

# LIS-Berichte

Nr. 106

Sachverständigenanhörung zum Thema  
"Immissionsbedingte Materialschäden"

Herausgeber



ISSN 0720-8499

1992

---

**Sachverständigenanhörung zum Thema  
"Immissionsbedingte Materialschäden"**

Wortprotokoll zur Veranstaltung vom 27. bis 29. Mai 1991 in Essen

Redaktion: Dipl.-Biol. Ingrid Köth-Jahr  
Landesanstalt für Immissionsschutz NRW

---

## Inhalt

	Seite
Zusammenfassung	7
Summary	9
1. Vorwort	10
2. Veranstaltungsprogramm	11
3. Begrüßung und Eröffnung der Veranstaltung	12
4. Sachverständigenanhörung	
Fragenkomplex Block A: "Situationsanalyse"	15
Fragen 1 und 2	15
Fragen 3 und 4	53
Fragenkomplex Block B: "Zielgerichtete Untersuchungen"	67
Frage 1	67
Frage 2	119
Fragen 3 und 4	147
5. Veranstaltungsablauf	169
6. Teilnehmerverzeichnis	172

# Sachverständigenanhörung zum Thema "Immissionsbedingte Materialschäden"

- Wortprotokoll zur Veranstaltung vom 27. bis 29. Mai 1991 in Essen -

## Zusammenfassung \*)

Luftverunreinigungen können an Materialien, Werkstoffen, Sachgütern und Kunstgegenständen Schäden hervorrufen oder Alterungsprozesse beschleunigen, wie in zahlreichen Untersuchungen in der Vergangenheit bereits bewiesen. Im Zuge der allgemeinen und öffentlichen Diskussion über die Belastung der Luft und ihrer Folgen findet das Auftreten immissionsbedingter Materialschäden vermehrt Aufmerksamkeit, in Nordrhein-Westfalen insbesondere im Hinblick auf die sich seit einigen Jahren verändernde Immissionssituation mit abnehmenden Schwefeldioxid- und vergleichsweise hohen Stickstoff-Einträgen.

Die von der Landesanstalt für Immissionsschutz im Mai 1991 durchgeführte Sachverständigen-Anhörung "Immissionsbedingte Materialschäden" diente dem Zweck, einen Überblick zum aktuellen Wissensstand und zu derzeitigen Forschungsaktivitäten in diesem Bereich zu erhalten sowie möglichst umfassend den prioritären Forschungsbedarf darzustellen. Sie zeigte, daß in einigen Bereichen der Materialforschung zwar interessante Einzelergebnisse über die Wirkung von Luftverunreinigungen auf Materialien vorliegen, in anderen hingegen noch erhebliche Forschungslücken bestehen, insbesondere in fachübergreifenden Forschungsbereichen, die eines integrierenden und auf die besonderen Belange des Immissionsschutzes abgestimmten Untersuchungsansatzes bedürfen.

Ein deutliches Forschungsdefizit konnte im Bereich von interdisziplinären Studien über Wechselwirkungen zwischen Immissionen, Materialien und dem Vorkommen und Verhalten von Mikroorganismen festgestellt werden. Der inzwischen erbrachte Nachweis, daß Mikroorganismen an der immissionsbedingten Wirkung auf Materialien beteiligt sind, muß durch weitere quantitative Untersuchungen ergänzt werden. Hinsichtlich einer genaueren Differenzierung von Schadursachen sollten die Untersuchungen so strukturiert werden, daß der Anteil immissionsbedingter Materialschäden gegenüber den nicht anthropogen bedingten bestimmt werden kann.

Weiterer konkreter Forschungsbedarf wird u.a. in der Entwicklung von Meßmethoden und der Erstellung eines Emissions- bzw. Immissionskatasters für Ammoniak und Ammoniumverbindungen sowie für organische Luftverunreinigungen gesehen. Zukünftige Forschungsschwerpunkte werden bestehen in der Untersuchung der Entstehung von Biofilmen unter atmosphärischen Bedingungen und der Aufklärung der dadurch bedingten direkten und indirekten Wirkungen auf Materialien sowie der Identifizierung spezifisch aktiver Mikroorganismen und ihrer Anpassungsfähigkeit an veränderte Umweltsituationen. Zudem sollten anwendungsspezifische, standardisierte Prüfverfahren entwickelt werden, die zur Auswahl von immissionsresistenteren Materialien führen.

Eine Fülle weiterer für die Einrichtung eines Forschungsprogramms "Immissionsbedingte Materialschäden" bedeutender Informationen sind in dem Verlauf der Anhörung übermittelt worden. Hilfreich sind diese ebenfalls für die Erstellung des Forschungsplans, der im Zuge der Einrichtung des Forschungsprogramms entwickelt wird.

Dieser Forschungsplan wird als zentraler Punkt die Frage zum Thema haben, in welchem Umfang und in welcher Art Materialschäden im Land NRW auftreten, die ggf. auf Luftverunreinigungen zurückzuführen sind (phänomenologisch-epidemiologischer Untersuchungsteil) und wie der Immissionseinfluß tatsächlich zu belegen ist (analytisch-experimenteller Untersuchungsteil). Abhilfemaßnahmen passiver Art werden, ähnlich wie bei der Waldschadensforschung, nicht im Vordergrund der Betrachtung stehen, da es zur Untersuchung dieser Fragestellung andere Institutionen mit entsprechendem fachlichen Auftrag gibt.

Zur Ausfüllung der oben genannten Ziele sollen eigene Arbeiten der LIS mit Forschungsaufträgen an externe Institute in sinnvoller Weise miteinander verzahnt werden. Die LIS hat hierzu bereits begonnen, einen Langzeit-Expositionsversuch mit Natursteinen am Standort Duisburg sowie auf dem Gelände der LIS auszuwerten. Ferner hat sie in speziell ausgerüsteten Expositions-kammern mit

\*) von Ingrid Köth-Jahr und Dr. Bernhard Prinz



---

ungefilterter und gefilterter Luft an gering und hoch mit Luftverunreinigungen belasteten Standorten eine Reihe von Materialproben exponiert, um zunächst grundsätzliche Fragen zum Immissionsseinfluß zu klären. Auch hierfür konnten aus der

Anhörung wichtige Anregungen verwertet werden. Insbesondere ist erkennbar geworden, wo der LIS kompetente Partner für gemeinsame Untersuchungen auf dem Gebiet immissionsbedingter Materialschäden zur Verfügung stehen.

---

## Summary

### The hearing of experts on the subject "Material damage due to ambient air pollution". Protocol of the event May 27-29, 1991 in Essen

Air pollutants may cause damage of materials in buildings, bridges and art work or they may accelerate ageing processes as has been found by numerous studies in the past. In the wake of the general and public discussion of air pollution and its consequences, material damage caused by ambient air pollutants has received increased attention. North-Rhine Westphalia on its part has been focusing on the changes in ambient pollution over the past years, which are marked by decreasing emissions of sulfur dioxide and rather high nitrogen emissions.

The hearing conducted by the State Agency for Air Quality Control and Noise Abatement (LIS) in May of 1991 on "Material Damage Caused by Air Pollutants" served the purpose to gain insight into existing knowledge and ongoing research in this subject and to get exhaustive informations on the most urgently needed future research activities. The hearing revealed that in some areas interesting results on the effects of air pollutants on materials are available while in other areas there are considerable gaps. Particularly, research touching on several disciplines requires an integrated approach that is tuned to the particular needs of protection from ambient air pollution.

A clear lack of research requiring interdisciplinary studies was found to exist with regard to the interactions between ambient air pollution, materials and the presence and behaviour of microorganisms. Recent evidence of microorganisms participating in the effects of air pollutants on materials must be completed by further quantitative studies. A better differentiation between the causes of material damage is needed. To achieve this goal, studies must be structured so that the part air pollutants play can be set off from non-anthropogenic causes of material damage.

In addition, measurement methods for ammonia, ammonium compounds, and organic air pollutants

must be developed and inventories of the emissions and atmospheric concentrations of these substances are required. Moreover, future research should focus on the growth of biological matter on material under atmospheric conditions and clarify the direct and indirect effects this growth has on material. Active microorganisms and their adaptability to altered environmental conditions must be identified. Application-oriented standardized test methods must be developed, which permit the selection of materials less affected by ambient air pollution.

Numerous further informations have been obtained in the hearing which are important to creating a research program on "Material Damage Caused by Ambient Air Pollutants". They are helpful also in working out the research plan prior to initiation of the research program.

This research plan will be centered around the question of the extent and types of material damages in North-Rhine Westphalia which might be due to air pollution (phenomenologic and epidemiologic part of the study) and which are actually caused by air pollution (analytic experimental part of the study). As with the study of forest damage, protective measures of passive nature will not be a primary concern of the research program because there are other institutions with the required expertise to deal with this question.

In order to accomplish the above mentioned goals, own activities by the LIS shall be supported by suitable outside institutions on a research contract basis.

The LIS has already begun with a long-term experiment exposing stones in Duisburg as well as on the premises of the LIS. In addition, a number of material samples are being exposed in specially equipped exposure chambers to filtered and unfiltered air on sites with low and high air pollution to solve basic questions of the influence of air pollutants. In this regard, too, the hearing brought important informations which could be put to use. It has become apparent, where the LIS can turn to find qualified partners for joint studies of material damages caused by air pollutants.

---

## 1. Vorwort

Vom 27. - 29. Mai 1991 wurde von der Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft eine Sachverständigenanhörung zum Thema "Immissionsbedingte Materialschäden" durchgeführt. Ziel dieser Veranstaltung war, einen Überblick über den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse sowie über die derzeit laufenden Forschungs- und Untersuchungsaktivitäten auf dem Gebiet der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Materialien zu erhalten. Hierbei sollte vor allem die veränderte Immissionssituation sowie die zunehmende Bedeutung von organischen Luftverunreinigungen, von Stickstoffverbindungen und von der damit im Zusammenhang stehenden mikrobiellen Aktivitäten diskutiert werden. Die Landesanstalt für Immissionsschutz wird auf der Grundlage dieser Anhörung den prioritären Untersuchungsbedarf innerhalb dieses Forschungsfeldes für den Aufgabenbereich des

Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft definieren und ggf. einen entsprechenden Forschungsplan für weitere Forschungsaktivitäten im Lande NRW erstellen.

Die fachliche Leitung dieser Veranstaltung hatte Herr Dr. B. Prinz. Die umfangreichen technischen Arbeiten zur Aufzeichnung und Erstellung des Wortprotokolls wurden von Frau Dipl.-Ing. G. Garus und Frau H. Mescher durchgeführt. Für die redaktionelle Überarbeitung zeichnet Frau Dipl.-Biol. I. Köth-Jahr mit Unterstützung von Herrn Dr. J. Specovius verantwortlich. Herr Min.-Dgt. Prof. Dr. M. Pütz führte in die Veranstaltung ein.

Den Damen und Herren Sachverständigen ist zu danken, daß sie sich bereit erklärt haben, im Rahmen dieser Anhörung über ihre Erkenntnisse und Erfahrungen so offen zu berichten und zu diskutieren. Der vorliegende LIS-Bericht soll versuchen, diese Erkenntnisse und Erfahrungen für einen größeren Interessentenkreis nutzbar zu machen.

## 2. Veranstaltungsprogramm

Zur Frage der durch Luftverunreinigungen bedingten Materialschäden wurde eine Vielzahl von Untersuchungsprojekten durchgeführt. Um einen strukturierten Überblick über die zahlreichen Einzelergebnisse zu bekommen, wurde es notwendig, die Anhörung durch einen Katalog gezielter Fragen aufzugliedern. Zwei umfangreiche Fragenkomplexe wurden auf diese Weise bearbeitet:

Block A "Situationsanalyse" umfaßt Fragen zur Bestandsaufnahme der vorhandenen Schäden an unterschiedlichen Materialien, die sich sowohl auf das Erscheinungsbild der Schäden als auch auf ihre räumliche Ausdehnung bezieht. Die Materialien, über deren Schädigung berichtet werden sollte, wurden in drei Gruppen eingeteilt:

- nichtmetallische, anorganische Werkstoffe wie Natursteine (Sandstein, Kalkstein etc.), Kunststeine (Beton, Keramik, allgem. Baustoffe) sowie Gebrauchs- und Kunstglas
- metallische Werkstoffe wie Eisen, Stahl, Aluminium, Kupfer, alle Legierungen und Edelmetalle und
- organische Werkstoffe, d.h. Naturstoffe wie Holz, Papier u.ä. sowie Kunststoffe wie Polyester, Polyvinylchlorid, synthetische Anstriche und Beschichtungen (Schutzstoffe).

Fragenkomplex zu Block A: "Situationsanalyse"

1. In welchen Gebieten bzw. an welchen Orten liegen größere immissionsbedingte Schäden an Materialien vor?
2. Wie ist die Art und das Ausmaß der Schäden für den jeweiligen Werkstoff einzuschätzen?
3. Worauf werden die Vermutungen gestützt, daß die Schäden immissionsbedingt sind?
4. Gibt es zeitliche Entwicklungen oder räumliche Gegebenheiten, die auf bestimmte, ggf. neuartige Ursachenfaktoren schließen lassen?

Besondere Berücksichtigung in der Befragung fand die Rolle der Mikroorganismen bei der Materialzerstörung, vor allem bei der Schädigung von Natursteinen, und die Frage nach den zeitlichen oder räumlichen Veränderungen in der Schadensentwicklung, die auf eventuell neuartige Ursachen schließen lassen würden.

Block B "Zielgerichtete Untersuchungen" beinhaltet Fragen zu Versuchstechniken und Nachweisverfahren bei Untersuchungen im Freiland und im Labor sowie nach Möglichkeiten zur Vermeidung

der Materialschäden bzw. zur Verbesserung der Abhilfemaßnahmen. Wie in Block A wurden die Fragen nach Materialgruppen getrennt beantwortet.

Fragenkomplex zu Block B: "Zielgerichtete Untersuchungen"

1. Welche spezifischen, systematischen Untersuchungen im Freiland halten Sie für zweckmäßig, um die im Block A dargestellten Sachverhalte wissenschaftlich abzusichern?

- a) Untersuchungen an vorhandenen Objekten am natürlichen Standort

Teilfragen zu a)

- Auswahl der Objekte
- Erfassung der Begleitfaktoren (Immissions- und Klimasituation)
- Probenahmetechnik
- Nachweisverfahren

- b) Versuche mit exponierten Objekten an natürlichen Standorten

Teilfragen zu b)

- Auswahl der Objekte
- Expositionstechnik
- Erfassung der Begleitfaktoren (Immissions- und Klimasituation)
- Probenahmetechnik
- Nachweisverfahren

2. Welche experimentellen Untersuchungen im Labor halten Sie für zweckmäßig?

Teilfragen:

- Auswahl der Objekte
- Expositionstechnik
- Anforderung an Verfahren zur Umweltsimulation
- Probenahmetechnik
- Nachweisverfahren

3. Wie ist der derzeitige Kenntnisstand zur Vermeidung von Immissionsschäden an Materialien?

Teilfragen:

- Materialsubstitution
- Schutzmittel
- sonstige Maßnahmen

4. Welche systematischen Untersuchungen sind erforderlich, um neue Abhilfemaßnahmen zu entwickeln bzw. die bestehenden Maßnahmen zu verbessern?

---

### 3. Begrüßung und Eröffnung der Veranstaltung

---

**Prof. Pütz:**

---

Vielen Dank für die freundliche Begrüßung im ZAWA. Ich möchte mich herzlich bei Ihnen für die Aufnahme und Gastfreundschaft bedanken. Wir sind gerne bei Ihnen und hoffen, daß wir heute nicht zum letzten Mal hier waren. Wir werden sicher hier und da Ihre Gastfreundschaft weiter genießen dürfen. Vielen Dank.

Meine Damen, meine Herren, im Namen des Umweltministers des Landes Nordrhein-Westfalen, Herrn Klaus Matthiesen, darf ich die Expertenanhörung zum Thema "**Immissionsbedingte Materialeinwirkungen**" eröffnen und Sie als Teilnehmer an dieser Veranstaltung sehr herzlich begrüßen. Ich freue mich, daß Sie der Einladung gefolgt sind, um uns den neuesten Stand der Erkenntnisse über die Wirkung von Luftverunreinigung auf Materialien zu vermitteln. Insbesondere auch deshalb, weil bisher nach meiner Einschätzung diese Thematik unterbewertet wurde. Wir haben uns also daran gemacht, die Diskussion um die Immissionswirkungen auf Materialien mit dieser Veranstaltung neu zu beleben. Ganz besonders freue ich mich, daß Experten aus den neuen Bundesländern unter uns weilen, um über die Erfahrungen, ihr Wissen und ihre Erkenntnisse zu berichten und mit uns zu diskutieren. Ich darf diese Herren Kollegen hier in diesem Hause in unserer Mitte recht herzlich begrüßen. Nun, meine Damen und Herren, die Untersuchung immissionsbedingter Materialschäden ist nicht ganz ohne Tradition in meinem Geschäftsbereich, den ich hier als zuständiger Abteilungsleiter Immissionsschutz im Umweltministerium vertrete. Ich darf in diesem Zusammenhang an Herrn Dr. Luckat erinnern, der in den sechziger und siebziger Jahren in der Landesanstalt für Immissionsschutz grundlegende methodische und praktische Untersuchungen durchgeführt hat, um das Verständnis über die Wirkung von Luftverunreinigungen auf Materialien, insbesondere im Hinblick auf Natursteine, zu erweitern. Mit seinem Ausscheiden aus der Landesanstalt hat er diese Untersuchungen am Zollern-Institut in Bochum weitergeführt, das mit seinem jetzigen Leiter, Herrn Dr. Brüggerhoff, ebenfalls hier vertreten ist. Zwei Gründe haben mich veranlaßt, das Thema immissionsbedingte Materialschäden wieder aufzugreifen. Die zurückliegenden Arbeiten der Landesanstalt für Immissionsschutz waren im wesentlichen dadurch geprägt, daß gezielt Maßnahmen für den **passiven Immissionsschutz**, sprich

Anwendung von Schutzmitteln oder Materialsubstitution untersucht wurden. Diese Maßnahmen waren und sind für eine akute Abwehr erheblicher Nachteile wichtig. Dies spielt natürlich bei kulturhistorisch wertvollen Bauten und Denkmälern eine herausragende Rolle, deren Zerstörung immer zugleich als unwiederbringlicher Verlust unserer eigenen kulturellen Vergangenheit anzusehen ist. Zu meinem Aufgabenbereich innerhalb des Umweltministeriums gehört jedoch nicht die Denkmalpflege, sondern der Immissionsschutz, der sich auch mit den Fragen der Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Materialien zu befassen hat. Insofern liegt der thematische **Schwerpunkt** auf dem **Einflußfaktor Luftverunreinigung**. Wenn es also Immissionswirkungen auf Materialien gibt, und ich bin davon überzeugt, daß es sie gibt, müssen **Beurteilungsmaßstäbe** zur Vermeidung schädlicher Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen erarbeitet werden, um immissionsmindernde Maßnahmen zu begründen und sie administrativ umzusetzen. Dies bitte ich Sie, bei Ihren weiteren Überlegungen zu berücksichtigen. Ein zweiter Grund, sich erneut mit immissionsbedingten Materialschäden zu befassen, ist folgender: Insbesondere im Land Nordrhein-Westfalen hat sich in den letzten Jahrzehnten die **Emissions- und Immissionssituation** grundlegend geändert. Wie Sie wissen, ist die Immissionsbelastung durch Schwefeldioxid, durch Stickoxide, durch Stäube in den früher sogenannten Belastungsgebieten an Rhein und Ruhr zwischen 1965 und 1988 um rund 80 Prozent verringert worden. Dafür haben andere Komponenten an Bedeutung gewonnen. Zu nennen sind hier zum Beispiel **organisch-chemische Stoffe** sowie **Reizstoffe** wie Stickstoffoxide, Ammoniak, saure Aerosole, Aldehyde, Ozon und andere. Also mit den sogenannten ubiquitären Schadstoffen liegen wir zwischenzeitlich weit unter den Grenzwerten, die die TA Luft beispielsweise dafür vorgibt. Die Frage, die sich uns auf Grund dieses Wandels bei der Emission von Luftschadstoffen stellt, gleichermaßen auf der Immissionsseite, ist, ob mit dem Auftreten eines neuen Belastungstyps vielleicht auch neue oder neuartige **immissionsbedingte Materialschäden** aufgetreten sind, die den Platz der klassischen Immissionsschäden eingenommen haben könnten. Hier ergibt sich ebenfalls unter Umständen eine Parallele zu den Waldschäden, die wir heute bewußt als neuartige Waldschäden bezeichnen, um sie von den klassischen, vorwiegend durch Schwefeldioxid bedingten Waldschäden abzugrenzen. Dies ist eine der Fragen, auf die wir von Ihnen Antworten erwarten. Der Zweck der Anhörung wäre schon erreicht, wenn es uns gelänge, eine möglichst konturenscharfe und umfassende Momentaufnahme des **aktuellen Standes** der einschlägigen **wissenschaftlichen Erkenntnisse** vorzunehmen. Natürlich würden wir auch

---

gerne von Ihnen wissen, mit welchen methodischen Mitteln man sich am besten der Lösung des Problems immissionsbedingte Materialschäden in der heutigen Zeit nähern kann. Die Landesanstalt für Immissionsschutz hat sich bereit erklärt, die Ergebnisse der Anhörung insgesamt zu analysieren und zu bewerten, um **Konsequenzen für zielgerichtete Untersuchungen** auf Landesebene aufzuzeigen, also, wenn Sie so wollen, ein vergleichbares Procedere und ein Programm, wie bei den neuartigen Waldschäden zu initiieren, abzuwickeln und zu dokumentieren. Ich darf uns nun allen gemeinsam wünschen, daß wir ein kleines Stück weiterkommen in dem mühsamen Prozeß, mehr Klarheit über die Bedeutung des Faktors Luftverunreinigung bei der Schädigung von Materialien zu gewinnen. Ich danke dem Geschäftsführer dieses Hauses sowie den für die Organisation zuständigen Damen im Zentrum für die Aus- und Fortbildung in der Wasser- und Abfallwirtschaft, in dem wir heute hier gemeinsam unsere Tagung durchführen. Ganz besonders möchte ich den anwesenden Wissenschaftlern für ihre Bereitschaft zum Vortrag ihrer Erkenntnisse danken. Ich wünsche der Veranstaltung einen erfolgreichen Verlauf und darf nunmehr das Wort an Herrn Dr. Prinz übergeben, der die Anhörung fachlich leiten und moderieren wird. Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit.

---

#### Dr. Prinz:

---

Meine Damen und Herren, ich darf Sie auch noch einmal als Vertreter der Landesanstalt für Immissionsschutz sehr herzlich begrüßen. Sie haben sicher schon gemerkt, daß Frau Köth-Jahr zusammen mit Frau Mescher die Vorbereitung und Organisation dieser Veranstaltung übernommen hat. Dafür möchte ich mich schon jetzt sehr herzlich bedanken. Wenn Sie irgendwelche Fragen haben, natürlich unter Umständen auch Reklamationen, wenden Sie sich bitte an Frau Köth-Jahr oder an Frau Mescher, die nach Möglichkeit versuchen werden, alle Probleme zu lösen.

Wir hatten vorgesehen, daß neben der Anhörung der soziale Aspekt nicht ganz zu kurz kommt. Hierzu hatten wir uns vorgestellt, vielleicht morgen abend nach dem Abendessen einen Bummel durch Werden zu machen. Werden haben Sie vielleicht schon auf der Hinfahrt kennengelernt. Dieser Bereich, in dem Sie tagen und wohnen, gehört noch zu dem alten Stiftsgebiet und fürstlichem Territorium Werden. Wir sind hier an der südlichsten Grenze, die nördlichste Grenze nimmt die Landesanstalt für Immissionsschutz ein.

Die Anhörung selber haben wir uns so vorgestellt, daß wir sie innerhalb bestimmter Fragenblöcke abhandeln. Diese Fragenblöcke, das werden Sie unschwer erkennen, sind nicht ganz zufällig angeordnet. Wir haben uns gedacht, daß wir mit der **Phänomenologie** beginnen und somit zunächst einmal fragen, liegen überhaupt Schäden vor, in welcher Art sind diese Schäden anzutreffen, gibt es bestimmte zeitliche Entwicklungen und räumliche Verdichtungen? Danach werden wir uns den **schadensbegleitenden Faktoren** zuwenden, dann quasi eine Analyse der möglichen **Schadensursachen** vornehmen, anschließend **methodische Fragen** noch klären und dann ganz zum Schluß uns auch mit den **möglichen Maßnahmen** befassen.

Ich hatte mir vorgestellt, daß jeder von Ihnen, der zu diesen Frageblöcken etwas zu sagen hat, so etwa ein fünfminütiges **Statement** abgibt. Anschließend werden wir dann Fragen von dem sogenannten Board zulassen, das ich gleich damit vorstellen darf. Es sind Vertreter des Umweltministeriums (MURL) und der Landesanstalt für Immissionsschutz. Herrn Prof. Pütz als Abteilungsleiter haben Sie schon kennengelernt. Herr Herkendell ist Mitarbeiter von Herrn Professor Pütz im Ministerium und hat bisher dort die Waldschadensforschung koordiniert. Hierbei handelt es sich um ein sehr großes umfangreiches Forschungsvorhaben, das hier im Lande Nordrhein-Westfalen durchgeführt worden ist. Herr Herkendell wird auch für die Forschung auf dem Gebiet der Materialwirkungen innerhalb des Ministeriums dafür zuständig sein, falls es eine ähnliche Entwicklung gibt. Innerhalb der Landesanstalt ist für die Koordinierung Frau Köth-Jahr zuständig, die Sie ja auch schon kennengelernt haben. Der zuständige Gruppenleiter in der Landesanstalt für Immissionsschutz ist Herr Dr. Krause, den Sie dort neben Frau Köth-Jahr sehen. Das war also die Vorstellung. Frau Garus hätte ich beinahe vergessen, obwohl sie mir gegenüber sitzt. Sie ist Mitarbeiterin in dem Sachgebiet Wirkung von Luftverunreinigungen auf Materialien, und da sie über die entsprechende technische Begabung verfügt, hat sie sich dankenswerterweise auch zur Verfügung gestellt, diese schöne Mitschnitanlage zu bedienen, die doch offensichtlich recht kompliziert ist.

Damit komme ich zu einem Punkt, bevor ich es vergesse: Wir haben vorgesehen, daß wir ein **Wortprotokoll** anfertigen, das wir Ihnen natürlich mit der Bitte um Überarbeitung zuschicken. Dies setzt nun einmal voraus, daß wir Ihre Ausführungen mitschneiden, und ich hoffe, daß Ihr Einverständnis hierzu vorliegt. Sollte dies nicht der Fall sein, dann müßte sich derjenige, der damit nicht einverstanden ist, jetzt sofort melden, damit wir

---

dann immer die Aus-Taste drücken. Aber ich vermute, daß Sie mit der vorgeschlagenen Vorgehensweise einverstanden sind, damit Ihre wertvollen Beiträge auch dokumentiert und dann über dieses Tagesereignis hinaus noch zur Verfügung stehen.

Herr Professor Pütz hatte schon davon gesprochen, und ich möchte es auch noch einmal wiederholen: Die Landesanstalt für Immissionsschutz wird das Ergebnis der dreitägigen Anhörung nach Fertigstellung dieses Wortprotokolls evaluieren. Sie wird versuchen, die Quintessenzen herauszufiltern und im Rahmen eines **Forschungsplans** festzulegen, der dann im Ministerium als Entscheidungshilfe für zukünftige Forschungen zur Verfügung steht. Ich gehe einmal davon aus, daß in irgendeiner Form, nicht gerade in einer besonders offiziellen Form, diese beiden Dokumente veröffentlicht oder zumindest vervielfältigt werden, damit sie auch Interessenten außerhalb dieses Kreises jederzeit zur Verfügung stehen.

Ja, das war eigentlich das Wichtigste zur Organisation. Eine Komplikation haben wir noch: Herr Professor Wesche steht nur heute zur Verfügung, wenn ich das richtig mitbekommen habe. Er hat aber auch Antworten zu Fragen, die eigentlich erst morgen und übermorgen auf der Tagesordnung stehen.

---

#### Prof. Wesche:

---

Das kann ich insofern ändern. Morgen wird Herr Dr. Fiebrich hier sein und meine Anwesenheit fortsetzen. Und der ist gerade auf den Gebieten speziell bewandert.

---

#### Dr. Prinz:

---

Dann können wir also das Programm abwickeln, wie es eigentlich vorgesehen ist. Das ist hervorragend. Dann darf ich gleich den **ersten Themenblock** aufrufen. Es sind ja in dem Programm zwei Fragen ausgedruckt. Zunächst einmal, in welchen Gebieten bzw. an welchen Objekten liegen größere immissionsbedingte Schäden an Materialien vor und wie ist die Art und das Ausmaß der Schäden für den jeweiligen Werkstoff einzuschätzen. Ich würde vorschlagen, daß wir die beiden Fragen zusammenfassen, um so mehr Spielraum für die Diskussion zu haben. Meine Vorstellung ist, daß wir jeweils eine Runde machen von links nach rechts und dann jeder von Ihnen, falls er dazu überhaupt ein Statement abgeben möchte, dies tut, also in diesem Fall zu diesen beiden Fragen.

Diskussionen zwischen den Experten sollten nach Möglichkeit nicht zustandekommen. Ich will sie aber auch nicht ganz ausschließen. Wichtiger scheint mir jedoch zu sein, daß wir vom Board natürlich zunächst einmal die Fragen stellen. Im übrigen müssen wir einmal sehen, wie sich das Ganze zeitlich abwickeln läßt. Da Sie aber gemeinsam hier essen und übernachten, hoffe ich, daß Sie auch über den eigentlichen Zweck unserer Anhörung hinausgehend Gewinn von dieser Veranstaltung haben. Zumindest dürfte auch außerhalb der eigentlichen Anhörung ausreichend Raum bestehen, sich gedanklich auszutauschen und vielleicht auch frühere Bekanntschaften aufzufrischen.

Damit darf ich dann mit meiner Vorrede enden und die ersten beiden Fragen aufrufen, wie sie im Programm ausgedruckt sind. Zunächst einmal darf ich Herrn Dr. Brüggerhoff bitten, seine Ansicht dazu vorzutragen.

### 3. Sachverständigenanhörung

#### Fragenkomplex Block A: "Situationsanalyse"

1. In welchen Gebieten bzw. an welchen Objekten liegen größere immissionsbedingte Schäden an Materialien vor:
  - a) bei nichtmetallischen, anorganischen Werkstoffen
  - b) bei metallischen Werkstoffen
  - c) bei organischen Werkstoffen (Natur- und Kunststoffe)
2. Wie ist die Art und das Ausmaß der Schäden für den jeweiligen Werkstoff (1a-c) einzuschätzen?

---

#### Dr. Brüggerhoff:

---

Ich bin jetzt der undankbare Erste in dieser Runde. Ich darf nochmal ganz kurz darauf hinweisen, welchen Bereich ich vertrete. Es ist von Herrn Professor Pütz schon angesprochen worden. Ich bin Leiter des Zollern Institutes und somit Nachfolger, zweiter Nachfolger von Dr. Luckat, der im Bereich Steinschäden ja bereits sehr umfangreiche und grundlegende Untersuchungen durchgeführt hat. Insofern werde ich hier zu den **anorganischen nichtmetallischen Werkstoffen** hier Stellung beziehen. Die erste Frage, die hier aufgeworfen ist, in welchen Gebieten und an welchen Objekten liegen größere immissionsbedingte Schäden vor, ist bereits ein Punkt, der gerade für diese anorganischen Werkstoffe relativ schwierig zu beantworten ist, denn was ist in dem Fall ein immissionsbedingter Schaden? Wir haben es sehr häufig, gerade in diesem Bereich mit, einem **komplexen Schadensmechanismus** zu tun, der letztendlich zum optisch sichtbaren Gesamtschaden geführt hat. Immissionen, wenn wir jetzt einmal von dem klassischen Begriff Immissionen, wie Luckat ihn geprägt hat, nämlich die bekannten Immissionskomponenten, sauren Komponenten, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und anderen sprechen, spielen sicherlich hierbei eine Rolle. Dabei ist dieses in einigen Bereichen eine bedeutende Rolle, in anderen Bereichen vielleicht eine etwas untergeordnete Rolle. Lassen Sie

mich die Frage aber trotzdem vielleicht grob beantworten. Ich betone das Wort 'grob', weil ich auf Grund meiner Ausführungen vorhin sagen würde, daß sie in Einzelheiten nicht direkt zu beantworten ist. Wir haben sicherlich auch heute noch in unseren Industrieregionen und in den verkehrsreichen Großstädten **immissionsbedingte Schäden** der auch "althergebrachten" Komponenten wie SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub>. Dabei beobachten wir sicherlich jetzt allerdings einen **Summationseffekt**. Ein jetzt zu beobachtender Schaden hat sich aus den letzten Jahrzehnten, wenn nicht gar aus dem gesamten letzten Jahrhundert aufsummierend entwickelt und tritt insofern natürlich in Gebieten besonders stark auf, in denen Immissionskomponenten wie SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> in hoher Konzentration vorlagen. Das heißt, ich brauche jetzt hier nur noch einmal auf die Ergebnisse von Luckat zu verweisen. Typischerweise als Beispiel herausgegriffen, Köln mit dem Kölner Dom stellt ein exzellentes Beispiel für eine herausragende Belastungssituation dar, ist aber sicherlich auch ein typisches Beispiel dafür, daß das, was wir jetzt sehen an Schäden, eine **geschichtliche Entwicklung** erfahren hat und wir jetzt von einem aktuellen Immissionsschaden nur sehr schwer sprechen können.

Der aktuelle Schaden ist somit nur sehr schwer einzuschätzen. Vielleicht zur zweiten Frage, Art und Ausmaß der Schäden für den jeweiligen Werkstoff. Auch hier gilt das, was ich in der ersten Frage bereits gesagt habe. Hier ist es sicherlich so, daß dieser **Summationseffekt** es sehr schlecht einschätzen läßt, wie eine derzeitige Immission auf das bereits vorgeschädigte Material wirkt. Hierzu laufen jetzt verschiedenste Untersuchungen. Dabei läßt sich aber noch keine Aussage treffen. Nichtsdestotrotz haben wir es natürlich mit einem Immissionsschaden zu tun, der sich entwickelt hat und der natürlich werkstoffbedingt ist. Ein zweiter Punkt, der hier noch eine Rolle spielt, besteht in der Tatsache, daß wir es gerade bei den anorganischen Materialien mit Naturkomponenten zu tun haben, d.h. wir können nicht von dem anorganischen Material sprechen. Wir können nicht von dem Steinmaterial sprechen, wir haben vielmehr eine immense Bandbreite verschiedenster Gesteine, auf die die Immissionskomponenten natürlich auch in unterschiedlichster Art und Weise einwirken. Vielleicht als Ende meines jetzigen Statements nochmal die Betonung: Die Schadenswirkungen von Immissionskomponenten auf das Material Stein am Objekt selbst sind stets **kombiniert mit weiteren Schadensursachen**, d.h. mit den **gebäudebedingten Schadensursachen**. Also wie ist der Bauwerksgrund, wie sind die physikalischen Parameter, die auf das Material einwirken? Dieses zusammen in einer teilweise auch synergistischen Wirkung führt letztendlich zum beobachteten Schaden.



---

### Herr Herkendell:

---

Wenn Sie die Frage, die auch bei den einleitenden Worten von Herrn Professor Pütz schon einmal anklang, der neue Immissionstyp, ein Dominieren anderer Luftschadstoffe mit anderem vergleichbaren Wirkungspotential, vielleicht aber geringerer Konzentration, sehen, wie schätzen Sie auf Grund Ihrer Erfahrungen das Wirkungspotential schlechthin dieser Stoffe ein und würden Sie es grundsätzlich anders sehen gegenüber dem klassischen Einwirkungspfad SO<sub>2</sub>?

---

### Dr. Prinz:

---

Darf ich? Sie haben sicherlich eine sehr gute Übersicht über die Situation hier im Lande Nordrhein-Westfalen, daher die Frage an Sie: Würden Sie sagen, daß wirklich nach wie vor die **Schwerpunkte** der Steinschäden, nur darum geht es ja bei Ihnen, hier in den **Ballungsgebieten** liegen oder stellen Sie fest, daß es, sagen wir einmal, im Münsterland, in der Eifel, allgemein in ländlichen Gebieten auch Schäden gibt, die vielleicht früher nicht vorhanden waren oder nicht so gesehen wurden. Wie beurteilen Sie das?

---

### Dr. Brüggerhoff:

---

Die Frage ist eigentlich nur für den Einzelfall zu beantworten. Zum einen ist es natürlich sehr schwierig, von neu aufgetretenen Schäden zu sprechen, weil Sie eigentlich einen Schaden haben, der in den allermeisten Fällen, wie ich schon sagte, ein **Summenschaden** ist. Es ist also sehr schwierig zu erkennen, ob Sie jetzt Veränderungen des Schadensbildes durch neue Komponenten haben, die erst seit kurzer Zeit vorhanden sind. Wir sprechen hier jetzt über wenige Jahre, während die Entwicklung des Schadens doch meistens Jahrzehnte gedauert hat also noch sehr stark bedingt durch die klassischen Immissionskomponenten beeinflusst ist. Der zweite, sehr schwierige Punkt in der Beantwortung dieser Frage besteht einfach darin, es **fehlen direkte Vergleichsmöglichkeiten**. Wenn wir uns über Köln oder Dortmund oder das Münsterland unterhalten, dann haben wir in Köln mit dem Kölner Dom bestimmte verbaute Materialien, z.B. Sandstein oder Tuffe, die in einer ganz bestimmten Art und Weise reagieren. Wir haben in Dortmund Ruhrsandsteinbauwerke und wir haben

im Münsterland den Baumberger Kalksandstein verbaut. Das heißt also, **Gesteinstypen**, die sehr unterschiedlich auf Immissionskomponenten reagieren. Die **Vergleichbarkeit** ist nicht unbedingt gegeben. Erst wenn wir es mit einem einheitlichen Material zu tun hätten, könnte man hier eine Möglichkeit finden zu sagen, es sind tatsächlich deutliche Unterschiede in den Schadensbildern und Intensitäten. Aber trotzdem vielleicht noch eine Bemerkung zu den neuen Komponenten, wobei ich den Ball weitergeben möchte. Das wird sicherlich "im Eck" der Biologie nämlich sehr viel besser beantwortet werden können. Ich sehe nicht so sehr die direkte Einwirkung neuer Schadenskomponenten als einen kritischen Punkt in bezug auf die Immissionswirkungen, sondern vielmehr die **indirekte Wirkung** und damit spreche ich die **Biologie** an. Hier haben wir die Umsetzung der Schadenskomponenten in andere dann z.T. direkt schädigende Komponenten, sei es **Ammoniak** mit den nitrifizierenden Bakterien, seien es **Kohlenwasserstoffe**, die umgesetzt werden können zu organischen Säuren, sei es ein dritter indirekter Schritt, daß sich dort **Bioschleime** bilden. Hier ist sicherlich noch großes Forschungspotential; auf dem Gebiet bin ich aber nicht Fachmann. Da wird es sicherlich von der Seite der biologisch orientierten Experten sehr viel bessere Antworten geben. Aber, um den ersten Teil meiner Ausführungen noch einmal zu Ende zu bringen, ich glaube, daß die direkte Einwirkung der "neuen" Schadstoffe, so will ich sie einmal in Anführungszeichen nennen, im Moment noch nicht zu tatsächlich zu beobachtenden neuen Schadensbildern führt.

---

### Dr. Prinz:

---

Eine letzte Frage von mir: Wir haben schon mehrfach hier die **Analogie** hergestellt zu den **Waldschäden**. Da war es ja Anfang der siebziger Jahre so, daß die Forstleute zunächst im Schwarzwald und im Bayerischen Wald Alarm geschlagen haben. Sie haben gesagt, wir haben hier ein völlig neues Phänomen, das sieht ganz dramatisch aus. Unternehmen wir also etwas, um die Ursachen hierfür zu finden. Sie haben ja gute Kontakte auch zu den Landeskonservatoren, die hier leider nicht vertreten sind. Gibt es da vielleicht in Anklängen so etwas ähnliches, daß jetzt der Landeskonservator Westfalen sagt, hier im Münsterland, da war früher überhaupt nichts festzustellen, aber jetzt gibt es einen rapiden Verfall an irgendwelchen Kunstdenkmälern aus Naturstein? Ich frag das nur ab, um das Bild zu vervollständigen.

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Ich glaube, diese Frage kann man eindeutig für das Material Stein oder für anorganische Werkstoffe mit einem Nein beantworten.

---

**Dr. Prinz:**

---

Schön. Danke sehr. Sonst noch Fragen von der rechten Seite? Dann kann ich denselben Fragenkomplex weitergeben an Herrn Professor Wesche. Wenn Sie vielleicht jedesmal, wenn Sie das erste Statement geben, auch kurz sagen, wo Sie herkommen und welche Fachrichtung Sie vertreten, damit wir uns bei dieser Gelegenheit auch ein bißchen kennenlernen.

---

**Prof. Wesche:**

---

Ich bin emeritierter Professor für Baustoffkunde in Aachen, bin aber seit sechs Jahren, also fast genau seit meiner Emeritierung, als Koordinator in dem Ihnen wohl bekannten großen Forschungs- und Entwicklungsprojekt des Bundesforschungsministeriums tätig, um die Arbeit der fünf Aachener Institute, die in diesem Projekt arbeiten, zu ko-ordinieren. Ich bin in meiner gesamten lang-jährigen Hochschultätigkeit, die immerhin vierzig Jahre umfaßt, sehr viel mit der Korrosion aller Baustoffe in Berührung gekommen, vor allem mit der Korrosion des Betons und des Stahls im Beton, was hier ja auch eine Rolle spielt und zum Schluß, in der letzten Zeit, aber auch schon seit 1970 am Kölner Dom, mit der Korrosion der Verwitterung von Naturstein. Man muß ja bedenken, daß Korrosion, so bezeichnet man das im allgemeinen, oder Verwitterung im speziellen, ein Vorgang ist, der völlig natürlich ist. Alles korrodiert in der Natur, und es gibt verschiedene Arten der Korrosion: Erstens rein physikalisch, zum Beispiel der Druck des gefrierenden Wassers in den Poren. Zweitens treten natürliche chemische Substanzen auf, die lösend wirken und zum Beispiel im weichen Wasser auftreten. Drittens gibt es chemische Substanzen, die umwandelnd wirken und dann zum Treiben führen, zum Auseinanderdrücken des Stoffes, zum Beispiel als Salze. Dazu kommen natürlich jetzt die

Immissionen, die sowohl chemischer Art als auch biologischer Art sein können. Dazu können Herr Warscheid und Herr Wilimzig nachher wohl noch einiges sagen. Es ist also furchtbar schwierig, wie Herr Brüggerhoff schon sagte, das irgendwie in der Wirkung und im Anteil der Wirkung überhaupt auseinander zu dividieren und zu sagen, das ist nun maßgebend und das ist nicht maßgebend und das hat den Anteil an der Korrosion oder nicht. Dazu kommt, daß nicht nur Summationseffekte entstehen, wie Herr Brüggerhoff sagte, sondern auch Synergieeffekte und die kennen wir noch gar nicht. Wir wissen gar nicht, wie eine Korrosionsart die andere beeinflusst. So etwas kann im Prinzip nur in einer Simulationsanlage festgestellt werden, wo man die natürlichen Verläufe irgendwie, in irgendeiner Form simuliert und vielleicht dann, indem man nun die einzelnen Anteile verändert, herausbekommt, wieviel Anteil zum Beispiel die Immission am Korrosionsprozeß hat. Etwas neues, was doch herausgekommen ist, sind die biologischen Einflüsse, aber da sollten die Experten noch etwas mehr dazu sagen. Wir haben inzwischen in Aachen eine Simulationsanlage, Herr Bock in Hamburg hat ja auch schon eine kleinere. Wir wollen noch eine größere Simulationsanlage bauen, darüber wird Herr Fiebrich wahrscheinlich morgen berichten. Mit dieser kann man dann alle Effekte, alle Einflüsse nachvollziehen und den Anteil wahrscheinlich herausbekommen. Neben den gegebenen Eigenschaften z.B. bei Naturstein kommt z.B. beim Beton noch hinzu, daß er falsch hergestellt wird, daß er nicht richtig nachbehandelt wird, daß seine Oberfläche porig und dadurch durchlässig ist für den Stahl, der dann darunter korrodieren kann. Oder die Deckschicht über dem Stahl ist nicht ausreichend dick genug. Das sind aber keine Dinge, die mit Immissionen zusammenhängen. Die einzige Immission, die vielleicht beim Beton eine Rolle spielt, beim Stahlbeton, sind die Chloride, die seit etwa fünfundzwanzig Jahren auf unseren Straßen angewendet werden als Tausalze und die nun zu sehr starken Korrosionsschäden im Bereich der Verkehrswege geführt haben.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, Herr Professor Wesche. Auch diese Ausführung stelle ich erst einmal hier rechts von mir beim Board zur Diskussion.

---

**Prof. Pütz:**

---

Noch eine Frage, die etwas am Rande liegt: Haben Sie vielleicht irgendwelche Erfahrungen oder Informationen darüber, ob in der Umgebung von Müllverbrennungsanlagen irgendwelche HCl-bedingte Korrosionsschäden besonderer Art aufgetreten sind?

---

**Prof. Wesche:**

---

Da ist mir bisher nicht zu Ohren gekommen, nein.

---

**Prof. Pütz:**

---

Das wäre ja eine entsprechende Quelle, die als HCl-Emission auf der Immissionsseite zu entsprechender Aggressivität führen kann.

---

**Dr. Prinz:**

---

Darf ich die Frage auch noch einmal ergänzen? Wir haben vorhin das Problem der verschiedenen Natursteinarten gehabt, Baumberger Sandstein, Schlaitdorfer Sandstein, jeder reagiert anders. Abgesehen davon, daß Beton unter Umständen nicht fachgerecht hergestellt wird, ist das aber doch ein Material, das wahrscheinlich viel besser zu standardisieren und daher auch bei Expositionsuntersuchungen dementsprechend besser zu handhaben ist als Naturstein. Gibt es denn hier Erfahrungen, daß in einem Industriegebiet der Beton eine kürzere Lebensdauer hat als in ländlichen Gebieten? Ich meine, Herr Professor Pütz hat es vorhin schon angedeutet, in der Umgebung von Müllverbrennungsanlagen müßte eigentlich die Lebenszeit am kürzesten sein. Gibt es solche Erkenntnisse?

---

**Prof. Wesche:**

---

Es ist ja so: Einmal spielt bei der Korrosion des Stahls im Beton die Porigkeit des Betons eine

Rolle für die Luftkohlenensäure, die dort eindringt und den alkalischen Schutz des Betons herabsetzt. Es kann natürlich dazukommen, daß dann auch noch andere Schadstoffe hinzukommen, zum Beispiel Chloride oder Sulfate, die auch korrosionsfördernd sind beim Stahl. Daß so etwas dann natürlich, wenn der Beton nicht seine Schutzfunktion beim Stahl erfüllt, in Industriegebieten schneller geht als anderswo, das ist wohl klar. Genauso beim Aluminium oder anderen Metallen. In Industrieluft korrodiert das Aluminium stärker als zum Beispiel in Landluft.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ist ein fachgerecht hergestellter Beton sozusagen inert gegenüber Luftverunreinigungen?

---

**Prof. Wesche:**

---

Inert kann man nicht sagen. Nein, aber er dürfte über die normale Lebensdauer eines Bauwerkes, die wir heute irgendwo zwischen 50 und 100 Jahren ansetzen - ich denke da nicht an ein Denkmal -, bei normalen Einflüssen, dazu gehören also auch Industrielufteinflüsse, überstehen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Also, das ist auch ein wichtiger Punkt. Wir müssen ja versuchen, hier Motivationen zu schaffen für Immissionsschutzmaßnahmen, und das, was Sie sagen, ist da in dieser Hinsicht fast negativ zu sehen. Man könnte sagen, für Beton stellen Luftverunreinigungen quasi kein Problem dar.

---

**Prof. Wesche:**

---

Wenn wir zum Beispiel von vornherein wissen, daß mit entsprechenden aggressiven Einflüssen zu rechnen ist, dann erhöhen wir im Betonbau die normale Betondeckung über dem Stahl, die irgendwo zwischen ein und zwei Zentimeter liegt. Wir erhöhen sie auf fünf Zentimeter, damit so etwas nicht passiert. So etwas können Sie natürlich beim Naturstein nicht machen, das ist klar.

---

**Dr. Prinz:**

---

Aber dies wird auch bewußt getan.

---

**Prof. Wesche:**

---

Das wird bewußt getan.

---

**Dr. Prinz:**

---

In Industriegebieten oder in belasteten Gebieten?

---

**Prof. Wesche:**

---

Ja, in Industriegebieten oder im Seewasserbau, im Bereich der Wasserwechselzonen oder ähnlichem.

---

**Prof. Pütz:**

---

Im Klartext, wie sich Herr Prinz auch schon praktisch geäußert hat, wenn der Beton ordnungsgemäß hergestellt worden ist mit einer entsprechenden Schichtdicke über dem Stahl...

---

**Prof. Wesche:**

---

Nicht alleine das. Da gehören schon einige Dinge zu. Da muß der Zement je nach Angriff und Angriffsgrad entsprechend gewählt werden. Der Beton muß einen möglichst geringen Wasser-Zement-Wert haben, also wenig Wasser enthalten, damit er einen geringen Porenraum hat. Er muß dafür auch ausreichend nachbehandelt werden, d.h. er muß ausreichend lange feucht gehalten werden, damit der Zement vollkommen hydratisieren kann und erst, wenn diese Bedingungen erfüllt sind, dann kann man das voraussetzen.

---

---

**Prof. Pütz:**

---

Dann stellt er im Prinzip für uns als Immissionschützer kein wesentliches Problem dar.

---

**Prof. Wesche:**

---

Absolut nicht.

---

**Herr Herkendell:**

---

Herr Professor Wesche, gibt es synergistische Effekte?

---

**Prof. Wesche:**

---

Wir nehmen das an, ich vermute das. Wir haben es noch nicht nachgewiesen.

---

**Herr Herkendell:**

---

Da wollte ich an und für sich einmal nachfragen, wo die Hinweise für synergistische Effekte begründet liegen können.

---

**Prof. Wesche:**

---

Ich weiß keine direkten Hinweise. Vielleicht haben andere Herren hier aus unserem Gesamtprojekt, wir sind ja mit sechs Mann hier, schon irgendwelche Kenntnisse.

---

**Herr Herkendell:**

---

Also potentiell denkbar?

---

---

**Prof. Wesche:**

---

Potentiell denkbar. Mit derartigen Synergieeffekten müssen wir bei irgendwelchen Kombinationen von Einflüssen immer rechnen.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Mich interessiert, ob Sie in Ihrem Institut oder im Rahmen dieses BMFT-Projektes gezielt Untersuchungen in unterschiedlich immissionsbelasteten Gegenden gemacht haben, oder ob aus Ihren Erhebungen empirisch festgestellt wurde, daß sich an und für sich keine **Unterschiede** ergeben bei einem Vergleich der Ergebnisse von Betonbauten im **Industriegebiet** mit denen in **ländlichen Gebieten**.

---

**Prof. Wesche:**

---

Solche Untersuchungen sind beim Beton nicht direkt gemacht worden. Es sind Langzeitversuche im Seewasser auf Borkum gemacht, bei denen der **Meerwassereinfluß** und der Einfluß der Seeluft untersucht worden sind. Solche speziellen Dinge sind gemacht worden, aber über direkten Industrieinfluß sind wohl kaum Versuche gemacht worden. In unserem **Natursteinprojekt** haben wir allerdings mit unseren Probekörpern in Holzkirchen im bayerischen Vorland oder hier in Duisburg bei Thyssen schon **eklatante Unterschiede** der Verwitterung festgestellt.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Dort haben Sie jeweils Natursteinexponate aufgestellt?

