,002251	Scharbreite 55 cm			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,004541	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000568	0,568
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,006792	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000566	0,566

Blatt 21

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind nicht zeitkorrigiert								
Messort DF 1.12	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 30 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 21 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 45 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 44 °C	
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]
Messpunkt 01	0,711	0,711271	0,710	0,711492	0,710	0,708237	0,708	0,706373
Messpunkt 02	0,708	0,708271	0,703	0,704492	0,706	0,704237	0,701	0,699373
Messpunkt 03	0,706	0,706271	0,705	0,706492	0,705	0,703237	0,704	0,702373
Messpunkt 04	0,708	0,708271	0,704	0,705492	0,705	0,703237	0,704	0,702373
Messpunkt 05	0,710	0,710271	0,707	0,708492	0,707	0,705237	0,705	0,703373
Messpunkt 06	0,708	0,708271	0,705	0,706492	0,709	0,707237	0,705	0,703373
Messpunkt 07	0,705	0,705271	0,703	0,704492	0,708	0,706237	0,703	0,701373
Messpunkt 08	0,708	0,708271	0,703	0,704492	0,705	0,703237	0,699	0,697373
Messpunkt 09	0,711	0,711271	0,707	0,708492	0,710	0,708237	0,708	0,706373
Messpunkt 10	0,710	0,710271	0,705	0,706492	0,707	0,705237	0,706	0,704373
Messpunkt 11	0,710	0,710271	0,703	0,704492	0,708	0,706237	0,703	0,701373
Messpunkt 12	0,705	0,705271	0,704	0,705492	0,706	0,704237	0,702	0,700373
Messpunkt 13	0,711	0,711271	0,707	0,708492	0,710	0,708237	0,708	0,706373
Messpunkt 14	0,708	0,708271	0,705	0,706492	0,700	0,698237	0,706	0,704373
Messpunkt 15	0,709	0,709271	0,707	0,708492	0,700	0,698237	0,702	0,700373
Messpunkt 16	0,707	0,707271	0,702	0,703492	0,703	0,701237	0,701	0,699373
Messpunkt 17	0,711	0,711271	0,710	0,711492	0,707	0,705237	0,707	0,705373
Messpunkt 18	0,708	0,708271	0,705	0,706492	0,705	0,703237	0,702	0,700373
Messpunkt 19	0,707	0,707271	0,705	0,706492	0,704	0,702237	0,702	0,700373
Messpunkt 20	0,708	0,708271	0,704	0,705492	0,705	0,703237	0,699	0,697373
Mittelwert	0,708450	0,708721	0,705200	0,706692	0,706000	0,704237	0,703750	0,702123
Max	0,711	0,711271	0,710	0,711492	0,710	0,708237	0,708	0,706373
Min	0,705	0,705271	0,702	0,703492	0,700	0,698237	0,699	0,697373
Standardabw.	0,001905	0,001905	0,002215	0,002215	0,002884	0,002884	0,002826	0,002826
Diff. Max - Min	0,006	0,006000	0,008	0,008000	0,010	0,010000	0,009	0,009000
Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	unterer Wert Mittelwert oberer Wert 1/2 Range (+/-)	0,707831 0,708721 0,709611 0,000890		0,705657 0,706692 0,707727 0,001035		0,702889 0,704237 0,705585 0,001348		0,700802 0,702123 0,703444 0,001321
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002030	Lage des Messortes DF 1.12:			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002454	12. Schar von links, 2 m von der Traufe			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,002114	Scharbreite 55 cm			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,004484	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000561	0,561
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,006598	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000550	0,550

Blatt 22

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind nicht zeitkorrigiert								
Messort DF 1.13	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 28 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 24 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 46 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 33 °C	
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]
Messpunkt 01	0,711	0,711542	0,707	0,708085	0,704	0,702102	0,699	0,698864
Messpunkt 02	0,713	0,713542	0,711	0,712085	0,712	0,710102	0,708	0,707864
Messpunkt 03	0,716	0,716542	0,715	0,716085	0,713	0,711102	0,711	0,710864
Messpunkt 04	0,714	0,714542	0,713	0,714085	0,716	0,714102	0,711	0,710864
Messpunkt 05	0,709	0,709542	0,703	0,704085	0,704	0,702102	0,700	0,699864
Messpunkt 06	0,717	0,717542	0,710	0,711085	0,712	0,710102	0,708	0,707864
Messpunkt 07	0,717	0,717542	0,710	0,711085	0,713	0,711102	0,708	0,707864
Messpunkt 08	0,713	0,713542	0,712	0,713085	0,710	0,708102	0,706	0,705864
Messpunkt 09	0,709	0,709542	0,705	0,706085	0,705	0,703102	0,704	0,703864
Messpunkt 10	0,710	0,710542	0,709	0,710085	0,711	0,709102	0,706	0,705864
Messpunkt 11	0,718	0,718542	0,713	0,714085	0,713	0,711102	0,708	0,707864
Messpunkt 12	0,712	0,712542	0,711	0,712085	0,712	0,710102	0,706	0,705864
Messpunkt 13	0,707	0,707542	0,703	0,704085	0,703	0,701102	0,700	0,699864
Messpunkt 14	0,711	0,711542	0,712	0,713085	0,711	0,709102	0,707	0,706864
Messpunkt 15	0,713	0,713542	0,711	0,712085	0,711	0,709102	0,706	0,705864
Messpunkt 16	0,710	0,710542	0,709	0,710085	0,711	0,709102	0,706	0,705864
Messpunkt 17	0,709	0,709542	0,705	0,706085	0,708	0,706102	0,708	0,707864
Messpunkt 18	0,714	0,714542	0,713	0,714085	0,713	0,711102	0,708	0,707864
Messpunkt 19	0,714	0,714542	0,713	0,714085	0,717	0,715102	0,711	0,710864
Messpunkt 20	0,714	0,714542	0,714	0,715085	0,712	0,710102	0,709	0,708864
Mittelwert	0,712550	0,713092	0,709950	0,711035	0,710550	0,708652	0,706500	0,706364
Max	0,718	0,718542	0,715	0,716085	0,717	0,715102	0,711	0,710864
Min	0,707	0,707542	0,703	0,704085	0,703	0,701102	0,699	0,698864
Standardabw.	0,003052	0,003052	0,003605	0,003605	0,003873	0,003873	0,003472	0,003472
Diff. Max - Min	0,011	0,011000	0,012	0,012000	0,014	0,014000	0,012	0,012000
Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	unterer Wert Mittelwert oberer Wert 1/2 Range (+/-)	0,711666 0,713092 0,714519 0,001426		0,709350 0,711035 0,712720 0,001685		0,706842 0,708652 0,710461 0,001810		0,704742 0,706364 0,707987 0,001623
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002058	Lage des Messortes DF 1.13:			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002383	14. Schar von links, 2 m von oben			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,002287	Scharbreite 55 cm			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,004441	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000555	0,555
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,006728	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000561	0,561

Blatt 23



Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind nicht zeitkorrigiert									
Messort DF 1.14	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 28 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 25 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 46 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 35 °C		
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	
Messpunkt 01	0,709	0,709542	0,711	0,711949	0,711	0,709102	0,704	0,703593	MP 01
Messpunkt 02	0,712	0,712542	0,709	0,709949	0,709	0,707102	0,706	0,705593	MP 02
Messpunkt 03	0,716	0,716542	0,713	0,713949	0,716	0,714102	0,710	0,709593	MP 03
Messpunkt 04	0,718	0,718542	0,713	0,713949	0,715	0,713102	0,708	0,707593	MP 04
Messpunkt 05	0,710	0,710542	0,708	0,708949	0,710	0,708102	0,704	0,703593	MP 05
Messpunkt 06	0,709	0,709542	0,707	0,707949	0,708	0,706102	0,703	0,702593	MP 06
Messpunkt 07	0,714	0,714542	0,711	0,711949	0,710	0,708102	0,709	0,708593	MP 07
Messpunkt 08	0,714	0,714542	0,711	0,711949	0,713	0,711102	0,705	0,704593	MP 08
Messpunkt 09	0,709	0,709542	0,708	0,708949	0,708	0,706102	0,703	0,702593	MP 09
Messpunkt 10	0,707	0,707542	0,706	0,706949	0,708	0,706102	0,702	0,701593	MP 10
Messpunkt 11	0,718	0,718542	0,713	0,713949	0,710	0,708102	0,708	0,707593	MP 11
Messpunkt 12	0,713	0,713542	0,708	0,708949	0,710	0,708102	0,708	0,707593	MP 12
Messpunkt 13	0,712	0,712542	0,709	0,709949	0,708	0,706102	0,703	0,702593	MP 13
Messpunkt 14	0,711	0,711542	0,707	0,707949	0,706	0,704102	0,708	0,707593	MP 14
Messpunkt 15	0,715	0,715542	0,713	0,713949	0,711	0,709102	0,708	0,707593	MP 15
Messpunkt 16	0,710	0,710542	0,709	0,709949	0,711	0,709102	0,708	0,707593	MP 16
Messpunkt 17	0,708	0,708542	0,707	0,707949	0,711	0,709102	0,709	0,708593	MP 17
Messpunkt 18	0,710	0,710542	0,707	0,707949	0,710	0,708102	0,706	0,705593	MP 18
Messpunkt 19	0,716	0,716542	0,713	0,713949	0,714	0,712102	0,710	0,709593	MP 19
Messpunkt 20	0,718	0,718542	0,713	0,713949	0,710	0,708102	0,712	0,711593	MP 20
Mittelwert	0,712450	0,712992	0,709800	0,710749	0,710450	0,708552	0,706700	0,706293	
Max	0,718	0,718542	0,713	0,713949	0,716	0,714102	0,712	0,711593	
Min	0,707	0,707542	0,706	0,706949	0,706	0,704102	0,702	0,701593	
Standardabw.	0,003517	0,003517	0,002546	0,002546	0,002502	0,002502	0,002830	0,002830	
Diff. Max - Min	0,011	0,011000	0,007	0,007000	0,010	0,010000	0,010	0,010000	
Vertrauensbereich bei statist. Sicher- heit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i>	0,711349 0,712992 0,714636		0,709559 0,710749 0,711939		0,707382 0,708552 0,709721		0,704970 0,706293 0,707616	
	1/2 Range (+/-)	0,001643		0,001190		0,001169		0,001323	
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002243	Lage des Messortes DF 1.14:				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002198	14. Schar von links, 6 m von oben				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,002258	Scharbreite 55 cm				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,004441	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a] :		0,000555	0,555	
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,006699	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a] :		0,000558	0,558	

Blatt 24

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind nicht zeitkorrigiert									
Messort DF 1.15	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 30 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 21 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 44 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 36 °C		
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	
Messpunkt 01	0,699	0,699271	0,696	0,697492	0,700	0,698373	0,695	0,694458	MP 01
Messpunkt 02	0,698	0,698271	0,699	0,700492	0,698	0,696373	0,699	0,698458	MP 02
Messpunkt 03	0,699	0,699271	0,697	0,698492	0,698	0,696373	0,697	0,696458	MP 03
Messpunkt 04	0,696	0,696271	0,694	0,695492	0,699	0,697373	0,698	0,697458	MP 04
Messpunkt 05	0,701	0,701271	0,697	0,698492	0,696	0,694373	0,696	0,695458	MP 05
Messpunkt 06	0,701	0,701271	0,697	0,698492	0,700	0,698373	0,696	0,695458	MP 06
Messpunkt 07	0,699	0,699271	0,695	0,696492	0,698	0,696373	0,691	0,690458	MP 07
Messpunkt 08	0,696	0,696271	0,694	0,695492	0,698	0,696373	0,693	0,692458	MP 08
Messpunkt 09	0,700	0,700271	0,699	0,700492	0,697	0,695373	0,693	0,692458	MP 09
Messpunkt 10	0,699	0,699271	0,695	0,696492	0,696	0,694373	0,692	0,691458	MP 10
Messpunkt 11	0,700	0,700271	0,694	0,695492	0,697	0,695373	0,693	0,692458	MP 11
Messpunkt 12	0,697	0,697271	0,695	0,696492	0,694	0,692373	0,693	0,692458	MP 12
Messpunkt 13	0,700	0,700271	0,699	0,700492	0,697	0,695373	0,690	0,689458	MP 13
Messpunkt 14	0,703	0,703271	0,699	0,700492	0,696	0,694373	0,690	0,689458	MP 14
Messpunkt 15	0,699	0,699271	0,695	0,696492	0,697	0,695373	0,691	0,690458	MP 15
Messpunkt 16	0,697	0,697271	0,696	0,697492	0,699	0,697373	0,690	0,689458	MP 16
Messpunkt 17	0,702	0,702271	0,697	0,698492	0,700	0,698373	0,700	0,699458	MP 17
Messpunkt 18	0,701	0,701271	0,697	0,698492	0,697	0,695373	0,699	0,698458	MP 18
Messpunkt 19	0,702	0,702271	0,695	0,696492	0,695	0,693373	0,694	0,693458	MP 19
Messpunkt 20	0,702	0,702271	0,696	0,697492	0,695	0,693373	0,697	0,696458	MP 20
Mittelwert	0,699550	0,699821	0,696300	0,697792	0,697350	0,695723	0,694350	0,693808	
Max	0,703	0,703271	0,699	0,700492	0,700	0,698373	0,700	0,699458	
Min	0,696	0,696271	0,694	0,695492	0,694	0,692373	0,690	0,689458	
Standardabw.	0,002038	0,002038	0,001720	0,001720	0,001725	0,001725	0,003249	0,003249	
Diff. Max - Min	0,007	0,007000	0,005	0,005000	0,006	0,006000	0,010	0,010000	
Vertrauensbereich bei statist. Sicher- heit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i>	0,698869 0,699821 0,700774		0,696988 0,697792 0,698595		0,694917 0,695723 0,696529		0,692289 0,693808 0,695326	
	1/2 Range (+/-)	0,000953		0,000804		0,000806		0,001518	
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002030	Lage des Messortes DF 1.15:				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002069	14. Schar von links, 2 m von unten				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,001915	Scharbreite 55 cm				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,004098	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a] :		0,000512	0,512	
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,006014	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a] :		0,000501	0,501	

Blatt 25

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind nicht zeitkorrigiert								
Messort DF 1.16	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 32 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 25 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 44 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 37 °C	
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]
Messpunkt 01	0,708	0,708000	0,706	0,706949	0,703	0,701373	0,701	0,700322
Messpunkt 02	0,712	0,712000	0,707	0,707949	0,708	0,706373	0,708	0,707322
Messpunkt 03	0,711	0,711000	0,706	0,706949	0,707	0,705373	0,703	0,702322
Messpunkt 04	0,713	0,713000	0,712	0,712949	0,710	0,708373	0,707	0,706322
Messpunkt 05	0,712	0,712000	0,707	0,707949	0,708	0,706373	0,704	0,703322
Messpunkt 06	0,712	0,712000	0,710	0,710949	0,708	0,706373	0,706	0,705322
Messpunkt 07	0,709	0,709000	0,706	0,706949	0,706	0,704373	0,703	0,702322
Messpunkt 08	0,712	0,712000	0,713	0,713949	0,709	0,707373	0,704	0,703322
Messpunkt 09	0,711	0,711000	0,706	0,706949	0,703	0,701373	0,701	0,700322
Messpunkt 10	0,708	0,708000	0,708	0,708949	0,710	0,708373	0,705	0,704322
Messpunkt 11	0,716	0,716000	0,706	0,706949	0,711	0,709373	0,700	0,699322
Messpunkt 12	0,710	0,710000	0,711	0,711949	0,711	0,709373	0,706	0,705322
Messpunkt 13	0,710	0,710000	0,706	0,706949	0,703	0,701373	0,702	0,701322
Messpunkt 14	0,709	0,709000	0,707	0,707949	0,708	0,706373	0,708	0,707322
Messpunkt 15	0,712	0,712000	0,708	0,708949	0,706	0,704373	0,704	0,703322
Messpunkt 16	0,710	0,710000	0,711	0,711949	0,710	0,708373	0,708	0,707322
Messpunkt 17	0,709	0,709000	0,705	0,705949	0,708	0,706373	0,702	0,701322
Messpunkt 18	0,711	0,711000	0,706	0,706949	0,711	0,709373	0,708	0,707322
Messpunkt 19	0,711	0,711000	0,704	0,704949	0,704	0,702373	0,704	0,703322
Messpunkt 20	0,716	0,716000	0,708	0,708949	0,710	0,708373	0,707	0,706322
Mittelwert	0,711100	0,711100	0,707650	0,708599	0,707700	0,706073	0,704550	0,703872
Max	0,716	0,716000	0,713	0,713949	0,711	0,709373	0,708	0,707322
Min	0,708	0,708000	0,704	0,704949	0,703	0,701373	0,700	0,699322
Standardabw.	0,002198	0,002198	0,002477	0,002477	0,002736	0,002736	0,002605	0,002605
Diff. Max - Min	0,008	0,008000	0,009	0,009000	0,008	0,008000	0,008	0,008000
Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	unterer Wert Mittelwert oberer Wert 1/2 Range (+/-)	0,710073 0,711100 0,712127 0,001027		0,707442 0,708599 0,709757 0,001158		0,704794 0,706073 0,707351 0,001279		0,702654 0,703872 0,705090 0,001218
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:					0,002501	Lage des Messortes DF 1.16:		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:					0,002526	16. Schar von links, 2 m von oben		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:					0,002201	Scharbreite 55 cm		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:					0,005027	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:	0,000628	0,628
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:					0,007228	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:	0,000602	0,602