---

**Prof. Wesche:**

---

Ja, da sind Probekörper exponiert worden, auch schon behandelte **Natursteinproben**. Das fängt jetzt an verschiedenen Orten laufend an. Der **Einfluß verschiedener Klimate** wird da untersucht. Ein normales Klima in der Eifel, **Industrieklima** bei Thyssen im Ruhrgebiet, **Gebirgsklima** auf dem Wank den bayerischen Alpen und **Mittelmeerklima**

---

auf Korsika. Die Unterschiede der Verwitterung aus der Freilandlagerung werden nachher mit den Simulationsergebnissen verglichen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Also, darauf kommen wir sicher später noch einmal.

---

**Dr. Krause:**

---

Messen Sie denn an diesen Stellen dann auch die Immissionsbelastung oder leiten Sie das ....

---

**Prof. Wesche:**

---

Ja, das wird gleichzeitig gemacht.

---

**Dr. Krause:**

---

Und welche Komponenten messen Sie da?

---

**Prof. Wesche:**

---

Das müßte Herr Dr. Fiebrich morgen näher erläutern können.

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Ich würde die Frage jetzt ganz schnell eben beantworten, weil ich gerade in dem Projekt zu diesem Thema grundsätzliche Untersuchungen mitgemacht habe. Also gemessen werden die Standardkomponenten  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ . Gleichzeitig werden **Schwebstaubmessungen** gemacht. Daneben werden klimatische Messungen gemacht, sowohl **Nahfeldklima** als auch **Globalklima**. Und die Schwebstaubmessungen werden nicht nur im Hinblick auf Gesamtschwebstaub-Menge, sondern auch für Staubinhaltsstoffe gemacht. Und gleichzeitig werden teilweise noch **organische Stoffe** mitgemessen, aber nicht kontinuierlich, sondern bei einzelnen Kampagnen.

---

**Herr Herkendell:**

---

Darf ich dazu auch noch etwas sagen? Es ist bekannt, daß die **Expositionsbedingungen** kleinräumlich stark variieren. Dies gilt auch für die Exposition von Probekörpern. Das muß man immer wieder berücksichtigen.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Ich bin Mitarbeiter im Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege und wirke an zwei Projekten mit: "Die Konservierung von Bronzen" (Volkswagen Stiftung) und "Die Einwirkung von Luftverunreinigungen auf Materialien" (UBA). In beiden Forschungsvorhaben beschäftigen wir uns mit **Korrosionsvorgängen an Kupfer** schwerpunktmäßig und **Bronze**, sowie der Entwicklung von Methoden und Verfahren zum **Schutz** dieser Metalle bzw. Legierungen vor weiterer Korrosion. Bronze ist ein sehr dauerhaftes Material. Die Materialabtragungsrate beträgt etwa 1 mm pro Jahrhundert. Dieser Wert ist absolut gesehen nicht hoch, liegt aber immerhin in Bereichen feinsten Oberflächenbearbeitung durch Ziselieren. Das bedeutet, der künstlerische Ausdruck einer Bronzeplastik geht verloren. Allgemein sind immissionsbedingte Schäden an Außenbronzen (=Bronzedenkmäler) sehr ästhetischer Natur. Nicht das Denkmal in seiner Materialsubstanz ist gefährdet - dazu ist die Wandstärke von Bronze-güssen einfach zu hoch - der optische Eindruck wird gestört. Doch dieses veränderte Aussehen ist allerdings wieder ein Hinweis auf Schadensmechanismen, deren Spuren nicht sofort erkennbar sind, die aber einen hohen Materialverlust mit sich ziehen. Anhand der später folgenden Dias werden Sie erkennen, daß sich **grüne Bereiche** und **grüne Ablaufspuren** auf den Bronzen gebildet haben, und es bauen sich **Krusten** aus Schmutz und Staub auf. Wir haben die seltene Gelegenheit, zwei Bronze-güsse einer Skulptur (Amazonen) vergleichen zu können. Beide stehen seit etwa 60 Jahren im Freien, die eine an einer stark befahrenen Ausfallstraße, die zweite im Garten in einem Villenvorort Münchens. Zum einen Abgase und Staub, zum anderen relativ sauberes, schadgasarmes Klima. Die Unterschiede im Aussehen sind jedoch eklatant: Die **städtische Amazonen** zeigt **großflächige grüne Bereiche** aus basischen Kupfersulfaten, bei der

**Vorort-Amazonen** sind **solche Bereiche**, in denen Legierungsbestandteile in Lösung gehen, relativ klein.

In einem UBA-finanzierten **Material-expositionsprojekt** versuchen wir derzeit zu ergründen, welche **Klima-, Schadgas- oder Elektrolytfaktoren** für die Schädigung von Bronze und Kupfer verantwortlich sind. Leider ist das Programm auf einen viel zu kurzen Zeitraum ausgelegt und ermöglicht nach 4jähriger (evtl. 6jähriger) **Expositionszeit** nur die Verfolgung des **Korrosionsbeginns** der Proben. Erste Ergebnisse weisen auf entscheidende Einflüsse von **SO<sub>2</sub>**, aber auch der **Leitfähigkeit** des Niederschlags, d.h. eines Elektrolytparameters hin.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ein Problem des **Elektrolyten** wahrscheinlich. Herr Professor Pütz.

---

**Prof. Pütz:**

---

Herr Pöhlmann, habe ich Sie richtig verstanden, daß Sie gesagt haben, ein direkter immissionsmäßiger Einfluß wäre auf Bronzen von Ihnen bisher nicht festgestellt worden, oder habe ich das mißverstanden. Das würde nämlich nicht so ganz in das Bild, was Sie geschildert haben, von der Bronzefigur im Stadtinneren im Vergleich zu der in dem besonderen Wohngebiet von München passen.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Es sind mit Sicherheit **immissionsbedingte Schäden**. Für uns ist es ein Indiz, daß sie eben einen Unterschied in der Korrosion haben. Das Stadtklima an sich scheint für Bronzen einfach ungünstig zu sein und auf dem Land haben sie auch wesentlich geringere Korrosionsraten. Diese Ergebnisse wurden aber nicht an Bronzedenkmälern, sondern durch **Expositionsprojekte** erhalten.

---

**Dr. Prinz:**

---

Das heißt, Sie wollten sagen, daß die Schäden nicht so stark sind, daß es zu einem **Materialverlust** kommt wie es bei Naturstein der Fall ist?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Es kommt auch zu Materialverlust. Aber der ist natürlich lange nicht so gravierend.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ja, weil Sie vorhin das ästhetische Moment hervorgehoben hatten. Sie haben gesagt, es gibt da **Farbänderungen** oder Spuren, die das ästhetische Empfinden stören. So hatte ich Sie verstanden. Aber es gibt keine gravierenden **Immissionsschäden**, wie wir das von den Natursteinen her annehmen müssen.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Ja, es ist tatsächlich so, daß die Schäden an Bronzen mit den Schäden an Natursteinen nicht vergleichbar sind. Steinzerfall geht wesentlich schneller vor sich; die **optische Veränderung** einer **Bronze** erfolgt innerhalb von 5-10 Jahren und stagniert dann. Die weitere Zerstörung der Legierung verläuft dann fast unbemerkt.

---

**Prof. Pütz:**

---

Aber Sie würden sagen, an Ihrem Beispielfall im Stadtinneren von München wäre unschwer zu erkennen eine Schädigung der Bronze durch luftbedingte Einflüsse, wobei man da natürlich dann gleich fragen muß, ist das ein besonders **verkehrsreicher Bereich**, wo die Bronze gestanden hat oder steht und welche Einflüsse nimmt der Verkehr auf die Bronze da.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Der Verkehr nimmt, das kommt morgen wahrscheinlich noch, auch Einfluß darauf.

---

**Prof. Pütz:**

---

Wir sind ja daran interessiert, möglichst alle Bereiche zu erfassen und zu erfragen, die uns in die Lage versetzen, gegebenenfalls dann auch entsprechende **Maßnahmen** einleiten zu können, wobei der **Verkehr**, das sei hier gleich gesagt, natürlich das größte Problemfeld ist.

---

**Dr. Prinz:**

---

Sie vertreten hier gleichzeitig den Freistaat Bayern, ein kunsthistorisch außerordentlich interessantes Land, wo Sie sehr viele Bronzeskulpturen an vielen Stellen haben. Gibt es da Beobachtungen, die ich vorhin auch schon einmal beim Herrn Brüggerhoff abgefragt hatte, daß inzwischen nur Schwerpunkte erkennbar sind oder daß vielleicht auch **räumliche Verschiebungen** eingetreten sind, d.h. daß jetzt Schäden aus mehr ländlich strukturierten Gebieten gemeldet werden, in denen man früher überhaupt nicht von Schäden gesprochen hat?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Zur Frage von Unterschieden in der Korrosion an ländlichen oder städtischen Standorten können wir leider nicht auf Bronzedenkmal zurückgreifen. Um die Jahrhundertwende wurden Bronzeplastiken hauptsächlich in Städten aufgestellt. Objekte auf dem Land existieren praktisch nicht, und Plastiken aus jüngster Zeit weisen noch kaum Schäden auf (Grund: Oberflächenbehandlung). Deutliche Hinweise auf **Unterschiede** in der Korrosionsrate zwischen **Stadt und Land** erhalten wir aber aus dem Expositionsprojekt. Mit steigender Korrosionsrate läßt sich eindeutig eine **Abstufung "ländlicher", "städtischer" oder "industrieller" Expositionsstandort** erkennen. Die Korrosionsstärke zeigt auch wieder eine Abhängigkeit von der

---

Schwefeldioxidkonzentration. So finden wir Korrosionsraten zwischen 5 und 15 g/m<sup>2</sup> bei Bronze. Den Spitzenwert an Massenverlust erhalten wir in einer Industriegegend der CSFR. Verluste im Reinluftgebiet Garmisch-Partenkirchen betragen um 7,5 g; Massenverluste in NRW betragen z.B. für Langenfeld 9 g, Essen-Leithe 10 g und Bottrop 12 g.

---

**Herr Herkendell:**

---

Noch eine Frage zur Rolle der Patina. Gibt es auch einen konservierenden Effekt durch Entwicklung von Epibionten, der zum Aufbau einer Art "Schutzfilm" führt und der auch dazu beiträgt, die Korrosion zu verringern. Ist das richtig?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Eine Patina kann eine gewisse Schutzfunktion ausüben, wenn sie sehr langsam und homogen gewachsen ist. Eigene Untersuchungen an Querschliffen von gealterter Bronze- und Kupferpatine zeigen aber, daß gealterte Patinen diese Bedingung nicht erfüllen. Die Inhomogenität wird z.T. durch angetragene Fremdstoffe verursacht.

---

Der Hauptbestandteil grüner Patina besteht aus schwerlöslichen basischen Kupfersulfaten wie Antlerit und Brochantit. Unter stark sauren Bedingungen können sich diese in leicht lösliches Kupfersulfat-Pentahydrat umwandeln und somit tritt ein Abbau der Patina ein. Begünstigt werden solche Prozesse noch durch Lokalelementbildung. Schwarze, inerte Patinabereiche schrumpfen zu Gunsten von grünen, bedingt stabilen Bereichen.

---

Ein Schutz durch Patina ist nur in den seltenen Fällen zu beobachten, wenn z.B. Kohlenwasserstoff-Aerosole die Patina überziehen und hydrophobieren, durch Berührung eine Einfettung des Objekts erfolgt (ähnlich der Wirkung einer Wachsbehandlung bei Konservierungen von Denkmälern) oder durch Zucker, der von Blattläusen auf Linden ausgeschieden wird.

---

**Herr Herkendell:**

---

Also gäbe es, wenn man es auf die Immission hin projizieren würde, einen räumlichen Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Patina und be-

---

stimmter Häufung von immissionsbedingten Schäden?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Ich kann mir vorstellen, daß Sie in extrem schwefeldioxidbelasteten Gebieten zum Beispiel sehr stark grüne Figuren finden würden. Bei einer Besichtigung des Schiller- und Goethe-Denkmal in Weimar konnten extreme Schäden beobachtet werden. Lt. Professor Lucke war Weimar durch hohe Schwefeldioxidkonzentrationen belastet. Auf dem gesamten Bronzedenkmal verursachte diese Immissionssituation Schäden durch Lochfraß. Die Löcher wiesen Tiefen bis zu neun Millimetern auf. Schäden in dieser Stärke wurden bislang in keiner Großstadt der alten Bundesrepublik gefunden.

---

**Dr. Prinz:**

---

Das ist aber nicht objektiviert festgestellt, sondern ist eine Vermutung von Ihnen?

---

**Herr Herkendell:**

---

Es gibt keine Epidemiologie.

---

**Prof. Pütz:**

---

Haben Sie einmal Höhenprofile ermittelt? Vielleicht darf ich das noch fragen, um unter Umständen den Einfluß, gerade bei Kupfer, wo wir bei dem Stichwort sind, bezogen auf den Straßenverkehr eher identifizieren zu können als auf die übrigen Luftverunreinigungen. Wenn Sie an einer Kirchturmspitze von 50 Meter Höhe den Einfluß messen, dann wird der in aller Regel selten vom Verkehr stammen.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Ja, das haben wir vor, haben es aber noch nicht gemacht.

---



---

**Prof. Pütz:**

---

Das wäre ein interessantes Indiz, um festzustellen, wie stark der **Verkehr** etwa an solchen Schädigungen beteiligt wäre.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Was wir zum Beispiel versuchen, ist, straßengewandte und straßenabgewandte Seiten von Bronzestandbildern vergleichend zu untersuchen, aber so richtig... Ja doch, es gibt kleine Unterschiede in der Verteilung, da haben wir mal ein Objekt gehabt, aber...

---

**Prof. Pütz:**

---

Herr Brüggerhoff hat schon mal so etwas untersucht; ich habe ein Bild von ihm in Erinnerung, wo ein Höhenprofil von einer Kirche vom Stein gemacht worden ist.

---

**Dr. Prinz:**

---

Aber da muß ich auch etwas Wasser in den Wein schütten, da nämlich bei dem Höhenprofil nicht nur die **Konstruktion** von Bedeutung ist, sondern auch die **Windgeschwindigkeit**, und die Windgeschwindigkeit systematisch mit der Höhe zunimmt, wobei die Aufnahmezeit dem Produkt aus Konzentration mal Windgeschwindigkeit proportional ist.

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Eine Bemerkung. Nicht nur die Windgeschwindigkeit, sondern auch die **Position zum Regen**, geschützt oder nicht, die ja wieder in unterschiedlichen Höhen auch unterschiedlich sein kann, wenn Sie z.B. Simse oder so etwas haben, wirkt sich aus. Fassen wir es unter den Begriff **Mikroklima** zusammen. Für Stein ist so etwas gemacht worden, aber eben nur für Stein.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Wir hatten ein Objekt untersucht, bzw. Kollegen haben das untersucht. Ein ungefähr fünfzehn Meter hoher **Obelisk** aus **Bronze** in München. Da treten aber wieder eher **nivellierende Effekte** auf, daß zum Beispiel bestimmte Salze verstärkt im unteren Bereich zu finden sind, aber das ist wahrscheinlich auf Effekte des Regens zurückzuführen. Die Salze werden abgewaschen und konzentrieren sich im unteren Bereich.

---

**Prof. Wesche:**

---

Ich wollte noch etwas ergänzen. Sie haben eben schon einmal als erstes Herrn Dr. Brüggerhoff gefragt: Sind in der letzten Zeit verstärkte Wirkungen aufgetreten?

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielleicht in Gebieten, in denen vorher die Schäden nicht so stark waren.

---

**Prof. Wesche:**

---

Ja, grundsätzlich. Dazu wollte ich eine **Kurve** an die Tafel zeichnen, die Herr Professor Grimm aus München auf Grund seiner **Friedhofsuntersuchungen** entwickelt hat. Der hat in der ganzen Bundesrepublik Friedhöfe untersucht, die deswegen interessant sind, weil man da die Exposition auf Jahrhunderte zurück genau datieren kann. Auf der Ordinate wird die **Verwitterungsrate** aufgetragen und auf der Abszisse die Zeit. Von vorhergehenden Jahrhunderten an ist die Verwitterungsrate konstant, als natürliche Verwitterung schreitet sie fort und etwa im Jahre 1850, da macht sie für den Raum München einen Knick nach oben. Ab etwa 1970 wird die Verwitterungsrate in München aber wieder geringer. Das hängt wahrscheinlich mit dem verringerten **SO<sub>2</sub>-Ausstoß** zusammen. Für das Ruhrgebiet allerdings scheint die Verwitterungsrate noch nicht abzunehmen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ja, vielen Dank. So, dann können wir aber, glaube ich, einen Schritt weiter gehen und Herrn Dr. Warscheid bitten, uns seine Ausführungen zu den Fragen eins und zwei vorzutragen.

---

**Dr. Warscheid:**

---

Ja, vielen Dank. Mein Name ist Warscheid. Ich vertrete hier die Arbeitsgruppe **Geomikrobiologie** an der Universität Oldenburg. Unsere Aufgabe ist es, im Rahmen des BMFT-Projektes, welches hier vielfach schon angesprochen worden ist, die Wechselwirkungen von **Mikroorganismen**, die sich überwiegend auf chemoorganotrophem Wege, also mit organischen Stoffen versorgen in ihrer Ernährung, mit Naturstein zu untersuchen. Ich möchte dafür erst einmal den zweiten Teil der Frage, die Sie gestellt haben, voranstellen, nämlich die Art und Weise, wie Mikroorganismen auf den Naturstein wirken und möchte da zwei große Gruppen an Mechanismen unterscheiden. Einmal die **physikalische Wirkung**, dann auch die **chemische Wirkung**, die Organismen haben können. Ich möchte aus gutem Grund, vielleicht kommen wir sowieso im Rahmen der Diskussion noch häufiger auf diese physikalische Wirkung zu sprechen, diese voranstellen. Das ist einmal die Ausscheidung von **schleimigen Substanzen**, wie wir sie noch nennen. Wir müssen auch ehrlicherweise zugeben, daß wir die gesamte Komposition dieser Schleime noch nicht kennen, die sich über eine Oberfläche eines Natursteines verbreiten können und dadurch Wirkungen, physikalische Veränderungen auf das Gestein ausüben, sei es über das Quellungsbestreben dieser Schleime, die dadurch eine Druckbelastung auf das Gestein ausüben, seien es Veränderungen der Porosität, die damit die **Feuchteverhältnisse** in diesen Gesteinen verändern, oder seien es auch Ausscheidungen von Substanzen, die die **oberflächenaktive Wirkung** von Feuchtigkeit verändern und damit auch das **Penetrationsverhalten** von Feuchtigkeit verändern können. Und zum anderen natürlich auch die Wirkung, die solche Schleime als **Klebefilme** ausüben, die eben Schadstoffe, partikuläre Substanzen auf einer Natursteinoberfläche festhalten können. Zu den chemischen Beeinflussungen, das ist sicherlich auch viel mehr bekannt, gehören natürlich die **Ausscheidungen von Säuren**, die von den Organismen herrühren, dazu zählen einmal die anorganischen Säuren und zum anderen auch organische Säuren der gesteinsbildenden Mineralien. Ein weiterer wichtiger Punkt sind

**Metalloxidationen**, die zu Veränderungen im Kristallgitter führen und damit natürlich auch zu einer Schwächung des Mineralverbundes. Ich möchte im Grunde genommen das ein bißchen zusammenfassen. Es wurde auch in dieser Frage angesprochen, inwieweit eine Biologie solche Prozesse beeinflusst. Es ist äußerst schwierig, und das ist ja auch hier angeklungen, prozentuale Verteilungen der Verantwortlichkeit für solche Schädigungsprozesse anzugeben. Ich möchte allerdings insbesondere den **Biofilm**, den ich eben angesprochen habe, als einen sogenannten **Reaktionsfilm** beschreiben, der auf solchen Oberflächen eine Vielzahl von Reaktionen ermöglicht, die wir möglicherweise in herkömmlichen chemischen Prozessen nicht so einfach herleiten können. Aber das stelle ich jetzt erst einmal zur Diskussion. Im Hinblick auf die Standorte, an denen sich **chemoorganotrophe Mikroorganismen**, wie wir sie untersuchen, überwiegend auf Naturstein aufhalten, kann ich jetzt bis zu diesem Zeitpunkt nur auf die Untersuchung, die wir auf **Gesteinsprüffeldern** durchführen, also auf systematische Untersuchungen zurückgreifen. Hier zeigt es sich, daß wenn auch die mikrobielle Besiedlung von Natursteinen teilweise überprägt sein kann durch gesteinspezifische Parameter wie Porosität und Mineralgehalt oder auch feuchtespezifische Parameter - wir haben sehr unterschiedlich geformte Prüfkörper, die wir untersuchen -, so läßt sich dennoch herausstellen, daß wir an den beiden **Extremstandorten**, die in die Untersuchung einbezogen sind, nämlich Holzkirchen und Duisburg, in unserer **Keimzahluntersuchung** durchaus **Unterschiede** finden. Und zwar können wir in **Duisburg** **schwächere Keimzahlen** oder niedrigere Keimzahlen als im Bereich **Holzkirchen**, das als **Reinluftgebiet** in diesem Projekt geführt wird, nachweisen. Keimzahlen sind alleine aber sicherlich noch kein Hinweis darauf, denn sie gehen natürlich immer mit ihren Untersuchungen auf eine gewisse spezielle Anreicherung ein, was sich allerdings im zweiten Falle auch nachweisen läßt, wenn auch leider bislang noch nicht so systematisch, wie das wünschenswert wäre. Untersucht wird die Ausbildung dieser besagten **Biofilme**, von denen ich anfangs gesprochen habe, und die wir auch in verstärktem Maße gerade in solchen Gebieten wie Duisburg auf solchen Natursteinen finden können. Ich möchte allerdings zu bedenken geben, daß es für solche Bildungen auch unter Umständen natürliche Faktoren geben kann, denn es gibt auch **organische Luftschadstoffe**, dafür möchte ich hier den Namen **Luftinhaltsstoffe** verwenden, die eben als **Ausscheidung der Pflanzen** bzw. aus Nadelwäldern usw. kommen, die dann natürlich auch einen Eintrag auf dieses, ich möchte einmal sagen **Nährstoffkontingent**, das diesen Bakterien zur Verfügung steht, ergeben.

---

**Herr Herkendell:**

---

Auch wieder die Frage zur **räumlichen Verbreitung** der Schwerpunkte des Auftretens von Schäden. Ich hatte einmal gelesen, daß es insbesondere in den Regionen, die intensiv ackerbauartig genutzt werden, zu **Auswehungen** kommt. Dieses erodierte **Bodenmaterial** enthält **Bakterienstämme**, die man schließlich an den **Gebäudeoberflächen** wiederfindet. Ist dem so?

---

**Dr. Warscheid:**

---

Dies ist vielleicht eine Frage, die ich nachher weitergeben möchte an die Vertreter der Arbeitsgruppe Bock, die sich vorwiegend mit **nitrifizierenden Bakterien**, die also verstärkt mit diesen Dünge-Untersuchungen zu tun haben, bzw. dort Verbindungen hergestellt haben, beschäftigt. Ich möchte es nicht ganz ausschließen, daß solche Einflüsse, seien es solche Düngungen, seien es diese **Terpene**, von denen ich gerade gesprochen habe, die aus Baumgruppen stammen, daß die natürlich auch den **Aufwuchs** von Bakterien auf solchen Gesteinsoberflächen erhöhen und damit einen "natürlichen" Eintrag ergeben. Es ist allerdings die Frage, wie die Zusammensetzung einer solchen Bakteriengemeinschaft im Vergleich zu einer Bakteriengemeinschaft aussieht, wie wir sie zum Beispiel in Duisburg nachweisen können. Die **Aufwuchsform** bzw. die Aufwuchsart auf diesen Natursteinen ist vollkommen unterschiedlich. Wenn ich das einfach einmal im äußeren Rahmen sehen kann: Sie sehen auf einer solchen Gesteinsoberfläche, die im **natürlichen Rahmen** exponiert ist, überwiegend **vergrünende Oberflächen**, während Sie in einem **industriebelasteten** sehr schnell zu einer **verschwärenden Oberfläche** kommen. Ich will das jetzt einmal so grob gegeneinander stellen, das ist sicherlich noch differenzierter zu sehen, nur um hier ein Bild geben zu können.

---

**Herr Herkendell:**

---

Leben in diesen schwarzen Krusten auch Bakterien?

---

**Dr. Warscheid:**

---

Das ist sicherlich eine komplexe Frage, der auch in einem anderen Arbeitskreis, im WTA-Arbeitskreis-ausschuß über schwarze Krusten und die Entstehung von **schwarzen Krusten auf Gesteinsoberflächen**, nachgegangen wird. Es ist davon auszugehen, daß wir hier einen **zeitlichen Prozeß** vor uns haben, der sicherlich mit einer harmlosen Vergrünung anfängt, und vorerst für eine Gesteinsoberfläche keinen schädigenden Einfluß hat. Nur dieser geht später in eine **Verschwärzung** über und beginnt dann, durch Veränderung der Oberflächen, des Oberflächenverhaltens eines solchen Natursteins, einen **schädigenden Einfluß** auf das Gestein zu nehmen. Da haben Sie in einem solchen Film auch Reaktionen des **SO<sub>2</sub>'s** und Reaktionen, die auf **Stickoxide** zurückgehen, und auch nicht primär biologisch induzierte Schadensprozesse, die in solchen Filmen verstärkt werden. Aber Sie haben die Biologie selbst auch. Ich habe dazu Bilder, aber ich werde das lieber erst einmal inhaltlich ausführen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ich möchte vorschlagen, Herr Warscheid, daß auch Sie nach der Kaffeepause die Bilder zeigen. Dann kommen wir ja auch noch einmal auf die **Mechanismen** zu sprechen und können diese Fragen vielleicht noch etwas vertiefen.

---

**Dr. Krause:**

---

Die Fragen gingen teilweise in die Richtung, die Sie jetzt gerade schon beantwortet haben. Man kann sagen, daß das **bakterielle Wachstum** vom **Substrat**, also in diesem Fall vom Gestein, abhängig ist. Sie nannten ferner die **Feuchtigkeit** essentiell. Darüberhinaus ist vorstellbar - wir kennen das ja von anderen Bereichen -, daß die Deposition bestimmter Schadstoffe, die gleichzeitig als Nährstoffe dienen, das bakterielle Wachstum bestimmen. Die Frage ist also: Können Sie die **Bakterienstämme** nach Bereichen z. B. mit Einträgen **stickstoffhaltiger Verbindungen** oder Einträgen **schwefelhaltiger Verbindungen** unterscheiden? Kann man sagen: Meine bakterielle Zusammen-

setzung deutet z.B. auf einen schwefeldioxidbelasteten Standort hin oder einen, der durch organische Luftverunreinigungen belastet ist? Sind solche Untersuchungen schon einmal gemacht worden? Ist das vom Prinzip her richtig?

---

**Dr. Warscheid:**

---

Ich habe eben versucht darzustellen, daß die Mikrobiologie, die wir am Stein finden, eine sehr komplexe Mikroflora ist, die sich nicht immer so deutlich zeigt, wie wir das in chemischen Prozessen kennen, daß wir einen Prozeß haben und der läuft ab und sonst ist alles weitere untergeordnet. Wir haben meistens eine Mikroflora, in der sich eigentlich jegliche Vertreter finden, nur unterschiedlich ausgeprägt, weil eben die Nährstoffverhältnisse entsprechend unterschiedlich sind. Sie können allerdings sicherlich auch Beziehungen aufzeigen, zum Beispiel möchte ich einmal die Nitrifikanten herausstellen, die doch sicherlich durchaus spezifisch reagieren und durchaus auf solche Verbindungen zu reagieren wissen, genauso wie Bakterien. Wir haben solche Untersuchungen gemacht, wie gesagt, wir haben nicht nur auf Gesteinsprüffeldern gearbeitet, sondern natürlich auch am Objekt. Ich möchte mit diesen Daten allerdings sehr vorsichtig sein. Solche Objekte sind verschieden alt, sie haben verschiedene Gegebenheiten, nur gibt es hier schon durchaus Untersuchungen bzw. Hinweise darauf, daß Sie kohlenwasserstoffabbauende Bakterien vorwiegend in Gegenden finden, in denen auch die Belastung entsprechend gegeben ist. Dies ist also durchaus nachzuvollziehen. Nur das können Sie nicht immer so einfach in Bereiche aufteilen und dann sagen, das ist jetzt der überwiegende Teil, der da auftritt.

---

**Dr. Krause:**

---

Das ist nun ein Bereich. Aber prinzipiell besagt das Auftreten von Bakterien alleine ja noch nichts.

---

**Dr. Warscheid:**

---

Nein, auf jeder Oberfläche finden Sie Bakterien.

---

**Dr. Krause:**

---

Haben Sie eigentlich einmal direkt feststellen können, daß bestimmte Stämme zu einer meßbaren Korrosion eines x-beliebigen Natursteines geführt haben oder ist es eigentlich mehr eine Vermutung, daß es auf Grund, ich sage einmal säurehaltiger Ausscheidungen, eigentlich so sein müßte?

---

**Dr. Warscheid:**

---

Wir haben leider die Möglichkeiten zu direkten Simulationsuntersuchungen noch nicht, das heißt also, unser großes Simulationsfeld sind die Gesteinsprüffelder, auf denen wir nun seit drei Jahren arbeiten. Wir machen z.B. solche Untersuchungen über diese Filme, die ich eben angesprochen habe, ob sie tatsächlich quantitativ den Wasserhaushalt des Gesteins verändern, oder ob wir das nur darauf beobachten und ob wir diese Filme nachweisen können oder nicht. Es gibt durchaus konkrete Hinweise, daß solche Filme für sich selbst bereits die kapillare Wasseraufnahme gebrauchen, im Gestein verändern und damit natürlich einen veränderten Wasserhaushalt ergeben. Ich möchte eigentlich diese Prozesse, diesen Reaktionsfilm als fast gravierender einschätzen als die Biokorrosion. Wir haben diese Korrosion nun schon seit einigen Jahren untersucht und man ist letztendlich immer wieder zu diesem Schluß gekommen. Sie können natürlich auch im Laborversuch mit solchen säurebildenden Stämmen eine Korrosion an Gesteinen herbeiführen, das ist keine Frage. Es ist nur immer die Frage, wie Sie die Bedingungen wählen. Das führt dazu, ich darf das vielleicht aus Untersuchungen, die ich im Rahmen meiner Forschungsarbeit gemacht habe, ergänzen, daß Sie in Untersuchungen, die Sie lediglich im Laboransatz, in Reagenzgläsern mit Nährlösungen durchführen, zu ganz anderen Ergebnissen kom-

---

men, als wenn Sie eine mineralische Substanz anbieten. Mikroorganismen verhalten sich vollkommen anders, auch vor allen Dingen in diesen **Biofilmen**, denn die offerieren ihnen ganz andere **Lebensbedingungen** als die, die sie im Reagenzglas haben. Insofern ist alleine da schon die Simulation recht schwierig. Sie müßten einen Biofilm künstlich erzeugen.

---

**Dr. Krause:**

---

Ich möchte einmal zusammenfassen: Ist die Antwort dann nein?

---

**Dr. Prinz:**

---

Entschuldigung, ich muß einmal schnell unterbrechen. Das ist eine außerordentlich interessante Diskussion, nur sind wir schon weit voraus im Programm. Wir haben sonst nachher keinen Stoff mehr, den wir dann noch zu diskutieren haben, wenn wir jetzt schon alles abschließend hier behandeln. Also, entschuldigen Sie bitte, daß ich das jetzt so abwürge, aber wir kommen da heute nachmittag noch auf diese Fragen und morgen auch, wenn es um methodische Untersuchungsarten geht. Ja, dann ist das aber soweit abgeschlossen.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Ich habe noch eine Frage dazu und zwar, ob es zu diesem Fragenkomplex auch **Langzeitbeobachtungen** gibt. Unser Hearing bezieht sich ja auch darauf, festzustellen, ob es in den letzten Jahren eine **Veränderung** in der Art der **Steinschäden** gibt, die bedingt ist durch die veränderte Immissions-situation. Dazu ist meine Frage: Haben Sie eine **Dauerbeobachtungsstelle** oder ähnliches wie es in biologischen Langzeit-Projekten gibt in diesem Bereich eingerichtet oder ist vorgesehen, etwas derartiges zukünftig zu installieren?

---

**Dr. Warscheid:**

---

Meines Wissens ist dies noch nicht vorgesehen. Allerdings meine ich, um wirklich Aussagen treffen zu können, die sich auf solche Beobachtungen

gründen, ist ein Projekt mit einer Laufzeit von bislang 5 Jahren zu wenig. Sie können natürlich durchaus von erfahrenen Restauratoren usw. Beobachtungen bekommen. Z.B. diese augenscheinlichen Sachen, die man beobachten kann, daß **Vergrünungen** heutzutage wesentlich stärker an Gebäuden auftreten als dies in der Vergangenheit der Fall gewesen ist. Ich muß solche Erfahrungen einfach aufnehmen, und wir können auch sehen, daß wir in entsprechenden Atmosphären verstärkte Vergrünungen haben. Aber wie gesagt, das sind eben nur **empirische Beobachtungen**, die von Dritten gemacht werden, die auch nicht mit mikrobiologischem Hintergrundwissen gewonnen werden.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Gibt es auch keine Fotodokumentation über einen gewissen Zeitraum?

---

**Dr. Warscheid:**

---

Das ist meistens recht schwierig, weil viele Fotodokumentationen **schwarz-weiß** sind, und auf denen können Sie relativ wenig erkennen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Dann können wir das aber, glaube ich, abschließen. Wir kommen dann zu Herrn Dr. Eckhardt. Wenn Sie vielleicht auch noch wieder kurz sagen, wo Sie herkommen und welche Disziplin Sie vertreten.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Ich komme aus dem Institut für allgemeine Mikrobiologie der Universität in Kiel und beschäftige mich seit '74 praktisch mit den **Beziehungen** zwischen **Mikroorganismen** und der **Gesteinsverwitterung**. Ich habe mich dazu animiert gefühlt durch einen Kongreß in Bologna, auf dem in 90 Prozent der Vorträge seitens der Konservatoren und anderer Schadstoffuntersucher von nicht mikrobiologischen Einflüssen gesprochen wurde und Mikroorganismen auf den Gesteinen nur einmal als da-sei-

end erwähnt wurden. Wir wußten damals schon, daß jede Gesteinsoberfläche und auch nicht nur die Oberfläche, sondern auch der Porenraum unter der Oberfläche besiedelt ist mit mindestens  $10^6$  Bakterien, Pilzen und Algen pro Gramm Trockengestein. Von dieser Menge muß etwas zu erwarten sein. So ohne weiteres wachsen die da nicht, sondern sie wirken sich auch aus. In welchen Gebieten liegen Beobachtungen vor. Es sind bisher im wesentlichen Gesteine beschrieben worden, die von Luftschadstoffen und auch von anderen Faktoren, in diesem Falle von Mikroorganismen, "bearbeitet" werden. Man muß zu diesen Gesteinen bzw. mineralischen Baustoffen noch die Putze zählen, Außenputze sowohl als auch Innenputze. Dort habe ich sehr viele Untersuchungen z.B. an Fresken gemacht, die auch etwas damit zu tun haben. Man muß die mittelalterlichen Kirchenfenster mit einbeziehen. Es sind dies ja auch Mineralien. Insbesondere die kali-gebundenen Fenster sind heute sehr geschädigt und werden hinter Verglasung gestellt, damit sie vor den Luftschadstoffen und vor anderen Einflüssen geschützt werden. Man müßte heute auch noch als organische Werkstoffe die Fachwerkbauten hinzuziehen, die ja als neues Projekt auch vom BMFT mit untersucht werden, die im Verbund zwischen mineralischen Werkstoffen wie dem Baustein, dem Lehm, dem Putz und auch neuen Steinmaterialien, die dort in diesem Fachwerk verbaut werden, aber auch mit dem Holz als Trägersubstanz eine Zwischenreaktion machen. Es gibt da durchaus schon deutliche Hinweise, daß Beeinträchtigungen insbesondere an den Stellen auftreten, wo Wasser hinzutreten kann, sprich also an den Fugen zwischen den Ausfachungsmaterialien und den Ständerwerken bzw. in den Zapfenlöchern am Fuße der Ständer, die in dem Trägerbalken einsitzen, wo sich auch gewisse und sehr schnell eintretende Schäden entwickeln können. Es betrifft also praktisch alle mineralischen Werkstoffe, die in dieser Weise beeinflusst werden können. Die Zahl der Mikroorganismen wurde eben schon angesprochen, es wurde von Herrn Warscheid auch schon behandelt, wie sie dort eventuell wirksam werden. Es betrifft nicht nur die Oberfläche, sondern jedes poröse Material wird auch in seine Tiefe hinein besiedelt, und es sind also durchaus bei Untersuchungen bis zehn Zentimeter Tiefe lebende Mikroorganismen nachgewiesen worden. Es sind bei den Wandputzen, die ich untersucht habe, immer bis zum Baustein, bis zum festen Stein runter, Mikroorganismen gefunden worden. Es sind dies nicht nur Bakterien, sondern insbesondere Pilze, die sich durch ihr filamentöses Wachstum sehr gut durch das Porensystem hindurchschlängeln können, rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen zeigen das immer wieder sehr deutlich. Herr Blaschke hat davon sicherlich reichlich Bei-

spiele zur Hand, die wir vielleicht nachher sehen können. Es gibt also ein stellenweise sehr dichtes Leben im Gestein. In den Oberflächenbereichen, wo noch Licht hinzutreten kann, ist die Besiedlung durch Algen mitzuberechnen. Gerade das Kombinationswachstum zwischen den heterotrophen Pilzen und Bakterien und den phototropen Algen und Zyanobakterien ermöglicht eine ganz neue Bandbreite des Wachstums und auch des Einwirkens auf die Mineralien. Den Einfluß als Luftschadstoff müßte man noch mit berücksichtigen dadurch, daß die Mikroorganismen auch über den Luftweg transportiert werden. Es ist nicht nur, daß diese irgendwie an der Oberfläche da sind, sondern sie können auch dorthin gelangen. Sie können also mit dem Luftstaub transportiert werden über Kilometer. Es sind Nachweise erbracht worden, in denen Pilzsporen von England bis nach Dänemark hin verfolgt wurden. Bis in drei Kilometer Lufthöhe hatte man die Proben gesammelt. Es ist also ein weiter Transportweg. Wir haben in Kiel Untersuchungen gemacht über die Immission von solchen Mikroorganismen auf Oberflächen. Da haben wir festgestellt, daß sich pro Quadratmeter und Tag etwa  $10^6$  Bakterien und Pilzkolonien entwickelt hatten. Die Mikroorganismen kommen also über den Luftweg an, setzen sich an den Oberflächen fest und können sich, falls sie dort leben können, entsprechend entwickeln. Sie können in das Material eindringen, so daß sich also die Problematik, wie sterilisieren wir eine Oberfläche und haben damit den Faktor ausgeschaltet, am nächsten Tag schon wieder neu stellt. Es ist also eine ständig neue Insemination von solchen Mikroorganismen zu erwarten und festzustellen. Sie können dort leben, das ist gar kein Zweifel. Diese Sedimentmaterialien haben organisches Material von der Genese her, sie kriegen organisches Material von dem Lufttransport nicht nur in gasförmiger Form, sondern auch in partikulärer Form, der Luftstaub enthält zu 50 Prozent Kohlenstoff. Es muß nicht alles organischer Kohlenstoff sein, aber ein Teil davon und damit kann man auch leben. Der Regen bringt außerdem genügend organische Materialien mit. Es sind Aminosäuren und Fette und ähnliches mehr in den Regenwasserzuläufen gefunden worden, die den heterotrophen Mikroorganismen das Leben leicht machen, so daß einfach von daher auch keine Frage der Lebensmöglichkeiten mehr besteht. Die dritte Situation, die wir mit dem Leben der Mikroorganismen in diesen porösen Oberflächenmaterialien noch betrachten müssen, ist, daß sie auch zusammen leben. Die Schleime sind schon angesprochen worden. Die Schleime sind wie andere Organismen ohne weiteres auch Nährstoffe. Sie sind also durchaus nicht nur für den produzierenden Organismus etwas, sondern auch für den Nachbarn sind sie durchaus akzeptabel als zu verwertendes Material. Sie können umgebaut wer-

---

den, wir haben Untersuchungen in Kiel gemacht, wo wir anhand des **Mischwachstums** eines Pilzes mit einer **Alge** eine **beschleunigtere Zersetzung** von **Tuffgestein** aus dem Kölner Bausteinmaterial feststellen konnten, als wenn wir den Pilz allein oder die Alge allein haben wachsen lassen. Die Situation, die wir hier vielleicht anders als mit den chemischen Immissionseinflüssen haben ist, daß sie **langfristiger** angelegt sind. Sie sind nicht so schön kurzfristig wie mit einer einmolaren Säure feststellbar, sondern zum Teil entwickeln sie sich erst in einem relativ langsamen Zeitraum. Die Mikroorganismen gehen durch ihr exponentielles Wachstum in eine größere Zellmasse über, die dann wiederum auch einen größeren Effekt ausüben kann. Wir müssen immer mit biologischen Effekten und mit längeren Zeiträumen, also auch längeren Beobachtungszeiträumen rechnen. Das vielleicht so als Einleitung.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, Herr Eckhardt. Darf ich noch einmal, um gleich anzuschließen, den ersten Teil der Frage aufrufen: **In welchen Gebieten liegen größere immissionsbedingte Schäden an Materialien vor?** Sind da in Schleswig-Holstein irgendwelche Schwerpunkte erkennbar, auch wieder vor dem Hintergrund, ob sich da **zeitlich Änderungen** ergeben haben und ob man das heute anders sieht wie früher? Haben Sie da irgendwelche Erfahrungen?

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Schleswig-Holstein ist nicht so ein Ballungsgebiet, wie wir es gerade hier in unserer Umgebung haben. Von daher gesehen hat sich das über längere Zeit auch noch nicht so sehr stark ausgewirkt. Die Beobachtungen haben relativ spät eingesetzt. Ich bin der festen Überzeugung, daß sie früher auch da waren, nur nicht beobachtet worden sind. Das ist der eine Unterschied. Der sicherlich **gravierendere Unterschied** ist zwischen den ländlichen und städtischen Gebieten vorhanden, und das möchte ich hier vielleicht auch noch einmal mit betonen: **Das Stadtklima** ist ein **verändertes Klima** im Vergleich zum Land, und das wollte ich vorhin auch noch mit einwenden. Die Messungen von Herrn Dr. Luckat am Kölner Dom haben gezeigt, daß zum Teil die Immissionen in 20 und 50 Meter Höhe stärker waren als unten am Fuß des Kölner Domes, weil der **Straßenschlucht-Effekt** dazu

kommt. Die Immissionen waren in den oberen Bereichen also etwas stärker. Was durch diesen Straßenschlucht-Effekt hinzukommt, ist natürlich, daß das Klima in der Stadt insgesamt wärmer wird. Wir haben in der Stadt insgesamt einen sehr viel höheren CO<sub>2</sub>-Anteil der Luft, die sich als Kohlen-säure letztendlich im gelösten Wasser mit auswirken kann als Säure, und wir haben auch andere Angebote, sowohl **Schwefelangebote** als auch **Abgasangebote**, und in den gasförmigen Abgasangeboten haben wir natürlich eine ganze Menge von Komponenten, die von diesen Mikroorganismen verwertet werden können wiederum als Wachstoffsstoffe. Neben den pflanzlichen Ausstößen, die Herr Warscheid schon erwähnt hat, **Terpene** und ähnliche, gerade wo Büsche und Bäume direkt an Mauern stehen, können wir das besonders gut beobachten. Wo Bäume über Dächer hinüberra-gen, haben wir immer grüne Dächer. Da können Sie sozusagen von Meter zu Meter den Unterschied feststellen, aber auch die anderen aromatischen Kohlenwasserstoffe, die in den Autoabgasen angeboten werden, können zum Teil verwertet werden, und ich erinnere an die Untersuchungen in Hamburg und an anderen Stellen, wo Dioxine selbst von Mikroorganismen verwertet oder geknackt werden können. Es sind also nicht nur die einfachen Kohlenwasserstoffe, sondern auch die komplizierten Kohlenwasserstoffe, die als Angebote und dann gerade im Stadtgebiet eine Bedeutung gewinnen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Sie gehen natürlich bei Ihrer Antwort schon sehr stark in die Analyse hinein und sagen: In städtischen Gebieten sind die Schäden intensiver, weil die und die Komponenten vorhanden sind. Eigentlich gehen wir da schon einen Schritt zu weit. Es könnte ja sein, daß das Suchbild einen auch beeinflusst. Man sagt, weil in den Stadtgebieten mehr SO<sub>2</sub> ist, müssen dort auch die Schäden intensiver sein. Unser Ansatz begann eigentlich eine Stufe vorher, nämlich losgelöst von irgendwelchen Ursachendiskussionen einfach einmal festzustellen: **Gibt es räumliche Differenzierungen?** Ist es tatsächlich so, daß die Schäden, oder die Bakterienbesiedlung, innerhalb der Städte umfangreicher, intensiver sind als in ländlichen Gebieten, ohne daß ich da schon irgendwelche Ursachenfaktoren dazu in Beziehung setze, also ganz unbeschwert und losgelöst von irgendwelchen Ursachendiskussionen einfach zu fragen: **Gibt es Unterschiede zwischen Stadt und Land?** Wenn ich Ihnen die Frage noch einmal so klar präzise stellen darf?

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Es sind auf diesem Gebiet wenig Untersuchungen gemacht worden. Die einzige, die mir im Moment einfällt, ist die Dissertation von Herrn Krummbein (1966), der tatsächlich Mikroorganismenzahlen in städtischen und ländlichen Gebieten einmal nebeneinander gehalten hat.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ich sage das, weil das ganz wichtig ist, damit wir uns nicht nachher in einer falschen Sicherheit wägen.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Es ist ein Defizit auf diesem Sektor...

---

**Dr. Prinz:**

---

Dann sollten wir lieber sagen, es mag Unterschiede geben, aber wir haben sie bisher nicht festgestellt, oder sie sind nicht festgestellt worden bzw. es fehlen entsprechende Untersuchungen dazu, als daß wir jetzt schon spekulieren, in der Stadt sind die und die Luftschadstoffe stärker vertreten, also müssen auch die Schäden intensiver sein. Also mir liegt sehr viel daran zwischen dem was man tatsächlich weiß und dem, was man vermuten kann zu sortieren. Da muß ich hier schon einmal resümieren und feststellen, was unser gegenwärtiges Wissen anbetrifft, können wir eigentlich gar nicht sagen, es gibt räumliche Unterschiede zwischen Stadt und Land. Wenn ich jetzt auch gleich schon einmal ein bißchen das bisher Gesagte Revue passieren lasse, dann war dies eigentlich das Ergebnis aller Abfragen hier. Es gab zwar Deutungsversuche, aber klar hat es keiner von Ihnen zum Ausdruck gebracht, wo die Materialschäden besonders stark und wo sie besonders schwach vertreten sind. Das ist auch dann gleich Aufmunterung für die nächsten Referenten hier.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Also mir sind mit dem einen Fall ausgenommen wenig Untersuchungen in der Richtung bekannt. Vielleicht könnten Herr Warscheid oder auch Herr Wilimzig aus dem BMFT-Verbundprojekt Sachen berichten. Es sind einige Gebäude dabei untersucht worden, die nicht in Ballungsgebieten liegen und einige Gebäude untersucht worden, die in Ballungsgebieten liegen und wie die Zahlen dazu liegen, müßten Sie aus dem Projekt heraus vielleicht beantworten werden können.

---

**Prof. Wesche:**

---

Das mag vielleicht für Herrn Eckhard und für die biologische Korrosion zutreffen, daß da nicht ausreichende Untersuchungen vorliegen. Ich weiß aber genau, bei der Metallkorrosion ...

---

**Dr. Prinz:**

---

Das ist richtig, das haben wir selbst untersucht.

---

**Prof. Wesche:**

---

... daß dort eindeutige Unterschiede zwischen Land-, See- und Industrieluft bestehen. Aber es ist ja immer die Frage, wo kommt die Industrieluft her? Wenn ich oben durch die Eifel fahre und sehe, daß da die Bäume sterben, da kann ich nur annehmen, daß das nicht von der ländlichen Atmosphäre, sondern nur von der Industrie im Maastal herkommt.

---

**Dr. Prinz:**

---

Aber dieses Problem wollen wir hier lieber nicht diskutieren, sonst kommen wir in eine ganz andere Sparte, die sicher auch sehr spannend ist, aber dann uns auch viel Zeit rauben würde.



---

**Herr Brüggerhoff:**

---

Ja, vielleicht noch einmal ganz kurz eine Bemerkung zu dem fehlenden Kataster, was Sie ja letztendlich ansprechen.

- A) Eine erste Bemerkung. So etwas ist in **Planung**. Ich erwähne da das UBA, Dr. Fitz ist zur Zeit dabei, so etwas zu erstellen. Es ist eine langwierige Angelegenheit.
- B) Es ist noch einmal die Schwierigkeit in Bezug gerade auf das Material Stein anzusprechen. Dieses Kataster müßte auch vernünftig auszuwerten sein. Das Problem ist, wir haben es mit **unterschiedlichen Steinmaterialien in unterschiedlichen Regionen** zu tun. Wir haben es häufig mit einem **unterschiedlichen Verbrauchsalter** dieser Steinmaterialien zu tun und wir haben es mit **unterschiedlichen Gebäudesituationen**, Mikroklima usw. zu tun, so daß wir also, selbst wenn wir das Kataster haben werden, Probleme haben werden, dort ganz klar eine Schlußfolgerung der Art zu ziehen: Im Land sind die Schäden niedriger als in der Stadt.

---

**Herr Herkendell:**

---

Noch eine Frage. Ich bin da etwas hartnäckig, was die Immissionsfaktoren im weitesten Sinne, auch ihre indirekten Wirkungen angeht, und zwar sprachen Sie eben von **Algen**. Und Algen reagieren ja bekanntermaßen auf vermehrtes Stickstoffangebot mit schnellerem Wachstum. Haben Sie in der letzten Zeit eine **Massenvermehrung** von Algen festgestellt?

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Nein, dazu habe ich keine quantitativen Angaben. Das einzige, was ich habe, ist, daß alle Welt über das **starke Vergrünen** der Oberflächen in den letzten Jahren klagt und dieses Vergrünen ist auf den **Bewuchs mit Algen und Cyanobakterien** zurückzuführen. Aber es sind m.W. keine quantitativen Untersuchungen gelaufen.

---

**Herr Herkendell:**

---

Lassen derartige Untersuchungen sich ggf. innerhalb kürzester Zeit realisieren?

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Ja, kürzester Zeit heißt wenige Jahre.

---

**Herr Herkendell:**

---

Wenige Jahre? Sie arbeiten ja in der Regel in Jahrzehnten, wenn nicht sogar Wissenschaftsgenerationen, um seriöse Ergebnisse publizieren zu können.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Ich bin bei entsprechender Unterstützung gerne bereit.

---

**Dr. Prinz:**

---

Das ist die Zusage Ihrer persönlichen Lebensverlängerung.

---

**Herr Herkendell:**

---

Dann nur noch eine Verständnisfrage zu den Bakterien. Weiß man eigentlich überhaupt etwas über die **Populationsdynamik** der Stämme und deren Interaktion?

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Jein. Man weiß über *Escherichia coli* sehr viel, weil das ein medizinisch interessanter Organismus ist und man hat ihn also auch in dieser Richtung sehr stark untersucht. Man weiß von einer Reihe von Bakterien und auch Pilzen, die in der Natur vorkommen, schon etwas. Man weiß, daß sie in aller Regel langsamer wachsen in diesen natürlichen Freilandbedingungen als es im Labor der Fall ist. Es gibt das Extrem, daß in den Gesteinen der Trockentäler in der Antarktis, die im Sommer so gerade über dem Nullpunkt Temperaturen aushalten, deren Winter eine normale Temperatur von minus 60 Grad haben, dichte Bakterien-, Algen- und Pilzfilme sich unter der Oberfläche entwickelt haben, die unterschiedlich in ihrer Zusammensetzung sind, die vielfach zusammengesetzt sind, und ich könnte die ketzerische Behauptung aufstellen, ohne daß sie mir jemand widerlegen kann: Wir haben die eigentlichen Steinbeißer noch gar nicht gefunden.

---

**Herr Herkendell:**

---

Ja, ich wollte an sich auf eine ähnliche...

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Es gibt hunderttausend verschiedene Pilzarten, die nicht alle im Gestein vorkommen, die unter Umständen auch von der Mineralkomposition abhängig und unterschiedlich verteilt dort sitzen. Es gibt carbonatisches Gestein, was durch seinen pH schon eine Gruppe von Organismen ausschließen kann. Basisches oder saures Gestein fördert den einen oder den anderen, so daß es nie an zwei verschiedenen Steinen die gleiche Komposition gibt. Aber es ist immer eine Artenvielfalt und von denen wissen wir nur einen Teil.

---

**Herr Herkendell:**

---

Könnte es theoretisch sein, daß wir einen Selektionsdruck auf die Populationsdynamik durch die Wirkung bestimmter Luftschadstoffe haben?

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Ja.

---

**Herr Herkendell:**

---

Aber den können wir nicht interpretieren? Ist das richtig?

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Bis jetzt noch nicht. Also dadurch, daß jetzt eine höhere SO<sub>2</sub>-Emission in den Stadtgebieten vorherrscht, könnte ich mir vorstellen, daß eine Reihe von SO<sub>2</sub>- und schwefelsäureempfindlichen Bakterien im Stadtgebiet fehlen, dafür Pilze vermehrt vorhanden sind. Das ist eine Hypothese.

---

**Herr Herkendell:**

---

Aber wir haben keine Referenzen.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Nein.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Ich möchte an die "mikrobiologische Ecke" eine Frage richten. Werden bei Ihnen auch die organischen Werkstoffe mit untersucht, oder beziehen sich alle Ihre Aussagen auf die Steinbaustoffe? Es gibt ja auch eine Besiedlung von Kunststoffen durch Mikroorganismen, aber das untersucht zur Zeit keine Arbeitsgruppe von Ihnen?

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Nein.

---

**Dr. Warscheid:**

---

Vielleicht eine Bemerkung dazu: Im Rahmen der Untersuchungen, die sich mit Schutzstoffen für zum Beispiel mineralische Stoffe befassen, z.B. Polyurethane, die man einsetzt oder auch Hydrophobierungsmittel usw., hat unsere Gruppe Untersuchungen zu dem Angriff durch Mikroorganismen auf solche Produkte gemacht. Hier muß eine Gruppe hervorgehoben werden: Es sind überwiegend Pilze, die sich an solche Materialien heranmachen. Wie dieser Prozeß jetzt wirklich über die Zeit zu sehen ist, wie schnell er stattfindet, das wissen wir noch nicht. Wir können ihn zwar recht schnell beobachten und nachweisen, aber wie nachhaltig er ist, das wird sich erst noch in der Zeit erweisen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Herr Eckhard, Sie wollten das noch ergänzen?

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Mir fällt dabei eine Arbeit ein, die einmal in München gelaufen ist, in der Polyvinylacetat direkt untersucht wurde als Zuschlagstoff oder Bauzusatzstoff. Dieses Polyvinylacetat wurde phantastisch verwertet von den entsprechend untersuchten Pilzen. Sie haben da Zuwachsraten gehabt, wie sie sich sonst nur erträumen können. Sie müssen dieses Polyvinylacetat als Nährstoff als freudiges Angebot mit aufnehmen.

---

**Dr. Prinz:**

---

So, das Fragebedürfnis von dem Board der rechten Ecke ist offensichtlich abgedeckt. Dann kann ich den Fragenkomplex weitergeben an Herrn Dr. Wilimzig.

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Ich bin von der Arbeitsgruppe von Herrn Bock aus der Mikrobiologie von der Universität Hamburg. Wir untersuchen eine spezielle Bakteriengruppe am

Gestein, die sogenannten **Nitrifikanten**, d.h. Bakterien, die Ammonium über Nitrit in Nitrat umwandeln. Wir finden diese Bakterien nicht nur auf **Naturstein**, wir finden sie auch auf **Beton** und in **Mörtel**. Dort haben wir dann zum einen einen **Säureangriff** durch Salpetersäure und durch salpetrige Säure und auf der anderen Seite haben wir einen **Salzangriff**. Die Bakterien wachsen im Gestein in Mikrokolonien, die, wie ja auch Herr Warscheid schon sagte, von einem Biofilm umgeben sind. Um diese Mikrokolonien finden wir hohe Konzentrationen von Nitraten, d.h. dort werden die Salze abgelagert, die dann zu physikalischem Salzstreß bei Trocknung, bei Feuchtigkeit führen. Zu der Frage, ob Stadt oder Land mehr belastet ist, konnten wir eigentlich bisher wenig Unterschiede feststellen. **Salpeter** in Gemäuern von **Viehställen** ist bekannt. **Ammonium**, das als Substrat für diese Bakteriengruppe gilt, kommt zu 95 Prozent aus der **Intensivtierhaltung**. Wir finden an jedem Bauwerk, was wir untersucht haben, genügend Ammonium, d.h. es ist überall genügend Substrat vorhanden. In den Städten finden wir zusätzlich **Stickoxide**, die auch als Substrat für diese Bakterien dienen. In der Simulation durch die Asterixe auf den verschiedenen Prüffeldern in **Duisburg** und in **Holzkirchen** finden wir, daß in **Duisburg** schon nach zwei Jahren die Nitrifikanten auftreten und dort **stärkere Schäden** als in dem Reinluftgebiet in **Holzkirchen** vorhanden sind. Was ich sonst noch sagen wollte, zu Herrn Brüggerhoff: Er sagte, daß keine zeitliche Zunahme oder keine neuen Schäden vorhanden sind. Was man oft von Restauratoren hört: das Gebäude zerfällt in den letzten 100 Jahren genausoviel wie es in den letzten 700 Jahren davor zerfallen ist, d.h. wir haben also vielleicht keine neuartigen Schäden, sondern eine **Zunahme der Schädigung**.

---

**Dr. Prinz:**

---

Das ist kein direkter Widerspruch.

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Da bin ich mißinterpretiert worden. Mit neuartige Schäden hatte ich solche Schäden gemeint, die in den letzten zehn Jahren oder so etwas aufgetreten sind. Die Kurve, die Professor Wesche angezeichnet hat mit einem Zeitraum von 100 Jahren, ist unbestritten. Auch die berühmte **Winkler-Kurve** hat eine ganz ähnliche Form, die zeigt, daß in den letzten 100 Jahren eine **Zunahme der Schädigung** zu beobachten ist.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank für die Klärung. Das war das Ende jetzt Ihrer Ausführungen. Dann stelle ich diese Ausführungen auch zur Diskussion.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

In dieser Studie wird Holzkirchen als Reinluftgebiet bezeichnet. Im Zusammenhang mit den neuartigen Waldschäden ist immer etwas umstritten, welche Region man als Reinluftgebiet bezeichnet und welche als Belastungsgebiet. D.h., meine Frage bezieht sich darauf, ob dort tatsächlich alle Luftschadstoffkomponenten sehr niedrig sind oder ob in Holzkirchen die für Waldschadensgebiete typische **ozon-dominante Immissionssituation** vorherrscht?

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Vielleicht auch dazu eine Bemerkung. Wie gesagt, ich bin in den Freilandexpositionen sehr stark involviert. Es ist genauso, wie Sie es jetzt angesprochen haben. Der Unterschied **Reinluftgebiet** zu **Belastungsregion** wird meistens in Bezug auf die **klassischen Immissionskomponenten** gesehen, d.h. Duisburg mit fast dem Faktor zehn höheren  $\text{SO}_2$ - oder  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen, gilt für uns als belastet. Umgekehrt bedeutet in Holzkirchen Reinluftgebiet eben deutlich niedrige  $\text{SO}_2$ - $\text{NO}_x$ -Konzentration, aber z.B. auch deutlich erhöhte Ozon-Konzentration. Da setzt sich auch erst langsam ein Bild im Rahmen des Projektes durch, daß z.B. **Ozon** - da sind wir bei den synergistischen Effekten - sicherlich **indirekte Auswirkungen** auf Schadensprozesse haben kann. Deshalb muß man wirklich die Anführungszeichen bei Reinluftstation und belasteter Station setzen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Darf ich mal eben schnell noch ergänzen? Das ist, glaube ich, deswegen schon von Bedeutung, weil Sie ja gesagt haben, in Gemäuern von Tierintensivhaltung gibt es auch Schäden, folglich hat **Ammoniak** Einfluß auf **Materialien** und dann könnte sich genau dasselbe Spiel ergeben wie bei **Ozon**, auf **Waldschäden** bezogen. In Reinluftgebieten haben wir nämlich unter Umständen eine hohe Am-

moniumbelastung und dann ist dieses Gebiet unter diesem Gesichtspunkt eben kein Reinluftgebiet mehr. Insofern bin ich außerordentlich dankbar für Ihre Anmerkung. Herr Professor Pütz.

---

**Prof. Pütz:**

---

Die Frage ist ja auch: Wie sieht das mit dem Verkehr in der Nähe Ihres Reinluftgebietes Holzkirchen aus? Und da kommen wir eigentlich wieder auf die Fragestellung zurück, müßten wir nicht auch differenzieren zwischen der allgemeinen **Luftbelastung im innerstädtischen und ländlichen Bereich** und in dem **Ballungsbereich** besonders verkehrsreicher Bereiche der Städte, Kölner Innenstadtbereich, um nur ein typisches Beispiel zu nehmen. Wenn gesagt wird, wie Sie eben, Herr Eckhardt, daß vom Höhenprofil her der **Kölner Dom** eine ganz andere Betrachtungsweise verlangt, dann muß ich sagen, zu der Zeit, als Herr Luckat diese Untersuchung gemacht hat, war die  **$\text{SO}_2$ -Situation** und die Heizungssituation im Kölner Bereich, also in unserem Lande, eine ganz andere. Die Bundesbahn fuhr noch mit Dampflokomotiven, gerade im Kölner Bereich ist das ja ein typisches Beispiel gewesen usw. usf. Und da hat sich doch eine ganze Menge verändert. Deshalb wurde auch von mir eingangs die Fragestellung ganz generell in den Raum gestellt, oder haben wir es **heute mit ganz anderen Faktoren von Schadstoffen** auf Materialien zu tun, die uns in die gleiche Richtung oder in die ähnliche Richtung führen wie bei den neuartigen Waldschäden, wo wir diese Auswirkungen in dieser Weise auch so nicht ursprünglich vermutet haben. Und da könnte eine solche Überlegung eine wichtige Rolle spielen, daß, wenn Sie jetzt sagen, verkehrsreich oder an einer verkehrsreichen Autobahn Holzkirchen, dann wäre das also sicher schon etwas kritisch.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Ganz kurz, ich hatte das als Beispiel genommen, weil das dokumentiert ist. Es ist heute ganz sicherlich so, daß diese  **$\text{SO}_2$ -Schäden** nicht mehr die wesentlichen sind. Die  **$\text{NO}_x$ -Schäden** sind meiner Ansicht nach, nach den Kurven, die ich im Kopf habe, **deutlich angestiegen** und die dürften im Bereich des zugenommenen Autoverkehrs eine erhebliche Rolle mehr spielen, wenn man jetzt solche neuralgischen Punkte mal mißt und Holzkirchen gehört auch mit dazu, weil da, wie Herr Pöhlmann sagte, der Stau steht, wenn die Leute aus München ausfallen.

---

**Prof. Wesche:**

---

Holzkirchen liegt 40 km südlich.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Ja, 40 km südlich. Der Ort liegt aber westlich der Autobahn. Die Hauptwindrichtung ist Westen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ich glaube, zu dem Problem kommen wir auch noch einmal morgen. Deswegen wollen wir das Thema lieber zunächst verlassen. Wir sind schon ein bißchen weit mit der Zeit fortgeschritten. Allerdings, glaube ich, haben wir auch schon einiges vorweggenommen von den Fragen drei und vier, und deswegen bin ich noch relativ ruhig. Trotzdem würde ich vorschlagen, daß wir uns langsam weiterbewegen. Wenn keine dringenden Fragen mehr da sind, dann das Wort Herrn Dr. Fitzner.

---

**Dr. Fitzner:**

---

Mein Name ist Fitzner. Ich komme von der technischen Hochschule Aachen, Biologisches Institut und leite dort die **Arbeitsgruppe Natursteine und Verwitterung**. Wir beschäftigen uns innerhalb dieser Gruppe seit über 15 Jahren mit Problemen der Natursteinverwitterung im Rahmen von in- und ausländischen Projekten. Zu den diskutierten Punkten haben meine Vorredner, besonders Herr Brüggerhoff und Herr Wesche, schon einen großen Teil beigetragen. Ich möchte nur noch Anmerkungen und Zusätze zu einigen der schon angesprochenen Punkte machen. Schäden an Natursteinen treten in allen Regionen und bei fast allen Natursteinen auf. Diese Schäden werden durch einen **Abbau der Minerale**, durch **Mineralneubildungen** und durch **Phasenbildungen** zum einen sowie durch **Gefügeveränderungen** der Gesteine charakterisiert. Das, was wir im phänomenologischen Bereich beobachten, sind unterschiedliche Schadensbilder an den Gesteinen. Die für diese Schäden zur Verantwortung zu ziehenden Prozesse und Faktoren können in einer gewissen Weise mit den Schadstoffen, die in den Porenwässern dieser Gesteine zirkulieren, korreliert werden. Eine ganz wichtige Gruppe, die

für diese Schäden zuständig sind, stellen die **Salze** innerhalb der Gesteine dar. Salze können und müssen als Schadstoffe im weitesten Sinne definiert werden. Man sollte weiterhin unterscheiden, um was für einen Typ Schadstoffe es sich handelt. Sind es Schadstoffe **anthropogener Herkunft** oder spielen natürliche Schadstoffe eine Rolle? Salze können als natürliche Inhaltsstoffe der Luft auftreten, die eine hohe Verwitterungsrelevanz aufweisen.

Ein ganz wichtiger Punkt ist der Einfluß der Materialeigenschaften auf das Verwitterungsverhalten. Bei den **Materialeigenschaften** möchte ich ein besonderes Augenmerk auf das **Gefüge** und auf die **Porosität** des Gesteines richten und Ihnen das vielleicht anhand eines ganz kleinen Rechenbeispiels vorstellen. Eines der wichtigsten verwitterungssensiblen Gesteine Nordrhein-Westfalens stellen die rheinischen **Tuffe** dar. Diese haben eine sehr hohe Porosität von 30 bis 40 Prozent. Die chemische Verwitterung ist eine Grenzflächenreaktion an den Mineraloberflächen. Wenn wir uns jetzt einen kleinen Würfel von einem Kubikzentimeter eines solchen Gesteins vorstellen und analysieren die reaktive Oberfläche, kommen wir auf Oberflächenwerte von einigen Zehnern Quadratmetern (30 Quadratmeter, 50 Quadratmeter). Es ist also eine materialspezifische Eigenschaft, die dieses Verwitterungsverhalten bestimmt. Demzufolge ist die Art und das Ausmaß der Verwitterung einmal abhängig von den Faktoren, aber auch ganz eindeutig **materialspezifisch** zu sehen. Man muß von einer **materialspezifischen Reaktion eines bestimmten Gesteins auf ein Kollektiv von Beanspruchungsfaktoren** sprechen. Ein weiterer wichtiger Punkt: Gibt es eine Beschleunigung der Verwitterungsbelastung während der letzten Jahre und Jahrzehnte? Es wird immer wieder diskutiert, daß wir in den letzten Jahrzehnten eine Beschleunigung der Verwitterung beobachtet haben. Was ist aber beobachtet worden? Es sind **Verwitterungsmerkmale** beobachtet worden, stationäre Zustände, aber **nicht die Verwitterungsprozesse**. Diese kann man nur im Simulationsprozeß beobachten. Man weiß sowohl aus der Petrographie als auch aus der Geologie, daß die Verwitterung kein linearer Prozeß ist, sondern ein Prozeß, der mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten in Abhängigkeiten von den Beanspruchungsfaktoren abläuft. Es gibt da zum Beispiel eine **vormikroskopische Phase der Verwitterung**, wo optisch noch nichts erkennbar ist, wo man aber mit einer sehr hochgestochenen Analytik schon Gefügeveränderungen feststellen kann. Ganz wichtig zur Beschreibung der Verwitterung ist die Betrachtung von **Verwitterungsraten** oder von **Verwitterungsgrößenordnungen**. Dazu vielleicht drei Beispiele: Wir bearbeiten die Tuffe des Rheinlan-

des. Nun haben wir in einer urbanen Atmosphäre bzw. Umgebung sehr starke Verwitterungsschäden festgestellt. Als Gegenbeispiel haben wir Tuffe ähnlicher petrographischer Zusammensetzung in einer vollkommen anderen Umgebung beobachtet und zwar auf der Osterinsel. Hier haben wir keine Daten über die Luftsituation, aber man kann annehmen, daß sie sich ganz deutlich von der der Industriegebiete unterscheidet. Wir haben festgestellt, daß der **Verwitterungszustand** bzw. der **Schadenzustand dieser Tuffe auf der Osterinsel deutlich schlechter ist als der Schadenzustand in unseren industriellen Gebieten**. Was man aber feststellen kann, es gibt dort einen Schadstoff. Dieser Schadstoff ist das **Salz als Inhaltsstoff** der Atmosphäre, welcher hier zur Verwitterung beiträgt.

Ein weiteres Beispiel geben Untersuchungen, die man in Athen sehr schön durchführen kann. Die Marmore der Akropolis stellen in Bezug auf den wichtigen Schadstoff für petrographische Systeme, das  $\text{SO}_2$ , ein sehr sensibles Material dar. Die Kette Karbonat-Gips-Umbildung verdeutlicht dieses. Eine der berühmten Koren des kleinen Erechtheion-Tempels wurde im letzten Jahrhundert entnommen und nach London gebracht. Vergleicht man jetzt den Zustand, und hier kann man eine quantitative Einschätzung vornehmen, dieser Kore mit den vor sieben, acht Jahren in das Akropolis-Museum eingebrachten Koren, so kann man das **Verwitterungsdelta** eindeutig bestimmen. Damit kann man festlegen, was in den letzten 150 Jahren, bezogen auf die gesamte Standzeit der Skulpturen (ca. 2500 Jahre), mit diesen passiert ist. Und das ist eine sehr deutliche Veränderung der Oberfläche und damit auch der Prozesse, die zu dieser Zerstörung geführt haben.

Ein letzter Punkt: Gibt es Bereiche, wo man eindeutig feststellen kann, daß es schadstoffinduzierte Verwitterungsprozesse gibt? Wir führen **Bauwerkskartierungen** durch, das heißt Registrierung der Verwitterungsmerkmale an Bauwerken, und man kann eindeutig sagen, daß bei einer Vielzahl von Bauwerken drastische **Verwitterungsschäden** feststellbar sind. Hierzu auch ein Beispiel: Wir arbeiten sehr intensiv in Sachsen-Anhalt, in Naumburg an der Saale, am Naumburger Dom; einem Bauwerk aus Kalk. An diesem Bauwerk können Sie ganz eindeutig Verwitterungsschäden feststellen, die durch - und das kann man als sicher ansehen -, die **Luftschadstoffe**, und zwar den extrem hohen  **$\text{SO}_2$ -Pegel** der dortigen Atmosphäre induziert worden sind. Das kann analytisch nachgewiesen werden. Man kann es auch phänomenologisch nachweisen. Wenn ich Ihnen einmal ein Bild eines solchen Wasserspeiers zeige, dann ist hier doch sehr eindeutig und überzeugend nachgewiesen, daß es einen solchen Zusammenhang gibt.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, Herr Fitzner. Gibt es Fragen von der rechten Ecke? Vielleicht zunächst einmal eine Frage von mir. Sie haben vorhin diesen Wasserspeier erwähnt. Da haben Sie gesagt, der **Schaden** ist eindeutig  **$\text{SO}_2$ -bedingt**, anhand des Bildes dargelegt. Es würde mich doch noch einmal interessieren, wie die **Beweisführung** ist: Ich glaube Ihnen das ja, aber trotzdem ...

---

**Dr. Fitzner:**

---

Es gibt eine zweigleisige Beweisführung. Man kann es durch **Verwitterungs-Simulationsversuche**, unter anderem Klimaschrankversuche und durch Materialanalytik verbunden mit Bauwerksmessungen verifizieren.

---

**Dr. Prinz:**

---

Im Ansatz ist mir das klar, aber warum Sie jetzt gerade anhand des Bildes so überzeugt sind, daß dies wirklich ein  $\text{SO}_2$ -Schaden ist, würde mich doch interessieren. Daß vom Grundsatz her ein Naturstein durch  $\text{SO}_2$  zerstört wird, ist ja gar keine Frage. Nur haben Sie das als besonders bemerkenswert herausgestellt ...

---

**Dr. Fitzner:**

---

Nein, nicht besonders, aber das ist eben eines der Beispiele, wo es meiner Ansicht nach wirklich eine **eindeutige Korrelation** gibt zwischen der Materialeigenschaft, also der petrographischen Eigenschaft zum einen und zum anderen dem Faktor, der für die analytisch nachweisbare Veränderung dieses Gesteins zur Verantwortung zu ziehen ist.

---

**Dr. Prinz:**

---

Auch noch einmal an Sie die Frage, die ich jetzt schon gehäuft hier gestellt hatte und nochmal bewußt provoziert wiederholen möchte: Gibt es nach Ihren Erkenntnissen **räumliche Unterschiede** hier im Lande Nordrhein-Westfalen - Sie kommen ja

---

nun aus Aachen. Haben Sie selber bei Ihren Untersuchungen festgestellt, daß bei gleicher oder vergleichbarer Natursteinart die Schäden an einer Stelle deutlich höher sind als an anderer Stelle? Können Sie so etwas bestätigen oder nicht bestätigen?

---

**Dr. Schmitt:**

---

Nein, eindeutig können wir es nicht bestätigen.

---

**Dr. Krause:**

---

Ich würde eigentlich die Frage gerne noch einmal erweitern. Nun ist es ja so, daß hier die Belastung an Schwefeldioxid enorm zurückgegangen ist. Andererseits gibt es, wie wir von Herrn Brügerhoff noch in Erinnerung haben, einen **Akkumulations-effekt** über die letzten Jahrzehnte. Wenn wir jetzt zu den Regionen gehen und das einmal europäisch nehmen: beispielsweise Griechenland, Sie erwähnten das Beispiel Athen, bekannt durch seinen **extrem hohen Grad der Verschmutzung**. Haben Sie andere Stellen in Griechenland ebenfalls untersucht, und können Sie für diese eine räumliche Beziehung herstellen, die möglicherweise die **Luftverunreinigungen als korrosive Komponenten** herausstellen?

---

**Dr. Fitzner:**

---

In Griechenland nicht, nein. In Griechenland haben wir nur Untersuchungsergebnisse aus dem Großraum Athen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Nun ist ja das Klima in Griechenland mit dem unseren überhaupt nicht vergleichbar.

---

Die relative **Luftfeuchte** ist sehr viel niedriger und von daher das **Schadenspotential** bei gleicher Luftbelastung sehr viel **geringer**. Bei gleicher Immissionsbelastung müßten daher theoretisch die Immissionsschäden in Griechenland deutlich niedriger sein als bei uns, da ja die Luftfeuchte auch ein ganz wesentlicher **synergistischer Faktor** dar-

---

stellt. Ja, ich glaube, dann können wir das aber auch beenden und ich darf das Wort an Frau Köth-Jahr weitergeben.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Ich habe aus Ihren Worten entnommen, daß Sie eigentlich ein stärkeres Gewicht legen auf die **Verwitterungsfaktoren**, die man dem klimatischen Bereich zuordnet, legen. Habe ich das so richtig interpretiert?

---

**Dr. Fitzner:**

---

Es ist sehr schwer, die einzelnen Verwitterungsfaktoren oder den einzelnen Verwitterungsprozessen ein **quantitatives Maß** an der **Verwitterung** zuzuordnen. Man kann jedoch eine grobe Abschätzung der Intensität einzelner Verwitterungsfaktoren in einzelnen Bereichen durchführen. Und für unseren Bereich zum Beispiel kann man mit einer gewissen Sicherheit sagen, daß Verwitterungsprozessen durch kombinierten **Frost/Tau-Wechsel** und der **Salzverwitterung** bei porösen Gesteinssystemen, das ist wichtig, eine große Bedeutung bei der Zerstörung zukommt. Also so weit kann man gehen.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Also könnte man sagen, daß ohne klimatisch bedingten Verwitterungsfaktor auch die immissionsbedingte Schädigung nicht angreifen könnte. Könnte man das Geschehen eventuell so abstufen, daß die **Immissionen** eher ein **zusätzlicher** oder vielleicht auch ein **auslösender Faktor** sind, aber daß primär ein bestimmter klimatischer Faktor vorhanden sein muß, um überhaupt einen Verwitterungsprozeß auslösen zu können.

---

**Dr. Fitzner:**

---

Die natürlichen Verwitterungsprozesse laufen in unterschiedlicher Intensität immer ab. Das ist praktisch ein Grundpegel der Verwitterung. Und zu diesem Grundpegel der Verwitterung kommt eben als **zusätzlicher Faktor** alles das dazu, was als

---

anthropogene Schadstoffe, und als weitere Schadstoffe vorhanden ist. Zum Beispiel diskutieren Kollegen in Italien, daß bei Vulkanausbrüchen ein zusätzlicher Gaseintrag in die Atmosphäre ebenfalls eine Wirkung auf Materialien ausübt.

---

**Dr. Krause:**

---

Ja, aber wie lang ist denn die Expositionszeit? Ich meine aber, das würde dem doch eigentlich widersprechen. Wir haben eben von Langzeiteffekten, von einer langfristigen Einwirkung gesprochen, Sie sprechen von einem einmaligen Ereignis, einem Vulkanausbruch ...

---

**Dr. Schmitt:**

---

Solche vulkanischen Exhalationen sind Ereignisse, die über längere Epochen stattfinden können. Das ist eben eine Addition eines neuen Schadstoffes zu den vorhandenen Schadstoffbereichen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Das sind die natürlichen SO<sub>2</sub>-Belastungen.

---

**Dr. Warscheid:**

---

Ich habe ein Beispiel ausgesucht, um diese Besiedlung der Mikroorganismen zu zeigen, über die wir eben gesprochen haben. Es ist Grün-Sandstein der alten Pinakothek in München. Sie sehen eine starke Krustenbildung, die sich dadurch auszeichnet, daß die Krusten abfallen und sie darunterliegend eine Absandung haben. Ich möchte ganz kurz in den folgenden Bildern zeigen, wie sich Mikrobiologie durch geeignete Nachweismethoden in solchen Fällen darstellen kann. Im nächsten Bild können Sie die mikrobielle Aktivität in solchen Schalen sehen: Bereich A, Bereich B, Außenschale, und Innenbereich, wo sich die Schale ablöst vom Muttergestein. Sie können die mikrobielle Aktivität in solchen Schalen nachweisen, das ist angezeigt durch den roten Farbstoff, der sich nur bildet, wenn Stoffwechselaktivität dieser Organismen vorliegt. Im nächsten Bild sehen Sie

dann, wie sich nicht nur die Schleime, sondern auch die Zellen im Porenraum des Gesteins verteilen. Im nächsten Bild wird das deutlicher, wie sich die rote Farbe verteilt. Hier ist es wohlge-merkt nicht Aktivität, sondern hier sind es biogene Strukturen, die wir hiermit anfärben. Sie sehen, wie sie in den Bereich des Bindemittels eindringen, insbesondere - Herr Eckhardt hat auch davon gesprochen - daß es nicht nur ein oberflächlich bedingter Prozeß ist, sondern auch bis in die Tiefe hin zu verfolgen ist. Im nächsten Bild möchte ich zeigen, daß das, was da rot eingefärbt ist, eben wirklich "Biologie" ist. Vielleicht wird es hier noch nicht ganz so deutlich. Ich habe das nur drin-gelassen, um zu zeigen, wie so ein Film flächen-deckend über eine gesamte Gesteinsoberfläche liegt, und in diesem Schleim sind einige Quarzkör-ner, die aber überdeckt sind von diesem, ich möchte einmal sagen, Zuckerguß. Im nächsten Bild können Sie auch erkennen, wie es in diesem Zuckerguß wimmelt von Bakterien wie in einem Forellenteich. Normalerweise sind diese Bakterien nicht so leicht zu erkennen, aber in Fällen wie hier, wo die Nährstoffsituation so günstig gewesen ist, können Sie sie natürlich auch außerhalb solcher Strukturen sehen. Das nächste Bild. Ich möchte damit ganz kurz, es ist eben angesprochen worden, die Keimzahl-Untersuchung deutlich machen, inwieweit jetzt wirklich Unterschiede zwischen dem Prüffeld Holzkirchen und dem Prüffeld Duisburg bestehen. Sie sehen auf diesen Sandstei-nen, daß dort die Keimzahlentwicklung erheblich auseinandergeht. Ich möchte zugeben, daß das hier bei diesen beiden Steinen recht extrem ist. Bei anderen Steinen sieht es weniger deutlich aus. Es ist aber dennoch auch dort ein Auseinanderdriften der Keimzahlen auf diesen beiden Prüffeldern zu verzeichnen. Nächstes Bild bitte. Ich möchte das hier nur als ein Beispiel nennen. Es sind hier mehr-fach Kohlenwasserstoffe genannt worden, sie wer-den durch Bakterien, nicht durch alle Bakterien, aber durch einige abgebaut. Ich will das einfach nur visuell durch diese beiden Chromatogramme darstellen. Im oberen Bereich sehen Sie die Kon-trolle, die Sie auch haben, wenn Sie ein Output an Dieselkraftstoffen aus Abgasen haben und Sie se-hen die erheblich verkleinerten Ausschläge des Chromatographen. Ich will das einfach nur visuell deutlich machen, damit ein Eindruck entsteht, wie sich Organismen bzw. hier in dem Fall chemoorganotrophe Bakterien über solche Schadstoffe hermachen können. Im nächsten Bild möchte ich Ihnen deutlich zeigen, daß diese Orga-nismen genau das, was ich eben als rote Anfärbung im Gestein gezeigt habe, mit solchen Nährstoffen erzeugen und damit auch diese Schleime, die sie eben im Profil gesehen haben, natürlich auf solche Nährstoffsituationen zurückgehen. Ich darf viel-leicht noch auf den letzten Punkt eingehen, daß



durch die Umsetzung dieser Stoffe, der Umsetzung der Kohlenwasserstoffe sogenannte **Detergenzien** entstehen, die eben das Feuchteverhalten im Gestein verändern. Im nächsten Bild sehen Sie das anhand der Schaumbildung, die Sie in dieser Kulturlösung haben, und diese Schaumlösung bringt es auch mit sich, daß die **Oberflächenspannung gesenkt** wird und damit in der Situation des Gesteins auch das Benetzungsverhalten des Gesteins verändert wird. Das nur zur Visualisierung des eben Gesagten.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, Herr Warscheid, ja, das war doch außerordentlich eindrucksvoll. Ich darf mich also bedanken, daß Sie die Bilder mitgebracht haben. Herr Pöhlmann, bitte.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Das erste Bild ist das **Denkmal** von Max I Josef in München von 1835. Ich glaube, das kann jeder nachvollziehen, das ist ästhetisch überhaupt nicht mehr ansprechend. Wenn man genauer hinschaut, dann sehen Sie alle möglichen **Verschmutzungen**. Sie sehen auch einige Stellen, an denen die Patina schön glatt ist, aber im wesentlichen überall **Ablaufspuren, Korrosionserscheinungen, Taubenkot**. Das ganze Denkmal sieht vernachlässigt aus. Das hier ist ein Denkmal, das wir erst vor kurzem untersucht hatten, das ist Prinzregent Luitpold, auch sehr, sehr großflächig grün. Die ganze **grüne** Seite ist zusätzlich auch noch die **Wetterseite**. Die **Nässe** scheint auch ein entscheidender Einfluß auf die **Bronzekorrosion** zu nehmen. Das sind alles innerstädtische Bronzen. Das Denkmal auf dem vorhergehenden Bild ist mittlerweile konserviert worden.

---

**Dr. Prinz:**

---

Nach der Aufnahme oder vor der Aufnahme?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Nach der Aufnahme. Das ist eine der vier Putten der Münchener **Mariensäule**. Das sind sehr wertvolle Figuren, sie stammen von 1635. Im Gesicht sieht man, daß durch die Korrosion richtige **Narben, Pockennarben**, entstanden sind. In diesen Bereichen wurde das Material ziemlich tief abgetragen. Der Naheindruck dieser Figuren ist auch nicht mehr befriedigend. Es ist eigentlich schade, daß diese Figuren so vernachlässigt worden sind. Man hat einfach zeitweise gedacht, man müsse dieses Material nicht pflegen und schützen. Das nächste Bild bitte. Das ist jetzt ein Foto von der vorher erwähnten Figur. Das ist eine **Amazone** von Franz von Stuck. Sie wurde um 1930 gegossen, bereits nach dem Tode Stucks. Das ist das Exemplar, das in München vor der Stuckvilla steht, an einer stark befahrenen **Straße**. Sie sehen hier auch ganz **großflächig die grünen Partien** am Arm und an der Flanke der Amazone. Das Pferd ist auch sehr großflächig auf der Oberseite grün. Das sind alles die **basischen Kupfersulfate**. Der Pferdekopf, vor allem die Oberseite, ist stark korrodiert und dann auch am Hals Ablaufspuren. Das nächste Photo zeigt die zweite Figur, die etwa zur gleichen Zeit gegossen wurde. Die Figur stand immer in dem **Garten** in Baldham bei München. Dort herrscht offensichtlich ein wesentlich besseres Klima. Vorher hatten wir die ganze Flanke der Frauenfigur grün, nahezu das gesamte Pferd war grün. Jetzt sehen Sie nur auf dem Fuß der Frauenfigur **kleine grüne Partien**, hinten am Schweif des Pferdes, auf dem Kopf des Pferdes, auf den Armoberseiten. Bitte das nächste Bild. Hier noch einmal die **Innenstadtamazone**, auch noch einmal klar erkennbare grüne Korrosionsbereiche. Und das letzte Foto, die Amazone wieder im Garten. Hier ist deutlich sichtbar, daß wesentlich weniger Schäden aufgetreten sind. Wieder nur auf der Oberseite der Figur, auf der Nässe als erstes hinkommt, und wo sie sich noch einige Zeit halten kann, tritt die Korrosion auf. Wir interpretieren dies gerade an dieser Figur, ein Glücksfall für uns, daß die **Korrosion von Bronze** auf dem **Land** wesentlich langsamer vor sich geht als sie in der **Stadt**. Das letzte Bild ist zum Beispiel eine Figur, die niemals restauriert oder konserviert wurde. Die steht ungefähr seit 1910 an einer **Straße** mit regem Autoverkehr. Warum die Figur so aussieht, wissen wir auch

---

nicht. Das ist eigentlich ein Zustand, wie wir ihn uns wünschen. Aber warum? Sie wird sicher an manchen Stellen berührt, und dadurch gefettet.

---

**Dr. Prinz:**

---

Eingefettet würde ich sagen.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Der Handschweiß wirkt aber auch korrodierend, aber offensichtlich gibt es zusätzlich einen leichten Schutzeffekt. Aber sie kann nicht überall berührt werden. Den Grund für den hervorragenden Erhaltungszustand kennen wir aber nicht.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ja, vielen Dank, Herr Pöhlmann. Das waren doch wertvolle Bereicherungen. Und wir fahren mit der Anhörung fort. Ich darf dann Herrn Marfels bitten, seine Ausführungen zu machen.

---

**Dr. Marfels:**

---

Mein Name ist Marfels. Ich habe viele Jahre auf den Gebieten Aerosolchemie im Fraunhofer-Institut für Umweltchemie und Ökotoxikologie in Schmallenberg gearbeitet. Ich bin seit dem ersten März d.J. beim TÜV Südwest in der entsprechenden Materialgruppe, die sich u.a. ebenfalls mit Immissionen und den entsprechenden Auswirkungen auf Materialien befaßt. Ich möchte ganz kurz noch einmal auf das vorhin Diskutierte zurückkommen. Schon in den sechziger Jahren ist von der Arbeitsgruppe Dietzel und Oberlies am Max-Planck-Institut für Silikatforschung in Würzburg, an dem ich tätig war, festgestellt worden, daß durch gewisse Bakterien auf der Oberfläche von Gläsern Fraßspuren verursacht wurden, die man mit Elektronenmikroskopie sehr gut nachweisen konnte. Es waren regelrechte Kanäle, die sich an der Oberfläche gebildet hatten und jeder, der sich mit dieser Materie befaßt, weiß, daß diese Bakterien auch Säuren ausscheiden, die zur Auflösung der Alkalien in der Silikatstruktur beitragen, so daß diese Gläser wie von einem Spinnennetz überzogen waren. Das als Anmerkung zu der Frage

vorhin bezüglich der Einwirkungen von Immissionen auf andere Materialien. Im Rahmen von vielfältigen Untersuchungen, unter anderem auch in Baden-Württemberg, das Projekt war von PEF Karlsruhe (Projekt der Europäischen Gemeinschaft), gefördert worden, haben wir über fünf Jahre die chemische Zusammensetzung von Staubpartikeln, und zwar im wesentlichen die an dem sogenannten Feinstaub adsorbierten Schadstoffkomponenten untersucht. Dabei haben wir uns nicht nur auf die gängigen Schadstoffe beschränkt wie Bisulfate, Nitrate, angelagerte Salpetersäure und salpetrige Säure, sondern auch organische Komponenten untersucht, die, wie man heute weiß, auch zu einer Materialkorrosion beitragen können. Das Ziel dieses Projektes war eigentlich, ein Immissionskataster für verschiedene Ballungsgebiete im Vergleich zu Reinluftgebieten in Baden-Württemberg zu erstellen. Dabei wurde auch beobachtet, daß die Schutzanstriche von unseren Meßstationen beispielsweise in Mannheim, deutlich stärker angegriffen waren als bei anderen Stationen. Ich muß dazu sagen, daß sich diese Station in der Umgebung eines Bahnhofes befindet, bei dem sicher durch den Rangierbetrieb auch bevorzugt Dieselabgase auftreten konnten. Bei der Gruppe der organischen Komponenten sind wir auf sogenannte nitrierte Fluorathene gestoßen. Das sind in der Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe Substanzen, die sich erst durch Wechselwirkung mit Stickoxiden zum Teil in der höheren Atmosphäre bilden, zum Teil aber auch in der Umgebung von Abgasen am Boden entstehen können. Es ist durchaus denkbar, daß diese nitrierten Aromaten auch auf Polymeren Veränderungen auslösen können, so daß die beobachteten Korrosionen z.T. damit erklärt werden könnten. Ich werde mich morgen zu den Möglichkeiten äußern, solche Situationen zu simulieren, und u.a. Ergebnisse mitteilen, die wir im Rahmen eines Projektes für das Umweltbundesamt erzielt haben.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ja, vielen Dank, Herr Marfels. Gibt es irgendwelche Fragen hier von der rechten Ecke? Nein!? Dann darf ich Herrn Fütting bitten, seine Ausführungen vorzutragen.

---

**Dr. Fütting:**

---

Mein Name ist Fütting. Ich komme aus dem Institut für Festkörperphysik und Elektronenmikroskopie in Halle und die Untersuchungen, die ich hier mit-

gebracht habe und auch gerne kurz vorstellen würde, aber noch nicht zu diesem Punkt, habe ich mitgebracht aus Weimar, wo ich vorher gearbeitet habe, an der Hochschule für Architektur und Bauwesen. Ziel- und Arbeitsrichtung unseres Institutes ist es, die vorhandenen Methoden auszubauen und in der **Festkörperphysik** anzuwenden. Mitgebracht habe ich Untersuchungen an **Korrosionsschichten auf Steinen**. Dabei ist mir auf Grund einer Veröffentlichung der Münchener über ihre Bronzeskulpturen, die durch gipshaltige Schmutzkrusten verunreinigt sind, der Gedanke gekommen, daß wir ursprünglich unsere Ergebnisse falsch interpretiert haben, daß also auf kalkhaltigem Gestein, und wir haben ganz speziell **Marmorskulpturen** untersucht, ein gewisser Anteil dieser **Gipskrusten**, die man als **Verwitterungsprodukt** darauf findet, nicht aus dem Marmor zu stammen braucht, sondern durch **Flugasche**, also **immissionsbedingt** sein muß. Und ich habe versucht, das einmal abzuschätzen. Vielleicht noch zur Charakterisierung unseres Institutes und meiner Arbeit. Das ist nur eine kleine Seitenlinie, diese Untersuchungen für die Denkmalpflege, die wir als Auftragsforschung durchgeführt haben und wahrscheinlich auch weiterführen werden, weil nun doch ein relativ reicher Erfahrungsschatz vorliegt auf **methodischem Gebiet**. Speziell arbeite ich aber in der Arbeitsgruppe, die sich mit **Glas** beschäftigt und dort auch Industrieaufträge und ähnliches bearbeitet, von **Grundlagenforschung bis Industrieanwendung**, das ganze Spektrum; auch Glas und zum Teil Keramik. Weil ich nun der Analytiker in dieser Gruppe bin, bin ich verantwortlich für die **Analyse nichtmetallischer oxidischer Proben**. Ich sage das jetzt, weil ich mich zu dem Punkt Situationsanalyse nicht kompetent fühle, Aussagen zu machen. Ich wollte nur andeuten, daß auch der Analytiker sich über das Analyseergebnis hinaus natürlich Gedanken macht, wo es herkommen könnte.

---

**Dr. Prinz:**

Sehe ich das richtig, daß Ihre wesentlichen Beiträge da morgen kommen werden, innerhalb des **methodischen Komplexes**? Gut. Sie vertreten ja auch gleichzeitig die neuen Bundesländer. Haben Sie da irgendwelche Informationen, die Sie uns vielleicht doch vermitteln können über immissionsbedingte Materialschäden oder hatten Sie so wenig damit zu tun, daß Sie dazu eigentlich nichts sagen können?

---

**Dr. Fütting:**

Ich kann schon etwas dazu sagen. Ich habe die Potsdamer **Marmorskulpturen** untersucht. Hinterher stellte sich dann heraus, ich bin also von Haus aus ein bißchen kunsthistorisch interessiert, das waren gar **keine Originale** mehr. Da war ich dann etwas erschüttert. So um 1750 sind die Originale aufgestellt worden vor der Bildergalerie und auch dieses Rondell, was vielleicht bekannt ist, weil das diesen herrlichen Blick auf das Schloß Sanssouci begleitet in der Regel. Die Figuren, die wir untersucht haben, stammten aus der Zeit um 1850 und waren schon die **ersten Kopien**, die gemacht wurden.

---

**Dr. Prinz:**

Waren das Kopien in Naturstein oder waren das Abgüsse?

---

**Dr. Fütting:**

Nach wie vor Marmorskulpturen! Zum Teil - da fühle ich mich nicht ganz kompetent -, zum Teil sollen sie nicht mehr so gut nach dem Original, andere dagegen sehr exzellent nach dem Original gearbeitet sein.

---

**Dr. Prinz:**

Es gibt ja auch aus Zement gegossene.

---

**Dr. Fütting:**

Nein, nein, es war Original-Marmor und interessant auch für mich: Es waren wieder **100 Jahre** um, und die Dinger fangen wieder an, auseinanderzufallen. Ausgelöst wurde dieses Untersuchungsprojekt durch den **Totalverlust** einer Figur, und da stellt sich für mich dann auch wieder die Frage, ist diese Verwitterung nicht vielleicht doch zwangsläufig, so ungefähr nach 100 Jahren. **Marmor** ist nun sehr **anfällig**, wenn er draußen exponiert steht.

---

**Prof. Wesche:**

---

Sind die wegen Zerstörung kopiert worden?

---

**Dr. Fütting:**

---

Ja.

---

**Dr. Prinz:**

---

Da wäre ja einmal interessant von Skulpturen, die 1750 entstanden und 1850 irgendwo im Museum gelandet sind, nachdem sie gleichzeitig kopiert worden sind, einen Vergleich von 1850 bis 1950 herzustellen.

---

**Dr. Fütting**

---

Ja, aber so weitgehend konnten wir kein Material erhalten. Das ist ja auch immer sehr schwierig, da überhaupt Proben zu nehmen. Ich arbeite nun mit einem Mikroskop und brauche im Grunde genommen ein Zuckerkorn, um erste Aussagen machen zu können, aber selbst das ist selten zu bekommen oder aber mit großen Schwierigkeiten verbunden.

---

**Dr. Prinz:**

---

Wenn, dann nur von der Fußsohle, aber da ist dann auch kein Immissionsschaden zu erwarten.

---

**Dr. Fütting:**

---

Interessant war ein Fall, der mir untergekommen ist, der in diese Richtung zielt, nach der Sie jetzt fragten: Am Schweriner Schloß sind Terakotta-Platten. Die wirklich originalen stammen aus dem 16. Jahrhundert und beim Schloßumbau um 1850 sind sie nahezu komplett ausgewechselt worden. Und ich hatte nun das Glück, eine Original-Platte untersuchen zu können, die beim Schloßumbau eingemauert wurde. Da wurde also davor irgendwie eine Verblendung gezogen und sie war dahinter geschützt. Erst einmal ging es darum zu prüfen, ob dasselbe Material verwendet wurde, Tonqualität etc. Das stimmte recht gut überein. Was überra-

schend war, auch der Verwitterungsmechanismus war, was meine Untersuchungsergebnisse betrifft, muß ich immer eingrenzend sagen, genau derselbe. Also die Platte war ja um 1850 quasi abgeschotet wie unter Innenraumbedingungen aufbewahrt, und die andere stand genau davor, an der Stelle, wo die alte vorher war.

---

**Dr. Prinz:**

---

Und das Ausmaß der Schäden war auch gleich?

---

**Dr. Fütting:**

---

Es war nicht ganz vergleichbar. Da war die neuere stärker geschädigt. Diese ganzen kleinen Untersuchungen, die ich so gemacht habe, lassen sich insofern zusammenfassen, daß wahrscheinlich doch die Staubbelastung, die Flugaschebelastung - zumindest in den neuen Bundesländern - einen ganz wesentlichen Anteil an den Schadensbildern an Naturstein hat. Also auch, was wir hier vom Naumburger Dom gesehen haben ist ganz typisch. Wunderbar zu sehen diese schwarze Kruste, die zum Teil eben durch Flugascheteilchen aufgebaut wird. Warum sie schwarz aussieht, wollen Sie jetzt fragen. Gut, das fällt nicht in meinen Bereich, das kann ich auch nicht messen mit meinen Analysetechniken. Zumindest ist mir aufgefallen, weil ich so etwas messen kann, reicht der Anteil an Ruß, Rußteilchen, die ich im Mikroskop sehe und auch analysieren kann, nicht aus, die Schwarzfärbung zu erklären. Also, da stimmen wir völlig überein und nun gibt es noch einen Punkt, den ich jetzt, weil Sie die neuen Bundesländer ansprechen, erwähnen möchte. Die Datenlage ist da relativ einfach, wir haben drei Sorten Braunkohle und es wurde nahezu alles mit Braunkohle befeuert, gerade der Hausbrand. Und ich glaube, der macht den Hauptemittenten für diese Flugaschebelastung aus, die wir auf den Bauarten finden. Aber es war sehr schwierig, an Daten heranzukommen, ich durfte sie auch nicht veröffentlichen. Ich bekam sie dann und da stellte sich heraus, daß die Zusammensetzung, die mir dort gegeben wurde für die Asche, nicht ausreicht, um solche Effekte zu erklären. Weiteres Literaturstudium und auch eigene Untersuchungen führten dann dahin, daß im Feinkornbereich solcher Flugaschen der Kalziumgehalt enorm hoch geht. Also der ist gar nicht vergleichbar mit der normalen Zusammensetzung, wie man das vom Kraftwerk geliefert bekommt. Man kann nun hingehen und quasi in den neuen Bundesländern sortieren: Diese Region ist beliefert

---

worden mit der Kohle, da kommt so eine Asche raus, also haben wir so eine Zusammensetzung dieser Krusten zu erwarten usw. Da das alles so reglementiert und festgelegt war und auch kaum geändert wurde, hat man unter Umständen eine ganz interessante Datenlage, jedenfalls aus meiner Sicht und von den Untersuchungen her, die ich durchgeführt habe, einmal interpretiert.

---

#### Frau Köth-Jahr:

---

Wie schon Dr. Eckhardt nachfragte, wäre natürlich von entscheidender Bedeutung zu wissen, aus welchen Bestandteilen diese Kruste im einzelnen aufgebaut war. Demnach könnte festgestellt werden, ob eventuell auch Mikroorganismen bei der Entstehung eine Rolle gespielt haben. Ich nehme an, daß die letzte Frage auch beinhaltete, daß der schwarze Belag ein Hinweis auf Organismen hätte sein können.

---

#### Dr. Fütting:

---

Ich könnte Ihnen jetzt die Zusammensetzung dieser Schmutzkrusten vom Elementbestand her darstellen, will aber darauf verzichten. Natürlich findet man auch diese Mikroorganismen, die heute angesprochen wurden, einschließlich der Pilze, und ich habe auch Untersuchungen an Marmorskulpturen in Schwerin gemacht. Die Scenlage der Stadt ist offensichtlich günstiger für Flechtenbildung, denn Flechten findet man sonst selten und dort ganz extrem. Das ist mir auch aufgefallen.

---

#### Dr. Prinz:

---

Herr Wilimzig, wollten Sie die Antwort ergänzen?

---

#### Dr. Wilimzig:

---

Ich wollte dazu einen Faktor, der die Schwarzmachung beeinflusst, zeigen.

Sie sehen, was wir hier gemacht haben. Auf dem rechten Stein haben wir Bakterien aufwachsen lassen, anschließend haben wir die Bakterien abgetötet und haben wieder welche neu aufwachsen lassen. Nach einiger Zeit war die Oberfläche schwarz. Wir gehen davon aus, daß sich hier Melanin gebildet hat. Melanin ist ein großes Polymer, das von einem

Bakterienenzym, der Tyrosinase, gebildet wird. Und auf Oberflächen stellen wir uns das so vor: Bakterien wachsen auf. Durch Trockenheit und Hitze sterben sie wieder ab und dienen so als Substrat für neu aufwachsende Bakterien. Tyrosinase wird frei und Aminosäuren wie Tyrosin, Histidin und Tryptophan dienen als Substrat für dieses Enzym. Mit der Zeit, was natürlich hier in der Simulation sehr schnell geht, bildet sich am Gebäude ein schwarzer Film. Krusten bestehen zur Hauptsache aus Gips. Gips an sich ist weiß, so ist mit einer Melaninbildung die schwarze Farbe von Krusten erklärbar.