Blatt 26

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind nicht zeitkorrigiert								
Messort DF 1.17	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 30 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 27 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 46 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 32 °C	
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]
Messpunkt 01	0,708	0,708271	0,709	0,709678	0,709	0,707102	0,701	0,701000
Messpunkt 02	0,711	0,711271	0,710	0,710678	0,709	0,707102	0,704	0,704000
Messpunkt 03	0,709	0,709271	0,710	0,710678	0,708	0,706102	0,702	0,702000
Messpunkt 04	0,710	0,710271	0,711	0,711678	0,710	0,708102	0,706	0,706000
Messpunkt 05	0,710	0,710271	0,704	0,704678	0,707	0,705102	0,703	0,703000
Messpunkt 06	0,709	0,709271	0,706	0,706678	0,709	0,707102	0,703	0,703000
Messpunkt 07	0,709	0,709271	0,705	0,705678	0,709	0,707102	0,703	0,703000
Messpunkt 08	0,714	0,714271	0,708	0,708678	0,711	0,709102	0,706	0,706000
Messpunkt 09	0,712	0,712271	0,707	0,707678	0,710	0,708102	0,702	0,702000
Messpunkt 10	0,708	0,708271	0,707	0,707678	0,707	0,705102	0,702	0,702000
Messpunkt 11	0,711	0,711271	0,706	0,706678	0,700	0,698102	0,703	0,703000
Messpunkt 12	0,714	0,714271	0,711	0,711678	0,710	0,708102	0,707	0,707000
Messpunkt 13	0,711	0,711271	0,708	0,708678	0,707	0,705102	0,702	0,702000
Messpunkt 14	0,709	0,709271	0,709	0,709678	0,708	0,706102	0,708	0,708000
Messpunkt 15	0,712	0,712271	0,707	0,707678	0,700	0,698102	0,701	0,701000
Messpunkt 16	0,713	0,713271	0,711	0,711678	0,710	0,708102	0,705	0,705000
Messpunkt 17	0,711	0,711271	0,707	0,707678	0,711	0,709102	0,706	0,706000
Messpunkt 18	0,708	0,708271	0,709	0,709678	0,709	0,707102	0,706	0,706000
Messpunkt 19	0,709	0,709271	0,707	0,707678	0,710	0,708102	0,708	0,708000
Messpunkt 20	0,715	0,715271	0,708	0,708678	0,710	0,708102	0,706	0,706000
Mittelwert	0,710650	0,710921	0,708000	0,708678	0,708200	0,706302	0,704200	0,704200
Max	0,715	0,715271	0,711	0,711678	0,711	0,709102	0,708	0,708000
Min	0,708	0,708271	0,704	0,704678	0,700	0,698102	0,701	0,701000
Standardabw.	0,002134	0,002134	0,002000	0,002000	0,003054	0,003054	0,002285	0,002285
Diff. Max - Min	0,007	0,007000	0,007	0,007000	0,011	0,011000	0,007	0,007000
Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	unterer Wert Mittelwert oberer Wert 1/2 Range (+/-)	0,709924 0,710921 0,711919 0,000997		0,707743 0,708678 0,709613 0,000935		0,704874 0,706302 0,707729 0,001427		0,703132 0,704200 0,705268 0,001068
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:					0,002243	Lage des Messortes DF 1.17:		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:					0,002376	16. Schar von links, 6 m von oben		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:					0,002102	Scharbreite 55 cm		
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:					0,004620	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:	0,000577	0,577
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:					0,006721	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:	0,000560	0,560

Blatt 27

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind nicht zeitkorrigiert								
Messort DF 1.18	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 30 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 22 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 45 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 33 °C	
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]
Messpunkt 01	0,698	0,698271	0,695	0,696356	0,692	0,690237	0,688	0,687864
Messpunkt 02	0,693	0,693271	0,691	0,692356	0,694	0,692237	0,690	0,689864
Messpunkt 03	0,695	0,695271	0,696	0,697356	0,693	0,691237	0,689	0,688864
Messpunkt 04	0,691	0,691271	0,691	0,692356	0,690	0,688237	0,688	0,687864
Messpunkt 05	0,698	0,698271	0,693	0,694356	0,697	0,695237	0,691	0,690864
Messpunkt 06	0,697	0,697271	0,691	0,692356	0,696	0,694237	0,690	0,689864
Messpunkt 07	0,697	0,697271	0,692	0,693356	0,693	0,691237	0,690	0,689864
Messpunkt 08	0,694	0,694271	0,687	0,688356	0,693	0,691237	0,693	0,692864
Messpunkt 09	0,692	0,692271	0,693	0,694356	0,695	0,693237	0,692	0,691864
Messpunkt 10	0,700	0,700271	0,693	0,694356	0,693	0,691237	0,692	0,691864
Messpunkt 11	0,696	0,696271	0,696	0,697356	0,697	0,695237	0,692	0,691864
Messpunkt 12	0,698	0,698271	0,691	0,692356	0,698	0,696237	0,685	0,684864
Messpunkt 13	0,696	0,696271	0,696	0,697356	0,694	0,692237	0,689	0,688864
Messpunkt 14	0,699	0,699271	0,696	0,697356	0,694	0,692237	0,692	0,691864
Messpunkt 15	0,699	0,699271	0,696	0,697356	0,689	0,687237	0,691	0,690864
Messpunkt 16	0,698	0,698271	0,692	0,693356	0,695	0,693237	0,686	0,685864
Messpunkt 17	0,698	0,698271	0,693	0,694356	0,694	0,692237	0,693	0,692864
Messpunkt 18	0,696	0,696271	0,693	0,694356	0,694	0,692237	0,696	0,695864
Messpunkt 19	0,698	0,698271	0,695	0,696356	0,698	0,696237	0,692	0,691864
Messpunkt 20	0,691	0,691271	0,690	0,691356	0,692	0,690237	0,692	0,691864
Mittelwert	0,696200	0,696471	0,693000	0,694356	0,694050	0,692287	0,690550	0,690414
Max	0,700	0,700271	0,696	0,697356	0,698	0,696237	0,696	0,695864
Min	0,691	0,691271	0,687	0,688356	0,689	0,687237	0,685	0,684864
Standardabw.	0,002707	0,002707	0,002471	0,002471	0,002395	0,002395	0,002564	0,002564
Diff. Max - Min	0,009	0,009000	0,009	0,009000	0,009	0,009000	0,011	0,011000
Vertrauensbereich bei statist. Sicher- heit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i> 1/2 Range (+/-)	0,695206 0,696471 0,697736 0,001265		0,693201 0,694356 0,695511 0,001155		0,691168 0,692287 0,693406 0,001119		0,689216 0,690414 0,691613 0,001198
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002115	Lage des Messortes DF 1.18:			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002069	16. Schar von links, 2 m von der Traufe			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,001873	Scharbreite 55 cm			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,004184	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000523	0,523
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,006057	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000505	0,505

Blatt 28

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind nicht zeitkorrigiert								
Messort DF 1.19	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 30 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 25 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 49 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 38 °C	
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]
Messpunkt 01	0,703	0,703271	0,699	0,699949	0,698	0,695695	0,695	0,694186
Messpunkt 02	0,701	0,701271	0,698	0,698949	0,697	0,694695	0,693	0,692186
Messpunkt 03	0,707	0,707271	0,700	0,700949	0,701	0,698695	0,695	0,694186
Messpunkt 04	0,702	0,702271	0,702	0,702949	0,703	0,700695	0,696	0,695186
Messpunkt 05	0,705	0,705271	0,700	0,700949	0,697	0,694695	0,694	0,693186
Messpunkt 06	0,700	0,700271	0,697	0,697949	0,695	0,692695	0,692	0,691186
Messpunkt 07	0,705	0,705271	0,698	0,698949	0,700	0,697695	0,697	0,696186
Messpunkt 08	0,705	0,705271	0,699	0,699949	0,702	0,699695	0,695	0,694186
Messpunkt 09	0,703	0,703271	0,699	0,699949	0,700	0,697695	0,696	0,695186
Messpunkt 10	0,701	0,701271	0,698	0,698949	0,699	0,696695	0,698	0,697186
Messpunkt 11	0,703	0,703271	0,700	0,700949	0,704	0,701695	0,697	0,696186
Messpunkt 12	0,700	0,700271	0,701	0,701949	0,704	0,701695	0,701	0,700186
Messpunkt 13	0,700	0,700271	0,697	0,697949	0,699	0,696695	0,696	0,695186
Messpunkt 14	0,702	0,702271	0,696	0,696949	0,699	0,696695	0,698	0,697186
Messpunkt 15	0,703	0,703271	0,699	0,699949	0,700	0,697695	0,698	0,697186
Messpunkt 16	0,701	0,701271	0,701	0,701949	0,701	0,698695	0,698	0,697186
Messpunkt 17	0,698	0,698271	0,697	0,697949	0,697	0,694695	0,696	0,695186
Messpunkt 18	0,700	0,700271	0,698	0,698949	0,700	0,697695	0,696	0,695186
Messpunkt 19	0,700	0,700271	0,699	0,699949	0,703	0,700695	0,699	0,698186
Messpunkt 20	0,702	0,702271	0,701	0,701949	0,702	0,699695	0,699	0,698186
Mittelwert	0,702050	0,702321	0,698950	0,699899	0,700050	0,697745	0,696450	0,695636
Max	0,707	0,707271	0,702	0,702949	0,704	0,701695	0,701	0,700186
Min	0,698	0,698271	0,696	0,696949	0,695	0,692695	0,692	0,691186
Standardabw.	0,002235	0,002235	0,001605	0,001605	0,002502	0,002502	0,002164	0,002164
Diff. Max - Min	0,009	0,009000	0,006	0,006000	0,009	0,009000	0,009	0,009000
Vertrauensbereich bei statist. Sicher- heit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i> 1/2 Range (+/-)	0,701276 0,702321 0,703366 0,001045		0,699149 0,699899 0,700649 0,000750		0,696575 0,697745 0,698914 0,001169		0,694625 0,695636 0,696648 0,001011
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002422	Lage des Messortes DF 1.19:			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002154	18. Schar von links, 2 m von oben			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,002108	Scharbreite 55 cm			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,004576	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000572	0,572
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,006685	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:		0,000557	0,557

Blatt 29

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind <u>nicht</u> zeitkorrigiert									
Messort DF 1.20	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 30 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 24 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 46 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 44 °C		
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	
Messpunkt 01	0,704	0,704271	0,704	0,705085	0,704	0,702102	0,706	0,704373	MP 01
Messpunkt 02	0,713	0,713271	0,703	0,704085	0,706	0,704102	0,705	0,703373	MP 02
Messpunkt 03	0,710	0,710271	0,702	0,703085	0,709	0,707102	0,704	0,702373	MP 03
Messpunkt 04	0,707	0,707271	0,702	0,703085	0,703	0,701102	0,698	0,696373	MP 04
Messpunkt 05	0,703	0,703271	0,704	0,705085	0,704	0,702102	0,704	0,702373	MP 05
Messpunkt 06	0,706	0,706271	0,702	0,703085	0,705	0,703102	0,710	0,708373	MP 06
Messpunkt 07	0,706	0,706271	0,703	0,704085	0,709	0,707102	0,705	0,703373	MP 07
Messpunkt 08	0,703	0,703271	0,700	0,701085	0,705	0,703102	0,702	0,700373	MP 08
Messpunkt 09	0,707	0,707271	0,706	0,707085	0,707	0,705102	0,706	0,704373	MP 09
Messpunkt 10	0,707	0,707271	0,704	0,705085	0,705	0,703102	0,707	0,705373	MP 10
Messpunkt 11	0,708	0,708271	0,708	0,709085	0,705	0,703102	0,702	0,700373	MP 11
Messpunkt 12	0,708	0,708271	0,702	0,703085	0,705	0,703102	0,700	0,698373	MP 12
Messpunkt 13	0,708	0,708271	0,707	0,708085	0,704	0,702102	0,699	0,697373	MP 13
Messpunkt 14	0,711	0,711271	0,705	0,706085	0,704	0,702102	0,702	0,700373	MP 14
Messpunkt 15	0,707	0,707271	0,707	0,708085	0,705	0,703102	0,702	0,700373	MP 15
Messpunkt 16	0,710	0,710271	0,705	0,706085	0,703	0,701102	0,699	0,697373	MP 16
Messpunkt 17	0,709	0,709271	0,705	0,706085	0,705	0,703102	0,702	0,700373	MP 17
Messpunkt 18	0,707	0,707271	0,707	0,708085	0,706	0,704102	0,701	0,699373	MP 18
Messpunkt 19	0,706	0,706271	0,706	0,707085	0,706	0,704102	0,702	0,700373	MP 19
Messpunkt 20	0,709	0,709271	0,704	0,705085	0,703	0,701102	0,702	0,700373	MP 20
Mittelwert	0,707450	0,707721	0,704300	0,705385	0,705150	0,703252	0,702900	0,701273	
Max	0,713	0,713271	0,708	0,709085	0,709	0,707102	0,710	0,708373	
Min	0,703	0,703271	0,700	0,701085	0,703	0,701102	0,698	0,696373	
Standardabw.	0,002523	0,002523	0,002130	0,002130	0,001694	0,001694	0,002989	0,002989	
Diff. Max - Min	0,010	0,010000	0,008	0,008000	0,006	0,006000	0,012	0,012000	
Vertrauensbereich bei statist. Sicher- heit von 95 % mit n=20; t=19; t=2,09	unterer Wert Mittelwert oberer Wert 1/2 Range (+/-)	0,706542 0,707721 0,708900 0,001179	     	0,704389 0,705385 0,706380 0,000995	     	0,702460 0,703252 0,704043 0,000792	     	0,699876 0,701273 0,702670 0,001397	
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002336	Lage des Messortes DF 1.20:				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002133	18. Schar von links, 6 m von oben				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,001979	Scharbreite 55 cm				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,004470	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:				0,000559 0,559
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,006448	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:				0,000537 0,537