---

#### Dr. Eckhardt:

---

Ich möchte das noch ergänzen. Das ist eine der biologischen Komponenten, die schwarz färbt. Es gibt eine ganze Reihe von Pilzen, die an diesen Oberflächen wachsen, die melanisierte Myzelien haben, also Schwärzemyzelien. Es gibt den direkten systematischen Ausdruck der Dematiaceen, der Schwärzepilze, die ganz erhebliche Mengen solcher Produkte haben, und was noch weiter zu beobachten ist: die Chlorophylle der phototrophen Organismen, Algen und Cyanobakterien selber wirken in der Masse auch dunkel oder verdunkelnd, und wenn sie abgebaut werden, werden sie verbraunt. Jeder, der in Chemiekursen Chlorophyll zerstört hat, hat nachher eine braune Suppe gehabt. Also das ist auch zerstörtes Chlorophyll, welches verbraunt und man kennt ja die Algen, die Tintenstriche, wenn überlaufene Flächen von Algen und Cyanobakterien bewachsen sind, werden sie tief-schwarz. Was ich am Obelisk in Kiel gemessen habe, dort ist auch eine schwarze Kruste, wie sie an vielen Stellen vorkommt: Wir haben unter der Mikrosonde in dem Fall im wesentlichen Eisenoxid, Eisenhydroxid gemessen, welches zu dieser dunklen Braun- und Schwarzfärbung mit beigetragen hat. Es sind also viele dieser Komponenten, die schwärzen. Eine davon ist diese, eine davon ist jene, und wenn alles zusammenkommt, haben wir es tiefschwarz.

---

#### Dr. Wilimzig:

---

Ich darf das ergänzen. Diese schwarzen Krusten sind eine wunderschöne Umgebung für Mikroorganismen. Dort, wo schwarze Krusten sind, sind auch sehr viele Mikroorganismen. Wir finden sogar auf Gestein, das sonst durch Bakterien wenig bewachsen und angegriffen wird, daß wenn dort schwarze Krusten vorhanden sind, sich die Bakterien auch hier sehr gut vermehren.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank für die Ergänzungen. Wir können dann fortfahren. Herr Schmitt, Sie wären dann an der Reihe, zu diesen Fragen eins und zwei zu berichten.

---

**Dr. Schmitt:**

---

Ich komme von der Fraunhofer-Gesellschaft, und zwar vom Institut für chemische Technologie in Pfinztal bei Karlsruhe. Ich bin dort der Stellvertreter des Institutsleiters. Außerdem bin ich noch Geschäftsführer der Gesellschaft für **Umweltsimulation**, diese Disziplin spielt in diesem Zusammenhang auch eine Rolle, schließlich noch Obmann für die Wirkung auf Materialien in der Kommission Reinhaltung der Luft von VDI und DIN. Ich möchte drei Bemerkungen machen. Das erste ist: 1987 hat das Institut im Auftrag des Umweltbundesamtes eine Literaturrecherche darüber in Auftrag gegeben, welche luftgetragenen Spurenstoffe zu **Materialschäden** führen. Wir haben gefunden, daß das **Stickoxide, Schwefeloxide, Ozon, Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Kohlensäure, Kohlenwasserstoffe, Abgas und Stäube, saure Niederschläge, Chlorverbindungen, Fluor, Brom und Cyanverbindungen** sind. Es ist leider so, daß die Meistnennungen allgemeine atmosphärische Einflüsse beinhalten und manche auch überhaupt keine konkreten bzw. quantitativen Angaben machen, so daß das, was sich herausziehen läßt, mehr oder weniger nur global sein kann. Die Ergebnisse der Redner sind zusammengefaßt in einer Veröffentlichung und zwar vom Ecomed-Verlag im Handbuch des Umweltschutzes und meinem Sonderdruck über Materialschäden durch Luftverunreinigungen als Auszug aus dem Handbuch. Ich glaube, ich habe Ihnen das Inhaltsverzeichnis geschickt. Das zweite ist: Wir haben - wieder mit dem Umweltbundesamt zusammen - eine Untersuchung über **Polymere unter Licht- und Schadgaseinfluß** durchgeführt. Da kommen wir aber vielleicht morgen etwas näher darauf zu sprechen. Prinzipiell sollten einmal Gebrauchsstoffe untersucht werden, wieweit sie sich von Luftschadstoffen beeinflussen lassen. Das war **Polyvinylchlorid**, und zwar als Fensterprofile, dann **Polyurethanschaum** als Autospoiler mit einem Polyurethanlack überzogen, **glasfaserverstärkte Polyester**, die als Dachabdeckungen dienen und im Bootsbau und **Alkydlack** als Korrosionsschutzan-

strich. Die Untersuchungen und Auswertungen erstrecken sich über vier Jahre. Die Ergebnisse von zwei Jahren liegen vor. Ganz interessant ist hierbei, daß **Luftschadstoffe** und zwar waren das Schwefeldioxid, dann Stickoxide, Ozon und Mischungen daraus, daß diese grundsätzlich keine **signifikanten** Veränderungen hervorrufen, wenn sie **alleine** einwirken. Im Zusammenhang mit **Licht** sind die Auswirkungen der einzelnen Stoffe sehr unterschiedlich und sehr deutlich ausgeprägt. Es ist also so, daß die luftgetragenen Spurenstoffe etwas draufsetzen, aber nicht die ursprünglichen Verursacher von Veränderungen sind. Was wir hier gemacht haben, ist im Labor untersucht worden, paßt also besser auf den morgigen Tag. Und das dritte: Auf Ihre Frage vorhin, Herr Prinz, ob mal irgendwo welche Gebiete ausgesucht wurden, da muß ich noch näher nachschauen, aber da ist mir eingefallen: Wir hatten vor einigen Jahren einmal eine Erhebung gemacht bei all den Leuten, die Masten aufsetzen, also bei der Bundesbahn, Post, bei Energieversorgungsunternehmen und haben festgestellt, daß der Bedarf an einer **Erneuerung des Anstrichs** Faktor eins zu drei unterschiedlich ist und **regional** sehr **abhängig**. Ich will einmal versuchen, das herauszukriegen. So, das war es in Kürze.

---

**Prof. Lucke:**

---

Ich habe das Buch dabei, wenn Sie nachschauen wollen.

---

**Dr. Schmitt:**

---

Die VDI-Tagung war 1984; Materialkorrosion durch Luftverunreinigung. Es wurde damals festgestellt, daß es nicht relevant ist, diese Untersuchung durchzuführen. Es hat in einer Behauptung gegipfelt, die ich nie vergessen habe. Wenn Kunststoffe durch Luftverunreinigungen zerstört werden, dann ist das sehr wünschenswert, weil es die Wirtschaft ankurbelt. Also das darf man heute wahrscheinlich nicht mehr sehr laut sagen.

---

**Dr. Prinz:**

---

An das Kolloquium kann ich mich auch noch erinnern, allerdings nicht an diese Bemerkung.

---

**Dr. Schmitt:**

---

Die ist auch nicht sehr öffentlich gemacht worden, eventuell auch im Rahmen der vorab gelaufenen erweiterten Arbeitsausschußsitzung mit der Industrie.

---

**Dr. Prinz:**

---

Das Kolloquium war damals etwas enttäuschend, was die Beteiligung anbetraf. Wir hatten mit sehr viel mehr Teilnehmern gerechnet.

---

**Dr. Schmitt:**

---

Das war noch das Desinteresse an der Thematik des Einflusses auf Material. Bei der oben erwähnten erweiterten Sitzung des VDI hatte ich sehr viel Mühe, einen Hersteller von Anstrichen davon zu überzeugen, daß sein Anstrich auch geschädigt werden kann. Der hat dann immer gesagt, das ist unmöglich, ich bin da, um das, was ich anstreiche, zu schützen. Also, die Vorstellung war dort noch nicht sehr weit fortgeschritten, daß Materialien auch angegriffen werden können.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, Herr Schmitt. Abgesehen von diesen Untersuchungen, die Sie vorhin genannt haben mit den Anstrichen an den Masten und Hochstromleitungsmasten liegen offensichtlich keine weiteren Erkenntnisse vor.

---

**Dr. Schmitt:**

---

Es war überall, wo irgendwie Energie über Land geschickt wird oder von der Post aus eben.

---

**Dr. Prinz:**

---

Okay, sonst können Sie aber keine eigenen Erkenntnisse beitragen, was die Konzentrierung von Materialschäden in bestimmten Gebieten anbetrifft

oder Unterschiede zwischen Land, Stadt und so weiter. Gut, ergeben sich sonst noch Fragen an Herrn Schmitt? Herr Herkendell.

---

**Herr Herkendell:**

---

Von meiner Seite ergibt sich folgende Frage: Sie haben eben eine Liste von Stoffen genannt, die im Rahmen einer UBA-Untersuchung auf ihre Relevanz hin getestet wurde. Kann man die Ergebnisse dieser Studie so interpretieren, daß die Stoffe, die erst in jüngster Zeit hinsichtlich der Bedeutung ihrer Wirkung erkannt worden sind, damit auch abgedeckt sind? Ich denke hier z.B. an Aldehyde. Dieser Stoff oder diese Stoffgruppe sind in dem Kreis noch nicht genannt worden.

---

**Dr. Schmitt:**

---

Nein.

---

**Herr Herkendell:**

---

Oder auch saure Aerosole, die eine gewisse Wirkungsrelevanz haben. Also, es sind nur die Stoffe, die Sie eben genannt haben.

---

**Dr. Schmitt:**

---

Nein, sie beziehen sich auf die Untersuchung, die wir gemacht haben.

---

**Herr Herkendell:**

---

Für das UBA, ja.

---

**Dr. Schmitt:**

---

Ja, ich habe gesagt, das sind die Stickoxide, Schwefeldioxid, Ozon und die Gesamtwirkung aller drei zusammen. Also nicht nur die einzelnen, sondern auch die drei als Gruppe zusammengefaßt, als eine Gruppe von Gasen gleichzeitig aufgebracht.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Kann ich zur Klärung noch einmal fragen? Herr Schmitt, Sie hatten dann erwähnt, daß es, wenn die Gase zusammen waren, auch keine Wirkung gab, aber wenn Sie Licht dort einwirken ließen. Welchen Faktor des Lichtes haben Sie dabei festgestellt oder wurde er festgestellt?

---

**Dr. Schmitt:**

---

Die Untersuchung wurde so gemacht, daß es das natürliche Licht war.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Und was hat dieses Licht bewirkt an den Gasen?

---

**Dr. Schmitt:**

---

Das Licht hat an den Gasen nichts bewirkt. Es hat am Stoff etwas bewirkt, an den Materialien, so daß die Gase jetzt die Materialien beeinflussen und schädigen konnten. Also das Licht hat irgendwelche Wirkungen hervorgerufen, hat vielleicht Molekülketten aufgerissen, hat die Oberfläche geschädigt, so daß die Schadgase jetzt ansetzen und selbst Wirkungen hervorrufen konnten.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Hat man auch an Radikalbildungen oder so etwas gedacht?

---

**Dr. Schmitt:**

---

Ja. Aber man hat das nicht gemessen.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Die Feuchtigkeit, war die eliminiert?

---

**Dr. Schmitt:**

---

Die mittlere Feuchtigkeit war ungefähr 40 Prozent. Es wurde darauf geachtet, daß es keine Nässeablagerungen gab, also keine Betauung.

---

**Dr. Prinz:**

---

Dann danke ich Ihnen, Herr Schmitt, und wir kämen dann zu Herrn Professor Lucke.

---

**Prof. Lucke:**

---

Mein Name ist Lucke. Ich komme vom Institut für Baustoffe aus Weimar. Von Haus aus bin ich Petrograph und Mineraloge. Meine erste Aufgabe war übrigens die Untersuchung von Sandstein des Dresdner Zwingers, damals auch schon unter der Wirkung von SO<sub>2</sub>. Das ist 1958 gewesen. Ich muß aber gestehen, daß ich nicht der erste war, der solche Untersuchungen durchführte. Meine weitere Entwicklung ging dann so, daß ich vorwiegend bauchemisch gearbeitet habe.

Heute bin ich Direktor des Instituts für Baustoffe, allerdings auch noch Leiter einer speziellen Arbeitsgruppe, die sich mit Fragen der Einflüsse von Umwelt auf Baustoffe beschäftigt. Ich möchte mich heute, obwohl das eigentlich naheliegt, nicht zu der Wirkung von Schadstoffen auf Natursteine äußern. Wir hatten in den letzten Jahrzehnten im Institut wenig Gelegenheit, dazu eine systematische Arbeit durchzuführen, weil das nicht ganz erwünscht war.

Ich muß Ihnen sagen, daß ich erst seit wenigen Monaten im Besitz der Gehalte an Schadstoffen der Luft der früheren Bezirke Erfurt und Sachsen-Anhalt bin, so daß wir jetzt im Nachhinein das, was wir an Untersuchungen durchgeführt haben, aufarbeiten, um Schadensfälle zu erfassen, die unter diesen Bedingungen zu erwarten waren. Man sollte in der Vergangenheit Schadensursachen feststellen, ohne eigentlich zu wissen, was der tatsächliche Hintergrund war. Ich will das an wenigen Beispielen demonstrieren, die, wie ich glaube, eine gewisse Verallgemeinerung für unsere Problematik gestatten.

Wenn man die Baustoffe insgesamt betrachtet, dann ist es vor allem eine Frage der Schadstoff-



**konzentration**, ob ein Baustoff widersteht oder nicht. Ich gebe selbstverständlich Herrn Wesche recht, wenn man einen ordentlichen Beton produziert, dann widersteht er in der Regel Einflüssen von SO<sub>2</sub>, Stickoxiden usw. Aber das hat seine Grenzen.

Wenn Sie im direkten Nachbarbereich des Chem. Kombines Bitterfeld Untersuchungen durchführen, so haben wir in der Nähe der **Salpetersäureanlage** Konzentrationen an Stickoxiden in der Luft, die auch beim besten Beton ihre Spuren hinterlassen.

Nun muß man bei Baustoffen unterscheiden zwischen ihrer ästhetischen Wirkung und ihrer Tragfähigkeit. In der Regel geht es nicht so weit, daß durch Luftschadstoffe die Tragfähigkeit verloren geht, aber der **Schadstoffgehalt** kann natürlich in der oberen Schicht deutliche **Zerstörungen** hervorrufen und dort, wo mit wenig Sorgfalt gebaut wurde, wird auch der Bewehrungsstahl angegriffen, und größere Schäden treten auf.

Ich möchte sagen, daß man die Frage, welche Wirkungen in welchen Gebieten auftreten und welche Luftschadstoffe zu **Schädigungen an Baustoffen** führen, **standortbezogen** sehen muß. Es nützt also nichts, eine Durchschnittsangabe zu machen, wie das in Sachsen-Anhalt mit den SO<sub>2</sub>-Immissionen aussieht, weil sie örtlich sehr große Unterschiede haben. Sie haben in Sachsen-Anhalt auch gewisse Gebiete, wo man zwar nicht schon von Reinluftzonen sprechen kann, aber durchaus von niedrigen Immissionswerten. Wenn Sie dagegen Immissionswerte von **Merseburg** nehmen, dann haben Sie dort Größenordnungen, die bei SO<sub>2</sub> etwa das **30fache** der alten Bundesländer betragen.

Ich bin der Meinung, daß man auch Gebiete mit höheren Schadstoffkonzentrationen in einem sehr feinen Raster untersuchen muß, weil man sonst zu keiner verbindlichen Aussage kommt, und noch deutlicher wird das, wenn man andere Schadstoffe einbezieht, beispielsweise das NO<sub>x</sub>. Wir haben die Feststellung gemacht, daß sich seine **Wirkung** in der Regel nicht allein auf **Natursteine** beschränkt, sondern wir glauben auch nachweisen zu können, daß es bei bestimmten **Putzen**, die bei uns ohne Polymerzusatz hergestellt wurden, eine deutliche **Auflockerung des Gefüges** durch ein Herauslösen gibt, was vor allen Dingen die ästhetische Einwirkung beeinträchtigt.

Dann haben wir bei unseren Untersuchungen unter solchen starken Belastungen, wie sie der Bitterfelder Raum darstellt, die Feststellung gemacht, daß der **"rote Stein"**, der Begriff ist ja auch bei Ihnen bekannt, d.h. der Ziegel, in der Regel auch unter großen Belastungen eine sehr **starke Wider-**

**standsfähigkeit** aufweist. Selbstverständlich sind auch dort in Beziehung auf die ästhetische Wirkung Ausblühungen durch die Aufnahme von SO<sub>2</sub> und Umsetzung mit Alkalien nicht ausgeschlossen, aber die **Steinfestigkeit** wird nicht wesentlich vermindert.

Die Frage, inwieweit sich jetzt Veränderungen ergeben, ist natürlich in den neuen Bundesländern anders zu sehen als in den alten Bundesländern. Bei uns wird es sicherlich erst einmal darum gehen, die extrem hohen SO<sub>2</sub>-Werte, die ja punktuell bis zu 4 mg/m<sup>3</sup> erreichen, beispielsweise in Erfurt, erst einmal abzubauen. Man sollte allerdings nicht den Irrtum begehen, wie ich oft in der Presse lesen kann, alles auf die großen Braunkohletagewerke zurückzuführen. Das ist weder in Erfurt noch in Weimar der Fall, wobei vielleicht interessant ist, daß Weimar in Bezug auf die **SO<sub>2</sub>-Gehalte** in der Luft höhere Werte als Bitterfeld aufweist. Das ist einerseits durch die geographische Situation Weimars, seiner Tal- bzw. Kessellage, bedingt, andererseits durch die heute noch bis zu 90 % **Ofenheizung** und den dabei entstehenden SO<sub>2</sub>-Emissionen. Diese Emissionen lagern sich direkt im Stadtgebiet ab und führen zu ganz extrem hohen Immissionswerten und damit auch zu einer sehr starken Wirkung auf die Baustoffe.

Da wir die Materialpalette etwas breiter betrachten wollen, möchte ich darauf verweisen, daß Sie bei entsprechend hohen NO<sub>x</sub>- bzw. SO<sub>2</sub>-Konzentrationen **Schäden** auch an sonst so widerstandsfähigen Materialien wie **Asbestzementplatten** nachweisen können. Dabei kommt noch ein gesundheitsgefährdender Aspekt hinzu. Mit dem **Verwitterungsprozeß** werden **feinste Asbestteilchen** freigesetzt, die eine Gefahr für den Menschen darstellen. Wir konnten nachweisen, daß sich auch die **Biegezugfestigkeitswerte** als Maß für die Eigenschaften des Asbestzementes nach einer Nutzungsdauer von 10 Jahren deutlich verschlechtern.

Ich muß allerdings betonen, und das haben wir, glaube ich, schon mehrfach festgestellt, daß sich ein direkter Bezug zwischen bestimmten Immissionswerten und einem Schaden in vielen Fällen nicht beweisen läßt. Herr Wesche hat es ja auch schon angesprochen, wir haben uns alle, und ich weiß das auch von unserem Institut bei unseren experimentellen Laboruntersuchungen, darauf beschränkt, eine bestimmte Schadstoffkomponente einwirken zu lassen, z.B. SO<sub>2</sub> oder Stickoxid. Ich glaube aber, wir müssen noch stärker die **Komplexität des Zusammenwirkens** untersuchen, und ich bin sicher, daß sich aus diesen Untersuchungen neue Erkenntnisse ergeben. Trotzdem waren die Einzeluntersuchungen am Anfang richtig und notwendig. Aber jetzt müssen wir diese Schwelle überschreiten. Dankeschön.

---

**Dr. Prinz:**

---

Herzlichen Dank, Herr Lucke. Sie wiesen auf den Unterschied der Korrosion bei Ziegelstein und Naturstein hin. Wenn wir morgen den Bummel durch Werden machen, kann ich Ihnen dazu ein eklatantes Beispiel zeigen. Irgendwelche Fragen zu den Ausführungen von Herrn Professor Lucke? Im Grunde genommen handelt es sich bei den neuen Bundesländern um eines der Gebiete, in denen man heute noch einmal eine intensive Zusammenstellung der regionalen Unterschiede der Korrosion oder korrosionsbedingten Schäden in Beziehung zu den Unterschieden in der Luftbelastung vornehmen sollte. Ist ein solches Forschungsvorhaben eigentlich geplant?

---

**Prof. Lucke:**

---

Ja, darauf wollte ich eigentlich erst morgen zu sprechen kommen, aber ich kann sagen, daß ich das als besonders günstig ansehe. Wir können bei bestimmten Baustoffen die Wirkungen noch nachvollziehen und bestimmen, wie bei Mörteln und Betonen die ursprüngliche Zusammensetzung war. Wir können für bestimmte Standorte nachweisen, was dort in 30 Jahren auf den Baustoff eingewirkt hat und wir wollen dort ganz konkrete Untersuchungen ansetzen hinsichtlich der Tiefenwirkung, der Phasenumwandlung usw. in den Baustoffen.

---

**Dr. Krause:**

---

Das ist letzten Endes das Interessanteste, was wir in Analogie zu der Waldschadensforschung auch immer gesagt haben: Wir müssen im Grunde genommen vergleichbare Baustoffe, in diesem Fall Steine haben, die unterschiedlichen Immissionsbelastungen ausgesetzt sind. Wir müssen dort untersuchen, ob sich Unterschiede in der Wirkung ergeben.

---

**Prof. Lucke:**

---

Ich lege auch Wert darauf, daß wir uns nicht nur auf die Auslagerung, z.B. von Probekörpern beschränken, denn die bauphysikalischen Bedingungen in einer Wand sind doch ganz anders als in einem Probekörper. In einer Wand müssen wir z.B. die Feuchtigkeitsbewegung berücksichtigen.

---

Wir haben deshalb eine gesonderte Arbeit laufen, die die Feuchtebewegung in historischen Bauten zum Inhalt hat.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, wir sollten aber trotzdem die Frage jetzt nicht weiter vertiefen, weil sie morgen noch einmal zur Diskussion steht.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Ich habe noch eine Frage. Unter welchem Aspekt haben Sie Ihre Untersuchungen in der früheren DDR gemacht, wenn die Emissionssituation nicht bekanntgegeben wurde?

---

**Prof. Lucke:**

---

Wenn etwas zusammengebrochen war, mußte doch die Ursache gefunden werden.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Und was wurde dann als Ursache angegeben?

---

**Prof. Lucke:**

---

Es wurde nachgewiesen, daß eine Sulfatkonzentration vorlag, die nicht aus einem Baustoffbestandteil stammte, sondern von außen zugeführt wurde, und damit war dann auch Schluß. Diese Dinge sind nie veröffentlicht worden, sondern das war "top secret".

---

Ein anderer Fall, der in der Runde sichtlich bekannt ist, sind die Eisenbahnschwellen. Ihre Schäden sind in unserem Institut 8 Jahre untersucht worden. Über diese Dinge ist nie eine Zeile veröffentlicht worden.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Das heißt also, im Prinzip waren Ihnen die Konzentrationswerte von Luftschadstoffen indirekt bekannt, Ihre Ergebnisse durften nur nicht veröffentlicht werden.

---

---

## Prof. Lucke:

---

Es konnte nicht **systematisch** untersucht werden. Bemühungen, diese Dinge einmal systematisch in Angriff zu nehmen, fanden kein Interesse.

---

## Prof. Blaschke:

---

Ich nehme hier gern das Image eines "letzten Experten" auf mich. Ich bin ja auch Oberflächenforscher oder "oberflächlich geworden". Ein Punkt, wo ich mir allerdings nichts vorwerfen lasse, das ist die Mikroskopie. Und ich versuche, alles das sichtbar zu machen, wovon auch Sie hier reden. Und das war schon der Grund, weswegen ich nach dem **Mineralogiestudium** zu Pfefferkorn nach Münster ging, um dort eine Mikrosonde zu übernehmen. Stattdessen hatte er das erste Rastermikroskop gekauft. So kam ich also zur **Elektronenmikroskopie** und hatte dann erst recht die Aufgabe, alles zu visualisieren. Es gab fast kein Gebiet, das ich nicht bearbeitet habe und wir haben etwa 3000 Leute ausgebildet, die auch immer ihre eigenen Objekte brachten. Es gibt kein Gebiet, das ich nicht mikroskopisch anfassen könnte. Ich habe vor 20 Jahren angefangen, **Kraftwerksaschen**, also **Flugaschen** oder **Flugstäube** zu untersuchen. Hauptsächlich war damals die Intention ihrer Verwendung als Baustoff oder Zusatzstoff zum Beton. Flugaschen zu untersuchen fordert das ganze Können des Mikroskopikers. Das habe ich versucht, meinen Auszubildenden beizubringen und habe alle Präparationsmethoden ständig variiert, so daß ich mit Recht behaupten kann, über Flugaschen weiß ich besser Bescheid, als irgend jemand wahrscheinlich auf der Welt. Das soll nicht Überheblichkeit sein. Wir waren die ersten, die festgestellt haben, daß auf den Kraftwerksflugaschen **Salzbeläge** vorhanden sind und **Ammoniumsalze**. Auch das kann man sichtbar machen und analysieren. Und das ist, glaube ich, ein Punkt, der für Ihre Tätigkeit vielleicht einmal von Bedeutung sein könnte. Es tritt im Moment schon, möchte ich meinen, eine gewisse Langeweile bei den Umweltfragen ein. Die Visualisierung dieser kleinsten Teilchen und der **Flüssigaerosole** haben wir im Institut kultiviert. Das ist eine Möglichkeit, auf diese ernstesten Probleme hinzuweisen. Wenn dazu Hilfestellung erforderlich wäre, bin ich da gern bereit. Die Elektronenmikroskopie ist heute in der Lage, bis in den atomaren Bereich vorzustoßen und wir müssen diese Bereiche, ob es nun biologische oder andere sind, darstellen können. Ich muß Herrn Fitzner, den ich sonst sehr schätze, in einem Punkt widersprechen. Er sprach von einer vormi-

kroskopischen Verwitterung. Die muß ich einschränken und muß sagen: eine vorlicht-mikroskopische Verwitterung, ja, aber für die Elektronenmikroskopie gibt es das nicht. Das heißt, wir können die **kleinste Veränderung** in wenigen Tagen schon **mikroskopisch festhalten**, zumindest in ein oder zwei Jahren und nicht erst in Jahrzehnten. Ich habe einige Dias zusammengestellt für den Jahresfortschrittsbericht und wäre gern bereit, sie Ihnen zu zeigen, z.B. was man erreichen kann, wenn man einen frisch gespaltenen Spaltrhomboeder aus Kalkspat, also Kalziumkarbonat, auslagert. Sie werden sehen, wie sich die Biologie entwickelt. Die **Beschleimung der Oberflächen** durch Organismen ist eine Frage von Stunden und das, was sich daraus entwickelt, ist eine Frage der zur Verfügung stehenden **Feuchte**. Ohne diese beiden Begriffe können wir vieles aus der Entwicklung unserer Umweltschäden nicht verstehen. Ich kann Ihnen auch zeigen, wie aus einer Begrünung, die heute schon mehrfach angesprochen wurde, tatsächlich die **schwarze Kruste** entsteht und wie beim Kölner Dom immer wieder in Regenperioden ein **grüner Schleier** drübergelegt wird von Algen, der bei der **nächsten Austrocknung** garantiert wieder in eine melaninschwarze dünne Haut übergeht, die allmählich die Poren verstopft, wenn das Gestein feinporig genug ist. Und danach kommen die Schäden unter der Kruste. Also, ich glaube, daß die Mikroskopie tatsächlich eine ganz wesentliche Rolle spielt, indem sie illustriert und auf Dinge aufmerksam macht, die man vielleicht sonst leicht übersieht.

---

## Dr. Prinz:

---

Vielen Dank, Herr Blaschke. Ich habe das Gefühl, daß wir jetzt schon zu den Fragen drei und vier gekommen sind. Insofern können Sie ruhig dort fortfahren, meine ich, und auch die Dias zeigen. Die Fragen drei und vier befassen sich eigentlich mit dem **Mechanismus** und mit der **Beweisführung**. Auf die methodischen Einzelheiten wollten wir allerdings morgen eingehen, aber die Mechanismen, die sollten eigentlich doch noch hier abgehandelt werden. Ich würde vorschlagen, daß wir vielleicht in Abkehr zu der Strategie, die ich bis jetzt verfolgt habe, diese Fragen, die ja zum Teil schon hier angeschnitten worden sind, in etwas freierer Form diskutieren. Hierbei sollten wir das Thema aufteilen in **nichtmetallische anorganische Werkstoffe**, sprich zum Beispiel Natursteine, und **metallische Werkstoffe** und dann noch vielleicht **organische Werkstoffe**, d.h. Natur- und Kunststoffe, Anstriche, Lacke usw., abhandeln. In dieser Reihenfolge sollten wir die verbleibende

---

Zeit nutzen. Die Fragen drei und vier sollten wir insbesondere auch unter dem Gesichtspunkt erörtern: Wie kann man sich die Mechanismen vorstellen, wie werden überhaupt bzw. sind bisher die **Beweise** geführt worden, daß es sich um **immissionsbedingte Schäden** handelte? Die Frage, ob es da zeitliche Entwicklungen oder räumliche

Gegebenheiten gibt, die auf bestimmte, gegebenenfalls **neuartige Ursachenfaktoren** schließen lassen, haben wir ja zum Teil schon bereits diskutiert. Aber wenn irgendjemand dazu noch einen zusätzlichen Beitrag hat oder zusätzliche Erkenntnisse, dann sollte er dies auch an dieser Stelle einbringen.

---

## Fragenkomplex Block A: "Situationsanalyse"

3. Worauf werden die Vermutungen gestützt, daß die Schäden immissionsbedingt sind?
4. Gibt es zeitliche Entwicklungen oder räumliche Gegebenheiten, die auf bestimmte, ggf. neuartige Ursachenfaktoren schließen lassen?

---

### Prof. Blaschke:

---

Ich habe ein technisches Problem. Wenn Sie mir zum Beispiel einige Minuten geben würden, könnte ich meine Dias aus dem Koffer herausziehen und in ein Diomagazin einbringen. Ich brauche dafür zehn Minuten.

---

### Dr. Prinz:

---

Dann können wir diese 10 Minuten nutzen und ich stelle die Fragen insgesamt zur Diskussion. Diese Fragen haben Sie ja vor sich liegen, ergänzt jetzt um das Stichwort Mechanismus. Wie kann man sich den **Mechanismus** immissionsbedingter Materialschäden vorstellen, zunächst einmal auf nichtmetallische anorganische Werkstoffe bezogen, sprich **Natursteine** als den klassischen Vertreter. Wer möchte dazu irgendwelche Ausführungen machen? Da gehe ich einmal davon aus, wenn ich jetzt die Natursteine betrachte, daß der grundsätzliche Mechanismus natürlich bekannt ist: Kalziumkarbonat plus  $\text{SO}_2$ , sprich Schwefelsäure, katalytisch aufoxidiert, gibt Kalziumsulfat, höheres, spezifisches Kristallvolumen, Absprengereffekt usw. Also, wenn wir einmal von diesem klassischen Wissen ausgehen, würde mich natürlich interessieren, ob es da noch neuere zusätzliche Erkenntnisse gibt, zum Beispiel über die **Wechselwirkung katalytisch wirkender Substanzen** an der Oberfläche von Natursteinen. Welche Rolle spielen tatsächlich **Stäube**, gibt es da neuere Erkenntnisse oder wie sieht es mit dem **Wechselspiel  $\text{SO}_2/\text{NH}_3$**  aus, was wir auch schon einige Male angesprochen hatten, aber hier an dieser Stelle auch noch einmal systematisch vertiefen können. Wie ist es also mit der **Nitrifizierung**? Wie wirkt Salpetersäure im Vergleich zur Schwefelsäure, wobei Kalziumnitrat statt Kalziumsulfat entsteht. Alle diese Fragen

stelle ich jetzt hier einmal zur Diskussion. Herr Brüggerhoff, wenn Sie beginnen.

---

### Dr. Brüggerhoff:

---

Dann haben wir fast wieder den gleichen Mechanismus des Herumgehens.

---

### Dr. Prinz:

---

Wobei ich jetzt aber erst einmal dann die Bronze-fachleute überspringe. Die kommen anschließend dran.

---

### Dr. Brüggerhoff:

---

Das waren jetzt eine ganze Menge Fragen. Ich will zu einigen Teilkomplexen etwas sagen. Sie haben recht, wir wollen nicht wieder alte Kamellen aufwärmen, also daß Kalziumkarbonat durch  $\text{SO}_2$  angegriffen wird, ist klar. Ich möchte lieber auf eine Bemerkung des Herrn Fitzner eingehen, die mir ganz wichtig ist. Seine Bemerkung lautete, daß **Salze natürlichen Ursprungs** als Schadensursache beobachtet wurden. Wir haben auch durch **Umwandlungsprozesse**, ich möchte das am Anfang erst einmal so allgemein sagen, Salzeinträge in das Gestein. Zusätzlich zu den beispielsweise aus der Bodenfeuchte stammenden Salzen werden sie sicherlich eine ganz entscheidende Rolle bei der Zerstörung des Porengefüges durch **physikalische Vorgänge** spielen. Das heißt also, nicht nur die Umwandlung des Bindemittels durch die direkte Einwirkung von  $\text{SO}_2$  und damit der **Verlust des Bindemittels** ist schadensverursachend, sondern vor allen Dingen die **Ausbildung von Salzen** und dabei jetzt allgemein Salze durch verschiedene Immissionskomponenten, verschiedene Salze, wird eine Schadensursache sein. Ein zweiter Punkt, unter Bezugnahme auf die Ausführung von Herrn Fütting, noch einmal ganz kurz: Wir haben häufig in früheren Jahren die  $\text{SO}_2$ -Einwirkung direkt auf das karbonatische Material diskutierte. Hier kommt es zu erklärbaren Schäden. Vielfach beobachten wir jedoch auch an solchen Materialien, die nicht karbonathaltig sind, ja überhaupt keine kalziumhaltigen Minerale enthalten, doch wiederum **Gipskrusten**. Das heißt also sicherlich, daß das was an **Flugstaub** aufgebracht wird, sei es direkt, sulfat- oder nitrathaltig ist, sei es, daß es in

einer reaktiven Form, die dann anschließend mit den Immissionskomponenten reagieren wird, auch zu Schäden auf Gesteinsoberflächen führen kann. Als letztes dann auch zu der von Ihnen gestellte Frage nach synergistischen Effekten. Hier ist in den letzten Jahren einiges gearbeitet worden. Da wird der Herr Schmitt sicherlich einiges zu sagen können, er hat das ja bereits ausgeführt. Die **synergistische Wirkung** des Systems  $\text{SO}_2\text{-NO}_x\text{-Ozon}$  ist sicherlich etwas ganz anderes als eine Summation einzelner Effekte. Hier kommt es zu **Potenzierungen** in der Wirkung. Das ist auch von verschiedenen Arbeitsgruppen beobachtet worden. Ich erwähne hier nur ganz kurz eine schwedische Arbeitsgruppe, Professor Lindquist in Göteborg, die solche Untersuchungen nicht nur für Gesteine gemacht hat, sondern auch über die Auswirkung auf Metalle forscht. Und zuletzt noch einmal **Staubinhaltsstoffe**. Auch hier wird in den letzten Jahren angefangen zu forschen. Das heißt, inwieweit treten **katalytische Effekte** der Staubinhaltsstoffe in Bezug auf die **Sulfatierungsprozesse** oder andere Prozesse saurer Schadstoffkomponenten an der Oberfläche auf, d.h. wieder ein Angriff durch  $\text{SO}_2$ , aber wie ist der beeinflusst durch andere Komponenten? In diesem Zusammenhang, das hatte ich ja schon einmal geschildert, wollen wir jetzt auch in einem europäischen Projekt einige Aussagen machen. Soviel zu diesem Punkt von meiner Seite.

---

**Dr. Krause:**

---

Darf ich mal fragen, Herr Brüggerhoff. Sie sprachen eben von dieser schwedischen Studie von **Potenzierung**. **Potenzierung der Wirkung**, welche Wirkung war gemeint? **Krustenbildung** oder **Potenzierung der Zerstörung**?

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Da muß man den Versuchsaufbau schildern. Es war ein **Simulationsversuch**, in dem **Kalksteinplättchen** benutzt wurden, mit Wasser betropft wurden und in einer Schadgasatmosphäre lagerten. Zum einen nur  $\text{SO}_2$ -haltig, zum anderen  $\text{SO}_2$  in Kombination mit  $\text{NO}_x$ , zum anderen in Kombination auch mit Ozon. Das Ozon wurde dabei auch als ein Punkt entdeckt, bei dem eine **katalytische bzw. beeinflussende Wirkung** auftritt. Gemessen wurde die **Gewichtszunahme**, die eine Beurteilung der Schadenswirkung ermöglicht.

---

**Dr. Krause:**

---

Es geht dann auch darum, daß die **Deposition von  $\text{SO}_2$**  unter Umständen in Gegenwart von  $\text{NO}_x$  **verstärkt** wird.

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Genau.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Ein einfacher **Passivsammler**, um die Aktivität von Mikroorganismen zu testen, ist ein frisches **Spaltrhomboeder** aus **Kalkspat**. In diesem Falle war es schon modifiziert durch drei zwei-Millimeter-Bohrungen, 0,5, 3 und 6 mm tief. Und nach zehn Tagen schauen wir uns das gleich näher an: Nach dem Kryoschock in schmelzendem Stickstoff, anschließender Gefriertrocknung und Einbettung im Hochvakuum in einem niedrig viskosen Kunstharz und schließlich angeschnitten mit einem Sägemikrotom. Dann sehen Sie im nur 0,5 mm tiefen Loch einen deutlichen **Algenbewuchs**. Auch die Spaltrisse sind bereits durchwandert von grünen Zellen. Herr Eckhardt war auch der Initiator für diese meine Experimente, weil er ähnliche Versuche aus Zeiten der Jahrhundertwende erwähnte. Im 3 mm tiefen Loch sehen Sie einen **braunen gefriergetrockneten Schleim**. Und Sie sehen auch Sedimente am Boden. Das gucken wir uns jetzt näher an. Sehen Sie, das ist jetzt ein **Dünnschnitt** zwischen zwei gekreuzten Polarisatoren. Sie sehen, das ist ein Einkristall mit **Zwillingslamellen**. Achten Sie bitte darauf, daß sich diese Schleimmasse oder Hydrogel von der Wand der Bohrung unten abhebt. Ein **Schrumpfprozeß!** Also das ist tatsächlich mit Gel gefüllt gewesen. Bitte weiter. Das zeigt jetzt ein bißchen deutlicher: **Die Sedimente aus grünen und braunen Zellen**. In der Mitte oben sehen Sie so etwas wie **Sommersprossen**, und wenn wir uns die näher angucken, wird das immer deutlicher. Und bitte weiter. Und schließlich sehen wir, das sind tatsächlich **Bakterien**, nicht nur die jetzt scharf abgebildeten stärker doppelbrechenden gelben Gebilde, sondern auch diese grauen unscharfen Flecken. Das sind **Bakterienanhäufungen**, die nicht in der Fokusebene des Mikroskops liegen. Und da kommen wir auf die **Keimzahlen**, von denen Herr Eckhardt heute sprach, nämlich an die  $10^6$  pro Gramm. Ich habe

mir daraufhin auch Küvetten gebaut, wo ich diesen Vorgang auch lebend im inversen Mikroskop betrachten kann. Es ist ein herrliches Spielzeug, muß ich sagen. Sie sehen dann die grünen Zellen, Sie sehen braune Pilzzellen und bei höherer Vergrößerung auch Bakterien. Jetzt kann man folgendes Experiment machen: Wenn man diese Masse eintrocknen läßt, dann wird die Suppe immer dicker und zieht sich unter Feststoffteilchen zusammen, dann stirbt alles ab, und wenn Sie es dann wieder anfeuchten, melden sich als erstes Bakterien und später Pilze. Die chlorophyllhaltigen Zellen bleiben tot. Und das haben wir in der Natur auch, wenn die Oberfläche voll austrocknet. Algenzellen sind gegen das Austrocknen nicht gewappnet. So sieht es dann nach 10 Monaten aus, Sie sehen, daß so ein Kalkspatkristall schon sehr tief, soweit das Tageslicht reicht, durch Algen grün gefärbt ist. Und in diesen nächsten drei Bildern möchte ich einmal zeigen, wie sich ein einziges opakes Staubteilchen vielleicht von 50 Mikrometern Größe auswirkt. Wir haben zunächst - nach 10 Monaten - einen durchgehenden grünen Belag aus Algen gehabt. Dann kam dieses Staubteilchen drauf. Darunter sammelte sich die Feuchtigkeit, es ist heute ein bräunlicher Mikrobenschleim. Und wenn wir jetzt bei höheren Vergrößerungen betrachten, dann sehen Sie an der Oberfläche reiches Bakterienwachstum. Sie erkennen hier sogar noch den Schleimfilm, der dieses Teilchen von oben bedeckt. Aber interessanter ist noch, was sich unten tut: Unter dem Teilchen gehen die Algenzellen weitgehend kaputt. Stattdessen entwickeln sich Pilze. Und das in einem Bereich von wenigen  $\mu\text{m}$ ; wir haben hier ein totales Umkippen der ökologischen Bedingungen. Das erklärt auch, warum die Mikrobiologen so große Probenzahlen brauchen, um eine einheitliche Aussage oder eine einigermaßen sichere Aussage über die Belastung eines Objektes mit Mikroorganismen machen zu können. Von derartigen Feinheiten hängt es ab, ob noch eine Restfeuchte da ist, ob eine Staubbelastung da ist oder nicht. Das sieht man ganz besonders schön an Flechten, die ja eine Symbiose aus grünen Algenzellen und Pilzzellen darstellen. Die Pilze schützen die austrocknungsempfindlichen grünen Algenzellen. Das kann man wiederum an diesem gefriergeschockten und getrockneten Präparat über Lumineszenzanfärbung sichtbar machen. Sie sehen, daß die Algenzellen alle sehr porös sind, die Pilzzellen dagegen in oberen Teil sind auch im gefriergetrockneten Zustand für das Harz noch kaum zu durchdringen.

Bitte weiter! Die Tuffe sind heute angesprochen worden. Warum ist die Fassade von den Landungsbrücken in Hamburg schwarz geworden? Genau dort können wir die alten Bewüchse oder die frischen Bewüchse feststellen. Über Rissen, an

denen solches Tuffgestein sehr reich ist, und da drunter, aus einer früheren Generation, sind die ausgetrockneten Algen inzwischen braun geworden und wahrscheinlich durch die Salzlösung, die wir dort als Wasser haben, koaguliert zu solchen runden Wülsten, den Rissen. Was passiert nun, wenn eine Gesteinsfassade von Grün nach Schwarz umschlägt? Das kann man sehr schön an Ausbesserungen sehen, die in der Nachkriegszeit vorgenommen wurden, wie hier an der Lamberti-Kirche in Münster. Die alten Quader sind schwarz, die jüngeren Quader und die Vierungen sind intensiv grün, auch die schwarzen sind zum Teil vorübergehend leicht grün geworden. Der Umschlagpunkt ist dann gegeben, wenn die Poren der Gesteinsoberfläche verstopft sind. Dann trocknen nämlich die Algen in den Trockenperioden aus und bilden das vorhin auch schon erwähnte Melanin. Auch das kann man mikroskopisch sichtbar machen. Zunächst einmal, das ist eine solche alte Schmutz-Schleim-Kruste, die aus dem Bioschleim hervorgegangen ist. Sie sehen die schwarzen Ascheteilchen, Sie sehen den Rost von unseren Auspuffanlagen oder Gleisanlagen. Sie sehen weiß aufleuchten im Dunkelfeld die Gipskristalle, die in dieser Schleimmasse überhaupt erst entstehen können und durch Rekrystallisieren gröber werden. Aber jetzt, wenn eine solche Feuchtphase wieder eintritt, wie hier zum Beispiel bei der Moriz-Kirche in Coburg. Sie sehen unten eine schwarze Kruste, die von außen wieder im Januar frisch begrünt ist. Im Dünnschnitt noch einmal: Der frische Algenbewuchs oben und der inzwischen braungewordene Altbestand darunter. Für das Gleiche kann ich Ihnen mindestens zwanzig Beispiele liefern. Der Kölner Dom im Januar mit grüner Oberfläche. Und so sieht der Querschnitt aus: Links der aktuelle Algenbewuchs mit wenig Staub und darunter, der vergangene oder braun gewordene, ehemalige Algenbewuchs mit entsprechend viel Staub und warum passiert dem Oberkirchener Sandstein nichts? Das sieht man also hier. Das ist übrigens die Ludgeri-Kirche in Stein gehauen, in der Hand des Heiligen Ludger als Schmuckfigur. Im Dünnschnitt - allerdings nicht von dieser Skulptur - sondern von einer Fiale sehen wir auch hier zwischen den quarzitisches gebundenen Quarzkörnern den grünen Algenbewuchs und darunter die während einer Trockenphase braun gewordenen alten, abgestorbenen Algen. Das Gestein bleibt deshalb beständig, weil der Porenraum nie verstopft wird. Das können Algen alleine bei dieser hohen Porosität nicht schaffen, es sei denn wie beim Leine-Schloß, wo Gips hinzukommt. Dann sehen Sie etwas ganz Charakteristisches: Links oben die Gipskruste, darunter noch Reste der staubsammelnden Bioschleimkruste. Darunter haben wir etwas, was ich als "subcutane Algenzone" bezeichnen würde. Soweit das Licht

von außen reicht, können sich Algen bilden unter der Voraussetzung, daß sie mit **Feuchte** versorgt werden. Die Feuchte kommt nicht durch die dichte Gipskruste, sondern vom **Innern des Gesteins**, in diesem Falle von der Rückseite der Böschungsmauer. Hier kommt überhaupt kein Ruß herein und trotzdem werden die Zwickel nachher schwarz. Die schwarze Substanz ist m. E. nichts anderes als umgewandelte Algensubstanz in allen Übergangsstadien. Mit einer sanften Reinigung könnten wir diese schwarzen Zwickel nicht beseitigen, es sei denn, daß wir die Quarzkörner mit entfernen. Das **Schädliche der Porenverstopfung** durch Algenbewuchs in Verbindung mit der Gipskruste sind **Frostaufbrüche** unter der verdichteten Oberfläche. Das wollte ich Ihnen nur mal zeigen, da ich besessen bin von der Idee, all' das sichtbar zu machen, wovon geredet wird. Das meiste gelingt auch, wenn auch der Aufwand natürlich zum Teil entsprechend hoch ist. Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, Herr Blaschke. Ergeben sich unmittelbar hierzu noch Fragen? Herr Herkendell.

---

**Herr Herkendell:**

---

Ich finde die Bilder sehr beeindruckend. Aus übergeordneten Gesichtspunkten möchte ich fragen: Worauf werden Ihre Vermutungen gestützt, daß die **Schäden immissionsbedingt** seien? Dann gezielt die Frage an Sie: Sind das nicht zweierlei Dinge? Das Phänomen, was Sie jetzt mit der "**natürlichen**" **Verkrustung** auf unterschiedlichen Gesteinsoberflächen sehr schön beschrieben haben und den Einflußfaktoren **Mikroklima** und **Immissionen**, die hier im Vordergrund stehen. Daß es da **Interaktionen** gibt, glaube ich schon, aber wo könnten sie liegen? Liegen sie in einem synergistischen Effekt auf das **Wachstum der Algen** oder gibt es andere Effekte?

---

**Prof. Blaschke:**

---

Auf diesen Zusammenhang bin ich eigentlich durch Untersuchungen gekommen, wie sie Herr Grimm jahrelang gemacht hat, nämlich an **Grabsteinen**. Dabei habe ich festgestellt, daß wir die Hauptschäden in den **wechselfeuchten Bereichen** haben, während die dem Regen voll ausgesetzten Details weniger stark geschädigt sind. Wenn viel Wasser da ist, beobachten wir **Moose**, das erkennt man an

jedem Gebäude, das ist auch nicht der eigentliche Schadensfall. Bei einer **geringen Dauerfeuchte**, aber nie zu feucht, sehen wir **Flechtenbewuchs**. Darüber kann man auch diskutieren, ob er schädlich ist oder nicht. Aber komischerweise, die **größten Schäden** haben wir dort, wo die **Biologie scheinbar die geringste Rolle** spielt. Und dennoch ist sie dort gerade m. E. am wirksamsten, weil dieses dauernde Auf und Ab eines Algenbewuchses, der schon nach Stunden kommt und beim Eintrocknen diesen schwarzen, **dichten Bioschleim** bildet, ist schädlich wie ein dichter Anstrich, der unsere Wegmarterln kaputt macht, d.h. er **verschließt die Poren**. Und deswegen kommt es darunter zu **Frostaufbrüchen** und je nach Porosität des Gesteines zu **dünnen Schuppen** oder entsprechend **dickeren Schalen**. Der Zusammenhang zwischen Biologie und Frostschaden ist nicht ohne weiteres zu erkennen, es sei denn, daß wir uns eben mit diesen Experimenten und durch das mikroskopische Studium soweit herannähern. Diese **Biozone**, diese eintrocknenden Schleime sind wie ein Fliegenfänger. Das ist heute auch schon angeklungen und sie **sammeln** alles, nicht nur die **Feststoffe**, sondern auch die **Gase** und die **Flüssig-aerosole**. Dieser feuchte Schleim ist auch der **Haupt-Reaktionsraum**, d. h. ein  $\text{SO}_2$ -Molekül an einer trockenen Gesteinsfläche würde überhaupt nichts machen, hat keine Chancen, aber in dem Schleim wird es festgehalten und kann jetzt dort in diesem feuchten Schleim reagieren. Erst einmal wird  $\text{SO}_2$  oxidiert, so daß sich dann Schwefelsäure überhaupt bilden kann. Ohne **Bioschleim**, der übrigens auch auf **Metalloberflächen**, die Marine weiß davon ein Lied zu singen, auftritt, würden die meisten Schadstoffe mit dem Regenwasser in den Boden verschwinden, würden den Boden ansäuern, aber die Gesteine wären sauber und wären nicht so schwarz verkrustet und nicht so tiefgründig geschädigt. Das ist der Zusammenhang, wie ich ihn jetzt sehe. Ich habe das Bild auch in den letzten Monaten und Jahren immer wieder modifizieren müssen, aber allein die Tatsache, daß ein solcher schwarzer Belag immer wieder einmal kurzfristig durch einen grünen Schleier belegt ist, bestätigt das eigentlich ausreichend. Wir sehen auch gelegentlich diesen **Schichtaufbau**. Die Wechselfeuchte, wobei der Akzent auf **häufiger völliger Austrocknung** liegt, ist der eigentliche Grund, warum die Gesteine in diesen Bereichen überhaupt kaputtgehen. Algen sind sehr empfindlich gegen Schadgase. In Erfurt habe ich 1990 vergeblich nach grünen Wandflächen gesucht. Dort sind offenbar die Konzentrationen von  $\text{SO}_2$  noch so hoch, daß Algen im Moment die Oberflächen nicht dauerhaft begrünen können. In München war es im Stadtkern ähnlich, bis man zwangsweise umgestellt hat von Öl- und Kohleheizung auf Erdgasheizung. Seitdem ist alles grün geworden. In Münster habe ich auch den



Eindruck, aber das kann subjektiv sein, daß unsere **Garagendächer** usw. in wenigen Wochen grün werden. Für mich ist es ein Anzeichen, daß die Luft an und für sich **besser** wird, aber es kann auch sein, daß ich da völlig falsch liege. Unter Umständen sind andere Komponenten dafür verantwortlich, daß die Algen plötzlich das finden, was sie schon lange vermißt haben.

---

**Dr. Prinz:**

Herr Blaschke, die Frage von Herrn Herkendell ist so zu beantworten: Ihren Bildern ist **kein direkter Beweis** zu entnehmen bzw. ist auf Grund Ihrer Bilder kein Beweis zu führen, daß es sich um **immissionsbedingte Schäden** handelt, aber es ist der Beweis zu führen, daß hier dieser **Schleimüberzug** vorhanden ist und daß der eben ein wichtiger **Co-Faktor** ist für die Wirkung von **SO<sub>2</sub>** und anderen **Schadstoffen**. Aber ein direkter Beweis ist diesen Darstellungen nicht zu entnehmen, daß es sich tatsächlich um **immissionsbedingte Schäden** handelt.

---

**Prof. Blaschke:**

Vielleicht doch. Ich habe es jetzt nicht unterschlagen, aber Herr Fitzner hatte dieses schöne Bild gezeigt von diesen dicken genarbten **Gipskrusten**. Die sind meiner Ansicht nach nicht erklärbar ohne **Bioschleim**. Ohne **Bioschleim** würde alles, d.h. die **Sulfatlösung**, herunterlaufen.