Blatt 30

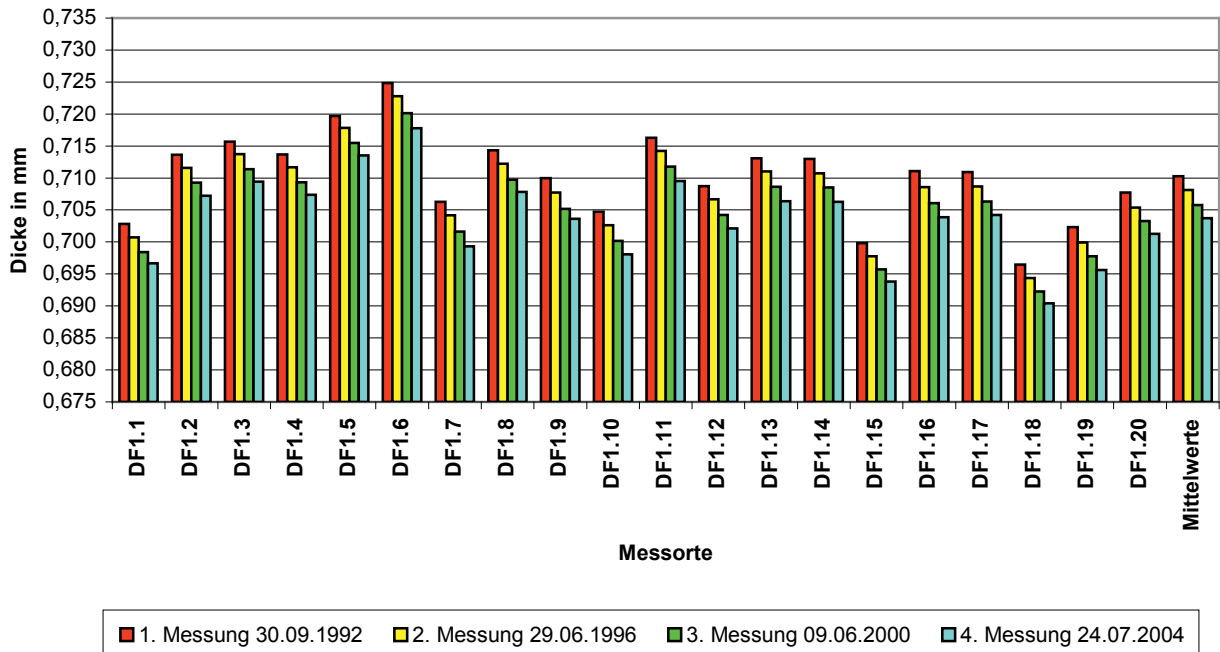
Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Mittelwerte sind zeitkorrigiert (gelb unterlegt)								
Messorte DF 1	Erste Messung: 30.09.1992		Zweite Messung: 29.06.1996		Dritte Messung: 09.06.2000		Vierte Messung: 24.07.2004	
Messpunkte		Temp. korrigierte Werte [mm]		Temp. korrigierte Werte [mm]		Temp. korrigierte Werte [mm]		Temp. korrigierte Werte [mm]
DF 1.1 (MP01)		0,696271		0,700814		0,697695		0,697322
Messpunkt 02		0,701271		0,702814		0,702695		0,700322
Messpunkt 03		0,701271		0,689814		0,700695		0,699322
Messpunkt 04		0,702271		0,697814		0,697695		0,695322
Messpunkt 05		0,699271		0,700814		0,696695		0,693322
Messpunkt 06		0,698271		0,702814		0,701695		0,698322
Messpunkt 07		0,708271		0,701814		0,694695		0,696322
Messpunkt 08		0,708271		0,699814		0,698695		0,693322
Messpunkt 09		0,699271		0,700814		0,698695		0,696322
Messpunkt 10		0,705271		0,700814		0,702695		0,701322
Messpunkt 11		0,703271		0,700814		0,698695		0,696322
Messpunkt 12		0,706271		0,702814		0,697695		0,698322
Messpunkt 13		0,700271		0,699814		0,696695		0,694322
Messpunkt 14		0,701271		0,704814		0,699695		0,702322
Messpunkt 15		0,703271		0,701814		0,697695		0,696322
Messpunkt 16		0,704271		0,700814		0,697695		0,696322
Messpunkt 17		0,699271		0,698814		0,695695		0,691322
Messpunkt 18		0,708271		0,704814		0,700695		0,696322
Messpunkt 19		0,708271		0,703814		0,697695		0,696322
Messpunkt 20		0,702271		0,697814		0,693695		0,694322
DF 1.2 (MP01)		0,713220		0,713949		0,706373		0,708458
Messpunkt 02		0,715220		0,712949		0,709373		0,709458
Messpunkt 03		0,714220		0,712949		0,705373		0,704458
Messpunkt 04		0,709220		0,713949		0,705373		0,704458
Messpunkt 05		0,709220		0,712949		0,713373		0,707458
Messpunkt 06		0,712220		0,712949		0,710373		0,708458
Messpunkt 07		0,719220		0,710949		0,708373		0,705458

Die Werte für die Dachflächen DF 1.2 bis DF 1.19 werden hier nicht nochmals aufgeführt.  
Sie sind in den vorangegangenen Blättern dargestellt.

Messpunkt 17		0,698271		0,697949		0,694695		0,695186	MP 17
Messpunkt 18		0,700271		0,698949		0,697695		0,695186	MP 18
Messpunkt 19		0,700271		0,699949		0,700695		0,698186	MP 19
Messpunkt 20		0,702271		0,701949		0,699695		0,698186	MP 20
DF 1.20 (MP01)		0,704271		0,705085		0,702102		0,704373	MP 01
Messpunkt 02		0,713271		0,704085		0,704102		0,703373	MP 02
Messpunkt 03		0,710271		0,703085		0,707102		0,702373	MP 03
Messpunkt 04		0,707271		0,703085		0,701102		0,696373	MP 04
Messpunkt 05		0,703271		0,705085		0,702102		0,702373	MP 05
Messpunkt 06		0,706271		0,703085		0,703102		0,708373	MP 06
Messpunkt 07		0,706271		0,704085		0,707102		0,703373	MP 07
Messpunkt 08		0,703271		0,701085		0,703102		0,700373	MP 08
Messpunkt 09		0,707271		0,707085		0,705102		0,704373	MP 09
Messpunkt 10		0,707271		0,705085		0,703102		0,705373	MP 10
Messpunkt 11		0,708271		0,709085		0,703102		0,700373	MP 11
Messpunkt 12		0,708271		0,703085		0,703102		0,698373	MP 12
Messpunkt 13		0,708271		0,708085		0,702102		0,697373	MP 13
Messpunkt 14		0,711271		0,706085		0,702102		0,700373	MP 14
Messpunkt 15		0,707271		0,708085		0,703102		0,700373	MP 15
Messpunkt 16		0,710271		0,706085		0,701102		0,697373	MP 16
Messpunkt 17		0,709271		0,706085		0,703102		0,700373	MP 17
Messpunkt 18		0,707271		0,708085		0,704102		0,699373	MP 18
Messpunkt 19		0,706271		0,707085		0,704102		0,700373	MP 19
Messpunkt 20		0,709271		0,705085		0,701102		0,700373	MP 20
Mittelwert		0,710259		0,708127		0,705767		0,703613	
Max		0,728814		0,728492		0,726508		0,722915	
Min		0,691271		0,688356		0,687237		0,684864	
Standardabw.		0,007220		0,007180		0,007174		0,007024	
Diff. Max - Min		0,037542		0,040136		0,039271		0,038051	
Vertrauensber.	unterer Wert	0,709549		0,707422		0,705062		0,702922	
Methode 1	Mittelwert	0,710259		0,708127		0,705767		0,703613	
Aussagew. p=95%	oberer Wert	0,710968		0,708833		0,706473		0,704303	
n=400; f=399; t=1,966	1/2 Range (+/-)	0,000710		0,000706		0,000705		0,000690	
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002131					
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002360					
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,002155					
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,004491					
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,006646					
Vertrauensber.	unterer Wert	0,709955		0,707824		0,705208		0,703054	
Methode 2	Mittelwert	0,710259		0,708127		0,705767		0,703613	
u <sub>c</sub> =k · u <sub>ci</sub> ; k=2	oberer Wert	0,710562		0,708430		0,706326		0,704172	

Blatt 31

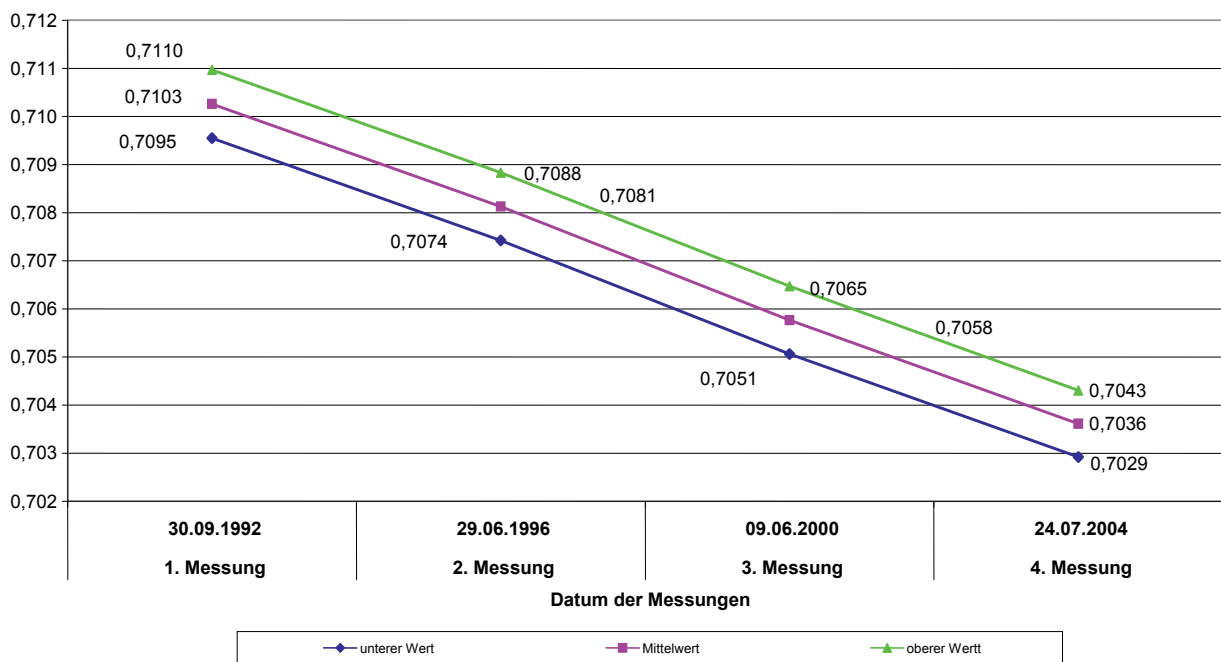
Objekt 14: Lehrbäckerei OT Rostrup, Bad Zwischenahn  
 Messwerte und Mittelwerte ohne Vertrauensbereich  
 Temperaturkorrigiert - nicht zeitkorrigiert  
 Messorte der Dachfläche DF1 (DF1.1 - DF1.20)  
 Orientierung SW - Dachneigung 10 °



Blatt 32

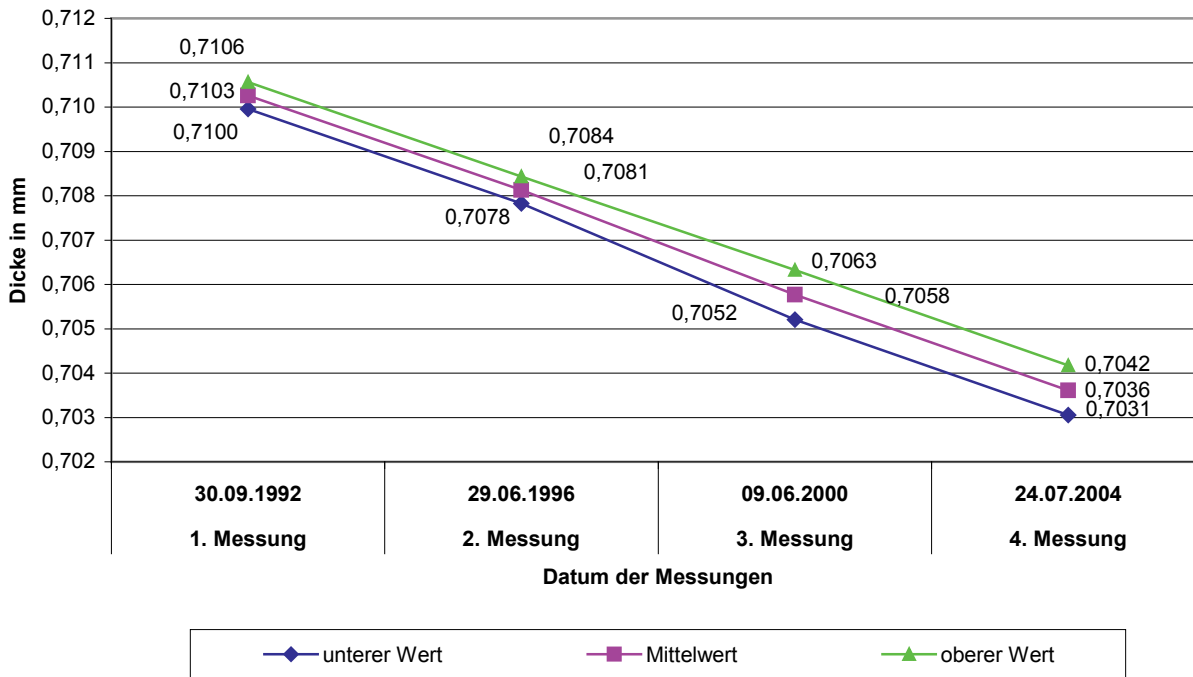
Objekt 14: Lehrbäckerei OT Rostrup, Bad Zwischenahn  
 Mittelwerte mit Vertrauensbereich DF1 (DF1.1-DF1.20)  
 Temperaturkorrr. - nicht zeitkorrigiert  
 Orientierung SW-Dachneigung 10 °

Methode 1: "t-Verteilung", n=400; f=399; t=1,966; statist. Sicherheit S=95 %



Blatt 33

**Objekt 14: Lehrbäckerei OT Rostrup, Bad Zwischenahn**  
**Mittelwerte mit Vertrauensbereich DF1 (DF1.1 - DF1.20)**  
**Temperaturkorrigiert - nicht zeitkorrigiert**  
**Orientierung SW - Dachneigung 10 °**  
**Methode 2: "u<sub>E</sub>-Funktion", mit k=2; Signifianzniveau 95 %**



Blatt 34

Dachfläche 1 (DF 1) - Orientierung: Südwest - Dachneigung: 10 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind zeitkorrigiert

**Temperaturkorrigierte und zeitkorrigierte (normierte) Grenzwerte für den Vertrauensbereich gemäß Methode 2**

**Fall A (Methode 2)**

Erste Messung oberer Grenzwert minus letzte Messung unterer Grenzwert in [mm]

Erste Messung oberer Grenzwert	Letzte Messung unterer Grenzwert	Ergebnis [mm]	Mittelwert des Abtrags pro Jahr (12 Jahre, zeitkorrigiert)	
			[mm/a]	[µm/a]
0,710562	0,703054	0,007508	0,000635	0,635400

**Fall B (Methode 2)**

Erste Messung oberer Grenzwert minus letzte Messung unterer Grenzwert in [mm]

Erste Messung oberer Grenzwert	Letzte Messung unterer Grenzwert	Ergebnis [mm]	Mittelwert des Abtrags pro Jahr (12 Jahre, zeitkorrigiert)	
			[mm/a]	[µm/a]
0,709955	0,704172	0,005784	0,000489	0,489450

**Ergebnis**

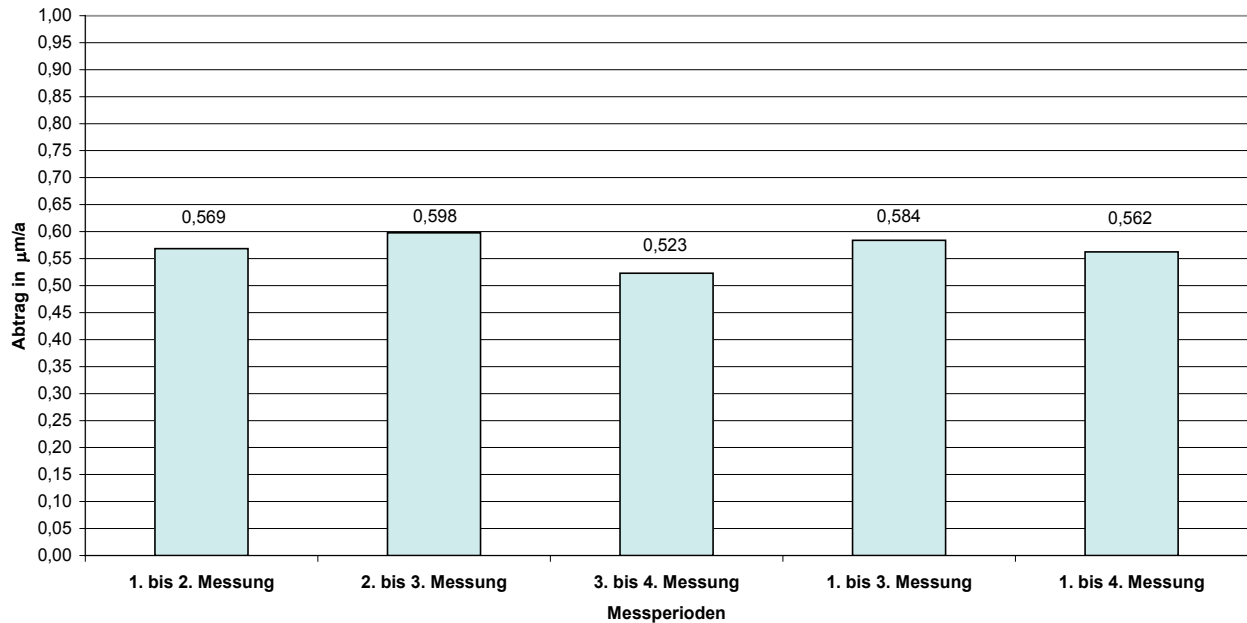
Der wahre Mittelwert des Abtrags pro Jahr liegt zwischen:

0,000489450	Werte in [mm/a] und	0,000635400
0,489	Werte in [µm/a] und	0,635

Blatt 35



**Objekt 14: Lehrbäckerei OT Rostrup, Bad Zwischenahn**  
**Temperaturkorrigierte und zeitkorrigierte (normierte) Dickenänderung**  
**Angabe des Abtrags in  $\mu\text{m/a}$**   
**Messtermine 1992 - 1996 - 2000 - 2004**  
**Dachfläche DF1 - Orientierung Südwest - Dachneigung 10 °**



Blatt 36

Wandfläche 1 (WF 1) - Orientierung: Südost - Neigung: 90 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind <u>nicht</u> zeitkorrigiert									
Messort WF 1.1	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 21 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 19 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 32 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 43 °C		
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	
Messpunkt 01	0,696	0,697492	0,692	0,693763	0,692	0,692000	0,695	0,693508	MP 01
Messpunkt 02	0,702	0,703492	0,695	0,696763	0,697	0,697000	0,695	0,693508	MP 02
Messpunkt 03	0,700	0,701492	0,700	0,701763	0,696	0,696000	0,695	0,693508	MP 03
Messpunkt 04	0,697	0,698492	0,693	0,694763	0,694	0,694000	0,694	0,692508	MP 04
Messpunkt 05	0,695	0,696492	0,697	0,698763	0,698	0,698000	0,698	0,696508	MP 05
Messpunkt 06	0,698	0,699492	0,697	0,698763	0,698	0,698000	0,697	0,695508	MP 06
Messpunkt 07	0,696	0,697492	0,699	0,700763	0,698	0,698000	0,698	0,696508	MP 07
Messpunkt 08	0,699	0,700492	0,696	0,697763	0,694	0,694000	0,698	0,696508	MP 08
Messpunkt 09	0,694	0,695492	0,695	0,696763	0,695	0,695000	0,698	0,696508	MP 09
Messpunkt 10	0,693	0,694492	0,697	0,698763	0,698	0,698000	0,699	0,697508	MP 10
Messpunkt 11	0,699	0,700492	0,700	0,701763	0,697	0,697000	0,697	0,695508	MP 11
Messpunkt 12	0,695	0,696492	0,692	0,693763	0,696	0,696000	0,699	0,697508	MP 12
Messpunkt 13	0,691	0,692492	0,696	0,697763	0,697	0,697000	0,696	0,694508	MP 13
Messpunkt 14	0,696	0,697492	0,698	0,699763	0,699	0,699000	0,699	0,697508	MP 14
Messpunkt 15	0,696	0,697492	0,695	0,696763	0,700	0,700000	0,698	0,696508	MP 15
Messpunkt 16	0,694	0,695492	0,695	0,696763	0,695	0,695000	0,697	0,695508	MP 16
Messpunkt 17	0,697	0,698492	0,693	0,694763	0,696	0,696000	0,698	0,696508	MP 17
Messpunkt 18	0,698	0,699492	0,696	0,697763	0,696	0,696000	0,696	0,694508	MP 18
Messpunkt 19	0,698	0,699492	0,697	0,698763	0,698	0,698000	0,698	0,696508	MP 19
Messpunkt 20	0,698	0,699492	0,694	0,695763	0,695	0,695000	0,694	0,692508	MP 20
<b>Mittelwert</b>	0,696600	0,698092	0,695850	0,697613	0,696450	0,696450	0,696950	0,695458	
<b>Max</b>	0,702	0,703492	0,700	0,701763	0,700	0,700000	0,699	0,697508	
<b>Min</b>	0,691	0,692492	0,692	0,693763	0,692	0,692000	0,694	0,692508	
<b>Standardabw.</b>	0,002563	0,002563	0,002368	0,002368	0,001932	0,001932	0,001638	0,001638	
<b>Diff. Max - Min</b>	0,011	0,011000	0,008	0,008000	0,008	0,008000	0,005	0,005000	
<b>Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09</b>	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i> 1/2 Range (+/-)	0,696894 0,698092 0,699289 0,001198		0,696506 0,697613 0,698720 0,001107		0,695547 0,696450 0,697353 0,000903		0,694693 0,695458 0,696224 0,000765	
<b>Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:</b>				0,000479	<b>Lage des Messortes WF 1.1:</b>				
<b>Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:</b>				0,001163	2. Schar von rechts, 40 cm von oben				
<b>Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:</b>				0,000992	Scharbreite 55 cm				
<b>Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:</b>				0,001642	<b>Abtrag in [mm/a] bzw. in [<math>\mu\text{m/a}</math>]:</b>		0,000205	0,205	
<b>Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:</b>				0,002633	<b>Abtrag in [mm/a] bzw. in [<math>\mu\text{m/a}</math>]:</b>		0,000219	0,219	

Blatt 37

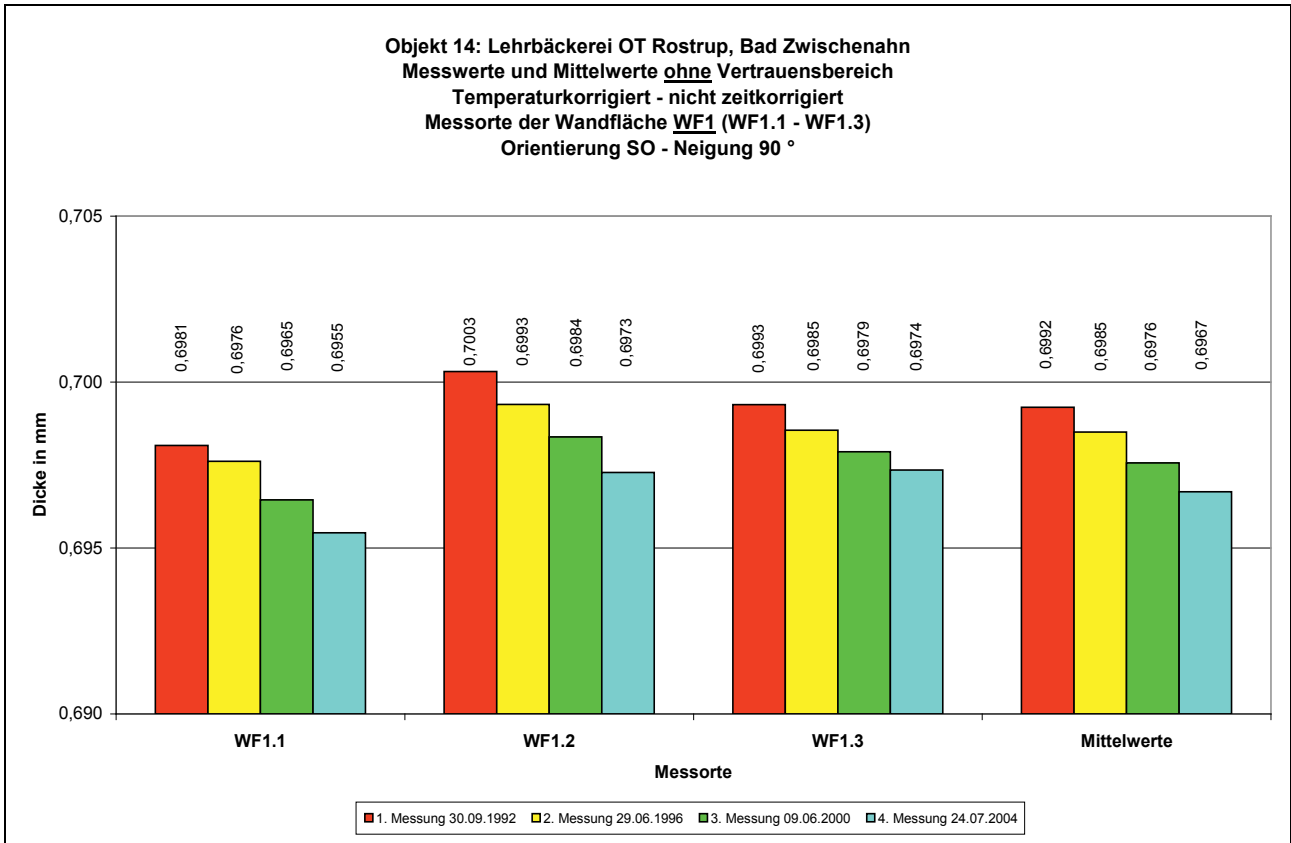
Wandfläche 1 (WF 1) - Orientierung: Südost - Neigung: 90° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind <u>nicht</u> zeitkorrigiert								
Messort WF 1.2	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 23 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 20 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 32 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 41 °C	
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]
Messpunkt 01	0,698	0,699220	0,699	0,700627	0,700	0,700000	0,703	0,701780
Messpunkt 02	0,696	0,697220	0,699	0,700627	0,702	0,702000	0,699	0,697780
Messpunkt 03	0,702	0,703220	0,698	0,699627	0,699	0,699000	0,698	0,696780
Messpunkt 04	0,699	0,700220	0,695	0,696627	0,700	0,700000	0,697	0,695780
Messpunkt 05	0,697	0,698220	0,697	0,698627	0,700	0,700000	0,699	0,697780
Messpunkt 06	0,696	0,697220	0,697	0,698627	0,701	0,701000	0,697	0,695780
Messpunkt 07	0,697	0,698220	0,693	0,694627	0,693	0,693000	0,701	0,699780
Messpunkt 08	0,699	0,700220	0,693	0,694627	0,700	0,700000	0,694	0,692780
Messpunkt 09	0,698	0,699220	0,700	0,701627	0,700	0,700000	0,702	0,700780
Messpunkt 10	0,694	0,695220	0,698	0,699627	0,698	0,698000	0,701	0,699780
Messpunkt 11	0,700	0,701220	0,700	0,701627	0,699	0,699000	0,697	0,695780
Messpunkt 12	0,699	0,700220	0,697	0,698627	0,697	0,697000	0,699	0,697780
Messpunkt 13	0,699	0,700220	0,701	0,702627	0,697	0,697000	0,698	0,696780
Messpunkt 14	0,700	0,701220	0,697	0,698627	0,699	0,699000	0,699	0,697780
Messpunkt 15	0,699	0,700220	0,699	0,700627	0,696	0,696000	0,699	0,697780
Messpunkt 16	0,701	0,702220	0,691	0,692627	0,698	0,698000	0,698	0,696780
Messpunkt 17	0,702	0,703220	0,700	0,701627	0,698	0,698000	0,697	0,695780
Messpunkt 18	0,702	0,703220	0,701	0,702627	0,692	0,692000	0,697	0,695780
Messpunkt 19	0,703	0,704220	0,701	0,702627	0,699	0,699000	0,697	0,695780
Messpunkt 20	0,701	0,702220	0,698	0,699627	0,699	0,699000	0,698	0,696780
Mittelwert	0,699100	0,700320	0,697700	0,699327	0,698350	0,698350	0,698500	0,697280
Max	0,703	0,704220	0,701	0,702627	0,702	0,702000	0,703	0,701780
Min	0,694	0,695220	0,691	0,692627	0,692	0,692000	0,694	0,692780
Standardabw.	0,002360	0,002360	0,002830	0,002830	0,002455	0,002455	0,002065	0,002065
Diff. Max - Min	0,009	0,009000	0,010	0,010000	0,010	0,010000	0,009	0,009000
Vertrauensbereich bei statist. Sicher- heit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i> 1/2 Range (+/-)	0,699218 0,700320 0,701423 0,001103	     	0,698004 0,699327 0,700650 0,001323	     	0,697202 0,698350 0,699498 0,001148	     	0,696315 0,697280 0,698245 0,000965
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,000993	Lage des Messortes WF 1. 2:			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,000977	4. Schar von rechts, 40 cm von oben			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,001070	Scharbreite 55 cm			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,001970	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a] :	0,000246	0,246	
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,003041	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a] :	0,000253	0,253	

Blatt 38

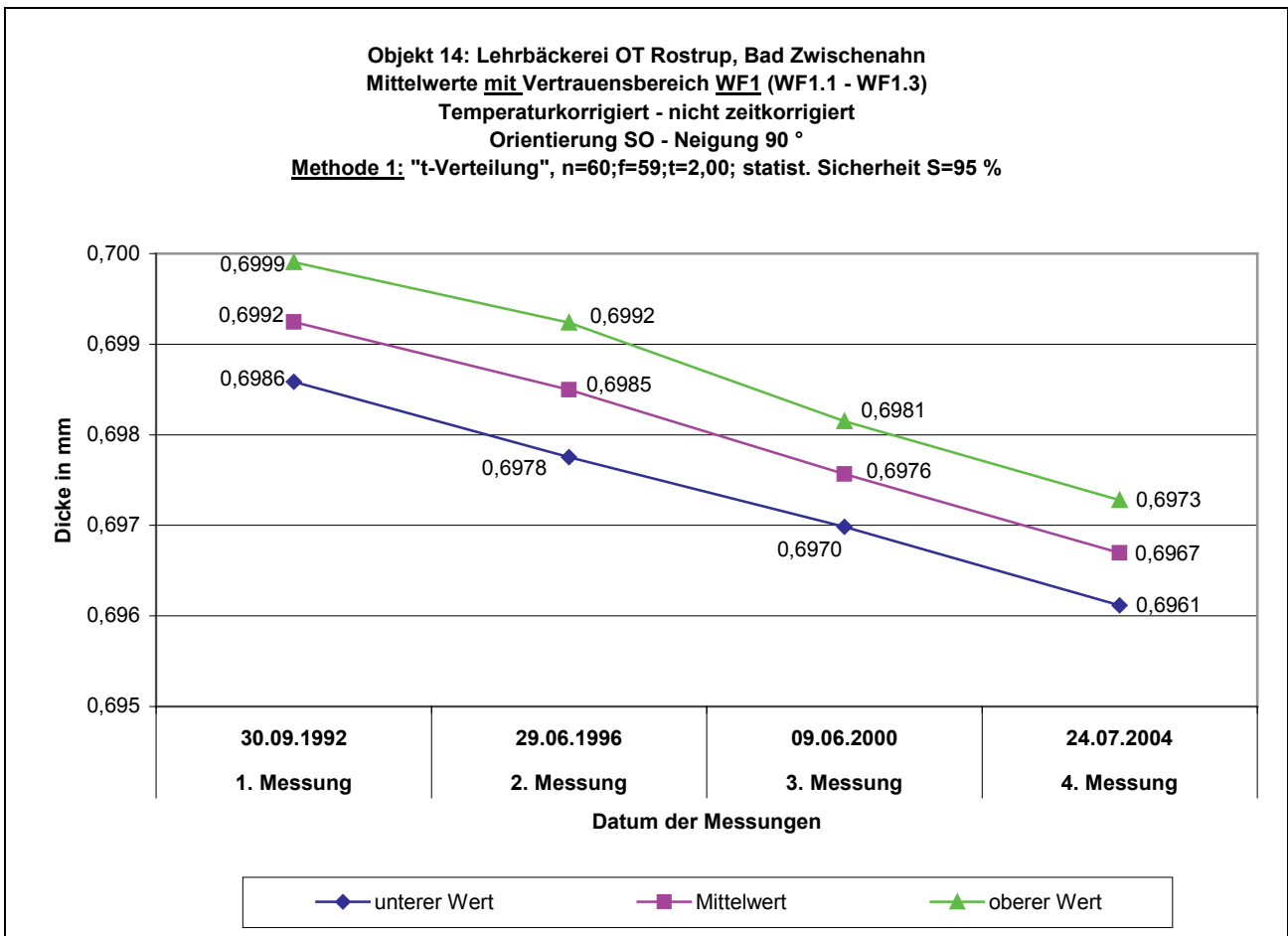
Wandfläche 1 (WF 1) - Orientierung: Südost - Neigung: 90° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind <u>nicht</u> zeitkorrigiert								
Messort WF 1.3	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 23 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 18 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 32 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 46 °C	
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]
Messpunkt 01	0,695	0,696220	0,689	0,690898	0,695	0,695000	0,696	0,694102
Messpunkt 02	0,700	0,701220	0,699	0,700898	0,695	0,695000	0,699	0,697102
Messpunkt 03	0,699	0,700220	0,701	0,702898	0,696	0,696000	0,694	0,692102
Messpunkt 04	0,699	0,700220	0,696	0,697898	0,698	0,698000	0,697	0,695102
Messpunkt 05	0,691	0,692220	0,696	0,697898	0,699	0,699000	0,699	0,697102
Messpunkt 06	0,695	0,696220	0,697	0,698898	0,698	0,698000	0,699	0,697102
Messpunkt 07	0,698	0,699220	0,702	0,703898	0,698	0,698000	0,699	0,697102
Messpunkt 08	0,697	0,698220	0,693	0,694898	0,695	0,695000	0,700	0,698102
Messpunkt 09	0,698	0,699220	0,695	0,696898	0,698	0,698000	0,699	0,697102
Messpunkt 10	0,701	0,702220	0,697	0,698898	0,698	0,698000	0,699	0,697102
Messpunkt 11	0,698	0,699220	0,698	0,699898	0,700	0,700000	0,700	0,698102
Messpunkt 12	0,699	0,700220	0,697	0,698898	0,701	0,701000	0,702	0,700102
Messpunkt 13	0,698	0,699220	0,694	0,695898	0,700	0,700000	0,704	0,702102
Messpunkt 14	0,698	0,699220	0,697	0,698898	0,701	0,701000	0,701	0,699102
Messpunkt 15	0,698	0,699220	0,701	0,702898	0,701	0,701000	0,700	0,698102
Messpunkt 16	0,701	0,702220	0,695	0,696898	0,698	0,698000	0,702	0,700102
Messpunkt 17	0,698	0,699220	0,695	0,696898	0,698	0,698000	0,702	0,700102
Messpunkt 18	0,700	0,701220	0,699	0,700898	0,696	0,696000	0,699	0,697102
Messpunkt 19	0,701	0,702220	0,700	0,701898	0,696	0,696000	0,694	0,692102
Messpunkt 20	0,698	0,699220	0,692	0,693898	0,697	0,697000	0,700	0,698102
Mittelwert	0,698100	0,699320	0,696650	0,698548	0,697900	0,697900	0,699250	0,697352
Max	0,701	0,702220	0,702	0,703898	0,701	0,701000	0,704	0,702102
Min	0,691	0,692220	0,689	0,690898	0,695	0,695000	0,694	0,692102
Standardabw.	0,002360	0,002360	0,003249	0,003249	0,001997	0,001997	0,002531	0,002531
Diff. Max - Min	0,010	0,010000	0,013	0,013000	0,006	0,006000	0,010	0,010000
Vertrauensbereich bei statist. Sicher- heit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i> 1/2 Range (+/-)	0,698218 0,699320 0,700423 0,001103	     	0,697030 0,698548 0,700067 0,001518	     	0,696967 0,697900 0,698833 0,000933	     	0,696169 0,697352 0,698535 0,001183
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,000772	Lage des Messortes WF 1.3:			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,000648	5. Schar von rechts, 40 cm von oben			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,000548	Scharbreite 55 cm			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,001420	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a] :	0,000178	0,178	
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,001969	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a] :	0,000164	0,164	