---

**Dr. Prinz:**

Ja, das ist richtig. Also **Bioschleim als Co-Faktor für Immissionswirkungen**. Das ist das wichtige Ergebnis Ihrer Untersuchungen.

---

**Prof. Blaschke:**

Ich wollte das vielleicht so nennen, daß die **Akzeptanz eines Werkstoffs** für die Schadstoffe durch den **Bioschleim** um ein Vielfaches erhöht wird.

---

**Dr. Prinz:**

Okay, das ist, glaube ich, ein wichtiger Gesichtspunkt, den wir festhalten sollten. Herr Herkendell, haben Sie noch eine Frage?

---

**Herr Herkendell:**

Ich glaube, das ist damit weitestgehend erledigt. Aber dennoch eine Anmerkung: Wir erleben eine **starke Sukzession von Algen**, auf allen Substraten. Wir erleben auch eine starke Sukzession von **Flechten**, insbesondere von **Krustenflechten**, die auffallend in den letzten zehn Jahren nicht nur **Betonplatten** besiedeln, sondern auch schon die **Frankfurter Pfanne**. Dieses Phänomen ist ein Anzeichen für ein **Überangebot von Stickstoff** und somit ein interessantes Phänomen aus der Sicht des **Immissionssschutzes**. Hier ist ja nicht nur ein **Düngeeffekt**, sondern wir beobachten auch sekundäre Effekte auf die **Materialkorrosion**. Also die Versiegelung von **Materialoberflächen** durch **Algenbelag** führt dazu, daß sich eine **Kruste** bilden kann und unter dieser **Kruste** weitere **Schadreaktionen** z.B. **mikroklimatisch** bedingt stattfinden.

---

**Prof. Blaschke:**

Ich bin in einem Punkt sehr vorsichtig geworden, und habe vor mir immer das Bild eines **Mobiles** mit mindestens **dreißig Fischlein**. Wenn wir uns jetzt irgend einen Faktor, so ein **Fischlein**, herausgreifen und sagen, der ist gesunken, meinen wir, schon viel erreicht zu haben, ohne zu merken, daß dadurch andere **Fischlein** in Bewegung nach oben geraten. Wenn Sie jetzt recht hätten, daß die **Stickstoffbelastung** das **Algenwachstum** fördert, dann müßte **Erfurt** völlig begrünt sein. Also, es kann sein, daß die **Algen** einerseits durch **Stickstoff**, zweitens vielleicht durch den steigenden **CO<sub>2</sub>-Gehalt** gefördert werden, vielleicht auch durch die **Kohlenwasserstoffe**, ich weiß nicht, da müßte Herr Eckhardt, d.h. die **Mikrobiologen** mehr dazu sagen können. Ich habe aber auch diesbezüglich ganz interessante **Beobachtungen** gemacht. Das **Extremste** war vor Jahren, ich werde das jetzt noch einmal aufgreifen als **Beispiel**, das **Schloß Neuschwanstein**. Das hatten wir damals, Herr **Sneath** und ich, auf der ersten **Bayernreise** des alten **Laborwagens** untersucht. Ich dachte, Herr **Sneath** wollte mir zum **Abschluß** ein **Geschenk** machen, denn dort tat sich überhaupt nichts. Selbst der sehr empfindliche **Molassesandstein** sah noch aus wie frisch aus dem **Steinbruch** und der **Schlaitdorfer Sandstein**, den wir auch am **Kölner Dom** haben und auch am **Ulmer Münster**, der sah an den

Erkern wirklich völlig frisch aus, wie aus der Vitrine entnommen. Nur, bei den Türmen des Torhäuschens, die auch aus Schlaitdorfer Sandstein sind, und zwar derjenige, der im Einzugsbereich der Gebiete des Kamins des Schloßherren sozusagen, liegt, da sind die Zinnen völlig schwarz. Ich fand dort einen intensiven Flechtenbewuchs. Ich habe den damals ein bißchen überbewertet und gemeint, die Auflösung des karbonatischen, des dolomitischen Bindemittels, die sei schon ein drastischer Schaden. Das ist es nicht. Dem Gestein fehlte überhaupt nichts, nur daß die zwei oder drei Oberflächenlagenkörner eben das Bindemittel verloren haben, stattdessen durch Flechten zusammengehalten werden. Aber die Tatsache, daß die Rauchgase von einem Familienhaushalt mit zwei Kindern ausreichen, die Zinnen völlig schwarz zu machen, während die paar Meter weiter entfernten Erker völlig hell geblieben sind. Ich bin auch extra einmal nach Nürnberg gefahren, um mir anzusehen, ob zum Beispiel in der Nähe des berühmten Würstchenbratstands die Biologie sich kräftiger entwickelt als in größerer Entfernung, und sie tat's. Dort sind Garagenbauten nach dem Kriege errichtet worden und die sind herrlich kräftig begrünt, das heißt die Abgase dieser Würstchenbraterei reichen aus, um die Biologie ganz kräftig anzufachen. Und wenn denn das der Fall ist, dann wird natürlich auch mehr Schadstoff gesammelt. Wenn mehr Schadstoff gesammelt ist, dann passiert dort auch schneller was.

---

#### Dr. Eckhardt:

---

Ich wollte etwas ergänzen. Ich möchte Herrn Blaschke dahin unterstützen, daß es nicht so einfach zu interpretieren ist, daß die Stickstoffkonzentration jetzt das Algenwachstum fördert. Ich würde eventuell umgekehrt sagen, dadurch, daß die SO<sub>2</sub>-Immission niedriger geworden ist, ist den Algen das Leben leichter gemacht worden. Man hat ja die Algen und Flechten früher als Kataster für SO<sub>2</sub>-Konzentrationen in den Stadtgebieten genommen, diese SO<sub>2</sub>-Wüsten usw. wurden mit Flechten und Algen sozusagen kartiert. Das ist das eine, was ich vielleicht noch dazu sagen wollte. Ich wollte auch zu den Bildern von Herrn Blaschke noch etwas sagen. Es ist vielfach beobachtet worden, daß sich tatsächlich die Algen in das Gestein zurückziehen, weil sie dort ihre Feuchtigkeit besser kontrolliert haben können und dort in dichten Horizonten sind. Ich habe das in Steinen aus dem Forêt de Fontainebleau an silikatischen Gesteinen gefunden, die nichts mit Karbonat zu tun haben, die sich in zwei, drei Millimetern in der Tiefe in

einem dichten Horizont jahrelang lebend erhalten haben und sie sterben nicht so schnell ab, wie sie eben angedeutet haben. Das wollte ich auch noch feststellen. Die Algen halten sich vielleicht in einer verminderten Zahl, aber auch über Trockenperioden am Leben, sonst könnten sie nicht wieder anwachsen, wenn es feucht wird. Und zum Schluß die Frage von Herrn Herkendell nach der Immissionsbedingtheit. Herr Professor Wolf als Dombaumeister von Köln hat festgestellt, daß die abgeplatzten Flächen sich innerhalb von sieben Jahren wieder zu einer Kruste entwickelt haben, wo also wieder sozusagen die Ausgangssituation für die nächste Abplatzung vorgegeben ist. Diese Besiedlung, die da nachweislich auch wieder vorhanden ist, kommt nicht allein aus dem Gestein, sozusagen von innen heraus, sondern auch durch den Anflug. Und es sind Besiedlungsversuche auf den Dächern von London gemacht worden, wo man diese Ansiedelung der luftbürtigen Algen beobachtet hat, wie sie sich auf den neuen Flächen wieder mit Pilzen vereinigen oder zum Teil mit Soredien von Pilzen kombiniert angefliegen gekommen sind und sich wieder neu zu Flechten entwickelt haben. Es ist da auch eine immissionsbedingte Besiedlung nachgewiesen worden, so daß man das hier auch mitdiskutieren muß.

---

#### Herr Herkendell:

---

Ich bin mir sehr wohl bewußt, daß das schnelle Wachstum nicht nur von der Verfügbarkeit des Stickstoffs abhängt. Es gibt auch andere Faktoren, z.B. organische Stoffe, die plötzlich in der Luft fehlen und das Wachstum der Algen fördern.

---

#### Dr. Prinz:

---

Ja, noch weiter die Frage, wie kann man sich nach neuestem Wissensstand den Mechanismus dieser immissionsbedingten Schäden an Natursteinen vorstellen? Gibt es da neue Erkenntnisse? Liegen hierzu noch Beiträge aus diesem Kreise vor? Herr Eckhardt.

---

#### Dr. Eckhardt:

---

Man kann es indirekt vielleicht nachweisen, dadurch daß jetzt Mikroorganismen organische Säuren ...

---

**Dr. Prinz:**

---

Wenn ich mal eben unterbrechen darf. Gedacht ist an die Frage, wie der Beweis geführt worden ist. Wie er im Grundsatz zu führen ist, methodische Aspekte, auf diese Frage wollten wir morgen eingehen. Gibt es **immissionsbedingte Schäden** und wo gibt es sie und wie haben sie sich seither entwickelt. Die zweite Frage war: Wie ist der **Nachweis** geführt worden, daß es sich tatsächlich um immissionsbedingte Schäden handelt und zwar auf die Vergangenheit bezogen. Wie man das Problem methodisch besser angehen kann in der Zukunft, wollten wir eigentlich morgen behandeln.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Es wurde der Schadmechanismus der Mineralsäuren aufgezeigt. Und ich wollte jetzt auf den Schadmechanismus der organischen Säuren kommen. Diese organischen Säuren sind einmal selber Säuren und eine 0,1-molare Oxalsäure hat einen pH von zwei, die durchaus dem Karbonat gefährlich wird. Das ist die eine Komponente, daß diese organischen Säuren als Säuren ein- und zweiwertige **Kationen mobilisieren** können durch die **pH-Verschiebung** in dem Gestein. Es sind Untersuchungen von Professor Wazny in Warschau gemacht worden, der auf **Zementwürfeln** einen **Serpulalacrimans**, also einen **Hausschwamm**, aufgeimpft hat und ihn dort hat wachsen lassen mit **minimaler Nährstoffzufuhr**. Dieser **Serpulalacrimans** ist auf den mit pH 11 angesetzten Prüfwürfeln gewachsen, hat diese 10 mm starken Platten innerhalb von 6 Wochen durchwachsen und hat den pH dieses Prüfwürfels auf einen pH von unter 6 gebracht durch. Wazny hat dann nachher die **organischen Säuren nachgewiesen**, die dabei ausgeschieden worden sind. Diese Nachweise von organischen Säuren im Gestein sind an verschiedenen Stellen geführt worden, auch von mir, und man kann auch im elektronenmikroskopischen Bild sehr schön darstellen, daß sich an den **Hyphen dieser Pilze**, die sich in dem Gestein vielfältig verzweigt bewegen, **Kalzium- und Magnesiumoxalatkristalle** nachweisen lassen, sozusagen als indirekter Beweis dafür, daß eine organische Säure mit einer mineralischen Komponente des Gesteins, dem Kristall reagiert und damit also eine **Extraktion** stattfindet. In meinen Experimenten habe ich mit Pilzen auf Biotitmineralien in drei Monaten bis 60 % der Katio-

nen in Lösung gebracht. Die waren nicht mehr in den Kristallen enthalten, so daß der **Kristall seine Stabilität verlieren** mußte. Die Einflüsse der Immission liegen dann in den Nährstoffansprüchen, die damit abgedeckt werden. So möchte ich den Ring schließen für die immissionsbedingte Beeinflussung.

---

**Dr. Prinz:**

---

Könnten Sie den letzten Teil Ihrer Ausführung noch einmal etwas verdeutlichen oder klar machen? Das ist mir noch nicht klar geworden, wie Sie die Rolle der Immissionsbelastung sehen.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Diese **Immissionsstoffe**, haben wir vorhin angesprochen, dienen als **Ernährungskomponente** für die Mikrobiologie, die a priori da ist. Von daher ist es sozusagen eine ...

---

**Dr. Prinz:**

---

Das wäre aber doch dann auch die Hypothese von Herrn Herkendell, der ja gesagt hat, **Mikroorganismen** werden jetzt **begünstigt** in ihrem Wachstum durch ein verstärktes Nährstoffangebot.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Ja, genau die. Darin stimmen wir überein.

---

**Dr. Prinz:**

---

Okay. Dann können wir vielleicht die Natursteine verlassen und jetzt noch einmal dieselben Fragen stellen bei den metallischen Werkstoffen, also insbesondere **Bronze**. Wie sieht der Wirkungsmechanismus aus? Wie ist in der Vergangenheit der **Beweis** geführt worden, daß es sich tatsächlich um **Immissionsschäden** handelt?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Heute findet man in der grünen Patina ausschließlich Kupfersulfate. In den dreißiger Jahren hat ein Forscher vereinzelt noch Karbonate gefunden. Interessanter ist, glaube ich aber, daß man in der Patina Stäube findet. Man findet Flugascheteilchen und man findet Fasern, Ruß, eisenhaltige Mineralien, Reifenabrieb. Das können Sie alles herauspräparieren bzw. finden Sie im Querschliff im Lichtmikroskop und im Rasterelektronenmikroskop. Und das ganze kann dann teilweise sehr kräftige Schichten aufbauen, unter denen starke Korrosionen auftreten. Kupferkarbonate finden wir auch auf den Proben des Expositionsprojekts keine. Anhaltspunkte für immissionsbedingte Schäden bekommt man durch statistische Vergleiche der Korrosion mit Schadstoffparametern. Als Korrosion von Kupfer möchte ich die Menge des Kupfers bezeichnen, die umgewandelt und oxidiert wird, die also in Kupfer der Oxidationsstufe zwei umgewandelt wird. Dies wird dann als Gewichtsverlust nach dem Ätzen bestimmt. Im ersten Jahr scheint ein sehr wichtiger Faktor das Ozon zu sein, das offensichtlich beim Kupfer eine Oxidation erst einmal zum Kupferoxid (CuO) erzeugt und bei den Zweijahres-Proben ist ein hoher SO<sub>2</sub>-Einfluß zu finden. Aber, wie gesagt, das sind Regressionsanalysen, sind statistische Methoden. Bei Bronze ist auch für eine Einjahreskorrosion SO<sub>2</sub> und für die Zweijahreskorrosion SO<sub>2</sub> verantwortlich. Was vielleicht für Kupfer noch sehr interessant ist, hier hat man formal einen negativen Einfluß vom NO<sub>2</sub>, aber das liegt einfach am Spiel NO<sub>2</sub> oder NO<sub>x</sub>/Ozon. In Städten haben Sie einen relativ hohen NO-Ausstoß. Das Ozon wird sofort umgewandelt zu NO<sub>2</sub>, das heißt, Sie haben relativ wenig Ozon, das vermutlich das Metall voroxidiert. Auf dem Land haben Sie etwas weniger NO<sub>x</sub> vorliegen, dafür höhere Ozonkonzentrationen, hier tritt am Anfang eine etwas stärkere Korrosion auf.

---

**Dr. Prinz:**

---

Bei der schwererschwingenden Putte hatten Sie dieses pockennarbige Gesicht gezeigt. Das ist ja doch eine ganz dramatische Veränderung. Wie erklärt man sich die? Das Bild erinnert an Rost bei Eisen oder bei Stahl, also ein Bild, das man bei Bronze eigentlich nicht erwartet. Wie ist denn dies phänomenologisch oder vom Mechanismus her zu erklären?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Da muß ich eigentlich mehr meine Theorie darlegen. Vermutlich waren die Figuren patiniert mit sulfidischen Reagenzien. Sie haben auf der Oberfläche eine inerte Kupfersulfidschicht. Und durch irgendwelche Effekte z.B. Inhomogenitäten im Material beginnt an einigen Stellen die Korrosion, und es bilden sich grüne Kupfersulfate. Gleichzeitig baut sich ein elektrochemisches Potential auf. Die schwarzen sulfidischen Bereiche zeigen kathodisches reduzierendes Verhalten; das Metall bleibt hier unverändert. Die grünen Bereiche dagegen verhalten sich anodisch, und das Metall wird verstärkt oxidiert. Überläßt man Bronze über lange Zeit sich selbst, können sich die grünen Bereiche in die Tiefe entwickeln und so das Material abtragen. Die stehengebliebenen Pocken sind als eine Art Originaloberfläche zu betrachten.

---

**Dr. Prinz:**

---

So ähnlich wie bei Stahl, wo auch Schwefel- und Sulfatnester vorhanden sind, bei denen dann die Korrosion beginnt.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Die Gesichter aller vier Putten haben dieses narbige Aussehen. Alle Gesichter sind leicht nach unten geneigt und somit regengeschützt. Ein alternativer Schadensmechanismus könnte deshalb in der Ablagerung von Stäuben und der Bildung von Schmutzkrusten bestanden haben. Unter den Schmutzkrusten kann dann eine Art Lochfraßkorrosion auftreten.

---

**Dr. Krause:**

---

Das mag an der Aufnahme liegen, aber ich würde sagen, das Bäuchlein der Putte war wesentlich stärker exponiert als das vom Helm geschützte Gesicht. Insofern widerspricht das etwas dem, was Sie vorher gesagt hatten bezüglich der beiden Amazonen.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Der Putto ist bereits mehrfach restauriert worden. Möglicherweise wurden diese Korrosionsbereiche damals gereinigt. Zudem ist das Puttenbäuchlein zwar exponiert, jedoch nicht zur Wetterseite hin!

---

**Dr. Krause:**

---

Mich hat auch nicht so ganz überzeugt, was Sie eben gesagt haben, daß Sie in den Krusten, ich sage einmal, Abrieb von Bremsen oder Reifen, also z.B. cadmiumhaltige Partikel finden. Sie werden im Grunde genommen das gesamte Spektrum "Straßenverkehr" finden. Nur, ob dieses Spektrum tatsächlich wirksam ist, das ist es, was zu beweisen ist. Sie vermuten das, aber...! Und deshalb komme ich noch einmal auf die Frage, die wir vorher schon einmal gestellt haben, nach der räumlichen Differenzierung der Schäden in Abhängigkeit von der Immissionsbelastung. Leider sind wir nicht so nationalbewußt wie die Franzosen, wo überall, in jedem Dorf irgendein Denkmal steht, was an den Ersten oder Zweiten Weltkrieg erinnert. Aber vielleicht haben wir in ähnlicher Weise Bronzetafeln, die man systematisch untersuchen kann. Bei Bronzetafeln ist natürlich noch die Schwierigkeit der Expositionsrichtung. Vielleicht gibt es auch ähnliches, aber gleichwohl, daß man dem Phänomen überhaupt einmal vom Prinzip nachgehen kann. Ohne einen solchen Ansatz werden Sie das nicht klären können.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Wir wollten das Ganze noch mit Kupferdächern machen.

---

**Dr. Krause:**

---

Oder das berühmte Kreuz auf der Kirche oder sonst irgendwas ...

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Da könnte man dann sogar eventuell noch Untersuchungen über die Höhenverteilung von Schadstoffen auf Kirchtürmen durchführen.

---

---

**Dr. Krause:**

---

Ja, aber da haben Sie natürlich wieder das Problem der unterschiedlichen Expositionshöhe, der unterschiedlichen Fluxraten.

---

**Prof. Wesche:**

---

Hier, mit dem Putto und den Pockennarben im Gesicht, gilt wahrscheinlich das gleiche, was Herr Blaschke eben schon von den Natursteinen sagte: Unter dem Helm halten sich wahrscheinlich irgendwelche Stoffe und Feuchtigkeit länger als auf dem exponierten Bauch. Und dadurch entstehen Korrosionselemente.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Das sehen Sie an jeder Bronzefigur an regengeschützten Bereichen, an jedem Reiterstandbild sehen Sie am Pferdebauch ganz viele Krusten. Dort tritt die stärkste Korrosion auf.

---

**Dr. Krause:**

---

Das deckt sicher auch das, was Sie gesagt haben, Herr Brüggerhoff, für die Gebäude. Sie sagten, da wo wechselfeuchte Stellen sind, haben Sie die stärkste Korrosion beobachtet.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Vielleicht noch zu den Krusten. Die Stäube, die Krusten halten die Feuchtigkeit und Schadstoffe. Und wenn Sie die Kruste abnehmen, dann sehen Sie richtiggehende kleine Löcher in der Bronze.

---

**Dr. Krause:**

---

Sie werden vermutlich auch eine stärkere Bindung von Staubpartikeln und anderen Dingen auf einer rauhen Oberfläche mit Kruste haben als auf einer glatten Bronzeoberfläche ohne Kruste.

---

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Nein, nachdem sich die Kruste gebildet hatte, da sehen Sie, daß unter der Kruste das wesentlichste ...

---

**Dr. Krause:**

---

Ja, ich sage bloß, die Kruste wird wahrscheinlich die Deposition noch verstärken.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Ja.

---

**Dr. Prinz:**

---

Mir fällt jetzt in diesem Zusammenhang noch eine Frage ein. Wir haben uns hier eigentlich nur mit **Materialien** befaßt, die auch **künstlerisch bearbeitet** worden sind. Von daher haben sie natürlich eine große Bedeutung. Aber es gibt ja auch **Aluminiumfassaden**, es gibt immer noch **Stahl** in der Anwendung, lackiert und unlackiert. Experten, die sich damit befassen, mit technischen Objekten, sind hier offensichtlich nicht vertreten. Ist das ein Zufall, haben wir da falsch gesucht, oder gibt es solche Experten gar nicht?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Bei Aluminium gibt es Leute in Schwäbisch-Gmünd, bei Eisen weiß ich es im Augenblick nicht.

---

**Dr. Prinz:**

---

Herr Schmitt von der VDI-Kommission müßte sicher eine Übersicht haben. Ist das ein Forschungsbereich, der auch bearbeitet wird, oder wird er gar nicht bearbeitet? Sagt man sich, daß technische Objekte irrelevant sind, weil man sie auch schnell ersetzen kann, da somit alles eine Frage des Geldes ist. Aber diese **Kunstdenkmäler**, die kann man natürlich nicht ersetzen. Deswegen haben sie eine

viel größere Bedeutung und deswegen hat sich darauf die Forschung konzentriert.

---

**Dr. Schmitt:**

---

Das ist schon richtig. Es war das Interesse nicht da.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Ich wollte nur sagen, aus der amerikanischen Literatur gibt es moderne Beiträge über die **biogene Korrosion** von Metallen, wo sich auch dieser Schleim bildet. Besonders die **amerikanische Marine** hat damit sehr viel Ärger gehabt und hat auch sehr viel darüber veröffentlicht. Ich glaube, einiges kennt Herr Bock und hat dies auch schon einmal zitiert. Einiges, weiß ich, ist in unserer Werkstoffkunde in Bremen, vom IWT, auch schon gesammelt worden, aber es gibt offenbar auch in Bremen solche Probleme. Inwieweit zum Beispiel auf **Kupfer Schleime** nachgewiesen werden oder wurden, weiß ich nicht. Bekannt ist, und damit hat sich Herr Bock auch schon befaßt, daß zum Beispiel durch dieses Leaching-Verfahren 10 % des amerikanischen Kupfers heute durch **Bakterien aus alten Halden** herausgelöst und unten über das Wasser gesammelt werden. Also, die Biologie schafft es immer, nur ob sie gerade in München stark versammelt ist, das kann ich jetzt nicht sagen.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

In **Städten** treten natürlich die **größten Schäden** auf, dort finden wir am häufigsten grün gewordene **Denkmäler**.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Es ist früher schon hier in Deutschland von der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin untersucht worden. In den sechziger Jahren war es die **Korrosion von Eisenkonstruktionen** in Häfen und an den **Meeresküsten**. Man hat in dem **anaeroben Bereich**, im **reduzierenden Bereich**, die **sulfatreduzierenden Bakterien** als Verursacher für diese sehr starken Metallkorrosionen in den Häfen und Ha-

---

fenanlagen festgestellt. Es sind dieses auch, zum Teil jedenfalls, Dinge, die an Schiffsrümpfen bei Biofouling bekämpft werden. Sie heften sich mit Schleimen an und in diesen Schleimen gibt es dann ein Elektroden-Kathoden-Anoden-Verhältnis, die eine Korrosion, eine Veränderung des Eisens in der Wertigkeit und damit eine Ausschwemmung in den Lochfraß in diesen Eisenoberflächen hervorrufen. Das ist aber alles im Wasserbereich, im reduzierenden Bereich, nicht an Oberflächen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ich dachte jetzt an Immissionsschäden, also mit und ohne Wechselwirkung.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Nein, Sie fragten, ist überhaupt etwas an Eisenkorrosion bekannt.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ja, immissionsbedingt.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Nein, außer in wässrigen Bereichen spielt das wiederum nicht so eine Rolle.

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Vielleicht eine praktikable Antwort. Es gibt den Verein deutscher Korrosionsfachleute mit Sitz in Iserlohn. Vielleicht kann man da kurz eine Adresse austauschen. Das wäre das eine. Zum anderen ist es sicherlich so, daß wir Immissionsschäden und eine Beschäftigung damit in allen Bereichen, vor allem in allen Industriebereichen haben. Nur, da kommen wir zu einem Punkt, den der Herr Wesche in einem Satz ausführte, der für mich ganz bezeichnend war. Sie haben von einer **Standzeit des Betons**, die durchschnittlich angenommen wird, bzw. die erreicht werden soll, gesprochen, und ich glaube, das gilt für alle technischen Erzeugnisse.

---

Hier wird auf eine bestimmte Standzeit gearbeitet, die das Material haben muß und innerhalb der einzelnen Firmen wird dann natürlich über die Korrosion nachgedacht, nur in den allermeisten Fällen ist das natürlich betriebsintern und ich glaube, das ist der Grund, warum nicht so viele Experten aus den unterschiedlichen Bereichen hier sitzen werden. Denn da gibt es Konkurrenzdenken.

---

**Prof. Wesche:**

---

Ja, ich wollte dazu sagen, **Standzeit** heißt im Prinzip **Lebensdauer**, d.h. wir rechnen eigentlich im Bauwesen mit einer gewissen Lebensdauer von Bauten, die also irgendwo zwischen fünfzig und hundert Jahren angesiedelt ist und bei Brücken noch mehr, **hundert bis hundertfünfzig Jahre**. Ich wollte aber noch sagen, daß in Stuttgart schon 1960 Herr Schikorr eindeutige Beziehungen zwischen dem SO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft und der Korrosion der Metalle festgestellt hat.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Ich möchte zu dem Thema **Metall** noch einmal nachfragen, ob es denn auch dort **materialbedingte Korrosion** gibt. Bei den Baustoffen hatten wir unterschieden zwischen einer von dem jeweiligen Material abhängigen Verwitterung und einer durch Immissionen beschleunigten. Mich würde interessieren, ob es bei den Metallen auch eine Unterscheidung gibt, daß bestimmte **Zusammensetzungen** sowieso schon prädestiniert sind, stärkere Korrosion zu zeigen.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Vermutlich ist der wichtigste Faktor nicht die Zusammensetzung, sondern das **Gefüge**, das Gefüge dieses Materials. Je nachdem, wie schnell oder wie langsam die **Bronze** beim Guß abgekühlt ist, desto homogener ist das Gefüge. Wenn der Guß sehr langsam abkühlt, bildet sich ein homogenes Gefüge aus. Solche Bronzen sind möglicherweise nicht so anfällig, aber das ist eher eine Vermutung. Wir haben noch andere Figuren, mit denen wir uns in letzter Zeit beschäftigen. Das sind **Galvanoplastiken**, sie waren vor 80-90 Jahren als Grabfiguren große Mode. Auf elektrisch leitend gemachten Gipspositiven wurde galvanisch Kupfer abgeschieden. Diese Figuren weisen aufgrund ihrer Form

---

und Konstruktion bestimmte **Materialschwächen** auf, z.B. der Kupfermantel ist oft an ganz bestimmten Gewandfalten gesprengt. Mittlerweile gehen wir da schon hin und wissen dann genau, dort muß der Schaden auftreten. Wir suchen schon richtig danach. Aber bei **Kupfermetall**, d.h. eine Kupfertreibarbeit oder bei einer Bronze kann man eigentlich von vornherein nicht sagen, wo Schäden auftreten, es sei denn, es sind irgendwelche abgedeckte Bereiche, an denen sich **Schmutzkrusten** bilden können. Aber ob das Material stark oder schwach korrodiert ist, läßt sich nicht vorhersagen. Vor der Jahrhundertwende wurden vereinzelt Legierungen verwendet, von denen man eine besonders schöne Patinabildung erwartete. Diese Legierungen durften nur Kupfer, Zinn und max. 2 % Zink enthalten. Besser erhalten als andere Legierungen ist das Material solcher Denkmäler heute aber nicht. Übrigens viele "Bronze"-Denkmäler bestehen aus **Messing**, und die sind im allgemeinen besser erhalten als Denkmäler aus echter Bronze.

---

#### Dr. Marfels:

---

Zur Korrosion von anderen metallischen Materialien vielleicht noch folgender Hinweis: Es ist bekannt, daß verschiedene Metalle durch **Passivierung der Oberfläche** praktisch keinen weiteren Angriff erleiden, z.B. **Chrom**. Wir haben auch die Korrosion von **Zink** in einer Kammer, die mit  $\text{SO}_2$  und auch mit  $\text{NO}_x$  beladen wurde, untersucht. Dabei haben wir bei der zehnfachen maximal beobachteten **Immissionsbelastung** im Rahmen der statistischen Schwankungen keine durch Gewichtsverlust identifizierbare **Korrosion** ermitteln können. Das ist vielleicht auch einer der Gründe, daß bei einigen Metallen, die in der Technik verwendet werden, solche Korrosionen gar keine große Rolle spielen.

---

#### Dr. Prinz:

---

Ja, vielen Dank. Jetzt noch die letzte Frage, die aber wahrscheinlich auch kurz zu beantworten ist. Wie sieht es mit **organischen Werkstoffen** aus, mit **Lacken** oder sogar **Naturstoffen**, **Holz**? Heute sind die Fachwerkhäuser schon einmal erwähnt worden. Ich weiß nicht, ob da auch an **Immissionsschäden** an den Balken gedacht werden kann, vermutlich kaum. Gibt es zu diesen Fragen irgendwelche Kenntnisse bei Ihnen, auch aus Forschungen anderer Experten? Auch bei diesem Thema die Frage: Wie kann man sich den Mecha-

nismus vorstellen und wie wird der Beweis geführt, bzw. wurde der **Beweis** geführt, daß es sich tatsächlich um immissionsbedingte Schäden handelte? Ja, Herr Eckhardt.

---

#### Dr. Eckhardt:

---

Das ist eine recht schwierige Frage, was die Mikroorganismen anbelangt. Beim Holz sind sie a priori wohl vorhanden und ich weiß nicht, wie stark sie unterstützt werden durch irgendwelche Immissionsstoffe. Bei **Kunststoffen** ist es ja in der Regel so, daß diese in irgendeiner Weise Beimengungen haben von **Weichmachern** und ähnlichen, und diese Weichmacher sind in aller Regel **gute Nährstoffe für Mikroorganismen**, die dann herausgelöst werden durch Verzehr und damit eine **Sprödigkeit** des Materials hervorrufen. Man sieht das auch zum Teil an den Ausfugungen, die man an der Badewanne oder in den Kachelwänden hat usw.. Die werden sehr schnell gerade von diesen Schwärzepilzen dann besiedelt und werden spröde gemacht. Das ist an Fensterrahmen, Kunststoff-Fensterrahmen auch beobachtet worden. Also überall dort, wo Sie irgendwelche Weichmacher drinne haben, haben Sie auch mikrobielle Schädigungen.

---

#### Dr. Schmitt:

---

Es ist bei den **Kunststoffen** das gleiche Problem vielleicht wie bei den Gebrauchsmetallen. Hier ist die Frage, was die Luftschadstoffe anstellen, nicht vordergründig. Trotzdem gibt es verschiedene generelle Überlegungen, und auch die Untersuchungen, die ich vorhin erwähnte sowie die Literaturstudie lassen einige Erkenntnisse schon zu, und zwar, wie die **Wirkungen** aussehen können. Das ist einmal **Glanzverlust**, **Verfärbung**, **Versprödung der Oberfläche**, **Verminderung von Haftvermögen** und **Verlust von Schutzwirkungen**, **Oxidation** bei Gummi durch Ozon, **Materialabbau** durch Hydrolyse bei Polyamid und ganz wesentliche **Alterungsprozesse** von organischen Materialien wie Holz, Papier, Leder, Wolle, Baumwolle und synthetische Polymere ist der **Aufbruch der Bindungskette** mit Abnahme des Molekulargewichts. Und jetzt kommt das dazu, was Sie gesagt haben. Es ist natürlich sehr, sehr schwierig, weil die **Polymere** ja sehr unterschiedlich aufgebaut sind. Es hängt dann ab vom Polymertyp und vor allem auch von den Beimengungen, Weichmacher, Antioxidantien, Photostabilisatoren, Wärmestabilisatoren und anderes mehr. Also diese **Füllstoffe** haben dann wieder einen Einfluß, der



---

verstärkend oder der vereinfachend sein kann. Es ist also sehr schwierig, eine Generalisierung läßt sich da bestimmt nicht machen. Und da die Frage, wie zum Beispiel beim Stein speziell auf Kulturgüter in dem Sinne nicht vorliegt, ist auch die Fragestellung nicht so vordergründig. Aber ich glaube, in Zukunft werden wir mehr darauf eingehen müssen, aber da kommen wir vielleicht morgen drauf.

---

#### Frau Köth-Jahr:

---

Mich würde interessieren, ob eine Unterscheidung gemacht werden kann im Einfluß von Mikroorganismen auf polymere Stoffe. Zum einen, ob sie sich von diesen ernähren, also ob sie eine Ernährungsgrundlage für diese Organismen darstellen, oder ob es zum anderen so ist, daß sie durch ihre Ausscheidungen diese Stoffe verätzen oder damit angreifen. Interessant wäre auch, eine gezielte Forschung, in der diese Unterschiede aufgegriffen werden, auf diesem Sektor durchzuführen.

---

#### Dr. Eckhardt:

---

Ja, diese Weichmacher sind ja in aller Regel organische Komponenten, die als Citrate, Butyrate oder als Komplexe von diesen eingemischt werden, und die sind als solche mikrobiell verwertbar. Auch Zellulose und ähnliche Fasern werden ja ganz leicht von einer ganzen Reihe verschiedener Mikroorganismen geknackt. Und sie haben ihr Enzymbesteck sozusagen immer im Handgepäck mit sich dabei. Das ist also bei Naturstoffen in aller Regel kein Hindernis. Das Schwierige, was dann dabei auftaucht, ist, wenn Sie solche Kunststoffe haben; im Polyvinylacetat ist es nachgewiesen worden, daß Mikroorganismen das auch gut verwerten können. Es gibt heute die große Forschungsreihe, daß bei den Pestiziden mit dem biologischen Abbau eine gewisse Waffe gesucht wird, um die Überbelastung solcher Schadstoffe im Boden zu beheben. Man will da extra solche Mikroorganismen einsetzen, die Pestizide abbauen. Bei anderen Schadstoffbelastungen wird man das ähnlich machen wollen und man ist also auf dem guten Wege, das zu machen. Es hängt von der Gruppe der Kunststoffe ab, ob sie angegriffen werden können oder nicht und dann wird man häufig auch bei neuartigen Kunststoffen suchen müssen, ob da etwas da ist. Bei älteren, die schon länger sozusagen in der "Diskussion" mit den Mikroorganismen stehen, haben sich meistens irgendwelche Systeme angepaßt, die mit den Kunststoffen auch umgehen können. Das ist dann die Frage der Zeit. Es ist meistens langwierig.

---

#### Dr. Wilimzig:

---

Ich wollte noch etwas dazu sagen. Es ist beides. Es ist einmal die Umwandlung von nicht reaktiven Substanzen wie Ammonium, NO, NO<sub>2</sub>, in sehr reaktive Salze und auf der anderen Seite der Bedarf dieser Substanzen als Substrat zum Aufbau von Zellsubstanz und Energie. Wodurch dann wieder andere Stoffe entstehen, die wieder schädlich wirken können. Also wir haben beides, und das kann man wahrscheinlich so nicht trennen, einmal als Nahrung und als Grundlage für Säuren, Salze.

---

#### Frau Köth-Jahr:

---

Könnte sich ein verstärkender Effekt ergeben, wenn beides eintritt?

---

#### Dr. Wilimzig:

---

Ja, ich würde sagen, wenn mehr Immissionen vorhanden sind, dann haben wir auch mehr Wachstum durch mehr Substrat und wir haben mehr schädliche Substanzen, die gebildet werden.

---

#### Dr. Marfels:

---

Ich wollte noch zur Abrundung der heutigen Diskussion sagen, daß sehr viel Informationsmaterial in unserem Forschungsprojekt über die Korrosion von Asbestzementoberflächen an Dächern und Wänden existiert. U.a. spielt auch die Einwirkung von Bakterien eine sehr große Rolle. Dabei ist auch herausgekommen, daß in Ballungsgebieten die Korrosion deutlich fortgeschrittener ist als in Reinluftgebieten. Dies ließ sich durch vergleichende Bestimmung der Zementmatrix von korrodierten und neuen Platten derselben Charge recht gut zeigen.

---

#### Dr. Prinz:

---

Vielen Dank. Damit darf ich aber dann den heutigen ersten Tag der Anhörung schließen. Ich darf mich bei Ihnen allen bedanken für die interessanten Beiträge. Bei denjenigen, die wir morgen nicht mehr unter uns sehen werden, darf ich mich besonders bedanken und gleichzeitig verabschieden.

---

## Fragenkomplex Block B: "Zielgerichtete Untersuchungen"

1. Welche spezifischen, systematischen Untersuchungen im Freiland halten Sie für zweckmäßig, um die im Block A dargestellten Sachverhalte wissenschaftlich abzusichern?
  - a) Untersuchungen an vorhandenen Objekten an natürlichen Standorten
  - b) Versuche mit exponierten Objekten an natürlichen Standorten

---

### Dr. Prinz:

---

Ich darf Ihnen erst einmal einen sehr schönen Morgen wünschen. Ich hoffe, daß Sie die klösterliche Abgeschiedenheit hier wohl überstanden haben und sich gut erholt haben. Wir kommen zum nächsten Themenkomplex und damit zu der ersten Frage, die wir heute morgen abhandeln wollten: Welche spezifischen **systematischen Untersuchungen im Freiland** halten Sie für zweckmäßig, um die im Block A dargestellten Sachverhalte wissenschaftlich abzusichern? Ich sollte vielleicht als Einführung wiederholen, daß wir in Nordrhein-Westfalen ein umfangreiches Waldschadens-Forschungsprogramm fast hinter uns gebracht haben. Der Ansatz, den wir dort praktiziert hatten, war der folgende: Wir haben gesagt, wir müssen zunächst quasi **epidemiologische Untersuchungen** durchführen. Wir müssen somit erst einmal versuchen, durch intensive Beobachtungen in der Natur **grundsätzliche Zusammenhänge** aufzudecken. Daraus muß man dann **Hypothesen** ableiten und wenn man diese Hypothesen generiert hat, dann muß man versuchen, sie im **Labor** zu **verifizieren** oder zu falsifizieren. Dazu sind dann die **experimentellen Untersuchungen** erforderlich, die wir uns heute nachmittag vornehmen wollten. Dies war also die grundsätzliche Strategie, die wir schon einmal mit viel Erfolg genutzt hatten. Wir hatten bei dem Waldforschungsprogramm auch Untersuchungen an regionalen Forschungsstandorten im Wald durchgeführt, in die wir auch Biochemiker eingeschleust haben. Diese Zweiteilung in einen **epidemiologischen** und einen **experimentellen Ansatz** schwebt uns auch hier vor - um Ihnen eine kleine Einstimmung zu geben, wie wir uns ein gezieltes Forschungs- und Untersuchungsprogramm Materialschäden vorgestellt haben. Ja, ich rufe dann die Frage eins vom Block B auf und würde vorschlagen, daß wir wieder so vorgehen wie gestern, daß wir also links beginnen und rechts enden, das

heißt, erst einmal Herrn Brüggerhoff bitten, seine Vorstellungen dazu vorzutragen.

---

### Dr. Brüggerhoff:

---

Die Frage, die jetzt gestellt ist, untergliedert sich meiner Meinung nach in zwei Teilbereiche. Der erste Teilbereich trifft etwas mehr die **epidemiologischen Untersuchungen an den realen Objekten**, der zweite Teilbereich, welche Möglichkeiten sich zur **Exposition von Objekten**, das heißt also von Exponaten, ergeben und welche Einstellung dazu einzunehmen ist. Zum ersten Teil der Frage möchte ich zwei bzw. drei Bemerkungen machen. Eine solche Untersuchung an Objekten müßte meiner Meinung nach erst einmal folgende **Voraussetzungen** bei den Objekten gegeben sein lassen: 1. Es muß sich um **vergleichbares Steinmaterial** - ich gehe jetzt wieder auf den Punkt Stein - also allgemein um vergleichbares Material handeln. 2. Die **Auswahl der Objekte** bei einer solchen Betrachtung muß nicht nur nach Objekten, sondern unbedingt auch nach **mikroklimatischen Gegebenheiten** an diesen Objekten getroffen werden. Das heißt also, wir können, wenn wir **phänomenologisch** Schäden vergleichen, nicht hingehen und Schäden an einer Wandfläche in einer bestimmten Höhe in einem Objekt vergleichen mit Schäden, die z.B. unter Sims an einem anderen Objekt vorliegen. Es muß auf jeden Fall eine ganz **gezielte Vergleichbarkeit** gegeben sein. 3. Es muß eine **Langzeitbeobachtung** sein. Diese Betonung, die eigentlich selbstverständlich ist, mache ich deshalb, weil ich ja aus dem Bereich komme, der sehr viel mit dem Denkmalschutz zu tun hat, und hierbei ist es eben sehr schwierig, garantieren zu können, über Langzeitbeobachtungsräume eine unveränderte Situation an dieser ausgewählten Stelle zu haben. Wir haben häufig Maßnahmen, die über das Gebäude "rollen", das heißt also, eine **Veränderung der Situation**, die durch eine **Maßnahme restauratorischer Natur** bedingt ist. Diese müßte für ein ausgewähltes Objekt letztendlich ausgeschaltet werden. Zur Untersuchung ganz konkret: Es müßten selbstverständlich **Immissionsmessungen im mikroklimatischen Bereich** an der Beobachtungsstelle gemacht werden. Es müßte darüber hinaus gewährleistet sein, daß außer einer rein **phänomenologischen Beschreibung von Schadensphänomenen** und Verläufen ein gewisses Maß an Beprobung stattfinden kann. Dieses wird auch schwierig sein, gerade bei kulturhistorisch wichtigen, also bei hervorgehobenen Objekten, weil wir dort aus denkmalpflegerischen Gründen **Beprobungen** eben nur im **sehr reduzierten** Maße machen können. Welche Untersuchungen würde ich dazu vorschlagen? Da bietet sich eigentlich eine

---

ungeheure Bandbreite an Untersuchungen an. Wie gesagt, phänomenologische **Beschreibung des Schadensbildes** auf jeden Fall als erstes. Anschließend gibt es eine Reihe physikalischer **zerstörungsfreier Meßverfahren**, die eine Beobachtung eines Voranschreitens des Schadens ermöglichen. Hierbei ist jedoch wieder, und da spreche ich ein Problemfeld des gestrigen Nachmittags an, zu berücksichtigen, daß bei der Untersuchung des resultierenden Schadens eine **Summe von Schadensfaktoren** einwirkt, die zwar die Immissionen beinhalten, aber eben nicht nur die Immission allein, sondern auch klimatische Faktoren, und/oder andere Bauwerks-Faktoren. Das heißt also, solche zerstörungsfreien Meßverfahren wie zum Beispiel die **Beobachtung der Bewegung im Mikrostrukturbereich**, wie sie jetzt mit **Lasertechniken** gemacht werden, sind sicherlich sinnvoll. Die Bewegungen sind beeinflußt durch **Salzbelastungen** im Material, die Salzbelastungen wiederum können **durch Immissionen** hervorgerufen sein. Die Immissionseinflüsse resultieren in einer Verstärkung der Salzbelastung, die dann wiederum zu einer mit der Lasertechnik erfaßbaren Gefügezerstörung führen kann. Wenn wir uns allerdings rein auf **direkte Immissionseffekte** beschränken, sehe ich als einzige Möglichkeit an solchen Objekten durch **Beprobungen Konzentrationsänderungen** bestimmter Verbindungen aufzufinden. **Neubildungen**, die definitiv auf anwesende Schadstoffe zurückzuführen sind, versetzen uns dann in die Lage, Aussagen über Immissionseinflüsse in bestimmten Zeiten zu machen. Soviel erst einmal zur Gebäude-seite.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, ich würde auch sagen, daß wir A und B hier auftrennen und in einem zweiten Rundgang uns mit der Teilfrage B befassen. Also zunächst einmal ging es jetzt um Untersuchungen an vorhandenen Objekten. Fragen dazu? Herr Herkendell.

---

**Herr Herkendell:**

---

Das ist die Frage, die jeder Geldgeber stellen muß, die Frage nach der **Dauer derartiger Untersuchungen**. Wie lange dauern diese Untersuchungen, wenn man befriedigende Ergebnisse erwarten will?

---

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Ja, also ich glaube, der Zeitmaßstab ist sicherlich nicht in Monaten zu messen, sondern in Jahren und wenn ich Jahre sage, sicherlich in **Zeiträumen von fünf bis zehn Jahren**, allerdings eben nicht mit einem sehr eng gefaßten Zeitraster, sondern mit einem weiter gefaßten Raster von Meßpunkten, nur eben auf eine längere Spanne. Ich sehe es für das Material Stein als wichtiger an, **Langzeitbeobachtungen mit Einzelpunkten**, die weiter auseinanderliegen zu betreiben, als **Kurzzeitbeobachtungen mit sehr eng benachbart liegenden Punkten**.

---

**Dr. Prinz:**

---

Herr Krause, Sie hatten sich gemeldet. Darf ich aber eben die Frage ergänzen. In der Epidemiologie spricht man ja von **Querschnittstudien und Längsschnittstudien**. Längsschnitt heißt, daß man in Zuordnung zu verursachenden Faktoren **zeitliche Vergleiche** vornimmt, Querschnittstudie heißt, daß man hingegen **räumliche Vergleiche** durchführt. Eine Längsschnittstudie ist wahrscheinlich hier ohnehin nicht möglich, weil sich innerhalb weniger Jahre wohl kaum Zuordnungen der Materialkorrosionen zur Immissionsbelastung herstellen lassen, im Sinne korrelativer Beziehungen. Daher würde ich vermuten und dies ist auch gleichzeitig eine Frage an Sie, daß nur eine Querschnittstudie möglich ist oder sehen Sie das anders? Also ein räumlicher Vergleich.

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Beide Studien sind mit Schwierigkeiten verbunden. Erst einmal die **Längsschnittstudie** ist deshalb mit Schwierigkeiten verbunden, weil Sie hier ein **vorgeschädigtes Material** haben, wo es in zehn Jahren sicherlich sehr schwierig sein wird, den seit dem Startpunkt eintretenden aktuellen Veränderungszustand durch ausschließlich die Immission zu erfassen. Es ist allerdings noch nicht konkret versucht worden, weil meistens eben a) die **Gelder** nicht ausreichen über so lange Zeiträume zu messen und b) eben das angesprochene Problem häufig war, daß Maßnahmen drübergegangen sind und daß

---

---

dann also dann doch nach drei oder vier Jahren eine **Veränderung** durch einen **Eingriff** stattgefunden hat. Also, das sehe ich noch als einen Punkt, der zu überprüfen wäre mit der Längsschnittstudie. Mit der Querschnittstudie wird es wiederum deshalb Schwierigkeiten geben, weil sie bei den einzelnen Objekten letztendlich Individuen haben. Und da greife ich eine Bemerkung des Herrn Fitzner von gestern auf. Sie werden voraussichtlich **keinen linearen Verlauf der Verwitterung** haben, das heißt also, wenn Sie vergleichen zwischen verschiedenen Objekten, dann haben Sie Individuen auch in ihrem Ausgangscharakter und wenn dann kein linearer Verlauf der Verwitterung zu beobachten ist, dann beobachten Sie an dem Individuum A einen ganz anderen Verlauf als an B, obwohl der Einfluß gleich war. Sie interpretieren aber, Immissionen hätten in einem der Fälle abgenommen, oder mißdeuten einen solchen Effekt mit der Tatsache, daß Immissionen auf dem Land geringer gewesen seien, als in der Stadt. Diese **Möglichkeit der Mißinterpretation** ist daher sehr kritisch zu beurteilen.

---

**Herr Herkendell:**

Noch eine ergänzende Frage hierzu. Müßte man nicht Materialien wählen, die weit verbreitet sind, aber dennoch sensibel reagieren, um überhaupt einen Effekt nachweisen zu können? Die Interpretation und die Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf andere Materialien ist sicherlich problematisch. Wäre dies ein Kompromiß?

---

**Dr. Brüggerhoff:**

Diese Frage ist ja schon durch einen Zwischenruf von Herrn Blaschke angeschnitten worden. Dort bin ich nicht darauf eingegangen. Das ist für mich Bestandteil von Punkt B. An einem Objekt haben wir letztendlich einen gegebenen Zustand. Da können wir nichts dran ändern. Wir können nur die Objekte auswählen, die wir für eine solche Studie in Betracht ziehen. Und da würde ich natürlich solche Objekte auswählen, die sozusagen von ihrem **Materialzustand** kritisch sind. Aber da haben wir eben einen Zustand X, der irgendwo in einem Schädigungsgrad liegt und können nur von X ausgehend weiterverfolgen. Andererseits, und ich sehe das auch als eine bessere Möglichkeit, das habe ich bisher noch nicht gesagt, weil ich zu B noch nicht gekommen bin, ist es sicherlich einfacher, von einem Material sozusagen in einem **Grundzustand** auszugehen und von diesem Grundzustand eine

Veränderung zu erreichen. Dann läßt sich sicherlich viel besser einschätzen, inwieweit eine Immissionsbelastung in einem bestimmten Zeitraum auch eine **Veränderung im Materialverhalten** bewirkt. Das wäre aber für mich nur dann zu erreichen, wenn wir wirklich **Material exponieren**, in welcher Form auch immer, das kann noch diskutiert werden. Das Material muß allerdings definiert sein und darf nicht einen undefinierten oder einen in irgendeiner Weise individuellen Vorschädigungsgrad haben.

---

**Dr. Prinz:**

Vielen Dank. Wir haben jetzt sehr abstrakt diskutiert. Ich möchte einmal eine sehr konkrete und sehr plastische Frage stellen. Nehmen wir an, wir hätten also grenzenlos viel Geld zur Verfügung und grenzenlos viel Zeit, also sozusagen eine Betrachtung als Sandkastenspiel. Können Sie sich dann ein Vorhaben vorstellen, bei dem man, es ist schon einmal das Stichwort Neuschwanstein gefallen, **alle Bauwerke** in der Bundesrepublik vornimmt, an denen überhaupt Schlaitdorfer Sandstein verarbeitet worden ist und hieran **gezielte Untersuchungen** im epidemiologischen Sinne durchführt. Könnten Sie sich so etwas vorstellen? Hätte das überhaupt Sinn oder hätte dies keinen Sinn?

---

**Dr. Brüggerhoff:**

Da habe ich mit meinem Mitarbeiter gestern abend noch im Auto sehr intensiv darüber diskutiert. Ich sehe eine ganz große Problematik, die ich jetzt schon mehrfach erwähnt habe, nämlich daß eine solche Untersuchung letztendlich ganz gründliche **Voruntersuchungen zur Anamnese der Bauwerksituation** erfordert. Das heißt, was ist mit dem Bauwerk vom Menschen überhaupt gemacht worden, daß dieser Zustand jetzt erreicht ist. Denn wir haben **Immission** als eine Facette im Schadensbild. Viele andere Facetten und dabei eben auch die **Bearbeitung** und die **Behandlung der Bauwerke** als sehr große Beeinflussungsfaktoren liegen ebenfalls vor, und das erschwert ungemein einen **räumlichen Vergleich** von Objekten in Bezug auf die Fragestellung, was ist ein Immissionsschaden oder in welchem räumlichen Bereich, wo weniger Immissionen auftreten, liegen auch tatsächlich weniger Schäden vor. Wir können beantworten, daß an diesem Objekt ein günstigerer oder ein schlechterer Schadenszustand ist, aber der ist bedingt durch **mehrere Faktoren** und ein Faktor ist eben die Immission. Das ist die große Schwierigkeit.

---

## Dr. Warscheid:

---

Ja, sehr viele Dinge, die sich aus den Untersuchungen von Herrn Brüggerhoff ergeben und dargestellt worden sind, gelten natürlich auch für die **Mikrobiologie**. Ich will noch einmal betonen, daß an vorhandenen Objekten meistens mit einer gut entwickelten Mikroflora zu rechnen ist. Sie befindet sich in einem **komplexen Zustand**, über dessen Entstehung wir eigentlich nur Vermutungen äußern können. Glücklicherweise kann man noch ergänzende Untersuchungen an Objekten, die frisch exponiert werden, durchführen, und an denen den **Entwicklungsverlauf** einer solchen Mikroflora nachvollziehen. Ich denke, daß solche Objekte insofern helfen können, diese Schadensprozesse, die dann von den Mikroorganismen letztendlich hervorgerufen werden oder zumindest mit ihnen im Zusammenhang stehen, deutlich zu machen. Daß man sie in ihrer **Ausprägung**, in dem wirklichen Vorhandensein von Verwitterungserscheinungen allerdings nur am natürlichen Objekt so deutlich sehen wird, ist zu erwarten. Aber so lange wir keine Exposition auf einem **Prüffeld** durchführen können, bis Sie die ersten Schalenbildungen haben, und ich glaube, dazu reicht selbst bei bester Ausstattung eines Projektes das Geld nicht, ist dies die beste Alternative. Sie können letztendlich nur einerseits beobachten an einem Objekt, das Sie neu exponieren, und andererseits eine komplexe Situation an einem Objekt, das nun schon möglicherweise ein Jahrhundert oder zwei exponiert ist, vergleichen, und daran dann die wirklichen **Schadensphänomene** feststellen. Sie werden letztendlich da in gewisser Weise immer **induktiv** arbeiten müssen. Sie können gar nicht diesen ganzen Prozeß abdecken. Das, denke ich, ist auch in der Mikrobiologie nicht möglich. Wir hatten gestern auch darüber gesprochen, welche verschiedenen Organismen vorkommen und in welcher Reihenfolge sie am Gestein auftreten können. Daraus können Sie natürlich Schlüsse ziehen, wie weit zum Beispiel der **Zustand am Objekt** bereits fortgeschritten ist. Eine andere Frage ist, zum Beispiel hier in Nordrhein-Westfalen, an einer **Sandsteinsorte** einmal eine **vergleichende Untersuchung** durchzuführen. Auch da spielen Bedingungen, wie sie spezifisch für das Objekt sind, und spezifische Maßnahmen, wir haben auch gestern über **Hydrophobierungsmittel** gesprochen, eine große Rolle. Sie machen z.B. das Leben für Mikroorganismen auf bestimmten Sandsteinen, auf denen sie normalerweise nicht wachsen, erträglicher. Das heißt, alles das sind Faktoren, die Sie natürlich erst ergründen müssen, um überhaupt zur Aussage kommen zu können. Das heißt, daß die Vorarbeit viel **komplexer** ist, bis Sie das alles ergründet haben, warum sich überhaupt eine Mikroflora entwickeln konnte.

Ich denke schon, daß es ein Vorteil ist, daß Sie eine momentane Situation erfassen können, aber wie sie nach einem längeren Zeitraum sein kann, ist offen. Das Problem ist, daß leider zu viele Faktoren mit reinspielen. Jedenfalls ist unsere Erfahrung, daß wir viele Ergebnisse, die wir am Objekt machen, erst jetzt eigentlich richtig interpretieren können, nachdem wir sie auf Prüffeldern auch verifizieren und zum Teil herleiten können.

---

## Herr Herkendell:

---

Ich habe verstanden, daß es sehr schwierig ist, eine **Sukzession auf frischem Material** hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Korrosion zu interpretieren. Andererseits ist es auch **schwierig**, ein **älteres Objekt**, das sich in einem vergleichsweise weit fortgeschrittenen Stadium der Veränderung der Materialeigenschaften befindet, zu **interpretieren**. Wo sehen Sie methodisch den Optimierungsbereich, wenn man an den Faktor Zeit denkt?

---

## Dr. Warscheid:

---

Wenn wir jetzt nur über Objekte sprechen, die vorhanden sind, die man also nach längerer Zeit untersucht, sehe ich den Vorteil darin, daß man eventuell **Objekte** hat, die **aus verschiedenen Altersstufen** sind, und daß man natürlich auch hier verkleinerte zeitraumbezogene Studien machen kann mit all den Abstrichen, die jedes Objekt für sich noch einmal an Besonderheiten hat. Diese Untersuchungen bergen allerdings auch die Gefahr, daß Sie dort keine Mikrobiologie finden. Sie untersuchen beispielsweise Objekte wie die Pinakothek, in denen der Sandstein vollkommen absandet, vollkommen kaputt ist. Sie werden an solchen **abgesandeten Stellen keine Mikroorganismen** mehr finden. Das ist aber noch lange kein Beweis, daß da vorher keine Besiedlung stattgefunden hat. Gerade von diesem Sandstein wissen wir eigentlich, daß, wenn wir ihn auf dem Prüffeld exponieren, dort die **Besiedlung rasant** vonstatten geht und wir hier auf jeden Fall mit **biologischen Schäden** zu rechnen haben. Das heißt, Sie haben immer Schwierigkeiten, wirklich hier eine Interpretation abzugeben. Es gibt sicherlich, und dazu gibt es auch Bestrebungen in diesem Projekt, auch sogenannte **Biomarker**, das heißt, Moleküle, die Ihnen noch einen Hinweis geben. Auch wenn Sie keine Organismen mehr finden, so können Sie durchaus ganz bestimmte **Moleküle** finden, die von den Organismen gebildet worden sind, und die einen Hinweis darauf geben, was einmal als Geschichte

---

da war. Nur, das ist natürlich noch alles sehr vage, und ich weiß nicht, ob unsere Erfahrung bereits jetzt schon ausreicht, um da Schlüsse zu ziehen. Wie gesagt, ich halte es schon für wertvoll, wenn man auch die Erfahrung hat, wie ein Sandstein verwittert, daß man verschiedene Stufen beobachten kann in solchen Objektuntersuchungen.

---

**Herr Herkendell:**

---

Was mir gestern sehr deutlich wurde, ist die besondere Bedeutung des **Mikroklimas** für die **Geschwindigkeit** der Korrosion. Wie würden Sie diesen **Einfluß** versuchen zu **objektivieren**? Kann man diesen Einfluß überhaupt messen?

---

**Dr. Warscheid:**

---

Ich weiß nicht ganz genau, in welche Richtung oder worauf Sie jetzt hinaus wollen.

---

**Herr Herkendell:**

---

Ich wollte jetzt auf die Frage der Möglichkeit einer **Messung des Bioklimas** hinaus. Es ist sehr deutlich zutage getreten, daß das **Mikrobioklima** einen sichtbaren Einfluß auf die **Geschwindigkeit** und die **Qualität** der **Besiedelung** hat. Wie kann ich diesen Einfluß **objektivieren** oder **messen**?

---

**Dr. Warscheid:**

---

Ich meine, das ist die Problematik, welche **Analysen** Sie jetzt angehen, um eine **Mikrobiologie** überhaupt zu definieren. Gehen Sie davon aus, daß Sie **Keimzahlen** messen, dann muß ich Ihnen sagen, daß Sie das zwar an einem frisch exponierten Sandstein können, aber wie sich eine **Mikroflora** tatsächlich komplex auf einem Stein verhält, das können wir nur vermuten, denn wir sehen heute schon in Untersuchungen auf Prüffeldern, daß **Keimzahlen** auch wieder abfallen können und andere **Mikroorganismen** reinkommen. Das heißt, daß nie ein wirklicher **Maßstab** da sein kann. Das gibt uns nur eine **Orientierung**. Es gibt allerdings zum Beispiel **silikatische Sandsteine**, die normalerweise keine **Besiedelung** zeigen. Dann haben Sie **Schalenbildung**. Sie können da natürlich eine

**sekundäre Einwanderung** bekommen, weil das **Mikroklima** sich im Stein verändert hat, und die können Sie natürlich auch durch **Keimzahlen** in gewisser Weise nachvollziehen. Ich wehre mich dagegen, daß man dafür einen **Test** anwenden und dann daraus schließen könnte, wie sich möglicherweise hier die **Situation** geändert hat, denn dafür ist das, wie gesagt, eben ein **Zeitprozeß**, und es greifen viele unterschiedliche **Prozesse** ineinander.

---

**Herr Herkendell:**

---

Wie würden Sie denn zum Beispiel bei einem Gebäude **methodisch** vorgehen, um den Faktor **Mikroklima** zu **messen**? Ich denke hierbei z.B. an die **Südseite** einer **Wand** mit hohen **Temperaturen** im Sommer.

---

**Dr. Warscheid:**

---

Es ist zunächst einmal so, daß wir bei solchen **Beprobungen** und bei einer **Auswahl** von **Probenstellen** an **Objekten** natürlich von **Verwitterungserscheinungen** ausgehen. Das heißt allerdings, daß wir **Kontrolluntersuchungen** brauchen, das heißt also auch **Fassadensteine**, die, zumindest für uns **makroskopisch** sichtbar, möglichst geringe **Schäden** aufweisen, und daß wir in solchen Bereichen wie an **Gesimsen** und unterhalb von **Gesimsen**, wo die **Feuchtigkeit** sich ändert, auch **beprobieren**. Das heißt, daß man versucht, diese Art von **Mikrostandorten** aufzugreifen und sie entsprechend an einer **Fassade** möglichst **vergleichend** darzustellen anhand dieser **Analyse**. Das gilt zum Beispiel auch für **Fugenbereiche** usw., die natürlich, insbesondere wenn **alkalische Fugen** gegen **silikatische Steine** stehen, in solchen Bereichen meistens eine sehr **üppige Mikroflora** vorzuweisen haben. Aber es geht ja auch darum, nicht unbedingt nur **Standorte** zu finden, wo Sie **Mikroorganismen** nachweisen können, sondern es geht Ihnen ja darum, auch ein **Bild** der gesamten **Fassade** zu machen. Es soll ja eine **Gesamtbewertung** gegeben werden, ob das nun wirklich ein **signifikanter Unterschied** ist, oder ob man nur an diese **Stellen** geht, die **begrünt** sind, und an die **Stellen**, die im **Fugenbereich** sind. Wenn ich zum Beispiel solche **Steine** nehme, die normalerweise **mikrobiologisch** nicht so gut zu **besiedeln** sind, dann haben Sie natürlich in solchen **Nischen** dennoch eine **mikrobiologische Besiedelung**, wobei da zu fragen ist, ob das wirklich ein **signifikanter Faktor** für **Verwitterung** ist.

---

**Herr Herkendell:**

---

Haben Sie schon einmal festgestellt, daß Sie **stark verwitterte Steine** haben und die **Besiedelung** durch Bakterien oder sonstige Organismen **relativ schwach** ist im Vergleich zu Ihren **Maximalerhebungen**.

---

**Dr. Warscheid:**

---

Ja, das ist das, was ich eben sagte. Wir hatten das einmal, wir haben nun an die achthundert, neunhundert Proben im Rahmen dieses Projektes untersucht und haben versucht, diesen Probenstellen einen gewissen **Verwitterungsgrad** zuzuordnen. Und man kann erkennen, daß wirklich die **Gesteinsmatrix aufgelöst** ist, daß wir also eine **Zerstörung** haben, die **unwiederbringlich** ist. Parallel dazu geht auch die **Mikroflora zurück** oder fast gegen Null, wobei wir allerdings in Prozessen einer beginnenden Zerstörung, wenn der **Verwitterungsprozeß** quasi einem **Höhepunkt** entgegenstrebt, auch die **höchsten Konzentrationen an Organismen** gefunden haben. Das gilt allerdings auch für den **Anfangsbesiedlungsprozeß**, danach gibt es ein **Abbrechen der Mikroflora** und dann entwickelt sich eine in den **Zerstörungsprozeß** hinein. Es gibt also schon eine zeitliche **Sukzession**.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Meine Frage geht in die Richtung, inwiefern man den **Verwitterungsgrad** ablesen könnte anhand zum Beispiel des **Artenspektrums**, welches sich dort findet. Wir haben bisher immer über die **Vitalität**, z.B. ob überhaupt **Keimzahlen** da sind usw., diskutiert. Aber ist vielleicht auch denkbar, daß sich die **Zusammensetzung der Mikroflora** ändert über den Zeitraum der unterschiedlichen **Verwitterungsstufen**? Dann könnte man eventuell diese **Stufen als Unterscheidungskriterium** heranziehen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Darf ich eben die Frage ergänzen. Muß man das Problem nicht eigentlich in der folgenden Weise dreigeteilt sehen: Erstens die Frage, welchen **Einfluß** hat die **Immissionsbelastung** auf die **Spezieszusammensetzung**? Das wäre ja für sich eine interessante Fragestellung. Zweitens, welchen **Einfluß** hat die jeweilige **Spezieszusammensetzung**

auf die **Verwitterung**? Das ist natürlich ebenso interessant und zum Schluß die dritte Frage: Welche **Wechselwirkung** gibt es jetzt zwischen **Witterung und Spezieszusammensetzung**? Sie haben ja gesagt, daß man bei starker **Absandung** wohl kaum **Mikroorganismen** erwarten kann. Also gibt es ja offensichtlich auch eine **rückwärts gerichtete Wechselwirkung**. Ist es richtig, daß man die **Gesamtsproblematik** in dieser **Dreiteilung** sehen müßte?

---

**Dr. Warscheid:**

---

Ja, wobei ich jetzt eins vorschieben möchte: die **Analyse solcher Stämme** von Mikroorganismen. Es hat sich in unserer Arbeit gezeigt, daß die **äußerst schwierig** ist, weil wir es hier mit **Mikroorganismen** zu tun haben, die **speziell angepaßt** sind an diesen **Naturstein**, und die entgegen dem, was bislang in der **Literatur** berichtet worden ist, eine **äußerst spezifische Flora** ist. Sie können sie nicht so einfach bestimmen, indem Sie sagen, das kennen wir, ich nenne jetzt einmal einen **Begriff**, **Pseudomonaden**, das sind **allgemeine Bakterien**, die sich **schnell nachweisen** lassen. Das ist also eine **ziemlich komplexe Sache**. Auch da werden wir **grob vorgehen** müssen, obschon sich da auch **Möglichkeiten** ergeben, ich sprach eben von diesen **Biomarkern**, von **bestimmten Molekülen**, mit denen Sie das **nachweisen** können. Also wie gesagt, die **Analyse** ist **sehr komplex**. Man ist manchmal **froh**, wenn man von ein oder zwei Proben ein **Artenspektrum** machen kann, **geschweige denn** von einem **ganzen Gebäude**. Da müßte schon eine **wirklich spezielle Fragestellung** dazu da sein. Wenn Sie sagen, zum Beispiel, **immissionsbedingte Besiedlung**, dann wäre das **sicherlich einmal interessant**, in der Richtung einmal an einem **Gebäude** zu verfolgen, ob es **tatsächlich eine spezifische Flora** ist, die auf diese **Immissionen reagiert** hat. Wir können nur **induktiv** insofern vorgehen, daß wir einerseits die **Spezies**, die **Organismen anreichern**, sie so gut wie möglich zu **charakterisieren** versuchen und dann sehen, was sie **verwerten**. **Verwerten** sie z.B. **Kohlenwasserstoffe**, können wir daraus den **Schluß** ziehen, daß sie auf einer **Oberfläche**, die **ansonsten an organischem Nährstoff relativ arm** ist, ihre **Energie** vorwiegend aus **anderen Quellen** ziehen. Ich kann Ihnen für die **Organismen** nur **Aussagen zur Nährstoffsituation** machen in diesem Falle. Sie können diese **Organismen charakterisieren** und können **daraufhin dann sagen**, daß eine **bestimmte Situation** den **Aufwuchs** einer solchen **Mikroflora** **begünstigt**. Und das läßt sich auch im Falle der **Kohlenwasserstoffe** zum Beispiel **in situ nachweisen**, daß Sie natürlich auch **Anreicherungen** in den



---

**Krustenmaterialien** haben. Sie haben durchaus auch eine **selektive Aufzehrung** dieses **Nährstoffpotentials**, aber eine direkte Zuordnung ist schwierig. Es gibt sicherlich eine grobe Sukzession, daß beispielsweise **chemoorganotrophe Bakterien** zunächst auftreten, gefolgt von **Nitrifikanten** und **Pilzen**. Was man weiß, ist, daß zum Beispiel Anzeiger einer weitentwickelten Gesteinsmikroflora **Actinomyzeten** sind, die wir aus dem Boden kennen, und das geht dann schon quasi in die Bodenbildung über. Das wäre natürlich ein Anzeiger eines schon sehr weit fortgeschrittenen Verwitterungsstadiums.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Ich hatte mir vorgestellt, daß man diese Mikroorganismen auch eventuell als **Bioindikatoren** für eine bestimmte **Umweltsituation**, sei es eine bestimmte Immissionssituation oder eine klimatische Situation, hätte einsetzen können. Neben dem Effekt, daß sie selbst das Gestein auch schädigen können, wäre diese Information nutzbar als ein weiterer Hinweis für eine bestimmte **Verwitterungsstufe**.

---

**Dr. Warscheid:**

---

Ich möchte nicht ausschließen, daß man diese Organismen dazu verwenden kann. Man kann auch in Sedimenten zum Beispiel, wenn man dort stratografische Untersuchungen macht, bestimmte Organismengruppen einer bestimmten **Klimasituation** zuordnen. Und das ist sicherlich in der Form auch möglich, nur muß man auch davon ausgehen, daß das eine außerordentlich komplexe Arbeit sein wird. Sie müssen wissen, mit welchen Organismen Sie arbeiten, und wie vor allen Dingen die Gruppen, die wir vorwiegend in Oldenburg bearbeiten, z.B. die **organotrophe Mikroflora**, zusammengesetzt sind. Es wäre sicher wünschenswert, solche Spektren zu fahren, aber zur Zeit, denke ich, sind wir noch weit davon entfernt.

---

**Dr. Prinz:**

---

Also, eine Vorstellung könnte ja die folgende sein: **Baumberger Sandstein** ist z.B. außerordentlich stark verbreitet hier in Nordrhein-Westfalen, wenn ich das richtig sehe, vor allem im Münsterland, aber auch im Ruhrgebiet bis zum Kölner Dom. Man könnte daher vielleicht Bauwerke ausfindig machen, die zumindest in ähnlicher Zeit **Baumber-**

**ger Sandstein** verwendet haben. Sodann könnte man bestimmte **Bezugspunkte** festlegen, Südseite oder Nordseite, Westseite, welche Seite auch immer, 10 Meter über Grund, und bei 20 **verschiedenen Gebäuden** eine Bestimmung der **Spezies-Zusammensetzung** machen und versuchen, das Ergebnis mit der jeweiligen **Immissionsbelastung** zu korrelieren. Wäre dies ein denkbarer Ansatz oder ist dieser Gedanke völlig unsinnig? Oder liegt die Wahrheit irgendwo dazwischen?

---

**Dr. Warscheid:**

---

Wenn Sie das als **Rahmendaten** nehmen, daß Sie die Immissionssituation usw. genau charakterisieren können und dann auch sicherstellen, daß die architektonischen Gegebenheiten an den jeweiligen Gebäuden, die Sie vergleichen, in etwa zumindest **ähnlich** sind, daß auch das Nahfeldklima entsprechend zu vergleichen ist, das Fugenmaterial ähnlich ist, daß keine Sanierungsmaßnahme durchgeführt worden ist, dann nähern Sie sich vielleicht der Tatsache.

---

**Dr. Prinz:**

---

Es ist nach den bisherigen Angaben anzunehmen, daß die Maßnahme wahrscheinlich das Schlimmste ist. Also müssen wir dann etwas anderes nehmen.

---

**Dr. Warscheid:**

---

Ja, das ist wahrscheinlich von Vorteil.

---

**Dr. Krause:**

---

Ich möchte etwas ergänzen zu dem, was Sie gesagt haben. Man könnte es ja auch so machen, daß Sie die **Flächen** vorher **reinigen** und dann die **Besiedelungsgeschwindigkeit** überprüfen in Abhängigkeit von grob bestimmten ...

---

**Dr. Warscheid:**

---

Wobei Sie dann natürlich verwittertes Material haben, das heißt, da haben Sie dann auch eine andere mineralogische Struktur.

---



---

**Dr. Krause:**

---

Aber es kam ja vorhin auch die Frage: Wie wollen Sie überhaupt zwischen dem Einfluß des **Klimas** und der **Immission** trennen, das heißt im Grunde genommen müßten Sie ja eine **Flora** haben, die **spezifisch** auf einen **Faktor** reagiert oder sich durch ihn beeinflussen läßt. Das setzt sicherlich erhebliche Vorkenntnisse voraus, die - so wie ich Sie verstanden habe - eben bisher nicht vorhanden sind.

---

**Dr. Warscheid:**

---

Ja, ich meine die Arbeit, die wir zum Beispiel in dem Projekt derzeit leisten, hat natürlich begonnen mit den **Objekten** und ich muß ganz ehrlich sagen, daß sie nur dadurch sinnvoll ergänzt worden ist, seitdem wir **Prüffeld-Untersuchungen** machen, denn nur die erlauben uns tatsächlich, hier und da bestimmte Besonderheiten eines Gebäudes auszuschließen bzw. auch zu sehen, daß man sie ausgrenzen muß. Man stellt fest, daß bestimmte Situationen auf den Prüffeldern ganz anders zu beobachten sind als beim Stein im Objekt, der ganz andere Möglichkeiten offeriert, und deswegen, denke ich, nur eine Ergänzung solcher **beiderlei Beobachtungen** ist das Optimum. Dann kann man auch unter Umständen am Objekt immissionsbedingte Schäden nachvollziehen. Nur müßten die immer verifiziert werden durch solche Untersuchungen mit definierten Faktoren.

---

**Dr. Prinz:**

---

Eine Grundregel der Epidemiologie sagt, daß man **alle Faktoren konstant** hält, mit **Ausnahme** des zu untersuchenden und in Frage stehenden **Einflußfaktors**. Wenn dies nicht geht, dann muß man die Wiederholungszahl vergrößern, um dann im Sinne eines **Multivarianten-Modells** nach verschiedenen Einflußfaktoren aufsplitten zu können und zu sagen, das ist die Immissionsbelastung, das ist Klima usw.. Aber Herr Brüggerhoff, Sie wollten noch direkt etwas dazu sagen.

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Vielleicht eine ganz kurze Bemerkung. Obwohl wir ja hier in Nordrhein-Westfalen sitzen und letztendlich auch ein bißchen Nordrhein-Westfalen im

Blickpunkt haben, greife ich noch einmal eine Bemerkung von Professor Lucke auf, daß gerade in den fünf **neuen Bundesländern** sich ja eine etwas andere Situation darstellt. Dort nämlich sind sehr viele Objekte gegeben, die, aus welchen Gründen auch immer, eben nicht in den letzten 40 Jahren eine Vielzahl versuchter Maßnahmen über sich haben ergehen lassen müssen. Sondern dort ist ein **Zustand** gegeben, der wirklich eine **Vergleichbarkeit** noch ermöglicht. Das sollte man also vielleicht in den Überlegungen einmal mit berücksichtigen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank. Dann können wir, glaube ich, fort-schreiten, sonst kommen wir doch etwas in Schwierigkeiten mit der Zeit. Herr Dr. Eckhardt, Sie wären dann der nächste.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Es ist schon eine ganze Menge von Dingen von Herrn Warscheid gesagt worden, was die Mikrobiologie anbelangt. Ich kann das nur an einigen Stellen vertiefen. Die Messung an **historischen Steinen** hat - das möchte ich nicht hier noch einmal betonen - die Schwierigkeit einmal, daß wir vielleicht nicht ausreichend genug **vergleichbares Steinmaterial** nebeneinander an denselben Immissionsstandorten haben, so daß es also relativ punktuell sein kann und ich will damit betonen, daß wir eine statistisch ausreichende Zahl an Beprobungsstellen und Untersuchungsmaterialien haben müssen, um da überhaupt einen Querschnitt haben zu können, den wir dann als vielleicht repräsentativ für diese Gesteinsart ansprechen. Wir brauchen natürlich im Vorfeld der ganzen Untersuchungen alle Messungen, die Herr Brüggerhoff schon angedeutet hat. Wir brauchen die Situation der **Emissionen** über die Zeit hinweg. Wir brauchen den **beschreibenden Zustand** des Gesteinsmaterials und wenn Sie schon eben den Baumberger Sandstein andeuteten, dann ist Baumberger Sandstein nicht überall Baumberger Sandstein, sondern wir haben selbst im selben Bruch **Schichten**, die sich qualitativ so verschieden verhalten, daß sie, die Steinbrüche nachher aufgelassen werden, weil das Material nicht mehr als Baustein verfügbar ist. Da gehört also eine gewisse **Vorsicherung** der Dinge dazu, Kenntnisse der Dinge, die über die Zeit mit dem Stein passiert sind, und das ist ganz sicherlich bei schon verwitternden Steinmaterialien schwierig nachzuvollziehen, welche **Schutzmate-**

rialien verwendet wurden oder was immer da gemacht wurde. Die Problematik zwischen Fuge und Stein läßt sich schon dahingehend deuten, wir haben Messungen gemacht in Kiel an dem Sandstein. Da haben sie einen alkalischen Zement in ein silikatisches Gestein als Mörtelmaterial reingebracht und der Sandstein selber hatte im Bereich von zwei, drei Zentimetern eine pH-Verschiebung von drei bis vier Einheiten, was auf das Leben der Mikroorganismen einen deutlichen Einfluß haben kann, nicht muß, aber kann. Der Unterschied zwischen frischen und alten Steinen hat gewisse Problematiken dadurch, daß im frischen Gestein eventuell Materialien drinne sind, die im alten Gestein nicht mehr sind und damit also auch nicht mehr für die Lebensbedingungen dieser Mikroorganismen Einfluß oder keinen Einfluß haben können, wenn sie weg sind oder wenn sie noch da sind. Und die Sukzession, die ich am Beispiel des Holzes vielleicht deutlichsten sagen kann, frisches Holz wird zunächst nicht von den holzzeretzenden Pilzen besiedelt, sondern wird zunächst von einer inhomogenen Flora besiedelt, die sich mit den Begleitstoffen, die am Holz auch natürlicherweise sind, die Zellexsudate, die als Nährstoffkomponenten eine Rolle spielen, werden zunächst erst einmal von einer ganz unspezifischen Mikroflora weggenommen. Es kommt dann eine zweite Folge von Schimmelpilzen, die sich auch damit befassen, die sich eventuell als verfärbend dann unliebsam bemerkbar machen, das sogenannte "staining", welches am Holz als Blaufäulepilz zum Beispiel auftritt, der eigentlich das Holz auch nicht zersetzt, aber etwas unansehnlicher macht. Und erst ab dem fünften Jahr können Sie dann die eigentlichen holzzeretzenden Pilze erwarten, die sich dann über das jetzt schon aufbereitete Material hermachen. Ähnliches sollte man vielleicht auch bei frischen Steinen erwarten können, ist meines Wissens aber in dieser Form noch nicht untersucht. Es könnte vielleicht in diesem Rahmen aufgegriffen werden, daß man sagt, was ist denn mit einer frischen Gesteinsoberfläche, die noch alles hat, was sie in der Sedimentation mitbekommen haben, und wie sieht es aus, wenn jetzt über die Zeit hinweg das jetzt den Umweltbedingungen und auch der Besiedlung ausgesetzt wird. Das ist es. Wenn wir jetzt von den Mikroorganismen sprechen, so müssen wir da unterscheiden, daß auch dort Bakterium nicht gleich Bakterium und Pilz nicht Pilz ist. Wenn wir gestern von den Schwärzepilzen geredet haben, dann gibt es bei der Gattung der Penicillien, die man ganz schön ansprechen kann von ihrer Konidienform her, daß diese Penicillien zu einem Teil Schwärzepilze sind, zu einem anderen Teil nicht. Ich kann also nicht sagen, wenn ich jetzt in meiner Kultur ein Penicillium habe, das ist ein

Schwärzepilz. Ich muß es prüfen, und so gilt das für eine ganze Reihe von Bakterien und Aktinomyzeten sicherlich auch in ihren Eigenschaften. Sie divergieren, obwohl sie in dieselbe Familie oder in dieselbe Gattung sogar gehören und das macht die Sache so ein bißchen schwierig, daß ich eine Vielzahl von Untersuchungen dann nachher für die Charakterisierung der Eigenschaften dieser Stämme benötige, daß auch die Zeit und das Geld dann eine Rolle spielt. Das wäre vielleicht einmal nur so das grundsätzliche, was für die Mikrobiologie mit betrachtet werden muß.

---

#### Herr Herkendell:

---

Nochmal die leidige Frage. Sie haben ja einen sehr interessanten Vorschlag gemacht: Frisches Material hinsichtlich der Sukzession und der Relevanz der Sukzession einmal grundsätzlich zu beobachten. Wann sind belastbare Ergebnisse zu erwarten? In 10 Jahren oder ist dies eine Generationenfrage?

---

#### Dr. Eckhardt:

---

Im Prinzip ja. Wir haben heute den Vorteil, daß durch die sehr verfeinerten Meßmethoden chemischer und physikalischer Art Dinge schon früher erkannt werden können, als dies unsere Väter haben erkennen können. Und ich bin durchaus der Meinung, daß bei entsprechend angelegter Versuchsanordnung und beim Einsatz dieser verfeinerten Meßmethoden auch in 10 Jahren schon eine Veränderung der Gesteinsmatrix mindestens verfolgt werden kann, daß unter Umständen auch jetzt schneller verwitternde Gesteinsminerale wie Glimmer und einige Feldspäte, die sich etwas schneller zersetzen lassen als andere, daß man ihre Schädigung vielleicht schon erkennen kann. Ich halte es nach 10 Jahren Verwitterungszeit für möglich, daß man mindestens die Anfänge dieses Prozesses erfassen könnte.

---

#### Dr. Prinz:

---

Können wir diese interessante Frage unter B noch einmal aufgreifen? Das war ja auch der an und für sich sehr interessante Vorschlag von Herrn Krause, aber da nähern wir uns schon den exponierten Objekten.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Ja, ich glaube, man kann das auch nicht so ganz auseinanderhalten.

---

**Dr. Prinz:**

---

Aber können wir vielleicht trotzdem bei B noch einmal darauf zu sprechen kommen? Ergeben sich sonst noch Fragen zum jetzigen Zeitpunkt, welche Untersuchungen an vorhandenen Objekten, an Bau-  
denkmälern bereits vorliegen, ob man da sinnvolle Untersuchungen noch konzipieren kann.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Ganz sicherlich ist es so, daß eine Voraussetzung bei solchen historischen Steinen gemacht werden muß, daß man sehr gute Kenntnisse der **Steinzusammensetzung** und der bisherigen **"Leidensgeschichte"** braucht, um da eine vernünftige Interpretation zu haben.

---

**Dr. Prinz:**

---

Kann man solche Informationen nicht von **Landeskonservatoren** abfragen? Haben diese vollständige Kenntnisse oder sind auch ihre Kenntnisse unvollständig? Herr Brüggerhoff.

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Das Wort "vollständige Kenntnisse" in diesem Zusammenhang klingt vielfach wie Hohn. Ich gebe einmal ein ganz konkretes Beispiel zu einem Objekt, ich darf das offen sagen, es ist das Objekt Idensen, wo um das Jahr 1970 eine **Hydrophobierung** stattgefunden hat. Da sollte man ja erwarten, daß der Vorgang eigentlich lückenlos dokumentiert ist. Man trifft aber auf einen Zustand, der dann so beschrieben wird, daß noch in Erinnerung ist, daß da "was" gemacht worden ist. Der Hersteller hat seine Unterlagen weggeworfen und alle rätseln. Es wird jetzt phänomenologisch versucht, Rückschlüsse zu ziehen, daß das Schadensbild, was sich hier zeigt, und was sich etwas anders gestaltet als an einer anderen Stelle des Objektes, die dann angeblich nicht behandelt worden ist, daß das dann

den Ausschlag dafür gibt, daß man sagt: Ja, es könnte tatsächlich eine Hydrophobierung gewesen sein. Dieses ist ein drastisches Beispiel, es muß nicht so sein, aber das ist ein häufiger Zustand, den man antrifft. **Dokumentation von Maßnahmen** hat in der Vergangenheit häufig in einem sehr mangelhaften Zustand stattgefunden.

---

**Dr. Prinz:**

---

Danke sehr. Fragen noch von der rechten Seite? Dies ist nicht der Fall, nachdem wir ja alle völlig verunsichert und enttäuscht sind. Ja, dann darf ich weitergeben an Herrn Wilimzig.

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Ein wichtiger Punkt, der mir noch aufgefallen ist, besteht darin, daß die Untersuchungspunkte am Gebäude definiert sein müssen, und daß auch alle Gruppen wie Mineralogen, Physiker, Chemiker und Biologen an diesem einen Punkt Proben nehmen. Am Gebäude haben wir **unterschiedliche Bereiche und unterschiedliche Verwitterungsbilder**: Einen feuchten Sockelbereich mit Wechsel-feuchte und viel Mikrobiologie. Einen Mittelteil, der meistens trocken ist, und einen Dachbereich, der wieder feucht ist, mit vielen Mikroorganismen. Auch sind nicht nur die Gebäude sehr unterschiedlich, sondern auch innerhalb eines Gebäudes finden wir sehr unterschiedliche Teile, z.B. Hydrophobierungen, die aus Geldmangel gerade bis zu dem Stein gingen und links davon nicht mehr, so daß **Untersuchungen auf einen Punkt konzentriert** sein müssen. Und was noch wichtig ist, diese Untersuchungen sollen ja auch auf Maßnahmen hinauslaufen, das bedeutet auch, daß vor und nach der Maßnahme noch einmal untersucht wird, um einen **Langzeiteffekt** zu analysieren. Zu dem, was Frau Köth-Jahr noch fragte, mit welchen Parametern man ein Schadensbild beschreibt: Wir versuchen immer, eine sogenannte **Bewertungszahl** zu errechnen. Ich habe hier eine Folie mitgebracht, die zeigt, wie wir anhand unserer einzelnen Daten eine Einteilung in stark belastete, wenig belastete und überhaupt nicht belastete Gebäude vornehmen, und wie wir dieses auch mit einem Schadensbild korrelieren (Bild 1). Wenn wir z.B. feststellen, daß ein Gebäude durch **Nitrifikanten** hochbelastet ist, sehen wir auch meistens ein ziemlich starkes **Schadensbild**. Und im Endeffekt können wir dieses auf einen Parameter, also die **Stoffwechselaktivität** dieser Bakterien, die sich sehr genau analysieren läßt, zurückführen. Sie sehen auf der

# ENDANGERING

*high*  
*medium*  
*low*

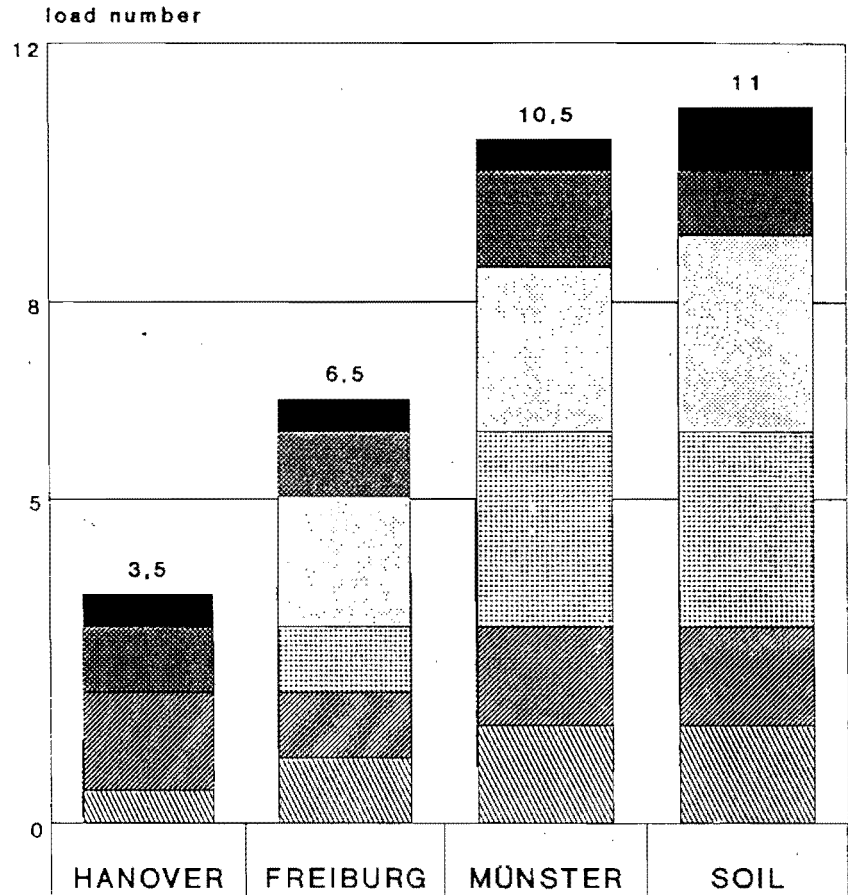


Bild 1 Comparison of load numbers for soil and different buildings. The load number is an index for the endangering by nitrifying bacteria.

HANOVER: Leine Castle    FREIBURG: Minster    MÜNSTER: Erbdrostenhof

---

Folie diese beiden Kästchen für Stoffwechselaktivitäten. Wenn wir ein Gebäude haben, das gering belastet ist, finden wir kaum oder gar keine Stoffwechselaktivität, und daß mit steigender Belastung die Stoffwechselaktivität dieser Bakterien auch zunimmt, so daß dieses ein greifbarer Parameter ist. Leider ist er für einen Schnelltest sehr ungeeignet, da die Analyse dieses Parameters ziemlich schwierig ist und mindestens fünf Wochen Analysezeit andauert. Aber so könnte man sich das vorstellen, daß man Analysen am Gebäude macht, um Belastungen zu berechnen.

---

**Herr Herkendell:**

---

Auf was beziehen Sie das denn? Auf welche Art und Qualität von Boden?

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Boden wird genommen, um zu kontrollieren, ob die Methode geklappt hat. Es ist ganz egal, wo wir den Boden nehmen. Wir können den Boden hier vorne nehmen, wir können den Boden bei uns nehmen. Meistens ist er hochbelastet. Boden ist der Endzustand aller Gesteine. Es geht darum, um zu sehen, ob der Versuch geklappt hat. Die Einteilung der Belastung ergibt sich aus der Menge der Gebäude, die wir untersucht haben und aus den Schadensbildern, die wir dort gesehen haben. Wo wir sagen, das Gebäude war wenig gefährdet, haben wir geringe Werte, dieses hier (Folie) war hochgefährdet, hochbelastet, hier haben wir hohe Werte. Diese Einteilung ergibt sich aus unserer Erfahrung.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Ich habe noch eine Frage zu den Standorten Hannover, Freiburg und Münster. Wurde das Ergebnis erwartet, daß die Aktivität der Organismen auch in dieser Reihenfolge zunimmt, also haben Sie die Gebäude danach ausgesucht, daß Sie unterschiedliche Aktivität in Abhängigkeit von der Verwitterungsstufe vermuteten oder hatten Sie andere Kriterien für die Auswahl der Standorte?

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Das ist nur eine Auswahl explizit für die Statistik, um unsere Methode zu zeigen.

---

---

**Herr Herkendell:**

---

Ist das das Beispiel aus Münster? Ist das der schlimmste Fall, den Sie haben in Ihrer Zusammenstellung?

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Nein, Gebäude aus den neuen Bundesländern sind noch schlimmer.

---

**Dr. Prinz:**

---

Darf ich einmal nachfragen. Also einerseits faszinieren mich die Zahlen, andererseits habe ich das, ehrlich gesagt, noch nicht richtig verstanden, wie diese Zahlen zustande kommen. Können Sie das noch ein bißchen erläutern. Also links, da stehen offensichtlich Einflußfaktoren ...

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Diese Faktoren untersuchen wir im Experiment.

---

**Dr. Prinz:**

---

Sie bestimmen also den Nitratgehalt. Wovon?

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Im Gestein in der gesamten Probe, die wir genommen haben.

---

**Dr. Prinz:**

---

Bis zu welcher Tiefe?

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Das ist abhängig von der Probenahme. Wir haben Tiefenproben, wo wir Bohrkern analysieren ...

---

---

**Dr. Prinz:**

---

Sie gehen doch davon aus, das das Nitrat von außen auf den Stein zugekommen ist, das Nitrat ist ja nicht natürlicher Bestandteil des Steines, sondern stellt Einfluß von außen dar?

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Ja, wir nehmen **Kratzproben** von der Oberfläche. Die sind dann bis zu einem 1/2 cm tief.

---

**Dr. Prinz:**

---

Und dann bestimmen Sie die Ammoniumkonzentration und die Zahlen, die Sie jetzt in der Tabelle haben, das ...

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Das ist ein Schema. Wir sagen, soundsoviel Ammonium ergibt ein Wert von 0,5.

---

**Dr. Prinz:**

---

Das ist eine Relativzahl.

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Gewichtung.

---

**Dr. Prinz:**

---

Konzentration mal 0,5 ...

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Nein, wir haben Nitrat, z.B. 10 ppm festgestellt. Dieser Wert ist nach unserer Erfahrungen gering und bekommt einen Wert von 0,5. In der nächsten

Probe stellen wir 1000 ppm fest, dieses ist viel, erhält einen Wert von 1,5.

---

**Dr. Prinz:**

---

Sie machen aus exakten Meßwerten jetzt **Boniturschlüssel**, sozusagen?

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Ja, und der wird zusammengerechnet und daraus ergibt sich dann diese ...

---

**Dr. Prinz:**

---

Und wenn Sie dann die 0,5, 1 usw. 1,5 aufaddieren, kommen Sie zu 3,5 und das entspricht dieser Säure?

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Ja, und hier ist eben gezeigt, daß der wichtigste Parameter wirklich die **relative Nitrifikationsaktivität** ist.

---

**Dr. Prinz:**

---

Dann hängt also die Höhe der Säule natürlich sehr stark von den Gewichten ab, die Sie hier in dieser Tabelle gewählt oder zugrundegelegt haben. Hätten Sie anders gewichtet, wären Sie auch zu ganz anderen Ergebnissen gekommen.

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Das ergibt sich aus der **Erfahrung** mit vielen der Gebäude, die wir untersucht haben.

---

**Dr. Krause:**

---

Solange es für alle Gebäude gleich ist, geht es ja.

---

**Dr. Prinz:**

---

Jetzt ist mir das System klar geworden. Herr Eckhardt.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Man muß dazu sagen, daß dieses eine spezifische Sichtweise der Hamburger ist, weil sie sich mit dem Nitrifizieren sehr gut auskennen und da eine gute Korrelation auch aufbauen können aus diesen Gründen heraus. Es gibt eine ganze Reihe von anderen Mikroorganismen, die man in dieser Weise nicht bonitieren kann oder es noch nicht gemacht hat, will ich einmal vorsichtig dazu sagen. Ob man das machen kann, da bin ich ein bißchen am Zweifeln. Ich wollte das nur noch einmal klarstellen, daß dieses aus einer ganz bestimmten Sicht der Dinge so gemacht wurde und vielleicht auch gemacht werden kann. Sie sagten eben schon sehr kritisch, Sie haben also Ihre **Bewertungszahl** und ich sage einmal dazu **subjektiv** eingestellt. Ob Sie jetzt einer objektiven Prüfung standhält, da diskutieren wir selber noch.

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Vielleicht doch eine ganz kurze Bemerkung dazu, da die Aussage relativiert werden muß. Dieses ist eine **Belastungszahl** im Hinblick auf die **Biologie**. Dort geht nicht der Faktor beispielsweise phänomenologische Beschreibung des wirklichen Schadenszustandes, das heißt stark beschädigt, viele Abplatzungszonen etc. ein. Man findet zwar Korrelationen, aber der Faktor steht letztlich nur für die biologische Belastung, um das noch einmal zu sagen.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Könnten Sie noch einmal erläutern, wie diese Bewertungszahl ermittelt wurde. Sie erwähnten, daß sie empirisch festgestellt worden ist. Ist sie auf Grund der Tatsache, daß Sie die stärkstbelasteten Gebäude bzw. die stärkste Aktivität der Mikroorganismen als Kriterium genommen haben im Vergleich zum Boden, oder haben Sie auf der anderen Seite der Skala auch Gebäude gefunden, die kaum Aktivität zeigten und sich danach ausgerichtet? Mir ist die **Ableitung der Bewertungszahl** noch nicht verständlich.

---

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Ich würde sagen, was Herr Brüggerhoff eben sagte, ist so nicht ganz richtig, daß es keine Korrelation gibt. Wir finden, wenn wir ein **stark verwittertes Gebäude** haben, auch **viele Bakterien** und viele Nitrifikanten, und so ist das entstanden. Wenn wir sagen, das Gebäude ist stark verwittert, dann finden wir auch hohe Werte. Ist das Gebäude nicht verwittert oder wenig verwittert, finden wir geringe Werte.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Ich habe Probleme mit der Einordnung dessen, was gestern gesagt wurde, daß in der **ehemaligen DDR** die Situation anscheinend so schlecht ist, daß dort gar **keine Mikroorganismen** wachsen würden an vielen Stellen, also Algenbewuchs und ähnliches dort nicht als Kriterium herangezogen werden kann.

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Es ist so. Das haben wir in unserem Simulationsversuch gesehen. Wir haben eine Simulationskammer, wo wir Steine mit Bakterien beaufschlagen können und mit unterschiedlicher Konzentration begasen. Wir können, wenn wir **hohe Schadgaskonzentrationen** verwenden, also auch Situationen erzeugen, wie sie in der Natur sehr selten in hohen Smoglagen oder überhaupt nicht vorkommen, daß **Bakterien, Algen und Pilze absterben**. Wir würden also mit hohen Smog-situationen unsere Gebäude steril bekommen, aber jegliches höhere Leben wie Bäume, Menschen usw. würde dann auch absterben.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Die drei Beispiele stimmen auch mit den Schäden, die wir dort beobachten, Leineschloß, Freiburg und Münster überein. Es ist zufällig so, daß die Schäden auch tatsächlich dort am größten sind. Nur, was ich mir unter Ihre Tabelle wünschen würde, das sind die **Gefügebilder** dieser drei **Gesteinstypen**. Dann würden Sie sehen, daß diese einen total unterschiedlichen **Feuchtehaushalt** haben. Besser könnten Sie die Porosität und damit den Feuchtehaushalt symbolisieren.

---

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Wir sind ja immer noch auf der Suche nach den Faktoren, warum hier viele Bakterien und dort wenige wachsen.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Aber Ihnen als Biologen brauche ich ja doch nicht zu sagen, daß Biologie ohne Feuchte nicht gedeiht, daß die extreme **Feuchteabhängigkeit** der Biologie immer dabei berücksichtigt werden muß.

---

**Dr. Prinz:**

---

Das ist natürlich außerordentlich interessant für uns, aber wir kommen jetzt in die Expertendiskussion, die ich eigentlich vermeiden wollte. Herr Warscheid, wollen Sie sich noch in die Diskussion einklinken?

---

**Dr. Warscheid:**

---

Ganz kurz, weil ich das eben noch einmal gesagt hatte mit den unterschiedlichen Beprobungsstellen und jetzt der Eindruck entsteht, in einer gesamten Charakterisierung eines Gebäudes kann man dieses jetzt dadurch bewerten. Ich denke, daß man wirklich, auch wenn es komplex wird, eigentlich **jede Probenstelle** einzeln betrachten muß. Wenn ich anfangs, verschiedene Verwitterungszustände und verschiedene Expositionen einfach in einen Zusammenhang zu bringen, dann ist das nur mit allergrößter Vorsicht zu tun, denn Sie können, ob Sie ein Gebäude im Höhenbereich beproben, ob Sie in einem Bereich der kapillaren Feuchte beproben, nicht alles über einen Schnitt setzen. Dann wird das sehr gefährlich, denke ich zumindest aus der Erfahrung heraus, denn Sie können dann Bereiche beproben, die schon so verwittert sind, daß Sie nichts mehr finden und entdecken eigentlich nicht die **Gefahrenherde**, die da sind, und bekommen insofern ein falsches Bild. Das erhöht allerdings auch die Anzahl der Proben, die Sie zu nehmen haben, um sicher zu sein.

---

**Dr. Prinz:**

---

Okay. Vielen Dank. Ich glaube, dann können wir aber weitergehen zu Herrn Dr. Marfels, auch mit Bezug auf Steine. Gibt es da Vorstellungen?

---

**Dr. Marfels:**

---

Eigentlich nur generell. Ich bin Chemiker und kann eigentlich nur zu chemischen Fragestellungen etwas sagen. Ich möchte einige Bemerkungen zu den **Nachweisverfahren** machen und ergänzen, was vorhin auch schon Herr Eckhardt angedeutet hat. Es ist heute durchaus möglich, mit einer sehr empfindlichen instrumentellen Analytik auf winzigen sehr dünnen **Oberflächenbereichen abgelagerte Schichten** genauestens zu analysieren, wenn auch diese Methoden nicht immer gerade die billigsten sind. Ich denke hier an die **Ionenplasmamethoden** oder andere Oberflächenverfahren. Ich könnte mir auch vorstellen, daß man in Verbindung mit einer speziellen Probenahmetechnik gezielt Schichten von oben nach unten abträgt, die dann gesondert zu untersuchen wären, um so ein **Kataster** über den Zustand des Objektes im Hinblick auf seine **Vorgeschichte** zu erstellen. Dazu müßten spezielle **Präparationsmethoden** und auch spezielle **Probenahmetechniken** weiterentwickelt werden, so daß man auf diese Weise gezielter zu einer Anamnese der Proben kommen könnte.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, Herr Marfels. Irgendwelche Fragen dazu? Offensichtlich ist dieses nicht der Fall. Ja, Herr Dr. Fütting, - Steine, welche Vorschläge hätten Sie aus Ihrer Erfahrung?

---

**Dr. Fütting:**

---

Ich muß auch hier wieder von meiner Erfahrung ausgehen. Ich habe ja gestern schon beschrieben, aus welcher Richtung wir dazu gekommen sind und unsere Erfahrung ist eben so, daß wir an einem Objekt, es kann also durchaus eine einzelne Mar-



morstatue sein, unter Umständen schon die ganze Palette der Verwitterungserscheinungen sowohl makroskopisch als auch mikroskopisch finden. Da spielt der Hinweis eine Rolle, der gerade kam: Das hänge von der **Anzahl der Proben** ab. Also je mehr verschiedene Stellen Sie dort aussuchen und beproben, desto mehr entfaltet sich diese **Palette des Schadensbildes**, und da spielt natürlich dann der Diskussionspunkt, der heute gleich am Anfang genannt wurde, die **Mikroklimata** rein, und es ist erschreckend festzustellen, wie an einem kleinen Objekt eine Vielzahl unterschiedlicher Mikroklimata anzutreffen ist. Nun, die Frage, wie soll man da herangehen: Aus meiner Sicht stellt sich das so dar, daß die Orientierung der Untersuchung auf die **Mechanismusaufklärung** zielen sollten. Wenn man die Mechanismen versteht, mit denen die Verwitterung vor sich geht, kann man dann an beliebigen Objekten - auch mit verringertem Aufwand - die Schadensbilder charakterisieren. Also aus meiner Sicht muß die Zielvorstellung die Mechanismusaufklärung sein. Nun ist es das Problem jedes Wissenschaftlers, wenn ich erst einmal ein Modell über so einen **Mechanismus** gemacht habe, dann muß ich das immer wieder am **natürlichen Objekt** oder auch am **künstlich geschaffenen Objekt kontrollieren**. Und durch diese Wechselwirkung der ständigen Kontrolle und der neuen Modellbildung über diese Mechanismen erweitert sich der Erfahrungsschatz. Also, man sagt ja manchmal, man sieht nur das, was man schon weiß. Und das ist immer der kritische Punkt. Deswegen also unbedingt immer die Kontrolle. Ich halte das also ein bißchen für willkürlich, das hier so einzuteilen in A und B: natürliches Objekt und künstlich geschaffenes Objekt, die Kontrolle kann an beiden erfolgen, aber sie muß auf jeden Fall erfolgen.