Blatt 39

Wandfläche 1 (WF 1) - Orientierung: Südost - Neigung: 90 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind zeitkorrigiert (gelb unterlegt)								
Messorte WF 1	Erste Messung: 30.09.1992		Zweite Messung: 29.06.1996		Dritte Messung: 09.06.2000		Vierte Messung: 24.07.2004	
Messpunkte		Temp. korrigierte Werte [mm]		Temp. korrigierte Werte [mm]		Temp. korrigierte Werte [mm]		Temp. korrigierte Werte [mm]
WF 1.1 (MP01)		0,697492		0,693763		0,692000		0,693508
Messpunkt 02		0,703492		0,696763		0,697000		0,693508
Messpunkt 03		0,701492		0,701763		0,696000		0,693508
Messpunkt 04		0,698492		0,694763		0,694000		0,692508
Messpunkt 05		0,696492		0,698763		0,698000		0,696508
Messpunkt 06		0,699492		0,698763		0,698000		0,695508
Messpunkt 07		0,697492		0,700763		0,698000		0,696508
Messpunkt 08		0,700492		0,697763		0,694000		0,696508
Messpunkt 09		0,695492		0,696763		0,695000		0,696508
Messpunkt 10		0,694492		0,698763		0,698000		0,697508
Messpunkt 11		0,700492		0,701763		0,697000		0,695508
Messpunkt 12		0,696492		0,693763		0,696000		0,697508
Messpunkt 13		0,692492		0,697763		0,697000		0,694508
Messpunkt 14		0,697492		0,699763		0,699000		0,697508
Messpunkt 15		0,697492		0,696763		0,700000		0,696508
Messpunkt 16		0,695492		0,696763		0,695000		0,695508
Messpunkt 17		0,698492		0,694763		0,696000		0,696508
Messpunkt 18		0,699492		0,697763		0,696000		0,694508
Messpunkt 19		0,699492		0,698763		0,698000		0,696508
Messpunkt 20		0,699492		0,695763		0,695000		0,692508
WF 1.2 (MP01)		0,699220		0,700627		0,700000		0,701780
Messpunkt 02		0,697220		0,700627		0,702000		0,697780
Messpunkt 03		0,703220		0,699627		0,699000		0,696780
Messpunkt 04		0,700220		0,696627		0,700000		0,695780
Messpunkt 05		0,698220		0,698627		0,700000		0,697780
Messpunkt 06		0,697220		0,698627		0,701000		0,695780
Messpunkt 07		0,698220		0,694627		0,693000		0,699780
Messpunkt 08		0,700220		0,694627		0,700000		0,692780
Messpunkt 09		0,699220		0,701627		0,700000		0,700780
Messpunkt 10		0,695220		0,699627		0,698000		0,699780
Messpunkt 11		0,701220		0,701627		0,699000		0,695780
Messpunkt 12		0,700220		0,698627		0,697000		0,697780
Messpunkt 13		0,700220		0,702627		0,697000		0,696780
Messpunkt 14		0,701220		0,698627		0,699000		0,697780
Messpunkt 15		0,700220		0,700627		0,696000		0,697780
Messpunkt 16		0,702220		0,692627		0,698000		0,696780
Messpunkt 17		0,703220		0,701627		0,698000		0,695780
Messpunkt 18		0,703220		0,702627		0,692000		0,695780
Messpunkt 19		0,704220		0,702627		0,699000		0,695780
Messpunkt 20		0,702220		0,699627		0,699000		0,696780
WF 1.3 (MP01)		0,696220		0,690898		0,695000		0,694102
Messpunkt 02		0,701220		0,700898		0,695000		0,697102
Messpunkt 03		0,700220		0,702898		0,696000		0,692102
Messpunkt 04		0,700220		0,697898		0,698000		0,695102
Messpunkt 05		0,692220		0,697898		0,699000		0,697102
Messpunkt 06		0,696220		0,698898		0,698000		0,697102
Messpunkt 07		0,699220		0,703898		0,698000		0,697102
Messpunkt 08		0,698220		0,694898		0,695000		0,698102
Messpunkt 09		0,699220		0,696898		0,698000		0,697102
Messpunkt 10		0,702220		0,698898		0,698000		0,697102
Messpunkt 11		0,699220		0,699898		0,700000		0,698102
Messpunkt 12		0,700220		0,698898		0,701000		0,700102
Messpunkt 13		0,699220		0,695898		0,700000		0,702102
Messpunkt 14		0,699220		0,698898		0,701000		0,699102
Messpunkt 15		0,699220		0,702898		0,701000		0,698102
Messpunkt 16		0,702220		0,696898		0,698000		0,700102
Messpunkt 17		0,699220		0,696898		0,698000		0,700102
Messpunkt 18		0,701220		0,700898		0,696000		0,697102
Messpunkt 19		0,702220		0,701898		0,696000		0,692102
Messpunkt 20		0,699220		0,693898		0,697000		0,698102
Mittelwert		0,699244		0,698496		0,697567		0,696697
Max		0,704220		0,703898		0,702000		0,702102
Min		0,692220		0,690898		0,692000		0,692102
Standardabw.		0,002559		0,002878		0,002258		0,002254
Diff. Max - Min		0,012000		0,013000		0,010000		0,010000
Vertrauensber.	unterer Wert	0,698584		0,697753		0,696984		0,696115
Methode 1	Mittelwert	0,699244		0,698496		0,697567		0,696697
Aussagew. p=95%	oberer Wert	0,699904		0,699239		0,698149		0,697278
n=60; f=59; t=2,0	1/2 Range (+/-)	0,000660		0,000743		0,000583		0,000582
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:					0,000748			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:					0,000929			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:					0,000870			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:					0,001677			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:					0,002548			
Vertrauensber.					unterer Wert			
Methode 2					Mittelwert			
u <sub>e</sub> =k · u <sub>st</sub> ; k=2					oberer Wert			
					0,698941			
					0,698193			
					0,697263			
					0,697567			
					0,697870			
					0,696137			
					0,696697			
					0,697256			

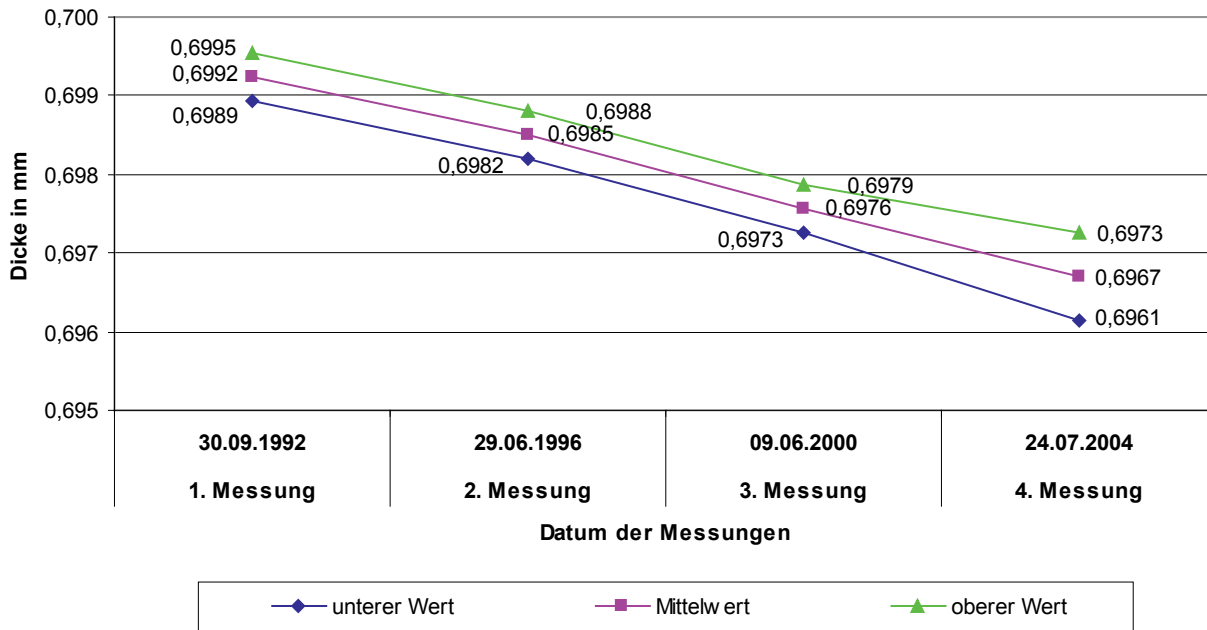


Blatt 41



Blatt 42

**Objekt 14: Lehrbäckerei OT Rostrup, Bad Zwischenahn**  
**Mittelwerte mit Vertrauensbereich WF1 (WF1.1 - WF1.3)**  
**Temperaturkorrigiert - nicht zeitkorrigiert**  
**Orientierung SO - Neigung 90 °**  
**Methode 2: "u<sub>E</sub>-Funktion", mit k=2; Signifikanzniveau 95 %**



Blatt 43

Wandfläche 1 (WF 1) - Orientierung: Südost - Neigung: 90 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C

**Temperaturkorrigierte und zeitkorrigierte (normierte) Grenzwerte für den Vertrauensbereich gemäß Methode 2**

**Fall A (Methode 2)**

Erste Messung oberer Grenzwert minus letzte Messung unterer Grenzwert in [mm]

Erste Messung oberer Grenzwert	Letzte Messung unterer Grenzwert	Ergebnis [mm]	Mittelwert des Abtrags pro Jahr (12 Jahre, zeitkorrigiert)	
			[mm/a]	[µm/a]
0,699547	0,696137	0,003410	0,000289	0,288573

**Fall B (Methode 2)**

Erste Messung oberer Grenzwert minus letzte Messung unterer Grenzwert in [mm]

Erste Messung oberer Grenzwert	Letzte Messung unterer Grenzwert	Ergebnis [mm]	Mittelwert des Abtrags pro Jahr (12 Jahre, zeitkorrigiert)	
			[mm/a]	[µm/a]
0,698941	0,697256	0,001685	0,000143	0,142623

**Ergebnis**

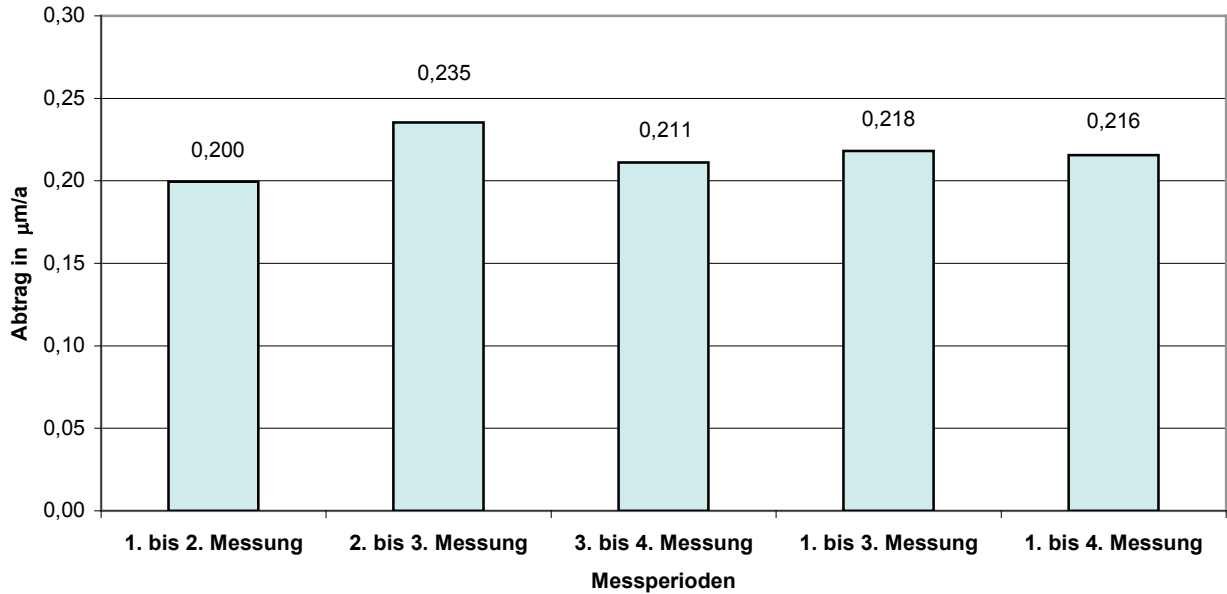
Der wahre Mittelwert des Abtrags pro Jahr liegt zwischen:

0,000142623      Werte in [mm/a]      und      0,000288573

0,143      Werte in [µm/a]      und      0,289

Blatt 44

**Objekt 14: Lehrbäckerei OT Rostrup, Bad Zwischenahn**  
**Temperaturkorrigierte und zeitkorrigierte (normierte) Dickenänderung**  
**Angabe des Abtrags in  $\mu\text{m/a}$**   
**Messtermine 1992 - 1996 - 2000 - 2004**  
**Wandfläche WF1 - Orientierung Südost - Neigung 90 °**



Blatt 45

Schornsteinabdeckung 1 (SA 1) - Orientierung: Südost - Dachneigung: 4 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind <u>nicht</u> zeitkorrigiert								
Messort SA 1.1	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 24 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 19 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 37 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 37 °C	
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]
Messpunkt 01	0,716	0,717085	0,705	0,706763	0,704	0,703322	0,701	0,700322
Messpunkt 02	0,712	0,713085	0,705	0,706763	0,706	0,705322	0,702	0,701322
Messpunkt 03	0,709	0,710085	0,705	0,706763	0,706	0,705322	0,701	0,700322
Messpunkt 04	0,714	0,715085	0,710	0,711763	0,710	0,709322	0,701	0,700322
Messpunkt 05	0,713	0,714085	0,706	0,707763	0,704	0,703322	0,697	0,696322
Messpunkt 06	0,711	0,712085	0,708	0,709763	0,708	0,707322	0,703	0,702322
Messpunkt 07	0,705	0,706085	0,709	0,710763	0,704	0,703322	0,704	0,703322
Messpunkt 08	0,706	0,707085	0,714	0,715763	0,711	0,710322	0,704	0,703322
Messpunkt 09	0,710	0,711085	0,706	0,707763	0,704	0,703322	0,706	0,705322
Messpunkt 10	0,710	0,711085	0,708	0,709763	0,707	0,706322	0,702	0,701322
Messpunkt 11	0,710	0,711085	0,707	0,708763	0,706	0,705322	0,704	0,703322
Messpunkt 12	0,711	0,712085	0,712	0,713763	0,710	0,709322	0,708	0,707322
Messpunkt 13	0,703	0,704085	0,703	0,704763	0,708	0,707322	0,703	0,702322
Messpunkt 14	0,713	0,714085	0,703	0,704763	0,707	0,706322	0,705	0,704322
Messpunkt 15	0,711	0,712085	0,705	0,706763	0,707	0,706322	0,703	0,702322
Messpunkt 16	0,708	0,709085	0,711	0,712763	0,711	0,710322	0,705	0,704322
Messpunkt 17	0,704	0,705085	0,701	0,702763	0,703	0,702322	0,710	0,709322
Messpunkt 18	0,713	0,714085	0,707	0,708763	0,703	0,702322	0,710	0,709322
Messpunkt 19	0,717	0,718085	0,707	0,708763	0,705	0,704322	0,706	0,705322
Messpunkt 20	0,711	0,712085	0,710	0,711763	0,709	0,708322	0,703	0,702322
Mittelwert	0,710350	0,711435	0,707100	0,708863	0,706650	0,705972	0,703900	0,703222
Max	0,717	0,718085	0,714	0,715763	0,711	0,710322	0,710	0,709322
Min	0,703	0,704085	0,701	0,702763	0,703	0,702322	0,697	0,696322
Standardabw.	0,003731	0,003731	0,003243	0,003243	0,002601	0,002601	0,003127	0,003127
Diff. Max - Min	0,014	0,014000	0,013	0,013000	0,008	0,008000	0,013	0,013000
Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	unterer Wert Mittelwert oberer Wert 1/2 Range (+/-)	0,709691 0,711435 0,713179 0,001744	     	0,707347 0,708863 0,710378 0,001516	     	0,704756 0,705972 0,707188 0,001216	     	0,701761 0,703222 0,704683 0,001461
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002572	Lage des Messortes SA 1.1:			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002891	30 cm vom 2. Rohr von rechts			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,002750				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,005463	Abtrag in [mm/a] bzw. in [ $\mu\text{m/a}$ ]:		0,000683	0,683
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,008213	Abtrag in [mm/a] bzw. in [ $\mu\text{m/a}$ ]:		0,000684	0,684