---

#### Dr. Prinz:

---

Vielen Dank, das bringt mich auf einen Gedanken, den ich bereits eingangs geäußert hatte, aber den ich eigentlich hier bei der bisherigen Diskussion nicht wiedergefunden habe, nämlich der Gedanke, daß man mit diesem **epidemiologischen Ansatz** erst einmal **Hypothesen** generiert, daß man somit zu grundsätzlich neuen, vermuteten Zusammenhängen kommt, die man dann später im Labor experimentell nachprüft. Ich wäre Ihnen dankbar, wenn die nachfolgenden Herren vielleicht auch diesen Gesichtspunkt noch einmal aufgreifen würden. Wie kommen wir zu grundsätzlich **neuen Erkenntnissen** in diesem **Schadensgeschehen**? Ergeben sich jedoch zunächst noch irgendwelche Fragen zu den Ausführungen von Herrn Fütting? Frau Köth-Jahr, Herr Krause? Dies ist nicht der Fall.

---

#### Dr. Fütting:

---

Vielleicht darf ich noch einmal eine Sache aufgreifen, die Sie vorhin nannten bei dieser Dreiteilung, die Sie vorgeschlagen haben als Fragestellung. Da betrifft meine eigenen Arbeiten natürlich der Punkt 2: Der Einfluß dieser **biologischen Faktoren** auf die **physikalisch-chemische Verwitterung**, so möchte ich das einmal nennen. Aus meiner Sicht stellt sich dort das Problem, daß es vielleicht gar nicht so wichtig ist, welche Spezifik die biologische Besiedlung hat. Sondern wichtig ist eben nur: 1. daß sie **da** ist und 2. **in welchem Maße** sie da ist. Der zweite Punkt, also in welchem Maße sie da ist, beschleunigt oder verlangsamt den Verwitterungsprozeß an der betreffenden Stelle. Unbedingt notwendig ist es schon, sie zu beachten und auf jeden Fall wirkt sie beschleunigend, aber das **Ausmaß der biologischen Besiedlung** beschleunigt dann mehr oder weniger. Das ist so ungefähr die Fragestellung, und da kommt jetzt der Punkt rein, den Herr Willimzig nannte. An dieser Stelle ist es also unabdingbar, daß die ganzen Sparten der Naturwissenschaft zusammenarbeiten, weil sonst natürlich diese Faktorenviefalt gar nicht charakterisiert werden kann.

---

#### Dr. Prinz:

---

Ja, dann darf ich das Wort weitergeben an Herrn Dr. Schmitt.

---

#### Dr. Schmitt:

---

Zu den Steinen habe ich eigentlich nicht viel zu sagen. Ich möchte auf eines hinweisen, und zwar auf die VDI-Richtlinie, die mal begonnen wurde von Herrn Dr. Luckat, ganz speziell für Bauwerke, dann von Herrn Prof. Krumbein weitergeführt wurde, und schließlich in den Gesamtarbeitskreis "Wirkungen" übernommen und zuende geführt wurde - nicht mehr nur für Bauwerke, sondern für alle Werkstoffe. Das ist die **Richtlinie VDI 3798 über Untersuchung und Behandlung von immissionsgeschädigten Werkstoffen**, insbesondere bei kulturhistorischen Objekten. Und in dieser Richtlinie wurde schon sehr viel aufgearbeitet, wie solche Untersuchungen gemacht werden könnten. Es ist also ein Vorschlag für die Vorgehensweise. Sie bekommt jetzt einen Anhang, der von Herrn Fitz vom Umweltbundesamt ausgearbeitet wurde, in dem er das, was hier dargestellt ist, umsetzt in einen Fragebogen, so daß

die Leute, die dann hierangehen müssen, direkt etwas in die Hand bekommen, nach dem sie vorgehen können. Ich glaube, das geht sehr stark in diesen ersten Punkt A ein. Ich möchte also darauf hinweisen, daß sehr viel zu dem, was hier besprochen wurde, in dieser Richtlinie steckt. Dann, wenn ich diesen Teil A anschau, fällt mir etwas auf. Ich bin nun kein Fachmann. Ich verstehe an und für sich nichts von Steinen und Gebäuden, aber wir machen unsere Sitzungen immer irgendwo, wo es auch etwas anzugucken gibt, und eine dieser Sitzungen war in Regensburg, und da erinnere ich mich an eine Führung um den Dom. Es war eine Nordseite, ich weiß nicht mehr genau, war es der Chor oder das Querhaus, das aus einheitlichem Stein ist, aber unterschiedliche Schädigungen waren über die ganze Fläche weg erkennbar. Da kommt dieser Punkt, das Erfassen der Begleitfaktoren. Ich glaube, es ist ganz wichtig, daß das **Mikroklima** erfaßt wird, daß also erfaßt wird, was an den einzelnen Stellen passiert, sehr nah an der **Oberfläche**, und daß auch die **Wechselwirkung**, die von der **Oberfläche** mit der **Umgebung** stattfindet, berücksichtigt wird. Das sind nämlich alles Einflüsse, die nachher eingehen in die Schädigung. Also zuerst einmal muß erfaßt werden, was an der zu untersuchenden Stelle passiert. Sie sagten vorher, "man kann ja dann hergehen und in 10 Meter Höhe messen", und das, glaube ich, ist eine Generalisierung, die man nicht machen sollte. Es muß zunächst einmal das Objekt als solches betrachtet werden, bevor man sagen kann, daß es richtig ist, daß wir jetzt in 10 Meter Höhe gehen. Wir müssen verschiedene Stellen aussuchen, denn 20 Meter oder ein Stückchen weiter, zwei Meter weiter rechts, sieht es ja ganz anders aus. Also, was passiert hier? Da spielt ja nicht nur das Gesamtklima mit, sondern auch die ganze Umgebung. Welche **Gebäude** stehen in der **Nähe**? Wie wird der **Wind** dadurch abgeleitet? Wie kommt **Schlagregen** darauf? Also, das glaube ich, ist ganz wichtig, daß das mit betrachtet werden muß. Zur Probenahme und den Nachweisverfahren kommen wir heute mittag vielleicht. Mit der Probenahme fällt mir noch etwas zu dieser Richtlinie ein. Es kam ein Einspruch von einem Materialprüfamt, wo es hieß, also so geht das nicht, wie Ihr das vorschlagt. Ihr müßt euch an die vorgegebenen **Normen** halten und das bedeutet, wenn zum Beispiel ein **Festigkeitsversuch** durchgeführt wird, dann muß eine bestimmte **Größe der Probe** genommen werden. Das ist alles recht und schön, aber ich kann zum Beispiel nicht von Ihrer Amazone das Bein absägen, damit ich die Abmessung der Probegröße kriege, also das muß ganz klar berücksichtigt werden. Es hat keinen Sinn, daß ich eine Probenahme mache, und das Objekt ist damit nicht mehr vorhanden.

---

### Dr. Prinz:

---

Für die nachfolgenden Forscher vor allem. Fragen dazu? Dann können wir weitergehen zu Herrn Professor Lucke.

---

### Prof. Lucke:

---

Ich möchte mich den **künstlichen Gesteinen** zuwenden. Nach meiner Überzeugung ist die distanzierte Haltung zur Untersuchung von Objekten im natürlichen Umfeld nicht gerechtfertigt. Viele der Fragen, die hier aufgeworfen wurden, z.B. zur Rolle des Mikroklimas, sind so wichtig, daß ich die Frage stelle: Können wir diese Probleme allein durch die Auslagerung von Exponaten oder im Labor aufklären? Müssen wir nicht die **Mikroklimaproblematik**, so schwierig es auch ist, **meßtechnisch** an Objekten zu erfassen versuchen?

Letztendlich ist es doch für uns wichtig, daß wir nachweisen: es gibt an einem Bauwerk bestimmte Bereiche, in denen die Schädigungen besonders groß sind. Dort liegen auch die kritischsten Bedingungen vor. Ich befürworte **Untersuchungen an Objekten im natürlichen Umfeld** und gehe davon aus, daß es im Labor oder beim Auslagern besonders der **Zeitfaktor** ist, der uns bei der Interpretation von Ergebnissen Schwierigkeiten bereitet. Wir versuchen bei vielen Prozessen die Schadstoffkonzentrationen zu erhöhen, um damit eine **Zeitraffung** zu erreichen. Die Konsequenzen, die sich daraus ergeben, brauche ich in diesem Kreis nicht zu erläutern. Wir haben dann zwar einen größeren Effekt, eine **Übertragbarkeit** auf die natürlichen Bedingungen ist aber nicht ohne weiteres gegeben. Im Falle einer Probenauslagerung muß man in der Regel viele Jahre warten, um deutliche Veränderungen nachzuweisen. Für manche mineralischen Baustoffe ist allerdings bedeutungsvoll, daß bestimmte Prozesse bei zement- oder kalkgebundenen Materialien unter dem Einfluß von Immissionen verhältnismäßig schnell ablaufen. Bei **Natursteinen** dagegen, die fachgerecht im Steinbruch gewonnen und verbaut wurden, ist bei allen Fortschritten in der Untersuchungsmethodik ein **langer Zeitraum** erforderlich, um eine Aussage zu bekommen, in welcher Weise und in welchem Umfang Immissionen tatsächlich eine Zerstörung des Gesteins hervorrufen.

Bei den künstlichen Gesteinen haben wir die Möglichkeit, den Ausgangszustand weitgehend zu charakterisieren. In jedem Fall muß man wissen, welche Schadstoffbelastung auf die Objekte wirksam

geworden ist. Es ist jedoch nur ein grobes Raster, was dazu in den neuen Bundesländern vorliegt. Ich habe nur in Einzelfällen exakte Unterlagen über die wirksamen **Schadstoffkonzentrationen**. Auch die **meteorologischen Bedingungen** wie Windrichtung, Windstärke, Niederschläge usw. sind nur als grobes Raster vorhanden. Hinzu kommt die **Mikroklimaproblematik**, die wir auch bei der Anwendung **künstlicher mineralischer Materialien** zu beachten haben, d.h. die speziellen Bedingungen an Gebäudedetails, die natürlich auch Unterschiede in der Schadstoffwirkung hervorrufen, wobei es dort eben nicht nur - das hatten wir ja gestern schon angesprochen - die Einflüsse der Immissionen sind, sondern Sie haben bei jedem Baustoff, auch bei jedem natürlichen Gestein, den Prozeß der Verwitterung, der z.B. durch Feuchtigkeit und Frost-Tauwechsel hervorgerufen wird und an verschiedenen Bauteilen deutliche Unterschiede aufweisen kann. Wenn Sie ein Bauwerk betrachten, dann müssen Sie allerdings auch die jeweiligen bauphysikalischen Bedingungen berücksichtigen, d.h. Sie benötigen eine Analyse des thermisch-hygrischen Verhaltens, z.B. einer Wand. So müssen Sie z.B. feststellen, wo die Quelle für die Zuführung von Feuchtigkeit ist.

Wir können bei den Anwendungsfällen der künstlichen mineralischen Baustoffe exakt bestimmen und aus der Kenntnis des Zeitpunktes der Errichtung des Bauwerkes oder der Anwendung eines Baustoffes ableiten, welche **Veränderungen chemischer und physikalischer Art** in Abhängigkeit von der Zeit eingetreten sind. Wir haben die Möglichkeit, diese Veränderungen mit modernen Methoden zu untersuchen und nachzuweisen, welche **Reaktionen** unter der Wirkung von Luftschadstoffen stattgefunden haben, so daß man in vielen Fällen weiß, was in den jeweiligen Stoffsystemen vorgegangen ist, z.B. in einem Putz, einem Beton oder einem Asbestzement. Wie kommen aber die unterschiedlichsten Schädigungsgrade zustande? Sie haben z.B. in Weimar **Putze** unter einer langjährigen hohen aggressiven Belastung, die bereits in den 30er Jahren hergestellt wurden. Sie waren immerhin nahezu 60 Jahre der zunehmenden Schadstoffbelastung ausgesetzt. An diesen Putzen sind **keine sichtbaren Veränderungen** festzustellen. Man kann diese Beispiele fortsetzen. Die Autobahnen weisen zwar Schäden auf, aber an der Betonsubstanz hat sich eigentlich nichts geändert. Sie ist erhalten geblieben, obwohl dort sehr starke Immissionswirkungen z.B. im Raum Halle oder Raum Bitterfeld wirksam geworden sind. Sie haben alte Autobahnbrücken aus den 30er Jahren, die ebenfalls dieser hohen Belastung ausgesetzt sind, an denen finden Sie ebenfalls keine Schäden durch Luftschadstoffe. Wir sollten uns eigentlich nicht nur für Beispiele interessieren, wo ein Bauwerk be-

sonders "attraktive" Schäden aufweist, sondern auch für die, bei denen keine Schäden festzustellen sind. Das ist eine Fragestellung, die man für die Baustoffe und ihre Untersuchung mit in Betracht ziehen muß.

Zusammengefaßt: Wir müssen differenzieren zwischen der **Natursteinproblematik** und den **künstlichen Gesteinen**, die eine Spezifik aufweisen, die auch eine spezielle Untersuchungsmethodik erfordert. Dankeschön.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ja, vielen Dank, Herr Lucke. Das gibt mir einen Anlaß, mal wieder eine provozierende Frage zu stellen. Es wurde, ich glaube von Herrn Brüggerhoff schon gesagt, daß ein etwas fragwürdiger Vorteil ja darin besteht, daß bei Ihnen in den **neuen Bundesländern** wenig Maßnahmen zur Minderung der Immissionsbelastung in der Vergangenheit erfolgt sind. Wäre es daher nicht denkbar, daß man von einer **Vielzahl profaner Bauten**, sprich Wohnhäuser, vielleicht aus der Gründerzeit, um das auch noch irgendwie zeitlich zuzuordnen, **Putzproben** nimmt, bevor jetzt die Restaurierer darüber herfallen. Vielleicht könnte man die Putzproben erst einmal sicherstellen und dann erst später gezielt weiter untersuchen. Die Hauptsache wäre somit zunächst einmal, von möglichst vielen Stellen, von möglichst vielen Gebäuden unter sonst immer gleichen Voraussetzungen, **Proben** erst einmal **sicherzustellen**. Sie haben ja doch auch in dem Gebiet der ehemaligen DDR die **unterschiedlichste Immissionsbelastung**. Daher könnte dann in Ruhe anschließend untersucht werden, wie die Luftverunreinigungen eingewirkt haben, von mir aus einschließlich der Mikroorganismen. Also bewußt provokativ jetzt hier gleichzeitig die Frage an die gesamte Gemeinde: Wäre so etwas sinnvoll oder, ich stelle es hier wieder zur Diskussion, sinnlos bzw völlig sinnlos oder gibt es da irgendwo zwischendurch noch Beurteilungsmaßstäbe?

---

**Prof. Lucke:**

---

Wir machen das ohnehin. Die Untersuchungen haben im vergangenen Jahr begonnen. Die ehemalige DDR hatte sich bereit erklärt, im Rahmen der ECE **Untersuchungen** hinsichtlich der **Wirkung von Stickoxiden auf Baustoffe** durchzuführen. Die Aufgabe wurde unserem Institut übertragen. Dann kam die Wende, so daß sie nicht weitergeführt werden konnte. Ich habe mit Minister Töpfer Ver-

---

bindung aufgenommen und bezüglich der Weiterführung der Arbeiten eine positive Antwort bekommen. Es werden natürlich durch die Veränderungen in der Industrie der ehemaligen DDR auch Veränderungen in der Umweltbelastung eintreten, so daß wir jetzt erst einmal die Proben sichern möchten.

---

**Dr. Prinz:**

---

Also, mit großem Bohrer, so war jetzt die Vorstellung, heranzugehen an möglichst vielen Stellen, es können ja hundert oder ein paar hundert sein, und die erst einmal zu sichern und dann später systematisch zu untersuchen. Sie wollten sich dazu melden, Herr Eckhardt.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Ja. Das ist eine sinnvolle Fragestellung, daß man, weil die Untersuchungskapazität meistens dagegensteht, dann die Dinge erst einmal für die Untersuchung ohne weitere Veränderungen aufbewahrt. Für Mikroorganismen ist das allerdings ein Problem, was nicht machbar ist. Wir haben die Forderung, daß die Proben noch möglichst am selben Tage aufbereitet werden für die Untersuchungen und sobald wir lebende Organismen untersuchen wollen, weil sich Widerstandsfähigkeit gegen den Austrocknungseffekt, der meistens ja damit verbunden ist, unterschiedlich stark auswirkt. Es gibt Mikroorganismen, die sich über Dauerformen über lange Jahre halten können auch im lufttrockenen Zustand, und die könnte man dann dabei haben. Man würde sie nachher dann als alleinige Mikroorganismen analysieren und das wäre ein falscher Rückschluß. Es gibt Mikroorganismen, man könnte das zum Beispiel auch überlegen, die tiefgefroren vielleicht überleben, und die man so über die Zeit bringen kann. Es gibt einige, die halten das aus, einige halten das überhaupt nicht aus und gehen dabei auch zugrund. So ist das für die Mikrobiologie leider nicht machbar.

---

**Herr Herkendell:**

---

Herr Professor Lucke, ich hatte den Eindruck gewonnen, daß Sie mit dem Thema etwas Probleme hatten. Daher die abschließende und vielleicht auch etwas provozierende Frage: Sehen Sie den Faktor Luftverunreinigungen als ursächlichen Faktor oder als Störvariable im Gesamtgeschehen?

---

**Prof. Lucke:**

---

Das ist nicht ganz einfach zu beantworten. Ich habe etwas Schwierigkeiten, weil bei der Situation der ehemaligen DDR die Frage nach der mikrobiologischen Wirkung eine Detailproblematik darstellt. Wir haben auf der einen Seite die hohe Belastung der Luft mit Schadstoffen und auf der anderen Seite die großen Bauschäden. Das ist eine eindeutige Ursache-Wirkung-Beziehung. Ob hohe SO<sub>2</sub>-Gehalte in der Luft über eine Zwischenphase mikrobiologischer Vorgänge wirksam werden, ist eine wissenschaftlich sehr interessante Fragestellung, aber für die Praxis nur von sekundärer Bedeutung. Hohe Calziumsulfatkonzentrationen in Baustoffen haben ihren Ursprung in Luftschadstoffen, wenn das Ausgangsmaterial sulfatfrei war. Sie können die Verteilung der Sulfate im Baustoff und ihre Umsetzung mit Zementbestandteilen ohne weiteres nachweisen.

Unsere Diskussionen gehen jetzt vorrangig in die Richtung: Werden wir in Zukunft eine Verbesserung der Luft bzw. eine Verringerung der Luftschadstoffe bekommen, und welche Luftschadstoffgehalte sind dann für die verschiedenen Baustoffe als Grenzwerte zu betrachten, bei denen keine Schäden auftreten. Gegenwärtig ist es noch so, daß man bei den critical levels die biologische Wirksamkeit (Wirkung auf Pflanzen und Menschen) auch für die unbelebte Natur, d.h. auch für die Baustoffe zugrunde legt. Das ist sicherlich nicht erforderlich. Ein Putz oder ein Beton verkräftet mehr als ein Mensch oder eine Pflanze. Die Frage ist: Was soll ein Grenzwert zum Ausdruck bringen? Dabei ist zu berücksichtigen, daß wir es ja nicht nur mit SO<sub>2</sub> zu tun haben, sondern gleichzeitig auch noch Stickoxide und andere Luftschadstoffe in geringeren Konzentrationen einwirken. Für mich ist noch nicht klar, ob daraus ein Additionseffekt resultiert. Die gleichzeitige Einwirkung von Schadstoffen der Luft auf Baustoffe erscheint mir noch ein offenes Gebiet zu sein. Ich sehe eine Möglichkeit, dieses Problem durch Laboruntersuchungen zu klären.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Meine Damen und Herren, ich werde mich im Sprechenden üben, weil ich die Gedanken noch gar nicht einmal geistig formuliert habe, deswegen, wenn ich mich verspreche oder so, schreien Sie laut dazwischen. Ich versuche, die Brücken zu schlagen zwischen dem, was hier besprochen wurde und Ihrem zentralen Anliegen, das ist, den

Einfluß der Immission gleich sichtbar zu machen. Und da kommen wir um die von Herrn Marfels erwähnten physikalischen Methoden, ich schließe einmal frech die Mikroskopie mit ein, einfach nicht herum, weil diese Vorgänge sich in so kleinen Bereichen abspielen, daß wir diese Feinheiten der Methoden brauchen. Ich habe gegen den Altbestand unserer Schäden diesen Vorbehalt, daß man den **Prozeß des Alterns** nicht im Altersheim allein erforschen kann, sondern sehen muß, wie der Säugling zu wachsen aufhört, und wann der Organismus umschaltet auf Älterwerden und Altwerden. Und das ist nur in Teil B zu realisieren, ohne den wir Teil A gar nicht verstehen können. Und für den Teil A ist die einzige Möglichkeit meiner Ansicht nach, um den Einfluß der Immission herauszubekommen, durch einen engen **zeitlichen Vergleich** von nacheinander genommenen **Proben**, die aber dann **unter identischen Bedingungen** verglichen werden müssen. Worauf ich hinaus möchte, ist, wir brauchen eine **Probenbank**. Und da ich als Mikroskopiker in kleinen Dimensionen denke und auch kleine Schritte bevorzuge und kleine Gedanken entwickle, möchte ich sagen, man sollte parallel zu allem, was sonst noch an Ideen geboren wird, eine Probenbank anlegen aus diesen **typischen Varianten von Schadensfällen** aus allen Gebieten und die so **konservieren**, daß man zumindest für die mikroskopischen und auch für die vorhin angesprochenen anderen Methoden eine optimale Speicherung hat. Meine Frage geht eigentlich an die vertretenen Biologen. Man konnte sich in den USA, bis die Firma pleite gemacht hat, künstlich einschläfern und in Stickstoff legen lassen in der Hoffnung, irgendwann einmal wieder aufgeweckt zu werden, was natürlich sehr problematisch ist. Aber die Frage ist, wenn man eingefrorenen Tiersamen nach USA exportiert, um die Rinderzucht zu optimieren, dann müßte es doch auch möglich sein, die **Biologie so einzufrieren**, daß man nicht nur auf die Mikroskopie angewiesen ist.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, da war auch ein neuer Gedanke mit der Probenbank. Bitte.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Zum Beispiel der Vergleich Kölner Dom zur Sommerzeit schwarz und im Winter grün, und das Darstellen des Bewuchses von Algen und der Staub- und Gipskonzentration vorher und nachher,

das ist so ein Schritt in die Richtung. Denken Sie bitte auch immer daran, daß die **alte Schicht nicht ganz inaktiv** geworden ist und jetzt so bleibt, wie sie ist. Sie wird im Regen wieder weich, Gips wird wieder rausgewaschen. Die neuen Produkte werden wieder eingearbeitet, von unten passiert auch was, also es ist ein ständiges Gehen und Kommen und wenn wir diese **Dynamik** festhalten wollen, müßten wir immer jeweils den **Ist-Zustand** so **fixieren**, daß wir ihn in fünf oder in zehn Jahren wirklich vollständig vergleichen können.

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Also, zu den ersten Gedanken von Herrn Blaschke noch einmal zurück. Die Proben sind nach dem Auftauen nicht mehr so wie Sie sie eingefroren haben. Man bekommt immer eine Veränderung. Einige Mikroorganismen überleben das Einfrieren, andere nicht. Es wird nicht so gehen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Herr Dr. Fiebrich, Sie sind inzwischen zu uns gestoßen. Sie haben jetzt mitverfolgt, wie das Spiel hier läuft. Also, es geht im Augenblick darum, Aussagen zu machen zu der Frage, welche **spezifischen systematischen Untersuchungen im Freiland** möglich sind und zwar an vorhandenen Objekten am natürlichen Standort. Wenn Sie da vielleicht etwas zu sagen könnten oder wollen oder auch nicht wollen?

---

**Dr. Fiebrich**

---

Ist natürlich ein bißchen schwierig für einen, der in die Diskussion reinkommt, was ich selbst verschuldet habe teilweise. Deshalb bitte ich auch um Nachsicht, daß ich vielleicht Dinge und Selbstverständlichkeiten wiederhole, aber ich mag etwas Grundsätzliches sagen, wie wir an solche Probleme herangehen. Es ist ja sehr wichtig, bevor man überhaupt eine Diagnose stellt, zu untersuchen, welche **Mechanismen** zu Schadenserscheinungsformen geführt haben, daß man eine **sorgfältige Bestandsaufnahme** macht und zu dieser Bestandsaufnahme gehört die Aufnahme einer Vielzahl von Merkmalen. Professor Blaschke führte ja gerade an, daß durch die Mikroskopie vor Ort, Sie haben ja im Rahmen eines anderen Projektes auch Labormobile, daß also damit diese Imperfektionen, indem ich den Probentransport,

---

Einfrieren usw. passieren kann, einfach ausgeschaltet werden. Natürlich ist die **visuelle Aufnahme** sehr entscheidend. Man muß auch, um eine vollständige, umfassende Diagnose machen zu können, an die **Veränderung mechanischer Eigenschaften** denken. Also zum Beispiel, ob sich durch oder im Laufe der Zeit oder im Tiefenprofil beispielsweise Veränderungen eingestellt haben in der **Festigkeit**, der **Härte**, und das ist natürlich schon vor Ort relativ schwierig, möglichst zerstörungsfrei oder zerstörungsarm Aussagen über derartige Parameter zu machen. Auch hierzu ist ja im Rahmen eines BMFT-Projektes eine Teilaufgabe in unserem Haus bearbeitet, teilbearbeitet worden, bei der man durch eine **besondere Probenahmetechnik** des Bohrens durch Widerstandsmessungen des Drehmomentes Informationen erlangt über mechanische Eigenschaften im Tiefenprofil. Was ich hier nur sagen wollte, ich weiß nicht, ob das angesprochen worden ist, aber die **mechanischen Eigenschaften** spielen eine sehr entscheidende Rolle, um eine **Diagnose** zu stellen und insbesondere eine umfassende sorgfältige Instandsetzungsmaßnahme. Man muß ja wissen, welchen Effekt denn eine bestimmte äußere Einwirkung auf die Tragfähigkeit und Festigkeit des Baustoffs hat.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ja, vielen Dank. Irgendwelche Fragen dazu? Dies ist nicht der Fall. Dann bilden Sie, Herr Pöhlmann, den krönenden Abschluß.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

**Systematische Untersuchungen** zum Einfluß von Immissionen auf **Bronzen** sind auf jeden Fall auch sehr sinnvoll und man müßte dann eben auch wieder Objekte suchen, die in unterschiedlichen Belastungsgebieten liegen. Es wäre durchaus auch möglich, Objekte aus der Jahrhundertwende zu wählen. Man hätte dann sogar die Möglichkeit einer **zeitlichen Staffelung**. Diese Denkmäler sind in der Regel zwischen 1880 und vielleicht 1920 gegossen und aufgestellt worden. Interessant und sehr wichtig ist natürlich die Vorgeschichte des Objektes, und hier haben wir auch oft das Problem, was Herr Brüggerhoff schon ansprach, daß eventuelle **Reinigungen** oft nur ganz vage dokumentiert sind. Man weiß vielleicht, daß eine Restaurierung oder Konservierung durchgeführt wurde, aber wenn man dann nachfragt, was gemacht wurde, weiß kein Mensch mehr Bescheid. Auch wichtig wären zum Beispiel die Dokumentationen der Standortwechsel, falls das Denkmal umgestellt

wurde. Und dann natürlich - und dann wird es auch wieder schwierig -, die **Immissions- und Klimasituation früherer Zeiten**. Es ist auch die Frage, in welchem Zeitraum eigentlich die Hauptschädigung stattgefunden hat. Interessant wären dann auch noch **Langzeitbeobachtungen** von unserem jetzigen Standpunkt aus, wie sich die Korrosion weiterentwickelt, aber das sind natürlich dann sehr lange Vorgänge. Bronze hat eine Korrosionsrate, das weiß man aus Expositionsversuchen, von 1-2  $\mu\text{m}/\text{Jahr}$ , d.h. die **Korrosion** schreitet **sehr langsam** voran. Also müßte man wahrscheinlich eine Langzeitbeobachtung durchaus in einem Rahmen von 20-30 Jahren ansetzen, damit man Effekte erkennen kann. Bei einer Exposition, da kommen wir aber später darauf, werden es wahrscheinlich auch sehr, sehr lange Zeiträume. Für unsere Fragestellung wäre es auch sehr wichtig, zum Beispiel den Einfluß einzelner Schadgaskomponenten zu ermitteln. Wir wissen zum Beispiel noch wenig über den Einfluß von **Stickoxiden** auf die **Bronzekorrosion**. Eventuell hängt es auch von der **Legierung** und vom **Gefüge** ab. Und da wären auch systematische Untersuchungen sehr sinnvoll. Man könnte vielleicht Schadensbilder mit der Legierung korrelieren und vielleicht zu neuen Erkenntnissen kommen. Einige Denkmäler zum Beispiel könnten besonders gefährdet sein, da sie aus einer ungünstigen Legierung bestehen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, Herr Pöhlmann. Also bei Natursteinen kann ich mir vorstellen, daß man mit gutem Zureden da irgendwelche Proben noch bekommt und die dann mit nach Hause nehmen und getrost im Labor untersuchen kann. Mit gutem Zureden, habe ich gesagt. Es werden an Bauwerken bekanntermaßen Steine auch schon einmal ausgetauscht. Bei Bronzefiguren ist dies wahrscheinlich kaum der Fall. Da hilft auch gutes Zureden nicht. Da müßte also wirklich die **Untersuchung vor Ort** durchgeführt werden.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Nein, wir haben eine Technik entwickelt, mit der wir **Mikrobohrkerne** entnehmen können.

---

**Dr. Prinz:**

---

Da hinterlassen Sie dann ein Loch ...



---

**Dr. Pöhlmann:**

---

...aber nur nachts, von 4-5 mm Durchmesser. Diese Probenahmemethode ist selbstverständlich **keine Routinemethode** und auf weniger wertvolle Objekte beschränkt. An Figuren wie dem gezeigten Putto würden nie Mikroböhrkerne entnommen. Zudem müßten Fragestellungen auftreten, die z.B. eine Gefügeanalyse erfordern. Im Normalfall sind wir auf kleinflächige **Schabeproben** von Patina angewiesen. Nützliche Informationen über die Dicke von Patinaschichten erhalten wir durch Wirbelstrom-Schichtdickenmessung. Diese Methode ist zerstörungsfrei und vor Ort durchführbar. Wird aber ein Denkmal konserviert, können wir größere Schabeproben rasterartig vom Objekt entnehmen und im Labor untersuchen. Dies ermöglicht uns eine bessere Übersicht über die Korrosionsprodukte.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Als Sie beschrieben, daß über die Geschichte der meisten Denkmäler nichts bekannt ist, kam mir der Gedanke, daß es vielleicht sinnvoll wäre, bei solchen bedeutsamen Objekten so eine Art Personalausweis oder **Begleitschein** anzulegen, also einen Ausweis, in dem alles, was jemals mit einem Standbild oder ähnlichem Werk passiert, eingetragen werden und nachvollzogen werden kann. Das nur als Anregung für die Arbeit an zukünftigen Objekten, die dann zu begutachten sein werden.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Wenn wir zu Gutachten gerufen werden, versuchen wir natürlich auch, viel über die **Vorgeschichte** des Denkmals herauszubekommen. Bei der Amazone, die ich gestern gezeigt hatte, besteht z.B. das Problem, daß man nicht genau weiß, wann sie aufgestellt wurde. Man weiß ungefähr, daß sie, ich glaube um 1933 gegossen wurde, aber wann sie aufgestellt wurde, weiß man nicht. Wir wissen nur, daß es von dieser Bronzeplastik 3 Exemplare gab. Eines hat z.B. in Köln gestanden, die Figur ist aber im Krieg untergegangen. Das wäre natürlich heute, mit dem jetzigen Wissen, ein sehr interessantes Objekt gewesen.

---

**Dr. Marfels:**

---

Was Sie eben empfohlen haben, steht auch in der **VDI-Richtlinie 3798**, in der eine ganze Menge Vorschläge gemacht werden, was man tun muß, bevor man an so ein Objekt herangeht. Wenn die Untersuchung fertig ist, muß alles lückenlos dokumentiert werden, so daß man praktisch für jedes Objekt eine Art Paß erhält.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Ganz kleine Frage. Wenn Sie der glückliche Probenzieher waren und das ganze Profil sehen, haben Sie so etwas wie bei den Kupferlagerstätten, ist die Oxidations- und Reduktionszone gegeben, d.h., gibt es **sekundäre metallische Kupferausscheidungen** in irgendeiner Zone über den Korrosionsschichten oder nicht. Haben Sie so etwas einmal festgestellt?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Mir ist nicht bekannt, daß wir solches beobachtet hätten. Untersuchungen an Mikroböhrkernen habe ich selber nicht durchgeführt, aber in den Schliffbildern des Kollegen erkennt man Kupferdendriten, die aus dem Metall herauswachsen. Das wurde also mehr in die Richtung interpretiert, daß das Material außenherum abgetragen wurde, aber daß noch einmal metallisches Kupfer direkt in der Korrosionsschicht, abgelöst von der metallischen Oberfläche, vorkommt, ist mir nicht bekannt.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Lagerstätten von gediegenem Kupfer zum Beispiel entstehen durch Reduktion von Kupfererzen, sie sind nicht primär gebildet.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Nein, mir ist nicht bekannt, daß so etwas je in Kupfer- oder Bronzeplastiken beobachtet wurde.

---

**Dr. Prinz:**

---

Wir haben uns heute vormittag mit den "Greisen" befaßt, also mit der Frage, in welcher Art wir die Untersuchung an den hundert, vielleicht auch tausend Jahre alten Kunstdenkmälern durchführen. Jetzt steht die Frage an, was wir mit den "jungfräulichen" Proben machen, die wir im Rahmen einer Wirkungserhebung exponieren, die also noch unbeschadet sind. Diese Untersuchungsstrategie sieht also vor, daß wir **Objekte an natürlichen Standorten aussetzen** und betrachten, statt mit den dort vorhandenen Objekten vorlieb zu nehmen. Das ist sicherlich auch eine genauso interessante Frage wie die, die wir heute morgen behandelt haben. Ich würde diesmal vorschlagen, Herr Brüggerhoff, daß wir einmal von rechts beginnen zur Abwechslung, damit die linksrotierende Abfrage nicht Routine wird, so daß wir in diesem Fall erst einmal den Herrn Professor Blaschke fragen.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Ja, Sprechdenken ist ja ganz gut, weil es unter Umständen zu neuen Gedanken führt, auch durch Versprecher, aber mein Anliegen ist eigentlich in einem Satz zu sagen. Wenn Sie irgendwelche **Stoffsammler**, ganz egal, ob das nun Natursteinflächen sind oder Kunststoff-Flächen oder sonst irgendetwas, bei allem, was Sie aushängen und auslagern, sollten Sie berücksichtigen, daß man das auch vorteilhaft **mikroskopisch sichtbar** machen kann. Also, wenn Sie **passiv sammeln**, so wie das Herr Danneker im großen Stile macht, irgendwo Sammler aushängen, dann sollte man überlegen, ob man nicht kleine Proben dazu hängt, die es dem Mikroskopiker nachher erleichtern, die Schadensprozesse sichtbar zu machen. Zum Beispiel kleine **Kalkspatkristalle** als Repräsentant des Bindemittels der meisten karbonatisch gebundenen Gesteine. Man könnte auch kleine spezielle **Putzwürfel** reinhängen oder andere Körper. Was aber wichtig ist, und das wäre die zweite Forderung, berücksichtigen Sie bei allem, wenn Sie die Biologie nicht ausschalten wollen, die **ausreichende Feuchte**. Und das gilt eigentlich auch für die Chemie. Je mehr Feuchte da ist, desto größer ist der Umsatz, desto schneller kann alles stattfinden. Man weicht dann vielleicht von der Praxis ein bißchen ab, aber wir bekommen relativ schnell die Änderung, die wir mit diesen verfeinerten Methoden oder der Mikroskopie auch wirklich erfassen können. Also nur zwei Punkte. Mikroskopiegerechte oder - erweitert für die anderen Beprobungsverfahren - **geeignete Objekte** verwenden

oder **Auslagerungsproben** und das zweite: Mit großer Akribie den **Feuchteinfluß** messen. Zum Beispiel ein Passivsammler, der nur die Diffusionswerte aufnimmt, der wird zwar SO<sub>2</sub> vielleicht ganz gut repräsentieren, aber dadurch, daß sich dann kein Bioschleim dort bilden kann, wird er die Feststoffteilchen und die Aerosole und alles das, was noch an Feststoffteilchen außen dranhängt, nicht berücksichtigen können. Ich möchte zum Beispiel nur daran denken, ich habe mit Kraftwerkstäuben vor zwanzig Jahren angefangen und bin dahinter gekommen, daß man jetzt eine Maßnahme ergriffen hat, die unter Umständen verheerende Wirkung für unsere Denkmäler hat, die wir auch in diesen Proben schon erfassen müssen. Man entstickt die Kraftwerke. Im Prinzip ein sehr löblicher Eingriff, aber in der Auswirkung unter Umständen fatal, und zwar wie folgt: Durch die **Verbesserung der Elektrofilter**, die in den westlichen Ländern bedeutend besser sind und vielseitiger als die in den neuen Bundesländern, hat man einen **Nebeneffekt** erreicht, den man gar nicht wollte. Diese Filter arbeiten oberhalb der Taupunkttemperatur der Schwefelsäure, sonst verstopfen ja die Filter. Und wir fangen aus dem Rauchgas die Staubteilchen zu 99 Prozent heraus. Das, was dann noch in die Luft geht, ist der sogenannte **Reingasstaub**, das sind die kleinen Teilchen, auf denen die **Sulfate, Phosphate und Ammoniumsalze** Platz nehmen. Von dort werden sie auch **weit weggetragen**. Früher konnte ein Großteil dieser Stoffe auf den großen Teilchen kondensieren und fiel außerhalb des Kamins auf das Werksgelände eines Kraftwerks. Das hat zwar dort den Boden belastet, aber in der weiteren Umgebung passierte nichts. Jetzt wird alles weit weggetragen. Neuerdings kommt die Entstickung hinzu mit einem Überschuß von **Ammoniak**. Wenn man den Ammoniakschlupf nicht dauernd unter Kontrolle hat, können Reingasstäube mit einer wesentlich erhöhten Fracht von Ammoniumsalzen belastet sein. Das heißt, wir liefern jetzt über diese Feststoffteilchen dem Kölner Dom fertige Ammoniumsalze für die Nitrifizierer und freuen uns, daß wir den Stickstoffgehalt in der Luft, sagen wir um ein Drittel oder die Hälfte, gesenkt haben.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, Herr Blaschke. Zwei Punkte scheinen mir bemerkenswert: Zunächst einmal der Punkt, daß man bei exponierten Objekten vielleicht so eine Art **Beschleuniger** mitliefert. Dies könnte so aussehen, daß man, statt vielleicht nur Steinplättchen zu exponieren, dafür sorgt, daß diese Steinplättchen dauernd oder intermittierend benetzt werden. Dies wäre mit relativ einfachen



---

Mitteln vielleicht noch zu bewerkstelligen. Ähnlich wie wir beim IRMA-Gerät ja auch immer eine benetzte Hülse haben, um eine optimale Senkenfunktion sicherzustellen, so könnte man auch bei Materialien einen **Zeitraffereffekt** vornehmen, indem man sie **benetzt**. Der zweite Gesichtspunkt ist der, daß man sich um die **Charakterisierung der Immissionssituation** mehr kümmert als bislang, und das nicht nur unter dem Gesichtspunkt der gasförmigen Luftverunreinigungen, die man bisher vorwiegend betrachtet hat, also sprich SO<sub>2</sub>, sondern auch der **Salze** und **Aerosole**. Da scheint mir eben der Hinweis doch bemerkenswert, daß durch einen Fortschritt der Immission auf der einen Seite unter Umständen auch wieder ein Rückschritt auf der anderen Seite geschieht, nach dem Motto, die Summe aller Glückszustände im Leben ist konstant. Da, wo man einen Vorteil hat, hat man auch einen Nachteil und umgekehrt. Das sind, meine ich, zwei interessante Punkte, die Sie geäußert haben. Fragen dazu? Herr Herkendell.

---

#### **Herr Herkendell:**

---

Zunächst eine kurze Anmerkung zu Ihnen. Ich glaube, es ist auch mehr eine Frage des Fortschritts der **Meßtechnik**. Saure Aerosole hat man vor 10 Jahren nicht messen können oder nicht in der Form und Qualität, wie man sie heute messen kann. Und heute hat man auch noch Schwierigkeiten, sie zu messen. Aber nochmal konkret zu Ihren Fragen der Begleitung der Messungen von biologischen und klimatischen Randbedingungen. Ich habe wieder Ihr Dia von gestern vor Augen, mit den unterschiedlichen Einbohrtiefen. Gibt es Erfahrungswerte, ab wann, ab welcher **Feuchtigkeit**, überhaupt mit einer **Besiedelung** auch in tieferen Schichten zu rechnen ist? Wenn ja, gibt es da auch Methoden, diese zu überprüfen?

---

#### **Prof. Blaschke:**

---

Das betrifft hauptsächlich den **Feuchtebedarf** und dazu hat Herr Bock schon einmal Äußerungen gemacht, aber auch gleich wieder zu bedenken gegeben, daß er auf Ergebnisse gestoßen ist, die, Herr Wilimzig ist so freundlich und unterbricht mich oder Herr Eckhardt und auch Herr Warscheid, wenn ich jetzt irgend etwas Falsches behaupte. Es ist aber festgestellt worden, daß die normalerweise geforderte Feuchtigkeit für eine rege biologische Entfaltung in den Gesteinen häufig nicht gegeben ist und trotzdem **hohe Aktivitäten** gemessen wur-

den. Ist das richtig? Oder haben Sie dazu etwas Besseres zu sagen? Es gibt jedenfalls darüber schon Untersuchungen, kann ich nicht viel sagen, ab welchem Feuchtegehalt Bakterien sich nun entwickeln können und wann nicht, aber das ist Ihre Aufgabe.

---

#### **Dr. Prinz:**

---

Herr Wilimzig, können Sie etwas direkt dazu sagen.

---

#### **Dr. Wilimzig:**

---

Dazu wollte ich sagen: Die **Bakterien** leben in Steinen in **Mikrokolonien**: In diesen **Schleimkapseln** machen sie sich ihren eigenen Feuchtegehalt, der für sie optimal ist, auch wenn rundherum das Gestein trockenfällt. In unserer Simulationskammer haben wir festgestellt, daß nicht der eigentliche Feuchtegehalt des Gesteins wichtig ist für das Wachstum von Nitrifikanten, sondern daß sich ein **Wasserfilm** auf dem **Stein** oder in der **Wachstumszone** befindet. Wenn man sich im Gestein diesen Wasserfilm mit einem Biofilm vorstellt, heißt es, daß **nicht der absolute Feuchtegehalt**, sondern dieses kleine **Mikroklima**, für das Wachstum von Mikroorganismen wichtig ist.

---

#### **Dr. Eckhardt:**

---

Das ist glaube ich, wesentlich, was Herr Wilimzig gerade zum Schluß gesagt hat, dieser **Wasserfilm**, der sich auf den Oberflächen der Kristalle befindet und in den Zwickeln sich auch etwas verstärkt, der bedeutet, daß die Bakterien sich auch an den entsprechenden Stellen an den Oberflächen in diesen Filmen sehr stark entwickeln. Bei der grundsätzlichen Frage nach den absoluten Feuchtigkeitsgehalten ist immer das Problem, zu sagen, Bakterien brauchen prinzipiell höhere Feuchten als es Pilze und Aktinomyzeten brauchen, und wenn man das in relativen Feuchten ausdrückt, dann brauchen die **Bakterien** grundsätzlich **98 bis 100 Prozent Feuchtigkeit**. **Pilze** brauchen zu ihrem Wachstum **80 bis 95 Prozent Feuchtigkeit**; auch zum Auskeimen der Sporen ist eine Feuchtigkeit unterschiedlicher Höhe notwendig, aber auch so bei 80 bis 90 Prozent. Der gefürchtete Hausschwamm kann noch wachsen bei einer Materialfeuchte, die bei 60 Prozent relativer Feuchte angelegt ist. Der wächst auch noch bei 40 Prozent und so sehen Sie, daß die Bandbreite nach der

---

Feuchtigkeit gesehen sehr unterschiedlich sein kann und sich auch im Gestein manchmal an sehr unterschiedlichen Stellen befindet. Durch die Isolation haben Sie direkt an der **Oberfläche geringere Feuchte** als im Gestein drinnen, deswegen war auch gestern davon die Rede, daß die Algen, die noch feuchteempfindlicher sind als Bakterien, sich dann zurückziehen in eine innere Schicht, in einen Horizont, der zwei, drei Millimeter unterhalb der Oberfläche erst sein kann, weil dabei eine bessere Stabilität gegeben ist. Und so kann sich das im Gestein auch bewegen, je nachdem, ob wir es mit einer Nordseite zu tun haben, liegt die ganze Gschichte stärker an der Oberfläche, weil da die **Feuchtigkeitsverhältnisse** besser sind; in Insolationssüdseiten oder Westseiten, wo durch die Windausblasung vielleicht auch eine Austrocknung geschieht, haben wir das Ganze etwas tiefer im Gestein drinnen, und je nach Porosität haben wir dann die Verbindung zum inneren Gesteinsfeuchtegehalt auch noch, wo Nachtransporte kommen. Es ist also auch da wieder punktuell sehr verschieden.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Dazu darf ich noch sagen, nur nebenbei, wir spielen uns ja manchmal solche Bälle zu. Ich würde nicht vom Rückzug der **Algen in tiefe Bereiche** sprechen, sondern sie können dort **überleben** und sich entwickeln, während die außen absterben. Aber die Fortbewegung von Bakterien von Außenzonen nach innen, das meinten Sie damit doch nicht, wahrscheinlich?

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Ich meinte damit auch Aktinomycceten.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Ach so, dann nehme ich alles zurück.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

**Aktinomycceten** wachsen myzelartig und können sich dahin bewegen. Es gibt eine ganze Reihe von **Bakterien**, die sich in den Schleimfilmen bewegen können mit Hilfe von Geißeln, also **Schwimmbewegungen** durchführen können, und die sich damit also auch von einem Ort zum anderen fortbewegen

können. **Pilze** wachsen mit ihren Myzelien in der Tat sehr stark, und wir können das im makroskopischen Bereich an den sogenannten Hexenringen in dem Rasen manchmal beobachten, wo im Zentrum dieses Hexenringes die Insemination, die Impfstelle war, und das Myzel sich dann nach allen Seiten fortbewegt hat über die Zeit hinweg. Es ist eine **Bewegung**, die eben durch Fortwachsen der **Myzelien** stattfindet.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Also fortwachsen, aber nicht, daß eine Zelle, die erst 0,1 Millimeter, jetzt plötzlich 0,3 Millimeter unter der Oberfläche sitzt, sondern das sind Tochterzellen.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Bei Bakterien ja. Ja natürlich. Bei Algen, die ja auch bewegliche Stadien haben, auch.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Und noch einen zweiten Einwand. Wenn Sie vom Wasserfilm reden, gilt das streng nur für die erste Sekunde. Sobald Sie dort biologische Aktivität haben, haben Sie einen, wenn auch sehr wässrigen, **Schleim**. Und das sieht man ganz eindeutig, wenn man mit Mikroküvetten arbeitet und das Leben darin beobachtet. Es bildet sich ein Meniskus, in dem Sie offenbar eine **Anhäufung von Makromolekülen** haben. Der weitere Austrocknungs- und Schwindprozeß ist sehr morphologieabhängig, d.h., mehr Feuchtigkeit diffundiert oben raus. Es bildet sich bald eine relativ stabile Haut über einem sehr wässrigen Schleim, sowohl in Poren als auch unter Staubteilchen. Der Schleim ist **sehr widerstandsfähig**. Die Makromoleküle an der Oberfläche bilden einen Pelz, der das Leben in dieser wässrigen Schleimschicht über lange Zeit aufrechterhält.

---

**Prof. Lucke:**

---

Ich hatte vorhin schon gesagt, daß ich eigentlich allen Methoden ein Feld einräume. Nach unseren Erfahrungen haben wir bei der **Probenauslagerung** die Möglichkeit, eine **größere Variabilität** in den Eigenschaften vorprogrammieren zu können. Sie

---

können bei Putzen oder Betonen sowohl die **Zusammensetzung** als auch das **Gefüge variabel** gestalten, um damit den Einfluß unterschiedlicher stofflicher Faktoren unter gleichen Belastungsbedingungen nachzuweisen. Das ist eine Methode, die nicht nur beim **Nachweis der Wirkung** von Immissionen angewandt wird, sondern auch bei der Untersuchung anderer natürlicher Wirkungsfaktoren seit Jahrzehnten üblich ist. Dazu gibt es auch bei uns einige interessante Ergebnisse. Wir haben in einem speziellen Fall, bei einem **Porenbeton**, die Probekörper für die Errichtung eines Gebäudes benutzt und damit gleichzeitig mit der **Schadstoffbelastung von außen die bauphysikalischen Bedingungen im Inneren simuliert**. Die Ergebnisse waren sehr aufschlußreich. Ich bin mir im Klaren, das kann man auf Grund des hohen Aufwandes nur in Sonderfällen durchführen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ja, vielen Dank. Wenn man jetzt auf die Idee käme, **Mörtelproben** zum Beispiel zu **exponieren**, wie müßten dann diese Körper aussehen. Haben Sie da irgendwelche Vorstellungen? Welche weiteren Randbedingungen müßte man beachten und welche Möglichkeiten gibt es überhaupt, **Wirkungen am Mörtel** festzustellen? Sind das optische Methoden, sind das physikalische Methoden oder chemische Methoden?

---

**Prof. Lucke:**

---

Ja, Sie können das von Baustoff zu Baustoff sehr unterschiedlich machen. Sie benötigen bei Mörtel nach unserer Auffassung auf alle Fälle eine **Trägersubstanz**, die mit den in der Baupraxis zur Anwendung kommenden Untergründen übereinstimmt. Probekörper nur aus Mörtel herzustellen, würde ich in diesem Fall ablehnen. Sie können **Eigenschaften** wie Haftung, Festigkeit usw. **nach bestimmten Lagerungszeiten** feststellen und chemische Veränderungen und Gefügeveränderungen **nachweisen**, ohne daß sie an der historisch wertvollen Substanz herumkratzen oder bohren müssen. Wir bekommen in Prüfzeiträumen von 5-10 Jahren an unterschiedlichen Standorten wie beispielsweise in Bitterfeld, auf der Insel Rügen und im Thüringer Wald Unterschiede sowohl in den physikalischen und mechanischen Eigenschaften als auch in der chemischen Zusammensetzung, die auf Witterungs- und Immissionseinflüsse zurückzuführen sind.

---

---

**Dr. Prinz:**

---

Gibt es da plastische Beispiele, die Sie als **Untersuchungsparameter** nennen können, die Sie auch verwendet haben?