Blatt 46

Schornsteinabdeckung 1 (SA 1) - Orientierung: Südost - Dachneigung: 4° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind <u>nicht</u> zeitkorrigiert								
Messort SA 1.2	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 24 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 19 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 37 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 32 °C	
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]
Messpunkt 01	0,708	0,709085	0,709	0,710763	0,708	0,707322	0,707	0,707000
Messpunkt 02	0,710	0,711085	0,711	0,712763	0,711	0,710322	0,707	0,707000
Messpunkt 03	0,709	0,710085	0,713	0,714763	0,706	0,705322	0,706	0,706000
Messpunkt 04	0,711	0,712085	0,703	0,704763	0,703	0,702322	0,703	0,703000
Messpunkt 05	0,710	0,711085	0,709	0,710763	0,707	0,706322	0,709	0,709000
Messpunkt 06	0,713	0,714085	0,710	0,711763	0,709	0,708322	0,709	0,709000
Messpunkt 07	0,713	0,714085	0,713	0,714763	0,708	0,707322	0,706	0,706000
Messpunkt 08	0,706	0,707085	0,697	0,698763	0,708	0,707322	0,700	0,700000
Messpunkt 09	0,708	0,709085	0,710	0,711763	0,710	0,709322	0,704	0,704000
Messpunkt 10	0,711	0,712085	0,710	0,711763	0,709	0,708322	0,700	0,700000
Messpunkt 11	0,711	0,712085	0,712	0,713763	0,706	0,705322	0,701	0,701000
Messpunkt 12	0,711	0,712085	0,700	0,701763	0,708	0,707322	0,703	0,703000
Messpunkt 13	0,704	0,705085	0,710	0,711763	0,708	0,707322	0,707	0,707000
Messpunkt 14	0,711	0,712085	0,710	0,711763	0,706	0,705322	0,708	0,708000
Messpunkt 15	0,711	0,712085	0,703	0,704763	0,711	0,710322	0,711	0,711000
Messpunkt 16	0,711	0,712085	0,700	0,701763	0,700	0,699322	0,710	0,710000
Messpunkt 17	0,713	0,714085	0,711	0,712763	0,710	0,709322	0,699	0,699000
Messpunkt 18	0,715	0,716085	0,712	0,713763	0,708	0,707322	0,700	0,700000
Messpunkt 19	0,715	0,716085	0,710	0,711763	0,711	0,710322	0,699	0,699000
Messpunkt 20	0,713	0,714085	0,701	0,702763	0,701	0,700322	0,701	0,701000
Mittelwert	0,710700	0,711785	0,707700	0,709463	0,707400	0,706722	0,704500	0,704500
Max	0,715	0,716085	0,713	0,714763	0,711	0,710322	0,711	0,711000
Min	0,704	0,705085	0,697	0,698763	0,700	0,699322	0,699	0,699000
Standardabw.	0,002755	0,002755	0,004985	0,004985	0,003085	0,003085	0,003967	0,003967
Diff. Max - Min	0,011	0,011000	0,016	0,016000	0,011	0,011000	0,012	0,012000
Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i> 1/2 Range (+/-)	0,710497 0,711785 0,713072 0,001288	     	0,707133 0,709463 0,711793 0,002330	     	0,705280 0,706722 0,708164 0,001442	     	0,702646 0,704500 0,706354 0,001854
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002322	Lage des Messortes SA 1.2: 30 cm vom 3. Rohr von rechts			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002741				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,002222				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,005063	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:			0,000633 0,633
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,007285	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:			0,000607 0,607

Blatt 47

Schornsteinabdeckung 1 (SA 1) - Orientierung: Südost - Dachneigung: 4° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Werte sind <u>nicht</u> zeitkorrigiert								
Messort SA 1.3	Erste Messung: 30.09.1992 Metalltemperatur: 24 °C		Zweite Messung: 29.06.1996 Metalltemperatur: 19 °C		Dritte Messung: 09.06.2000 Metalltemperatur: 37 °C		Vierte Messung: 24.07.2004 Metalltemperatur: 33 °C	
Messpunkte	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]	Gemessene Werte [mm]	Temp. korrigierte Werte [mm]
Messpunkt 01	0,700	0,701085	0,698	0,699763	0,698	0,697322	0,699	0,698864
Messpunkt 02	0,702	0,703085	0,702	0,703763	0,700	0,699322	0,701	0,700864
Messpunkt 03	0,704	0,705085	0,697	0,698763	0,700	0,699322	0,690	0,689864
Messpunkt 04	0,704	0,705085	0,698	0,699763	0,690	0,689322	0,701	0,700864
Messpunkt 05	0,705	0,706085	0,701	0,702763	0,699	0,698322	0,700	0,699864
Messpunkt 06	0,705	0,706085	0,701	0,702763	0,699	0,698322	0,701	0,700864
Messpunkt 07	0,703	0,704085	0,699	0,700763	0,708	0,707322	0,690	0,689864
Messpunkt 08	0,702	0,703085	0,699	0,700763	0,699	0,698322	0,703	0,702864
Messpunkt 09	0,702	0,703085	0,699	0,700763	0,699	0,698322	0,697	0,696864
Messpunkt 10	0,701	0,702085	0,698	0,699763	0,704	0,703322	0,692	0,691864
Messpunkt 11	0,703	0,704085	0,699	0,700763	0,698	0,697322	0,701	0,700864
Messpunkt 12	0,700	0,701085	0,697	0,698763	0,698	0,697322	0,695	0,694864
Messpunkt 13	0,702	0,703085	0,701	0,702763	0,702	0,701322	0,693	0,692864
Messpunkt 14	0,703	0,704085	0,701	0,702763	0,702	0,701322	0,700	0,699864
Messpunkt 15	0,700	0,701085	0,701	0,702763	0,698	0,697322	0,696	0,695864
Messpunkt 16	0,701	0,702085	0,698	0,699763	0,697	0,696322	0,693	0,692864
Messpunkt 17	0,699	0,700085	0,697	0,698763	0,702	0,701322	0,691	0,690864
Messpunkt 18	0,698	0,699085	0,698	0,699763	0,700	0,699322	0,694	0,693864
Messpunkt 19	0,704	0,705085	0,699	0,700763	0,697	0,696322	0,695	0,694864
Messpunkt 20	0,703	0,704085	0,695	0,696763	0,690	0,689322	0,695	0,694864
Mittelwert	0,702050	0,703135	0,698900	0,700663	0,699000	0,698322	0,696350	0,696214
Max	0,705	0,706085	0,702	0,703763	0,708	0,707322	0,703	0,702864
Min	0,698	0,699085	0,695	0,696763	0,690	0,689322	0,690	0,689864
Standardabw.	0,001959	0,001959	0,001804	0,001804	0,004039	0,004039	0,004146	0,004146
Diff. Max - Min	0,007	0,007000	0,007	0,007000	0,018	0,018000	0,013	0,013000
Vertrauensbereich bei statist. Sicherheit von 95 % mit n=20; f=19; t=2,09	<i>unterer Wert</i> Mittelwert <i>oberer Wert</i> 1/2 Range (+/-)	0,702219 0,703135 0,704051 0,000916	     	0,699820 0,700663 0,701506 0,000843	     	0,696434 0,698322 0,700210 0,001888	     	0,694277 0,696214 0,698152 0,001938
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002472	Lage des Messortes SA 1.3: 30 cm vom 5. Rohr von rechts			
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002341				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,002108				
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,004813	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:			0,000602 0,602
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,006920	Abtrag in [mm/a] bzw. in [µm/a]:			0,000577 0,577

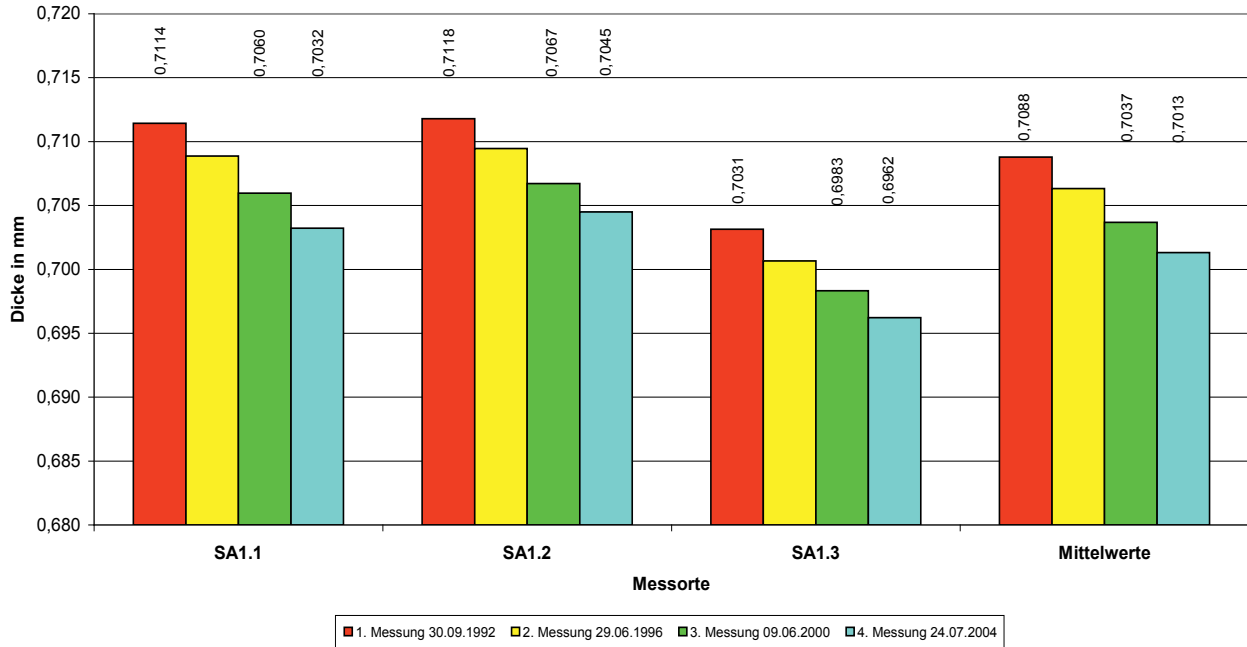
Blatt 48



Schornsteinabdeckung 1 (SA 1) - Orientierung: Südost - Dachneigung: 4 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C - Mittelwerte sind zeitkorrigiert (gelb unterlegt)

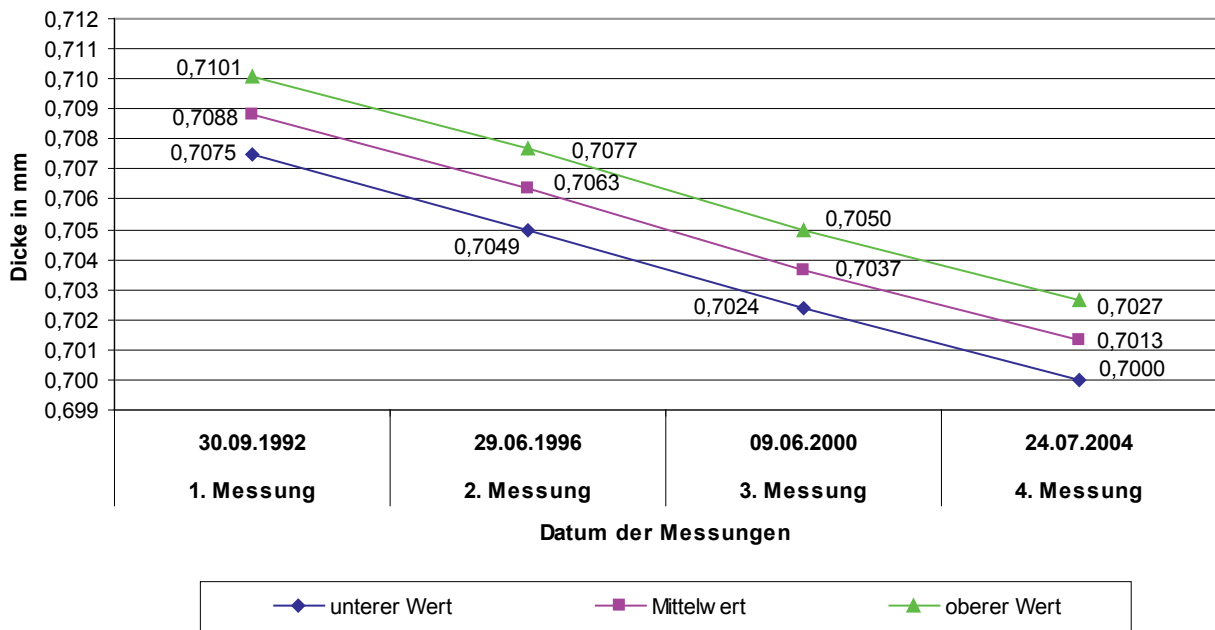
Messorte SA 1	Erste Messung: 30.09.1992		Zweite Messung: 29.06.1996		Dritte Messung: 09.06.2000		Vierte Messung: 24.07.2004		
Messpunkte		Temp. korrigierte Werte [mm]		Temp. korrigierte Werte [mm]		Temp. korrigierte Werte [mm]		Temp. korrigierte Werte [mm]	
SA 1 (MP01)		0,717085		0,706763		0,703322		0,700322	MP 01
Messpunkt 02		0,713085		0,706763		0,705322		0,701322	MP 02
Messpunkt 03		0,710085		0,706763		0,705322		0,700322	MP 03
Messpunkt 04		0,715085		0,711763		0,709322		0,700322	MP 04
Messpunkt 05		0,714085		0,707763		0,703322		0,696322	MP 05
Messpunkt 06		0,712085		0,709763		0,707322		0,702322	MP 06
Messpunkt 07		0,706085		0,710763		0,703322		0,703322	MP 07
Messpunkt 08		0,707085		0,715763		0,710322		0,703322	MP 08
Messpunkt 09		0,711085		0,707763		0,703322		0,705322	MP 09
Messpunkt 10		0,711085		0,709763		0,706322		0,701322	MP 10
Messpunkt 11		0,711085		0,708763		0,705322		0,703322	MP 11
Messpunkt 12		0,712085		0,713763		0,709322		0,707322	MP 12
Messpunkt 13		0,704085		0,704763		0,707322		0,702322	MP 13
Messpunkt 14		0,714085		0,704763		0,706322		0,704322	MP 14
Messpunkt 15		0,712085		0,706763		0,706322		0,702322	MP 15
Messpunkt 16		0,709085		0,712763		0,710322		0,704322	MP 16
Messpunkt 17		0,705085		0,702763		0,702322		0,709322	MP 17
Messpunkt 18		0,714085		0,708763		0,702322		0,709322	MP 18
Messpunkt 19		0,718085		0,708763		0,704322		0,705322	MP 19
Messpunkt 20		0,712085		0,711763		0,708322		0,702322	MP 20
SA 2 (MP01)		0,709085		0,710763		0,707322		0,707000	MP 01
Messpunkt 02		0,711085		0,712763		0,710322		0,707000	MP 02
Messpunkt 03		0,710085		0,714763		0,705322		0,706000	MP 03
Messpunkt 04		0,712085		0,704763		0,702322		0,703000	MP 04
Messpunkt 05		0,711085		0,710763		0,706322		0,709000	MP 05
Messpunkt 06		0,714085		0,711763		0,708322		0,709000	MP 06
Messpunkt 07		0,714085		0,714763		0,707322		0,706000	MP 07
Messpunkt 08		0,707085		0,698763		0,707322		0,700000	MP 08
Messpunkt 09		0,709085		0,711763		0,709322		0,704000	MP 09
Messpunkt 10		0,712085		0,711763		0,708322		0,700000	MP 10
Messpunkt 11		0,712085		0,713763		0,705322		0,701000	MP 11
Messpunkt 12		0,712085		0,701763		0,707322		0,703000	MP 12
Messpunkt 13		0,705085		0,711763		0,707322		0,707000	MP 13
Messpunkt 14		0,712085		0,711763		0,705322		0,708000	MP 14
Messpunkt 15		0,712085		0,704763		0,710322		0,711000	MP 15
Messpunkt 16		0,712085		0,701763		0,699322		0,710000	MP 16
Messpunkt 17		0,714085		0,712763		0,709322		0,699000	MP 17
Messpunkt 18		0,716085		0,713763		0,707322		0,700000	MP 18
Messpunkt 19		0,716085		0,711763		0,710322		0,699000	MP 19
Messpunkt 20		0,714085		0,702763		0,700322		0,701000	MP 20
SA 3 (MP01)		0,701085		0,699763		0,697322		0,698864	MP 01
Messpunkt 02		0,703085		0,703763		0,699322		0,700864	MP 02
Messpunkt 03		0,705085		0,698763		0,699322		0,689864	MP 03
Messpunkt 04		0,705085		0,699763		0,689322		0,700864	MP 04
Messpunkt 05		0,706085		0,702763		0,698322		0,699864	MP 05
Messpunkt 06		0,706085		0,702763		0,698322		0,700864	MP 06
Messpunkt 07		0,704085		0,700763		0,707322		0,689864	MP 07
Messpunkt 08		0,703085		0,700763		0,698322		0,702864	MP 08
Messpunkt 09		0,703085		0,700763		0,698322		0,696864	MP 09
Messpunkt 10		0,702085		0,699763		0,703322		0,691864	MP 10
Messpunkt 11		0,704085		0,700763		0,697322		0,700864	MP 11
Messpunkt 12		0,701085		0,698763		0,697322		0,694864	MP 12
Messpunkt 13		0,703085		0,702763		0,701322		0,692864	MP 13
Messpunkt 14		0,704085		0,702763		0,701322		0,699864	MP 14
Messpunkt 15		0,701085		0,702763		0,697322		0,695864	MP 15
Messpunkt 16		0,702085		0,699763		0,696322		0,692864	MP 16
Messpunkt 17		0,700085		0,698763		0,701322		0,690864	MP 17
Messpunkt 18		0,699085		0,699763		0,699322		0,693864	MP 18
Messpunkt 19		0,705085		0,700763		0,696322		0,694864	MP 19
Messpunkt 20		0,704085		0,696763		0,689322		0,694864	MP 20
Mittelwert		0,708785		0,706329		0,703672		0,701312	
Max		0,718085		0,715763		0,710322		0,711000	
Min		0,699085		0,696763		0,689322		0,689864	
Standardabw.		0,004941		0,005369		0,005015		0,005219	
Diff. Max - Min		0,019000		0,019000		0,021000		0,021136	
Vertrauensber. Methode 1	unterer Wert	0,707510		0,704944		0,702378		0,699965	
	Mittelwert	0,708785		0,706329		0,703672		0,701312	
Aussagew. p=95% n=60; f=59; t=2,0	oberer Wert	0,710060		0,707715		0,704966		0,702659	
	1/2 Range (+/-)	0,001275		0,001386		0,001294		0,001347	
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 2. Messung:				0,002455					
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 2. Messung - 3. Messung:				0,002657					
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 3. Messung - 4. Messung:				0,002360					
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 3. Messung:				0,005113					
Differenz der temperaturkorrigierten Mittelwerte 1. Messung - 4. Messung:				0,007473					
Vertrauensber. Methode 2	unterer Wert	0,708482		0,706026		0,703369		0,701009	
	Mittelwert	0,708785		0,706329		0,703672		0,701312	
u <sub>e</sub> =k u <sub>gt</sub> ; k=2	oberer Wert	0,709088		0,706633		0,703975		0,701615	
Lage der Messorte von SA 1: Genauere Angaben hierzu, siehe bei den einzelnen Messorten									
					Mittelwert des Abtrags pro Jahr (zeitkorrigiert) in [µm]:		0,665		
					Mittelwert des Abtrags pro Jahr (zeitkorrigiert) in [µm]:		0,632		

Objekt 14: Lehrbäckerei OT Rostrup, Bad Zwischenahn  
 Messwerte und Mittelwerte ohne Vertrauensbereich  
 Temperaturkorrigiert - nicht zeitkorrigiert  
 Messwerte der Schornsteinabdeckung SA (SA1.1 - SA 1.3)  
 Orientierung SO - Neigung 4 °



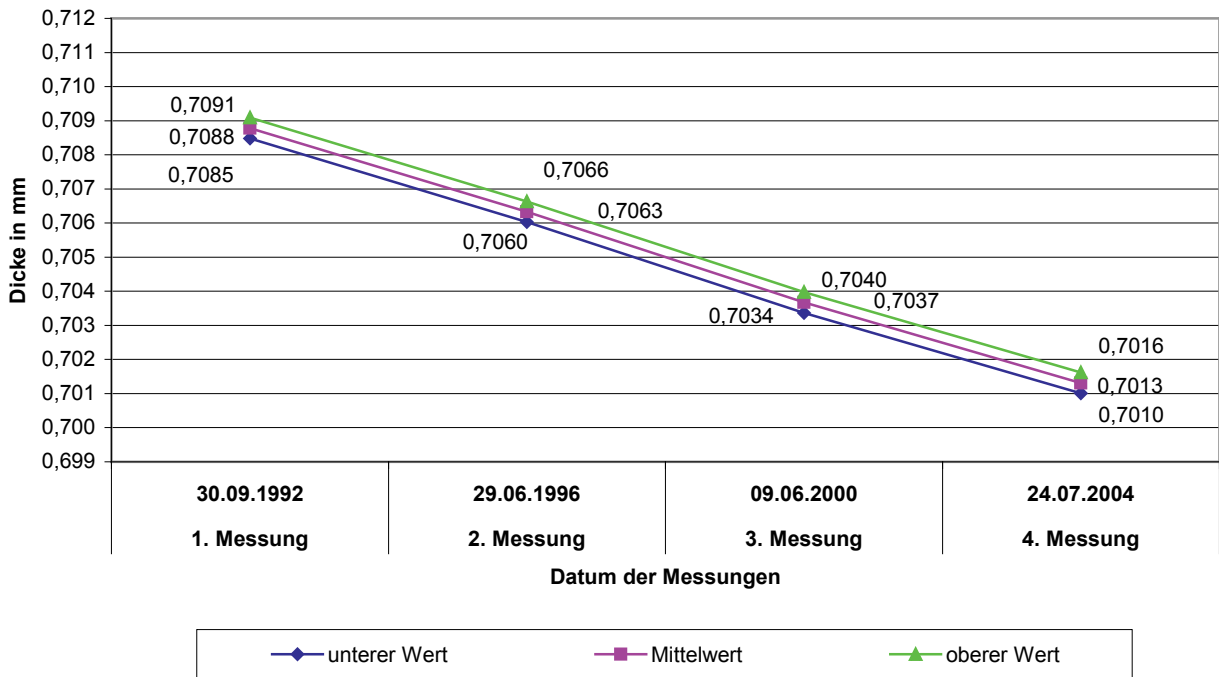
Blatt 50

Objekt 14: Lehrbäckerei OT Rostrup, Bad Zwischenahn  
 Mittelwerte mit Vertrauensbereich Schornsteinabdeckung  
 Temperaturkorrigiert - nicht zeitkorrigiert  
 Orientierung SO - Neigung 4 °  
**Methode 1: "t-Verteilung", n=60;f=59;t=2,0; statist. Sicherheit S=95 %**



Blatt 51

**Objekt 14: Lehrbäckerei OT Rostrup, Bad Zwischenahn**  
**Mittelwerte mit Vertrauensbereich Schornsteinabdeckung SA1 (SA1.1-SA1.3)**  
**Temperaturkorrigiert - nicht zeitkorr.**  
**Orientierung SO - Neigung 4 °**  
**Methode 2: "u<sub>E</sub>-Funktion", mit k=2; Signifikanzniveau 95 %**



Blatt 52

Schornsteinabdeckung 1 (SA 1) - Orientierung: Südost - Dachneigung: 4 ° - Nullpunkt für Korrekturwert: 32 °C

**Temperaturkorrigierte und zeitkorrigierte (normierte) Grenzwerte für den Vertrauensbereich gemäß Methode 2**

**Fall A (Methode 2)**

Erste Messung oberer Grenzwert minus letzte Messung unterer Grenzwert in [mm]

Erste Messung oberer Grenzwert	Letzte Messung unterer Grenzwert	Ergebnis [mm]	Mittelwert des Abtrags pro Jahr (12 Jahre, zeitkorrigiert)	
			[mm/a]	[µm/a]
0,709088	0,701009	0,008079	0,000684	0,683716

**Fall B (Methode 2)**

Erste Messung oberer Grenzwert minus letzte Messung unterer Grenzwert in [mm]

Erste Messung oberer Grenzwert	Letzte Messung unterer Grenzwert	Ergebnis [mm]	Mittelwert des Abtrags pro Jahr (12 Jahre, zeitkorrigiert)	
			[mm/a]	[µm/a]
0,708482	0,701615	0,006866	0,000581	0,581076

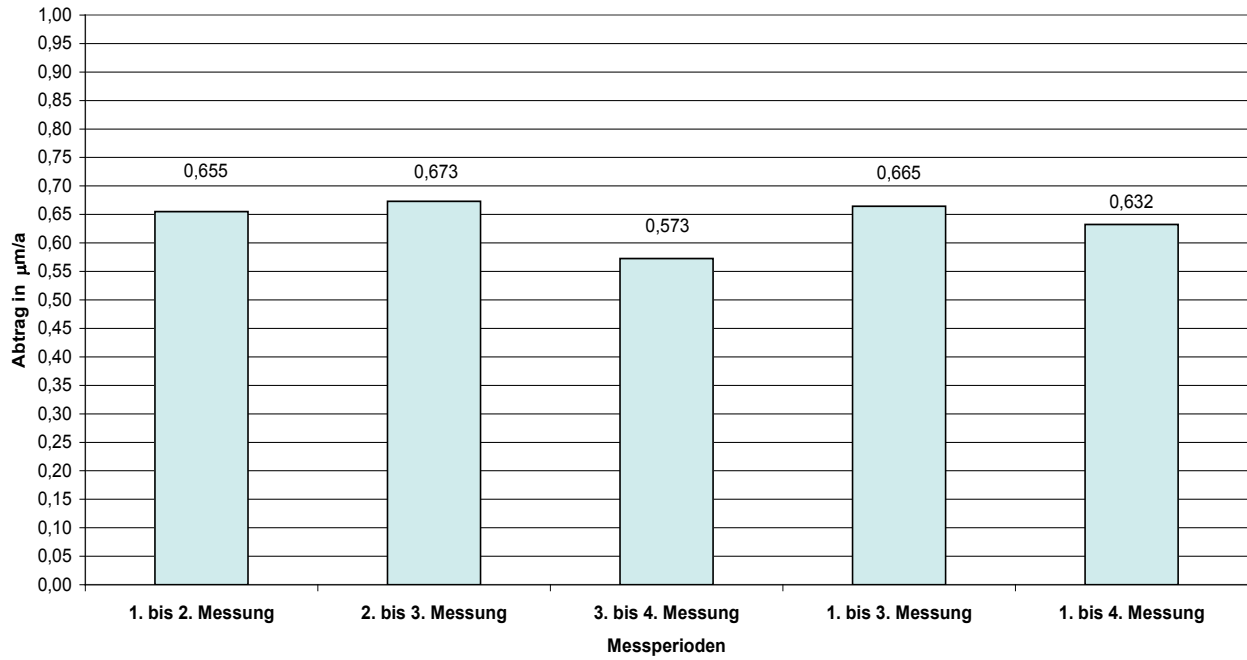
**Ergebnis**

Der wahre Mittelwert des Abtrags pro Jahr liegt zwischen:

0,000581076	Werte in [mm/a] und	0,000683716
0,581	Werte in [µm/a] und	0,684

Blatt 53

Objekt 14: Lehrbäckerei OT Rostrup, Bad Zwischenahn  
Temperaturkorrigierte und zeitkorrigierte (normierte) Dickenänderung  
Angabe des Abtrags in  $\mu\text{m/a}$   
Messtermine 1992 - 1996 - 2000 - 2004  
Schornsteinabdeckung SA1 - Orientierung Südost - Neigung 4 °



Blatt 54

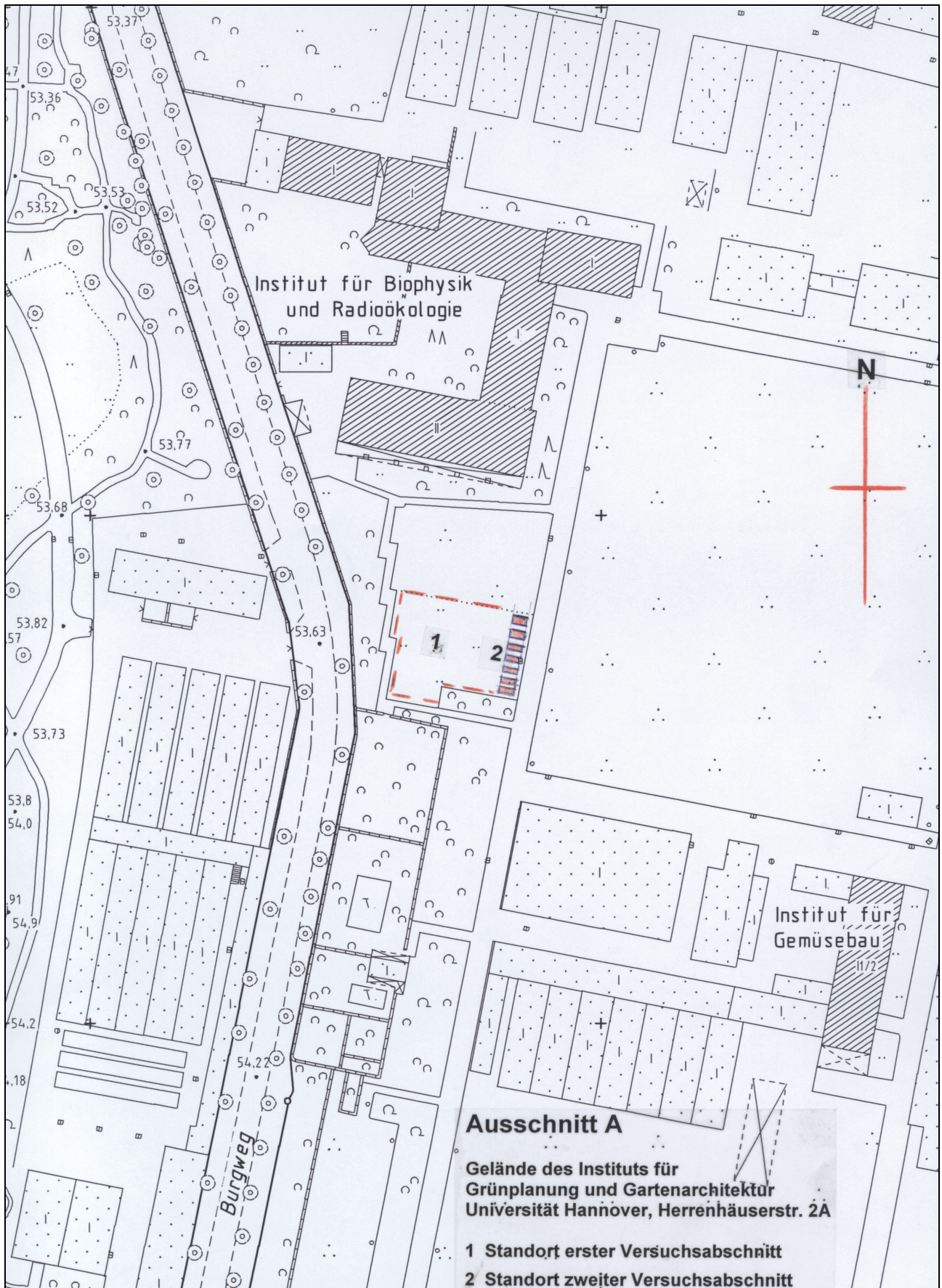


## 8.2 Kartenmaterial



**Abbildung 153:** Ausschnitt aus der Stadtkarte Hannover - 1:20 000 (verkleinert auf 1: 50 000)  
© Landeshauptstadt Hannover, Geoinformation.  
Versuchsflächen des Standortes A ■ - Versuchsflächen des Standortes B ■.  
Mess-Stationen zur lufthygienischen Überwachung (LÜN) des Niedersächsischen Landesamts für Ökologie ■.






**Abbildung 154:** Stadtkarte 1:1000, © Landeshauptstadt Hannover, Bereich Geoinformation.  
 Versuchsflächen des Standortes A  - Erster und zweiter Versuchsabschnitt.





Abbildung 155: Standort B ■. Quelle: © Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung. AZ.: 43/05/103/10.

Herausgeber: Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen - Katasteramt Hannover  
 Diese amtliche Karte und die ihr zugrunde liegenden Angaben des amtlichen Vermessungswesens sind geschützt durch das Niedersächsische Gesetz über das amtliche Vermessungswesen (NVermG) sowie durch das Gesetz über Urheberrecht und verwandte Schutzrechte (Urheberrechtsgesetz) in der jeweils gültigen Fassung. Die Verwertung für nichteigene oder wirtschaftliche Zwecke und die öffentliche Wiedergabe ist nur mit Erlaubnis des LGLN zulässig.

 ©2013



## 9 Quellen- und Literaturverzeichnis

- [1] *Berke, M., Krautkrämer GmbH & Co. Hürth: Wanddickenmessung mit Ultraschall, 2. Auflage (1992).*
- [2] *Bunte, G.: Rauigkeitsmessungen an Titanzink-Blechen, Oktober 2000, bisher unveröffentlicht.*
- [3] *Demtröder, W.: Laser Spectroscopy, Springer Verlag.*
- [4] *Depositions-Meßnetz Niedersachsen: Untersuchung von Niederschlagswasser 1988 - 1990, Oktober 1992 und Belastung von Wasser und Boden durch Schadstoffe in Luft und Niederschlägen, Okt. 1993, Niedersächsisches Landesamt für Ökologie.*
- [5] *Deutsch, V.; Platte, M.; Vogt, M.: Ultraschallprüfung. Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, 1997.*
- [6] *DIN EN 14127 Zerstörungsfreie Prüfung - Dickenmessung mit Ultraschall; Deutsche Fassung EN 14127:2011.*
- [7] *Faller, M.; Werner, R. und Richner, P. : Bleche und Umwelt, Teil 1 Projektbeschreibung, Literaturüberblick; Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA); Dübendorf 1998.*
- [8] *Faller, M.: Metaldächer und Metallfassaden: Umweltbelastung durch Korrosionsprodukte? In: Schriftenreihe EMPA-Akademie, S. 78 – 87.*
- [9] *Faller, M.: Metallabtrag und Metallabschwemmung von Metaldächern - Untersuchungsergebnisse der Freibewitterungsversuche in der Schweiz. In: BAUMETALL 4/2001, S. 52 - 59.*
- [10] *Förster, J.; Quek, U.: Trace Metals in Roof Runoff, Water, Air and Soil Pollution 68 (1993), S. 373 - 389*
- [11] *Holleman, A. Fr., Wiberg, E.: Lehrbuch der Anorganischen Chemie. 102. Auflage, deGryter, Berlin 2007, ISBN 978-3-11-017701-1*
- [12] *Hullmann, H. (Hrsg.): Natürlich oxidierende Metalloberflächen. Umweltauswirkungen beim Einsatz von Kupfer und Zink in Gebäudehüllen. Fraunhofer IRB Verlag 2002. ISBN: 3-8167-6218-2.*
- [13] *Hullmann, H., Willkomm, W.: Korrosion und Abschwemmungen von Metaldächern. In: DBZ 6/2003, S. 76 - 80.*
- [14] *Jörß, W.; Handke, V.: Emissionsschätzung für SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>; NMVOC und NH<sub>3</sub> in Deutschland 2000 - 2020, Werkstatt Bericht Nr. 59, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung IZT. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, UFOPLAN 2001 - FKZ 200 43 254, Berlin, September 2003, ISBN 3-929173-59-X.*
- [15] *Klass, G., von: Stolberger Zink - Die Geschichte eines Metalls. Aachen: Stolberger Zink AG, 1956.*
- [16] *Knotková, D., Kreislova, K., Boschek, P.: Convention on Long Range Transboundary Air Pollution, UN / ECE International Co-operative Programme on Effects on Materials, including History and Cultural Monuments, Report No. 19, "Trends of Corrosivity based on Corrosion Rates an Pollution Data, Mistilling 195.*
- [17] *Korenromp, R.H.J.; Hollander, J.C.Th.: Diffuse emmissions of zinc due to atmospheric of zinc and zinc coated (galvanised) materials, Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO), TNO-MEP - 99/441, 1999.*

- [18] *Krautkrämer*: Bedienungsanleitung für das CL 304, Id.-Nr. 28909-6.3120 2/90.
- [19] *Krautkrämer, J.; Krautkrämer, H.*: Werkstoffprüfung mit Ultraschall, 5. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1986.
- [20] *Kühn-Stoffers, P.*: Qualitätssicherung in der Analytik - Internetvorlage SS 2004 Script zur Vorlesung „Grundlagen der Analytik II“, Universität Hannover.
- [21] *Landolt-Börnstein*: Band 4b, Springer Verlag.
- [22] *Lehmann, B.* : Freibewitterungsverhalten von Dächern mit Metalldeckung - Untersuchung zur Zinkabgabe von Dachdeckungen mit Titanzink, Promotion, Universität Hannover, 1995.
- [23] *Leuenberger-Minger, A.U.; Faller, M.; Richner, P.*: Runoff of copper and zinc caused by atmospheric corrosion. In *Materials and Corrosion* 53, Site 157 bis 164 (2002).
- [24] *Lide, D. R.*: CRC Handbook of Chemistry und Physics, CRC Press.
- [25] *Matthies, K, u. a.*: Dickenmessungen mit Ultraschall. Herausgeber: Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V., 2. überarbeitete Auflage - Berlin: Verlag für Schweißen und Verwandte Verfahren, DVS-Verlag, 1998.
- [26] Neumann, F.: Sachgerechte Anwendung von Titanzink. In: Tagungshandbuch, GfKORR-Tagung in Würzburg. 2004. ISBN 3-935406-11-8 (GfKORR - Gesellschaft für Korrosionsschutz e. V.), S. 71 - 75.
- [27] *Niedersächsisches Landesamt für Ökologie*: Lufthygienisches Überwachungssystem Niedersachsen. Jahresbericht 2000. Hrsg.: Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ) An der Scharlake 39, 31135 Hildesheim.
- [28] Nürnberger, U.: Korrosionsverhalten von Zink unter baupraktischen Verhältnissen. In: Tagungshandbuch, GfKORR-Tagung in Würzburg. 2004. ISBN 3-935406-11-8. (GfKORR - Gesellschaft für Korrosionsschutz e. V.), S. 4 - 9.
- [29] *Odnevall Wallinder, I.; Verbiest, P.; He, W.; Leygraf, C.*: Effects of exposure direction and inclination on the runoff rates of zinc an copper roofs. In: *Corrosion Science* 42 (2000).
- [30] *Orzessek, K.; van Tilborg, W.J.M.; Reimerink, G.H.J.*: Zink-Abtrag deutlich vermindert. In *Metall* 5/96.
- [31] *Othmer, J.*: Dachdeckungen mit Titanzink. Das unterseitige Korrosionsverhalten von Titanzinkbedachungen in Verbindung mit salzhaltig imprägnierten Holzbauteilen, Promotion Universität Hannover, 1995.
- [32] *Paßmann, W.*: Auswerten von Messreihen, 2. unveränderte Auflage 1974, Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. Ffm. Berlin, Köln, Frankfurt (M). Beuth-Vertrieb GmbH 1974, ISBN 3.410 32719 3.
- [33] *Pohl, W.-H.*: Belüftete Dächer mit Metalldeckung, Feuchteschutz, bauphysikalische Grundlagen, Fallstudien, Beispiele; RHEINZINK-Architekturreihe Band 1, Hrsg.: RHEINZINK GmbH, 4354 Datteln 1991.
- [34] *Pohl, W.-H.*: Dächer und Fassaden aus Metall. Der technisch - bauphysikalische Aspekt. Vortragsveranstaltung anlässlich der SWISSBAU 89, Veranstalter und Herausgeber der Veröffentlichung Rheinzink GmbH, D-Datteln, S. 35 - 77.
- [35] *Pohl, W.-H.; Behr, R.*: Titanzink - Korrosionsverhalten bei atmosphärischer Beanspruchung. In: *Metall*, Internationale Fachzeitschrift für Metallurgie, Giesel Verlag, 5/1999, S. 254 - 259.

- [36] *Pohl, W.-H.*: Konstruktive und bauphysikalische Problemstellungen bei leichten Dächern. In: Aachener Bausachverständigentage 1987, Wiesbaden Bauverlag, 1987, S. 30 - 52.
- [37] *Priggemeyer, S.*: System zur Verbesserung der Umweltqualität von Dachablaufwässern, Osnabrück: Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Abschlußbericht AZ 10730, 1998.
- [38] *Priggemeyer, Sonja; Priggemeyer, Stefan*: Metallkonzentrationen in Dachablaufwässern. In: Metall, 53. Jhrg. 4/99.
- [39] *Reich, M.; Schmidt, H.*: Abschlussbericht, Bestimmung des thermischen Expansionskoeffizienten von Titan-Zinkblechen, Laserzentrum Hannover, November 1991, bisher unveröffentlicht.
- [40] *Rheinzink (Hrsg.)*: RHEINZINK - Anwendung in der Architektur. 3. aktualisierte Auflage 2011. Datteln: Rheinzink.
- [41] *Rinne, H.; Mittag, H.-J.*: Statistische Methoden der Qualitätssicherung, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, 1994.
- [42] *Schikorr, G.*: Die Bedeutung des Schwefeldioxyds für die atmosphärische Korrosion der Metalle, Werkstoffe und Korrosion Heft 6 (1964), S. 457-463.
- [43] *Schikorr, G.*: Verhalten von Zink an der Atmosphäre, Band 1, Zinkberatung e.V. (Hrsg.) Düsseldorf (1964),
- [44] *Schönnenbeck, M.*: Zink am Bau – Wechselwirkung mit der Umwelt. In: Tagungshandbuch, GfKORR-Tagung in Würzburg. 2004. ISBN 3-935406-11-8. (GfKORR - Gesellschaft für Korrosionsschutz e. V.), S. 76 - 80.
- [45] *Schönnenbeck, M., Neumann, F.*: Geschichte des Zinks, seine Herstellung und seine Anwendung, Bericht Report, Hrsg. RHEINZINK, Datteln.
- [46] *Spengelin, F.*: Dächer und Fassaden aus Metall. Der gestalterische Aspekt. Vortragsveranstaltung anlässlich der SWISSBAU 89, Veranstalter und Herausgeber der Veröffentlichung Rheinzink GmbH, D-Datteln, S. 3 - 33.
- [47] *Tabellenbuch Metall*, mit Formelsammlung, EUROPA LEHRMITTEL, 45. Auflage, 2011, ISBN-10: 3808517255.
- [48] *Touloukian, Y. S. et al.*: Thermophysical Properties of Mater Vol. 12, IFI/Plenum.
- [49] *Vogt, C.*: Protokoll, Bestimmung der Korrosionsprodukte auf bewitterten Zinkblechen, 2013. Institut für Anorganische Chemie, Lehrgebiet für Analytische Chemie, Universität Hannover.
- [50] *Welz, B., Sperling, M.*: Atomabsorptionsspektrometrie, Wiley-VCH, Weinheim 1997.
- [51] *Wilmers, F; Scholz, K.-D.; Katzschke, D.*: Stadtklima und räumlich Planung - Klimaökologische Funktion und Beurteilung der Freiräume der Kernzone des Großraums Hannover, Zweckverband Großraum Hannover, Beiträge zur regionalen Entwicklung, Heft 17 (1987).

## 10 Abbildungsnachweise

Die in dieser Arbeit aufgeführten Darstellungen (Fotos, Diagramme, Grafiken, Tabellen usw.) wurden einheitlich mit „Abbildungen“ bezeichnet. Diese Arbeit enthält 155 Abbildungen. Alle Abbildungen, die in der nachfolgenden Aufstellung **nicht** angegeben sind, stammen vom Verfasser dieser Arbeit.

Die Abbildungen: 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 14 - 15 - 16 - 17 - 25 - 63 - 64 hat die Firma Rheinzink GmbH & Co. KG, Bahnhofstr. 90, 45711 Datteln für diese Arbeit zur Verfügung gestellt.

Die Abbildung 19 hat die Firma GE Sensing & Inspection Technologies GmbH, Robert-Bosch-Str. 3, 50354 Huerth, für diese Arbeit zur Verfügung gestellt.

Die Abbildungen 27 - 29 - 30 stammen von Helga von Wilucki, Hannover.

Die Abbildungen 32 - 33 - 34 - 35 hat das Laserzentrum e.V., Hollerithallee 8, 30419 Hannover, für diese Arbeit zur Verfügung gestellt.

Die Abbildungen 53 - 54 - 55 hat B. Lehmann [Lit. 22] zur Verfügung gestellt.

Die Abbildungen 139 hat das Institut für Anorganische Chemie, Lehrgebiet für Analytische Chemie, Universität Hannover [Lit. 49] zur Verfügung gestellt.

Die Abbildung 153 - 154 hat der Fachbereich Planen und Stadtentwicklung, Geoinformation, der Landeshauptstadt Hannover für diese Arbeit zur Verfügung gestellt.

Die Abbildung 155 hat das Landesamt für Geoinformation und Landesentwicklung Niedersachsen (LGLN) Regionaldirektion Hannover für diese Arbeit zur Verfügung gestellt.

## Lebenslauf

### Persönliche Angaben

Name: Wolf-Hagen Pohl

Geboren: 6. April 1939 in Hirschberg/Schlesien

Eltern: Leonhard Pohl  
Anna Ida Pohl, geb. Gläser

Familienstand: verheiratet seit 1970 mit Renate Pohl, geb. Kix,  
verwitwet seit 2010

Kinder: Pirko und Wibke Pohl

### Ausbildung

1947 - 1951 Grundschole Rosswein/Sachsen und Bodenteich/Kreis Uelzen

1951 - 1957 Realschole in Wittingen und Hannover

1957 - 1959 Maurerlehre

1959 - 1960 Tätigkeit als Maurer

1960 - 1963 Studium der Fachrichtung Hochbau,  
Staatliche Ingenieurschole für Bauwesen, Nienburg/Weser,  
Abschluss Hochbauingenieur mit Hochschulreife  
(Staatlicher Prüfungsausschuss)

1963 Sechs Monate Bürotätigkeit, Architekturbüro Schneider, Hannover

1963 - 1964 Zwei Semester Studium der Fachrichtung Bauingenieurwesen,  
Technische Universität Hannover

1964 - 1971 Studium der Fachrichtung Architektur, Technische Universität Hannover.  
Abschluss Diplomingenieur  
Nach dem Vorexamen Aufnahme in die Studienstiftung des  
Deutschen Volkes

### Berufliche Tätigkeit

1971 Sechs Monate Bürotätigkeit, Architekturbüro Prof. Böhme, Hannover

1971 - 1975 Wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Baukonstruktion und  
Entwerfen, Fachbereich Architektur, Technische Universität Hannover

1975 Ernennung zum Wissenschaftlichen Rat und Professor,  
Fachgebiet Baustoffkunde und Bauphysik, Fachbereich Architektur,  
Technische Universität Hannover

Seit Oktober 2003 Universitätsprofessor im Ruhestand

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich, Wolf-Hagen Pohl, versichere hiermit an Eides statt:

- o dass ich die Dissertation selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe,
- o dass die Arbeit noch nicht als Dissertation oder Prüfungsarbeit vorgelegt wurde,
- o dass die Dissertation noch nicht veröffentlicht wurde.

Ein Teilbereich der in dieser Arbeit behandelten Thematik wurde bereits mit der Promotion von B. Lehmann (Ergebnisse aus den Jahren 1990 bis 1993) veröffentlicht. Diese Arbeit habe ich als Gutachter betreut und beurteilt, siehe [Lit. 22].

In der Zeitschrift Metall sind die Messergebnisse (Zinkfrachten) aus acht Jahren (1990 bis 1998) veröffentlicht worden, siehe [Lit. 35].

Hannover, den 15.12.2013

(Wolf-Hagen Pohl)