---

**Prof. Lucke:**

---

Ja, wir haben sie insbesondere für Putze vorliegen. Mit **Polymerzusätzen** erreichen Sie höhere Widerstandfähigkeiten gegenüber Immissionswirkungen, als wenn Sie einen normalen Mörtel der Gruppe 1, d.h. einen Zementkalkputz nehmen, oder Mörtel der Gruppe 3, d.h. reine Zementputze. Ein verstärkender Effekt der Polymerzusätze ist quantitativ nachzuweisen.

---

**Herr Herkendell:**

---

Noch folgende Frage: Wie groß müßte denn eigentlich ein Exponat sein, um den **Einfluß des Frostes** zu eliminieren? Wenn ich mir jetzt zum Beispiel vorstelle, ich würde eine Betonwand mit Mörtel verkleidet von einer Fläche von  $30 \text{ dm}^2$  nehmen und mit einer  $5 \text{ dm}^2$  Betonwand mit Mörtel vergleichen, dann würde der Frosteinfluß auf der kleinen Fläche stärker hervortreten.

---

**Prof. Lucke:**

---

Ich muß sagen, Sie werden das, egal mit welcher Größe, nie übertragen können. Sie können nur eine spezifische Auswirkung an dieser Art von Prüfkörper nachweisen, aber Sie haben damit **keine Übertragbarkeit** auf ein Gebäude insgesamt. Aber das ist das Wesen des Prüfkörpers, muß ich sagen.

---

**Herr Herkendell:**

---

Ergänzend dazu: Sie haben natürlich völlig recht, daß die Übertragbarkeit immer ein Problem ist; dies gilt auch z.B. für den Widerstand eines porenhaltigen mineralischen Baustoffes wie Beton oder Mörtel. Für die Bewertung des Widerstandes dieser Baustoffe gegen Frosteinwirkung, ist die **Porencharakteristik** maßgebend. Und diese Porencharakteristik kann man sehr wohl an einem kleineren

---

---

Prüfkörper simulieren mit entsprechender Tiefenwirkung, so daß Sie eine Information über die **relativen Eigenschaften** des Material erhalten. Diese Information ist durchaus übertragbar auf einen Baustoff mit vergleichbaren Poreneigenschaften.

---

**Prof. Lucke:**

---

Wir sind uns sofort einig, wenn wir das Wort **relativ** dazu sagen. Da stimme ich mit Ihnen überein.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ja, vielen Dank. Noch irgendwelche Fragen? Dies ist nicht der Fall. Dann darf ich das Wort weitergeben an Herrn Dr. Schmitt.

---

**Dr. Schmitt:**

---

Dieses Hearing heißt ja Einwirkungen von Luftverunreinigungen auf Materialien und mein Eindruck ist, daß man, genauso wie in der Richtlinie, sagen könnte, insbesondere auf kulturhistorische Objekte bezogen. Von meiner Sicht aus, von meinem Institut und von meinem Arbeitsgebiet aus, geht es ja viel weiter. Dort werden Materialien berücksichtigt, die dann als sogenannte **Gebrauchsmaterialien** bekannt sind oder als solche, mit denen die Menschen täglich zu tun haben. Ich habe gestern schon erzählt, daß wir **Versuche** gemacht haben mit Kunststoffen, und diese Kunststoffe gehören zu den **Gebrauchsmaterialien**; das sind **Laboruntersuchungen**, und solche **Untersuchungen** müssen nun natürlich auch **draußen** durchgeführt werden, um, wie bis jetzt besprochen, **Rückschlüsse** zu ziehen auf das Material und auf die **Untersuchungsmethoden** und **-parameter**, die wir im **Labor** gemacht haben. Bei solchen **Gebrauchsmaterialien** möchte man ja sehr **schnell ein Ergebnis** haben und nicht erst, wenn das Material sowieso aufgebraucht ist. Deswegen sind in dem Zusammenhang mit solchen Materialien wie **Kunststoffe**, **Gebrauchskunststoffe**, diese **Auslagerungen** an ganz bestimmten Stellen sehr wichtig. Das trifft zum Beispiel auf die zu, die ich gestern genannt habe, wie **Autospoiler** oder **Fensterprofile**. Die Auswahl der Objekte richtet sich da natürlich ganz klar nach dem, was gefragt wird. Zur **Expositionstechnik**: Hier ist es ganz klar, daß man damit an die Stellen geht, die vorhanden sind, zum Beispiel, was gestern genannt wurde, die

Reinluftgebiete, die Belastungsgebiete usw., weil man direkt nichts Neues aufbauen muß, wobei die **Probengröße** so sein muß wie im Labor, daß dann auch die entsprechenden **Versuche** parallel gemacht werden können. Also beispielsweise Herr Fiebrich hat das gesagt, auch **Festigkeitsuntersuchungen**, die nicht nur beim Stein wichtig sind, sondern auch bei allen **technischen Erzeugnissen**. Auch das, was Sie gesagt haben, Herr Lucke, geht schon in die Richtung mit den **Putzen**, das ist ein **Gebrauchsartikel**. In dem Zusammenhang sehe ich diese **exponierten Versuche** als sehr wichtig an. Eben um auch die **Parallelität** zu erhalten zu dem, was ich im **Labor** mache, wo ich ja doch irgendwelche **Verkürzungen** und **Verschärfungen** mit einbringen muß. Wichtig ist dann, daß dort in den **exponierten Stellen** alle **Parameter** genau erfaßt werden, insbesondere das, was ich vorhin als **Mikroklima** genannt habe, also was direkt an der Probe passiert. Es gibt da auch schon **Möglichkeiten**, daß man das etwas **beschleunigt**, indem man diese **Exponatstellen** so auslegt, daß sie sich zum Beispiel immer in Richtung der **möglichst größten Schädigung** ausrichten, ganz automatisch immer in die **Windrichtung** stellen, und so weiter, diese **Möglichkeiten** sind ja alle schon gegeben. Die **Nachweisverfahren** sind praktisch die gleichen, die ich im Labor anwenden muß. Speziell für diese **Gebrauchsartikel** ist es auch ganz wichtig, daß nicht nur **betrachtet** wird, was passiert mit dem Material, sondern auch die **Betrachtung**, wie wirkt dieses Material **rückwirkend** wieder auf die **Umwelt**.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, Herr Schmitt. Ihre Ausführungen bringen mich jetzt auch wieder auf einen anderen Gedanken. In der **Meßtechnik** gibt es ja so Begriffe wie **Nachweisgrenze**, **Empfindlichkeit**, **Reproduzierbarkeit**, **Selektivität** und so weiter. Einige dieser Begriffe haben auch hier sicher eine große Bedeutung, insbesondere die **Empfindlichkeit**. Das ist zugleich meine Frage. Wie **verändert** sich das **Signal**, d.h. die **festzustellende Wirkung** im Vergleich zu der **einwirkenden Größe**, hier die **Luftbelastung** oder die **Luftbelastung** kombiniert mit **klimatischen Einfluß**. Zugleich auch hier die **Zusatzfrage**: Gibt es da irgendwelche **Beschleunigungsmöglichkeiten**, die die **Empfindlichkeit** des **Instrumentariums** erhöhen? Dies hatten wir vorhin auch schon einmal kurz **andiskutiert**, zum Beispiel eine **Aufräuhung von Kunststoff**. Ich kann mir vorstellen, daß dies sehr **bedeutsam** ist. Wenn ich so an meine eigenen **Fenster** denke, die aus, ich weiß nicht, welchem **Kunststoff** gefertigt sind, die sehen nach **zehn Jahren** noch so

---

aus wie zum Zeitpunkt des Einbaus. Es ist also wahrscheinlich hoffnungslos, da nach ein, zwei Jahren Veränderungen festzustellen. Nun sind dies glatte Oberflächen. Man könnte sie aufrauen. Man könnte sie aber sonst irgendwie vielleicht noch behandeln, um solche Beschleunigungseffekte zu erzielen. Sehen Sie auch solche Möglichkeiten, oder gibt es da konkrete Vorschläge?

---

**Dr. Schmitt:**

---

Solche Möglichkeiten gibt es schon. Nehmen Sie einmal als Beispiel die Fensterprofile, die ich genannt habe, das haben wir jetzt rausgekriegt, und das ist ganz klar, wenn kein **Lichteinfluß** da ist, werden die **Luftschadstoffe** nicht einwirken. Wenn ich jetzt also feststellen will, wie die Luftschadstoffe einwirken, dann kann ich das Material, das ich exponiere, zunächst vorher einmal einer **Lichtbelastung** aussetzen. So kann ich dadurch beschleunigt herausbekommen, wie nun die Luftschadstoffe wirken. Es ist ja so, daß ein einzelner Einfluß alleine vermutlich nie die Änderungen insgesamt verursacht, sondern das ist immer eine **Summe von Einflußgrößen**, und jetzt besteht die Schwierigkeit, 'rauszufinden, wo liegen die Schwerpunkte. Die einzelnen Belastungen für sich zu betrachten, was natürlich auch gemacht wird und wichtig ist, bringt dann wieder die Schwierigkeit mit sich, daß Synergismen nicht beobachtet werden.

---

**Herr Herkendell:**

---

Herr Dr. Schmitt, ich habe noch folgende Überlegung: Sie haben eine wichtige Aussage getroffen, nämlich nicht nur auf kulturhistorisch wertvolle Gebäude "zu schielen", sondern auch auf den sehr bunten Strauß von **Gebrauchsmaterialien**. In dem Zusammenhang würde mich die Antwort folgender Frage interessieren: Sehen Sie aus Ihrem Kenntnisstand derzeit Gebrauchsgenstände in der Industrie und im Gewerbe, wo bei der Produktion dieser Gebrauchsgenstände der Faktor Luftverunreinigung eine marginale Rolle spielt oder umgekehrt gesagt, sehen Sie **Gegenstände**, bei denen **Luftschadstoffe** schon einen **Ausschluß des Produktionsstandortes** beinhalten? Ich denke zum Beispiel an die **Halbleitertechnik**. Da gibt es ja bestimmte Verfahren, wo bestimmte hygienische Bedingungen eingehalten werden müssen. Daher noch einmal die Betonung auf dem letzten Teil der Frage: Sehen Sie über diesen Halbleitertechnikbereich hinaus produktions- oder standorts-limitierende Faktoren?

---

---

nikbereich hinaus produktions- oder standorts-limitierende Faktoren?

---

**Dr. Schmitt:**

---

Ja, zum Beispiel die Anstriche von den Masten, von denen wir es gestern schon gesprochen hatten, überhaupt **Anstriche** als solche. Denn alles, was mit Beschichtungen von Kunststoffen zu tun hat, ist betroffen, und vor allem auch solche Dinge wie die Abdeckungen, zum Beispiel die Olympiahalle in München, die unter Umständen gar keine Schädigung haben insofern, daß es heißt, der **Kunststoff** ist kaputt, aber dies den **ästhetischen Eindruck** so stört, daß der betreffende Gegenstand weg muß. Und das trifft sehr viel zu auf ganz normale Gebrauchsgegenstände, die wir so tagtäglich haben. Alles, was mit Kunststoffen zu tun hat, ist praktisch betroffen.

---

**Herr Herkendell:**

---

Ich will noch einmal nachfragen, könnten Sie jetzt konkret ein Beispiel nennen, daß **Luftschadstoffe** für die Produktion ein **limitierender Produktionsfaktor** werden?

---

**Dr. Schmitt:**

---

Das glaube ich nicht, denn da gibt es genügend **Reinraumtechnik** und dergleichen, um das zu machen.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Mich würde interessieren, auch im Hinblick auf die Waldschadensforschung, ob auch hier bei der Materialforschung Überlegungen angestellt werden zu versuchen, die einzelnen **Untersuchungsbereiche** aufeinander **abzustimmen**, so daß man an den exponierten Objekten zum Beispiel die gleichen Parameter abfragt, die man auch dann in einer Klimakammer abfragen würde beziehungsweise an einem natürlichen Objekt. Der Vorteil wäre, daß man diese unterschiedlichen Untersuchungsebenen dann auch wieder verbinden könnte und Aussagen in Richtung **Ursachenfindung** machen kann. Die wesentliche Frage ist ja, zu klären, worauf die einzelnen Schäden tatsächlich zurückzuführen sind.

---

---

**Dr. Schmitt:**

---

Im Prinzip ist da kein Unterschied in der Versuchsdurchführung. Wenn Sie eine **Methodik** anwenden, dann ist es zunächst vollkommen gleich, was Sie als Material sehen. Ob Sie da einen Baum sehen oder einen Kunststoff oder ein Bauwerk. Die Methodik bleibt gleich. Ich möchte das einmal in einer Analogie sagen, ich komme jetzt wieder auf den VDI und die Kommission Reinhaltung der Luft, mit der **Wirkungsforschung**. Da gibt es die Wirkung auf Materialien, die Wirkung auf Tiere, die Wirkung auf den Boden, die Wirkung auf Pflanzen. Innerhalb dieses Kreises wurde jetzt eine, wie nennt man das, Unterkommission, Arbeitsgruppe, so ein Arbeitskreis gebildet, der sich mit der **Umweltsimulation** befaßt. Dieser ist jetzt unabhängig davon, ob das Materialien sind, ob das Tiere oder Pflanzen sind. Da soll jetzt auch einmal genau erforscht und überlegt werden, wo sind die Gemeinsamkeiten und wo die Grenzen. Wo sind die spezifischen Punkte drin? Denn wenn Sie beispielsweise Umweltsimulation auf Materialien anschauen, dann müssen Sie ganz klar die **Wechselwirkung** zwischen dem **Material** und der **Umwelt** mit betrachten. Wenn Sie diese Simulation bei Tieren betrachten, ist diese Wechselwirkung noch viel stärker. Bei den Pflanzen gilt auch wieder entsprechendes. Es ist die gleiche Basis, verläuft dann bei dem einzelnen Objekt aber wieder etwas unterschiedlich durch die Wechselwirkung. Aber die Grundlage, die Methodik ist zunächst mal die gleiche.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Und es wird auch darauf geachtet, setze ich voraus, daß die **Freilandbefunde** in den einzelnen **Verwitterungsstufen nachvollzogen** werden können. Dazu sollte ein zu exponierender Probenkörper zum Beispiel so gestaltet sein, daß er den im Baukörper vorkommenden Formen möglichst nahe kommt.

---

**Herr Herkendell:**

---

Welchen Kunststoff würden Sie exponieren, wenn Sie versuchen wollten, **Belastungsunterschiede** aufzuzeigen, z.B. Exposition in Belastungsgebieten wie der Rheinschiene und des Ruhrgebietes im Vergleich zur Eifel oder Hochschwarzwald? **Welche Kunststoffe** würden Sie aus Ihrer Erfahrung, die eine anwendungsbezogene Verbreitung haben, exponieren?

---

**Dr. Schmitt:**

---

Also die Frage ist sehr schwierig zu beantworten. Ich persönlich würde die nehmen, mit denen ich jetzt schon gearbeitet habe im Labor, um nämlich zu sehen und Rückschlüsse ziehen zu können, wie gut die gewonnenen Ergebnisse korrelieren und die Laborbedingungen verbessert werden können.

---

**Dr. Prinz:**

---

Welche sind das?

---

**Dr. Schmitt:**

---

Das sind die, die ich gestern genannt habe. Das ist **Polyurethan, PVC, faserverstärkter Kunststoff** und ein **Acrylharz**. Das sind Materialien, die wir untersucht haben, beispielsweise im Auftrag des Umweltbundesamtes, die spezielle Materialien wollten, die ganz deutlich in der Anwendung drinstecken. Die würde ich nehmen, und ich möchte wissen, was passiert denn nun in solchen Expositionsorten. Jetzt kommt die andere Frage oder das andere Problem. Da hängt ja nun alles davon ab, welche **Füllstoffe** drin sind. Solche Stoffe, die zum Beispiel als PVC-Fenster Verwendung finden, haben natürlich irgendwelche Füllstoffe, die für Lichtschutz und was weiß ich was alles eingesetzt werden und den Gesamtkern stören. Wenn man jetzt auf das Grundproblem gehen will, dann müßte man einen ziemlich **reinen Kunststoff** nehmen, um einmal **grundsätzlich Beziehungen** zwischen der **Veränderung** und der **Wirkung** zu finden. Also, Sie müssen eigentlich Ihre Fragestellung dahin trennen, daß Sie sagen, ich habe hier einen Kunststoff, der wird angewandt, ich will wissen, was mit dem passiert. Oder die Fragestellung, ich will prinzipiell wissen, was mit bestimmten Kunststoffsorten passiert; im letzteren Fall würde ich dann sehr, sehr reines Material nehmen, das auf keinem Fall mit irgendwelchen Füllstoffen oder Zusatzstoffen belastet ist.

---

**Dr. Krause:**

---

Ich denke gerade an Kunststoff und wo **Kunststoff** überhaupt verwandt wird draußen, und da kommt man auf Regenrinnen, auf Verkleidungen und so weiter. Was man eigentlich erst einmal haben müßte, wäre eine Liste dessen, welche Kunststoffe

verwandt werden, in welcher Menge, sind die Formulierungen gleich, und so weiter. Das ist nämlich schon ein wesentlicher Punkt. Ich glaube, daß Sie über die **Pigmentzusammensetzung** schon unter Umständen ein anderes Verhalten haben, und daß man einfach erst einmal auflistet, was kommt dafür in Frage und dann von da ausgeht und überlegt, was könnte das Anfälligste sein, oder wie ist überhaupt das Verhalten in einer bestimmten Atmosphäre, bei bestimmten Witterungsprozessen und so weiter. Man nimmt somit die **Verwendung als Ausgangspunkt** und beispielsweise die **Menge**, damit die Untersuchung überhaupt hinterher eine gewisse Relevanz bekommt, das ist dasselbe wie mit den Lacken. Da wollte ich Sie in dem Zusammenhang auch fragen, ob das eigentlich berücksichtigt worden ist: ich kann mir nicht vorstellen, daß **Kunststoffhersteller** wie Bayer oder Hoechst sich nicht auch sehr intensiv mit der **Haltbarkeit** ihrer Kunststoffe beschäftigen. Es wäre doch sicherlich sehr sinnvoll, einmal zu prüfen, wie deren **Verfahren** sind. Da gibt es mit Sicherheit welche, die Bruchtests machen, auch Temperaturbeständigkeit prüfen, das ist ja auch ein ganz wichtiger Punkt, und Sie sehen das auch immer wieder, daß an verschiedenen Stellen Lackplättchen exponiert sind, um zu sehen, wie u.a. das Ausbleichungsverhalten und die Pigmentstabilisierung ist. Werden eigentlich diese Kenntnisse genutzt? Denn das ist ja ein ganz wesentlicher Punkt. Die Frage ist, ob sie zugänglich sind.

---

**Dr. Schmitt:**

Die vorhandenen Kenntnisse müssen in Zukunft zugänglich sein. Nehmen Sie einmal ein Auto, in so einem Auto ist auch sehr viel Kunststoff dran, der ganze Lack, die ganze Stoßstange, und viel mehr ist aus Kunststoff. Der Automobilhersteller muß in Zukunft garantieren, daß das Fahrzeug entsorgt oder wiederverwendet werden kann. Und auf dieser Basis werden die **Hersteller** gezwungen, jetzt **offenzulegen**, was sie denn nun alles verwendet haben, bzw. wie der **Kunststoff** aufgebaut ist. Vorher haben sie ihre Kenntnisse weitgehend zurückgehalten, beziehungsweise die Einflüsse der Luftschadstoffe haben überhaupt keine Rolle gespielt. Hier wurde offiziell nichts geprüft; in der Realität wurde geprüft zum Beispiel bei den Lacken oder bei den Farben oder bei den Beschichtungen, mit dem Hintergrund: hoffentlich verändert sich nichts, sonst kriegen wir Reklamationen das war rein das Äußere oder die **Festigkeit** wurde gefragt, die Festigkeit muß soundso groß sein, sonst platzt das unter Umständen ab. Die Schädigung durch Luftverunreinigungen war uninteressant; da wurde nichts gemacht, auch nicht heimlich.

---

**Herr Herkendell:**

Ein ganz anderes Thema noch an Sie und zwar: Können Sie etwas zum Kenntnisstand der Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Holz sagen?

---

**Dr. Schmitt:**

Nein.

---

**Herr Herkendell:**

Oder ist das auch wieder ein Industriegeheimnis?

---

**Dr. Schmitt:**

Nein, ich glaube nicht. Da gibt es schon spezielle Fachleute, zum Beispiel in München (Uni) und dann das WKI, das Fraunhofer-Institut (Braunschweig), die wissen da sehr gut Bescheid. Ich kann Ihnen dazu nichts sagen. Auch die Bauphysik FhI in Stuttgart bzw. Holzkirchen.

---

**Dr. Prinz:**

Vielen Dank, dann sollten wir aber, glaube ich, doch weiter fortschreiten. Herr Fütting, haben Sie Ausführungen zu machen zu diesem Problem, Materialproben zu exponieren?

---

**Dr. Fütting:**

Ich hatte das vorhin ja schon einmal angesprochen, in der vorangegangenen Runde, ich möchte das nur noch insofern ergänzen, daß natürlich so eine Exponierung eine gezielte Fragestellung zuläßt. Eine gezielte Fragestellung setzt natürlich immer voraus, daß ich erst einmal einen **Wissensstand** habe, um gezielt fragen zu können. Das wird sich meiner Meinung nach immer auf eine **gezielte Vorbehandlung**, was Steine und so etwas betrifft, reduzieren, wenn ich eine Exponierung mache. Also unterschiedliche **Oberflächenrauigkeiten** zu erzeugen, **Hydrophobierungen** auszuprobieren oder andere Beschichtungen zu testen, was ja eben schon anklang mit den Lacken und so weiter, die



---

ich am gegebenen Objekt in der Regel nicht machen kann, nicht machen darf und vielleicht auch nicht machen will. Das Problem, Professor Lucke hat es ja schon angesprochen, ist dann selbstverständlich immer: Die **Ankoppelung** fehlt an ein **Gebäudesystem**. Das muß ich berücksichtigen bei der Auswertung der Ergebnisse. Also ich sehe diese Möglichkeit, exponierte Objekte an natürlichen Standorten zu plazieren nur unter dem Gesichtspunkt, eine gezielte Vorbehandlung zu testen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Irgendwelche Fragen dazu? Dies ist nicht der Fall. Dann Herr Marfels, darf ich Ihnen das Wort erteilen.

---

**Dr. Marfels:**

---

Ich möchte gleich zu dieser Exposition etwas sagen und darf ganz kurz als Beispiel aus unserem Projekt für das Umweltbundesamt eine **Weiterentwicklung des IRMA-Verfahrens** demonstrieren. Es handelt sich um eine **Großdiakassette**, die an einem oben als abschirmendes Dach mitwirkenden Tragebalken hängt. Das Ganze ist drehbar mit einer an der Vorderseite montierten Windfahne. Im Gegensatz zum Mank'schen Karussell haben wir hier die Möglichkeit, verschiedene **Scheiben**, beispielsweise Marmorplättchen, geschichtet **hintereinander** mit großer Oberfläche aufzustellen und den verschiedenen Windbedingungen auszusetzen. Anschließend kann man dann z.B. mit dem Rastermikroskop die **Oberflächenveränderung** gegenüber dem Urzustand untersuchen. Wenn es auch oftmals schwierig ist, in der Simulationskammer eine **Ankoppelung** an natürliche Verwitterungsverhältnisse herzustellen, ermöglicht es diese Methode doch, **zahlreiche Randbedingungen** zu erfassen. Wir haben u.a. mit Carrara-Marmor gearbeitet. Dabei haben wir zahlreiche Erkenntnisse im Hinblick auf die Veränderung der Oberfläche bei **Freilandexpositionen** im Vergleich zwischen Exposition in unserer **Simulationskammer** gewonnen. Dieses Modell hat sich in der Praxis recht gut bewährt.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, Herr Marfels. Gleich eine Frage von mir dazu. Gibt es bestimmte **strömungsphysikalische Gründe**, daß Sie die Körper genau so angeordnet haben und nicht anders? Man müßte doch

immer das Bestreben haben, auch im Sinne der höchstmöglichen Empfindlichkeit, die ich vorhin einmal genannt hatte, daß zunächst einmal eine maximale **Senkenfunktion** zustande kommt, daß also eine maximale **Desorption**, z.B. von gasförmigen Schadstoffen stattfindet. Ich könnte mir vorstellen, daß bei **Objekten**, die frei von der Luft **angeströmt** werden, die **Depositionsgeschwindigkeiten** höher sind als hier, wo unter Umständen Nischen zustandekommen, wo also keine freie Anströmung stattfindet, oder sehe ich das falsch? Noch einmal die Frage an Sie, gibt es bestimmte **strömungsphysikalische Gründe**, die Sie veranlaßt haben, genau diese Expositionstechnik hier zu wählen? Oder ist das mehr oder weniger ein Zufall, oder bestehen **Zweckmäßigkeitsgründe** oder was auch immer?

---

**Dr. Marfels:**

---

Bei dieser Vorrichtung handelt es sich um insgesamt sechs **Großdiarähmchen**, die parallel zueinander angeordnet sind. Sie sind **mehr oder weniger frei anströmbar**, zumal sich das Ganze ja dem Wind entsprechend drehen kann. Nur durch die Abschirmung durch das jeweilige davor befindliche Plättchen kann unter Umständen eine gewisse **Beeinflussung der Anströmung** erfolgen. Bei Versuchen in der Kammer stellten wir fest, daß es einen gewissen Effekt macht, je nachdem ob wir die Platten in Windrichtung oder senkrecht dazu anordnen. Dieser Effekt ist jedoch bei den hier gewählten Dimensionen relativ gering.

---

**Dr. Krause:**

---

Wenn Sie zwei Reihen Bäume hintereinandersetzen, kriegt die erste mit Sicherheit mehr Luftschadstoffe mit und filtert mehr aus als die zweite. Das ist sicherlich bei so einem kleinen Raum noch viel stärker. Haben Sie wirklich festgestellt, daß die zweite Reihe **genausoviel Schadstoffe pro Zeiteinheit** mitbekommt wie die erste Reihe. Das bezweifle ich! Für meine Begriffe gibt es mit Sicherheit **optimalere Expositionsbedingungen** als diese hier, wenn ich das so offen sagen darf.

---

**Dr. Marfels:**

---

Es ist richtig, daß die innersten Schichten etwas weniger abbekommen haben als die äußeren. Aber der Gedanke war ja der, welche **Formgebung**



---

könnte man sich vorstellen, damit ein optimaler Effekt erzielt wird. Wir sind ja davon ausgegangen, eine Verbesserung der Immissionsratenmessung zu bewerkstelligen, und da kam uns zu Hilfe, daß in der Landesanstalt bei Ihnen schon die sogenannte **Faden-IRMA** entwickelt worden ist. Man hat einen Probekörper aufgeteilt in viele kleine Unter-einheiten, in diesem Falle waren es Fäden, die Oberfläche stieg. Bei unseren Modellversuchen haben wir auch mit Papierscheiben gearbeitet, um zu sehen, was macht es für einen Unterschied, wenn wir im Vergleich zu einem massiven Probekörper einen in verschiedene kleine Segmente aufgespaltenen verwenden. Diese Versuche führten letztlich zu einem solchen Modell. Ich gebe Ihnen recht, das Optimum ist auf diese Weise noch nicht erreicht, aber zumindest haben wir bewirken können, daß die Oberfläche von einem Probekörper angestiegen ist, und nach entsprechender Untersuchung der abgelagerten Stoffe mit physikalischen und chemischen Methoden hatten wir den Eindruck, daß wir im Vergleich zu allen anderen Probekörpern eine deutliche Verbesserung erzielen konnten.

---

**Dr. Krause:**

Ich finde Ihre Analogie zur **Faden-IRMA** ganz faszinierend. Aber einmal eine Frage, warum haben Sie es dann nicht gemacht wie bei der **Faden-IRMA**? Denn es läge ja eigentlich auf der Hand, daß man sich z.B. bleistiftstarke **Marmorsäulen** herstellt und die dann entsprechend montiert und benetzt. Das würde mir wesentlich mehr einleuchten.

---

**Dr. Marfels:**

Das ist von der Theorie her natürlich richtig. Aber in der Praxis - jeder, der mit Gesteinen arbeitet, weiß, je feiner er die **Segmente** macht, desto mehr greift er ins **Gefüge** ein und verändert so sehr das **Material**, daß man kaum noch einen Bezug hat zum ursprünglichen. Wir hatten schon große Schwierigkeiten, **Marmorplättchen** herzustellen, die eine Dicke von 3 mm hatten und noch gut homogen waren. So etwas können Sie mit **Kunststoffen** machen, aber mit **Gesteinen** ist das nicht möglich.

---

**Dr. Krause:**

Dann trifft also diese Einschränkung, die Sie machen, letzten Endes hierfür auch zu.

---

**Dr. Marfels:**

Ja, sicher.

---

**Dr. Krause:**

Prinzipiell müßte es aber machbar sein, einen **Stab** von 5 mm Durchmesser oder auch 2 mm mal in einer bestimmten Länge herzustellen und zu **exponieren**.

---

**Dr. Marfels:**

Wir haben solche Vorrichtungen auch gebaut für **Kunststoffe**, die wir auch in Form von **Stäben** exponiert haben. Dieses Beispiel hier ist speziell für **Steine** gedacht.

---

**Dr. Prinz:**

Die Idee von Herrn Krause ist doch naheliegend, weil man auch **Griffel**, **Schiefergriffel**, erzeugt. Sofern man dies technisch hinkommt, muß man dann vielleicht auch technisch in der Lage sein, für andere Steinarten derartige Körper zu erstellen. **Schiefer** ist allerdings ein sehr **homogenes Material**, das gebe ich schon zu, im Vergleich zum Sandstein. Aber trotzdem, ich glaube, sind wir da schon auf dem richtigen Weg, und es ist in jedem Fall eine gute Anregung, die Sie in die Diskussion gebracht haben, Herr Marfels. Herr Fütting, Sie wollten noch etwas dazu sagen.

---

**Dr. Fütting:**

Ich möchte die Gelegenheit nutzen, weil jetzt hier ein Punkt angesprochen ist, dessen Tragweite vielleicht nicht ganz klar ist. Wenn man sagt, daß die Bearbeitung solcher mineralischen Rohstoffe sehr schwierig ist, und solche Fäden oder Röhren und **Säulen** herzustellen **schwierig** ist, dann trifft das selbstverständlich auch auf die **Probenentnahmen** mit **Bohrkernen** zu. Ich möchte also nur einmal andeuten, wie weit dieses Feld ist und wie viele Probleme sich auftun, wenn man dann Meßergebnisse, die an **Bohrkernen** gewonnen wurden, interpretieren will.

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Wir untersuchen auch die **Asterixe** im BMFT-Bau-Projekt. Diese Prüfkörper sind eine Chance, einen Schadensablauf zu verfolgen. Welche Steinart, welche Form man verwendet, ist abhängig von der Fragestellung. Möchte ich jetzt Steine untersuchen, die im Augenblick modern sind, die früher modern waren, die behandelt sind oder möchte ich alte Steine behandeln und dann wieder einer Emission aussetzen, es gibt unheimlich viele Varianten. Weiter ist die Form davon abhängig, wie ich beproben will. Wenn ich meine, solche Versuche sind eine Chance, einen Schadensablauf zu verfolgen, dann sollte man da auch möglichst viele Fragestellungen einbringen, z.B. auch bei Klimauntersuchungen nach Möglichkeit **alles Machbare untersuchen**. Möglicherweise ändert sich innerhalb dieses langen Zeitraums, in dem so ein Teil exponiert ist, die Fragestellung. Vielleicht ist  $\text{SO}_2$  dann gar nicht mehr so wichtig, sondern  $\text{NO}_x$  ist dann plötzlich wichtig, und haben wir dann vergessen,  $\text{NO}_x$  zu messen, so können wir wieder von vorne anfangen. Sonst sollte man sich bei diesen Simulationsversuchen sehr an Erfahrungen, wie wir sie am Gebäude gesammelt haben, halten. Z.B. sollte man versuchen, die Form, bei der wir sehen, daß bestimmte Mikroorganismen bevorzugt an Ablaufflächen wachsen, nachzubauen, und diese Mikroorganismen untersuchen. Genauso zur **Probenahmetechnik**: Das gleiche eigentlich wie am Gebäude und auch die **Nachweisverfahren wie am Gebäude**, so daß wir den größtmöglichen **Vergleich** haben zwischen Wirklichkeit und dieser künstlichen Wirklichkeit, die wir erzeugen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, Herr Wilimzig. Da wir jetzt in der mikrobiologischen Ecke angelangt sind, gleich eine Frage auch an die anderen beiden Experten. Wir haben jetzt mehrfach darüber gesprochen, wie man einen Reaktionsablauf etwas beschleunigen kann. Gibt es da auch die Möglichkeit, mit **Mikroorganismen zu impfen**? Also einen Körper herauszubringen, den wir vorher impfen und bei dem wir vielleicht auch dann gewisse Sukzessionen in der Artenzusammensetzung in Abhängigkeit von der Immissionsbelastung feststellen, wäre dies auch

eine Möglichkeit der Untersuchung? Zunächst einmal dürfte ich Herrn Wilimzig und die anderen beiden Experten bitten, darauf einzugehen, wenn Sie Ihre Statements vortragen.

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Das ist ja das, was wir eigentlich in der **Simulationskammer** machen, dort werden die Steine direkt beimpft, um einen **Zeitraffereffekt** herauszukriegen. In Freilandversuchen wird es dann so aussehen: Wenn wir einen Stein beimpfen, haben wir am Anfang sehr viele Bakterien. Irgendwann sterben die meisten ab, und nach einiger Zeit finden wir wieder ein **natürliches Level**, weil ein bestimmtes Substratangebot und Feuchtigkeit vorhanden ist, so daß eben nur diese Population überleben kann.

---

**Dr. Prinz:**

---

Es könnte ja sein, daß einige Mikroorganismen absterben, und die anderen dafür ihren Platz einnehmen, also daß, ebenso wie in der Pflanzensoziologie, **Sukzessionen** eintreten.

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Dann ist die Frage, womit ich am Anfang beimpfe.

---

**Dr. Prinz:**

---

Das ist eine Frage an Sie, natürlich. Sind hier noch Fragen? Herr Herkendell.

---

**Herr Herkendell:**

---

Die Frage an Sie: Wie haben Sie bei den BMFT-Projekten, die Sie so häufig schon zitiert haben, eigentlich den **Feuchtigkeitsgehalt** gemessen? Messen Sie an dem Objekt oder in dem Objekt?

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Wir messen ihn gar nicht. Wir übernehmen die Werte.

---

**Herr Herkendell:**

---

Sie nehmen ihn einfach so, wie der liebe Gott ihn vorzeichnet.

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Die gleichen Punkte werden von Mineralogen untersucht, um die Feuchtigkeit zu analysieren.

---

**Herr Herkendell:**

---

Das machen die Bauphysiker bei Ihnen?

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Ja, das machen die Bauphysiker.

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Vielleicht eine Bemerkung. Das hört sich jetzt so einfach an, "wir messen die Feuchtigkeit." Wenn wir jetzt hier eine Bauphysiker sitzen hätten, der würde Stehhaare kriegen. In dem BMFT-Projekt wird immenses Geld dafür ausgegeben, entsprechende Feuchtefühler zu entwickeln, die tatsächlich in der Lage sind, Feuchtigkeit im Gestein zu messen. Das ist vielleicht auch die Antwort auf die Frage, wie die Feuchtigkeit gemessen wird und das Nein darauf, es ist eben auch sehr schwierig.

---

**Herr Herkendell:**

---

Das hatte ich eben befürchtet, daß das nicht ganz einfach ist. Und insbesondere die Reproduzierbarkeit scheint ja auch ein grundsätzliches Problem zu sein.

---

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Viel mehr dazu sagen kann ich eigentlich auch nicht. Ich hatte allerdings eben den Gedanken, den Sie, Herr Prinz, auch schon hatten, daß man an diesen **Expositionsstellen** tatsächlich von uns relevant erdachte oder gefundene **Mikroorganismen** als **Einsaat** bringt. Ich hatte ja gestern schon erwähnt, daß es eigentlich der natürliche Weg ist, über den Lufttransport Organismen auf eine Oberfläche, die früher mal steril war, zu bringen. Man könnte dieses sozusagen in Form einer **Hypersimulation** am Standort machen und nachher sehen, was übrig bleibt. Sie sollten dann mit den **Immissionsfaktoren** entweder haben umgehen können oder die sind mit ihnen umgegangen. Das kann man auch wieder sagen oder nachmessen. Es ist ganz sicherlich dann nicht das natürliche Ablaufverfahren, das man damit verfolgt, sondern tatsächlich eine gezielte Richtung, die man dann einschlägt, wo man vielleicht sogar auch eine **Mischpopulation** einsetzen kann und sieht, welcher setzt sich durch oder nicht. Man versucht dieses ja in einem ganz anderen Gebiet, bei den **Sanierungsverfahren** in der Bodenkontamination einzusetzen, daß man im Beetverfahren bestimmte, präparierte oder herausselektionierte Stämme hineingibt, die für bestimmte **Abbaumechanismen** als gut erkannt wurden. Diese werden in Massen gezüchtet, hineingebracht, und bringen damit einen schnellen Umsatz. Das wäre denkbar, daß man hier auch in einer relativ kürzeren Zeit mit einer **höheren Anfangspopulation** einen Effekt sehen kann, der später vielleicht nicht mehr so auftaucht, wenn sich so allmählich etwas anderes drüber breit gemacht hat.

---

**Dr. Warscheid:**

---

Ich will jetzt auch noch einmal ganz kurz die Auswahl der Proben ansprechen. Man hat die Möglichkeit, wenn man exponiert, eine Vielzahl von Proben auszubringen, die man dann eine längere Zeit beobachten kann. Darunter auch nicht nur Steine, die schnell verwittern, um einmal zu sehen, wie schnell das geht, sondern auch möglicherweise Steine, die sehr viel widerstandsfähiger sind. Es kann dann untersucht werden, warum sie widerstandsfähiger sind und wie sie sich im Vergleich dazu verhalten, auch nach einer Behandlung zum Beispiel, nach einer Farbfassung unter anderem, wie das auch im Projekt vielfach diskutiert worden ist. Also wie und warum sich **Schutzsysteme** auch beispielsweise gegenüber einer Bewitterung anders verhalten, und auch wie sich eine Biologie auf sol-

---

chen Systemen verhält, kann im Zusammenhang untersucht werden. Eine andere Sache ist die **Beobachtung**. Wir hatten ja auch häufig betont, wie weit **Immissionen** tatsächlich auf eine **Entwicklung** von einer **Mikroflora** auf Gesteinen einwirken. Mir ist dabei nicht zuletzt auch das Diagramm in Erinnerung, die Sandsteine, bei denen die Entwicklung der Mikroflora an unterschiedlichen Standorten erheblich auseinanderklaffte. Zum einen hatten Sie die Gesteinsoberflächen an Stellen exponiert, die hoch schadstoffbelastet waren - wobei ich noch einmal dazu bemerken möchte, daß die Ergebnisse, die die organischen Verunreinigungen von Duisburg im Vergleich zu Holzkirchen betreffen, auch abgesichert sind durch die Arbeitsgruppe von Professor Dannecker in Hamburg -, zum anderen waren Steine in Holzkirchen als wenig belastetem Standort exponiert. Und Sie können eben sehen, daß gerade solche Oberflächen, an denen möglicherweise das Substrat des Gesteins nicht unbedingt einen Einfluß macht, ob jetzt eine Mikroflora aufwächst, sondern eigentlich sogar das Gestein eine von mir nun als inert bezeichnete Oberfläche vorweist, daß Sie hier möglicherweise durchaus **Einflüsse organischer Luftbelastungen auf die Entwicklung einer Mikroflora** haben können. Hier ist die **Nährstoffsituation** möglicherweise eben doch prägend für eine Ansiedlung von Organismen. Das ist für mich eine Erklärung, warum wir Unterschiede bei solchen, wie gesagt, inerten Gesteinen viel deutlicher sehen im Vergleich zwischen Duisburg und Holzkirchen als bei Sandstein, von dem wir sowieso schon wissen, daß die Ansiedlung sehr schnell verläuft. Wir müssen aber feststellen, daß das Auseinanderdividieren beziehungsweise Auseinanderarbeiten zwischen der Immission und den natürlichen Gegebenheiten nicht mehr möglich ist. Eine zweite Sache ist für mich diese **Krustenbildung**. Die Beobachtungen auf den Prüffeldern geben uns die Möglichkeit, die Problematik der Krustenbildung auch an Probenkörpern, die wir jetzt exponiert haben, vorzuzeigen. Damit können wir auch sehr deutlich zeigen, daß die Beläge, beziehungsweise später dann die Krustenbildung, auch auf **Luftverunreinigungen** zurückgehen. Ich möchte hier noch einmal betonen, daß man sich durchaus die normale Kausalkette,  $\text{SO}_2$  wirkt auf karbonatiges Gestein, vorstellen kann, daß das der Schadensprozeß ist und die **Mikrobiologie** eben noch ein **zusätzlicher Schadensfaktor**. Zudem möchte ich insofern ein bißchen ketzerisch die Frage stellen, ob man sich eine Krustenbildung überhaupt vorstellen kann ohne Biologie. Und ich möchte fast sagen, das ist unmöglich, und ich möchte einfach einmal die Vorstellung äußern, daß Sie mit Partikeln, ich sage jetzt einmal mit feinem Sand, ein Porengefüge nicht dicht machen können. Sie können mit Sand nicht abdichten. Sand ist immer noch durchlässig

für Feuchtigkeit. Es ist aber durchaus vorstellbar, daß eine **gallertartige Masse** Ihnen eine **Pore verschließt** und undurchgänglich macht, und im Zusammenspiel werden Sie tatsächlich eine **Krustenauflagerung** bekommen, die dann auch zu einer Ablösung von der Gesteinsoberfläche führt. Warum ich darauf komme, ist ganz einfach. Vielleicht wird es auch in den Bildern bei Herrn Brüggerhoff noch einmal deutlich, daß Sie eben solche **Krustenentwicklungen** von ihren Initialschritten her auf den Prüffeldern sehr schön beobachten können. Das sind keine Prozesse, die man über Jahre hinaus beobachten muß, sondern die auf bestimmten Sandsteinen äußerst schnell stattfinden, und die Sie also schon bereits nach einem Jahr oder nach zwei, drei Jahren in sehr weit fortgeschrittenen Stadien auf diesen Prüffeldern sehen können. Wir sind derzeit dabei, auch quantitativ zu messen, inwieweit sie auf die kapillare Wasseraufnahme Auswirkungen haben. Das nur dazu. Also, diese **Filme**, die wir **auf den Oberflächen** haben, sind entscheidend, denn es ist schon etwas anderes, ob ein Gas auf eine rein mineralische Oberfläche wirkt oder ob da noch ein Film dazwischen ist. Ich möchte mich da nicht weiter drüber äußern, sicherlich sind Biophysiker etwas besser geeignet, so etwas zu erläutern und genau darzustellen, wie die Änderung des Feuchtigkeitsverhaltens ist. Aber ich denke, daß es eigentlich eingängig sein müßte, daß eine Veränderung oder jeder Belag auf einer Oberfläche natürlich auch die Austauschprozesse verändert. Das erschien mir noch einmal wichtig. Ich denke auch zum Beispiel daran, daß man sagt, über **Beton**, da wissen wir eigentlich noch viel zu wenig, was da wirklich an biologischen Prozessen los ist. Wir wissen, daß an Kühltürmen chemolithotrophe Prozesse der Thiobazillen und der Nitrifikanten nachgewiesen worden sind. Wir wissen noch gar nichts über die **chemoorganotrophe Flora** in solchen Systemen, und ich will nur sagen, daß wir Untersuchungen gemacht haben auf den Prüffeldern in Duisburg und gesehen haben, daß es immense **Besiedlungen** auf diesen **Betonprüfkörpern** gibt. Und ich denke, daß man auch da nicht einfach eindimensional eine Kette machen kann, daß man einen Schadstoffangriff hat, sondern ich denke, er wird **potenziert** durch eine **biologische Ansiedlung** und durch diese **Schleime**, die überall nachzuweisen sind. Es gibt nahezu keine mineralische Oberfläche, die wir bislang gesehen haben, die nicht biologisch verschleimt gewesen ist. Das kann man durchaus so stehen lassen. Wir haben anfangs Schwierigkeiten gehabt, diese Dinger immer als Schleime anzusprechen, weil wir es nicht glauben wollten, daß das alles biologisch besiedelt ist. Und vielleicht noch ganz zum Schluß: Der Erfurter Dom wurde jetzt mehrfach genannt und erwähnt, er sei tot gewesen. Gerade an den Stellen, die schwarz verkrustet waren, sind wir in der Lage

---

gewesen, diese biologischen Schleime unterhalb dieser schwarzen Verkrustung auch nachzuweisen. Dort, wo Sie die **schwarzen Krusten** hatten, gab es auch die **biologischen Schleime**, wenn Sie sich vielleicht an die Bilder von gestern erinnern. Diese Rotfärbung ist also ausgerechnet immer in diesen schwarzen Krusten auch möglich gewesen. Also war sie nicht ganz tot.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Wenn Sie sagen, "Oberflächen", dann müssen Sie immer "Oberflächenschicht" denken. Das vielleicht zur Verdeutlichung.

---

**Herr Herkendell:**

---

Folgende ganz naive Frage, und hoffentlich nehmen Sie mir diese Frage nicht ganz übel: Platzen eigentlich diese Krusten auf?

---

**Dr. Warscheid:**

---

Das ist sicherlich der Fall, das ist der weitere Prozeß. Das ist aber dann der fortgeschrittene Prozeß bereits, der dann eher, denke ich, weniger oder nur zum Teil biologisch vorbereitet wird durch **korrosive Säuren**, aber der sicherlich auch auf **physikalische Prozesse** wie Frost-/Tauwechsel oder Salzsprengung, wie sie auch schon angesprochen worden sind, zurückzuführen ist.

---

**Herr Herkendell:**

---

Dann würde das **Kleinklima** positiv beeinflusst, wenn die Oberflächenschicht aufplatzt, genau an der Stelle. Ist das richtig?

---

**Dr. Warscheid:**

---

In dem Moment ja, nur ich denke, dann ist der Prozeß eigentlich auch schon...

---

---

**Herr Herkendell:**

---

Wie lange muß ich mir das denn vorstellen jetzt? Also sagen wir einmal 15 Jahre, 20 Jahre, bis die Kruste gebildet ist oder 30 oder 50? Und in diesem Prozeß ist das eine **Versiegelung** oder läuft auf eine Versiegelung hinaus. Und irgendwann, wenn sie eine gewisse Dichte erreicht hat, platzt sie dann an besonderen, vielleicht sonnenexponierten Stellen zuerst auf. So würde ich es mir laienhaft vorstellen. Und dann stellt man fest, daß dahinter die Zersetzung des Materials so weit fortgeschritten ist, daß da ...

---

**Dr. Warscheid:**

---

Dann ist, also jedenfalls nach meiner Erfahrung, ich denke jetzt zum Beispiel auch an den Kölner Dom mit dem Schlaiddorfer Sandstein, der dort in Schalen in der Oxidationszone abplatzt und wie wir gestern gehört haben, in Prozessen nach sieben Jahren sich dieser Prozeß bereits immer wiederholt, oder ob das Schilfsandsteine sind, die schalenmäßig abplatzen, danach ist eben eigentlich der Prozeß vorerst abgeschlossen. Sie können höchstens, wie im Kloster Birkenfeld, dann die Schalen wieder ankleben mit Polyurethan oder so was.

---

**Dr. Prinz:**

---

Die schwarze Kruste allein platzt ja nicht ab, sondern mit dem darunterliegenden Stein, zumindest in der Regel.

---

**Dr. Warscheid:**

---

Ja, da ist sicherlich jetzt noch einmal ein Unterschied; man müßte das noch einmal aufschlüsseln nach den einzelnen **Gesteinstypen**. Jede Krustenbildung an den einzelnen Gesteinstypen ist wieder sehr unterschiedlich. Ich wollte jetzt nur das einfache Bild erst einmal benutzen. Wir haben festgestellt, daß es Krusten als Auflagerungen gibt, und daß es Krusten gibt, die mit dem Gesteinsmaterial inkrustieren und daß es auch **Auflagerungen** gibt,

---

---

die quasi eine Schalenbildung erzeugen. Das ist dann aber die Frage, ob so etwas auch noch als Kruste bezeichnet wird, oder ob das ein ganz anderer Prozeß ist. Obwohl da möglicherweise die gleichen Phänomene wie zum Beispiel Porenverschluß und so weiter eine Rolle spielen. Aber die Schale sieht ganz anders aus.

---

**Dr. Prinz:**

---

Das schalenartige Abplatzen einschließlich der schwarzen Schicht werde ich heute nachmittag im Rahmen des Werdener Rundganges an einem Grabstein zeigen, wo dies in klassischer Weise geschehen ist. Herr Blaschke.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Ich möchte noch einmal hinweisen auf die unterschiedlichen Krusten und ihr Alter. Wenn Sie den Prozeß auf so einfache Wachstumsprozesse zurückführen, wie ich versucht habe, am Kalkspat darzustellen und auch selbst beobachtet habe, trocknet dieser Bioschleim ein und reißt auch, wenn er ganz austrocknet. Nur ist dann folgendes gegeben: Unter dem Riß ist jetzt das Reservoir der Porenfeuchte des Gesteins wieder eröffnet und genau an dem Riß bilden sich wieder die ersten Algen. An diesen Rissen verheilt die Schleimschicht wieder, so daß durch eine Art Selbstheilungsprozeß in dem nächsten Jahr oder in zwei Jahren die Oberfläche schon wieder total zu ist. Dann hört der Spaß auf und die Kruste wird erst recht schwarz. Der Grund für das Abplatzen dicker Schalen zusammen mit dieser schwarzen Oberflächenschicht im wechselseuchten Bereich sind Frostaufbrüche. Unter der dünnen schwarzen Schicht kommt es wie im Auto zur Eisblumenbildung. Und jedes Mal, wenn es einfriert, werden kleine Poren weiter geöffnet, ein kleiner Riß, das tauende Wasser dringt wieder in diese Risse ein, es friert wieder. Wenn das ein paar hundertmal wechselt, dann bekommen wir Frostsprengung auch bei ganz geringen Feuchtgehalten im Gestein, eben durch diesen "Eisblumeneffekt" unter der dichten Oberfläche.

---

**Dr. Prinz:**

---

Da kann die Sonne noch wieder mit hineinspielen, wie dies vorhin schon einmal erwähnt wurde. Bei den Bäumen wissen wir ja, daß die Frostrisse an der Südseite am häufigsten vorkommen, wo die

Temperaturunterschiede am größten sind, mithin zwischen Nachtfrost und mittäglicher Sonneneinstrahlung die größten Differenzen entstehen.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Das stimmt, ich habe mir in Ternell (Spanien) 40 Jahre alte, dünne Natursteinsäulen angesehen. Der organische Film darauf ist so dünn, daß Sie ihn mit bloßem Auge gar nicht sehen. Er ist nicht viel dicker als die Vergütungsschicht auf einem Objektiv. Er hat die Farben dünner Plättchen. Die dünne schwarze Haut reicht aber aus, die Feuchte zu sammeln. Wir hatten im Januar nachts minus sieben, tagsüber plus fünfzehn Grad im Schatten. Dieser dauernde Temperaturwechsel läßt auch ohne Schadstoffe die Säulen auseinanderfallen. Dasselbe Gestein in der freien Landschaft ist durch Flechtenbewuchs gekennzeichnet. Da passierte über Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte überhaupt nichts, weil die massiven Gesteinsblöcke niemals ganz austrocknen.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Sie müssen sich diese Krusten so vorstellen, daß sie auf verschiedene Weise zustandekommen. Es gibt einmal die Aufwehungen, das heißt, Staubmaterialien, die sich oben auf die ursprüngliche Oberfläche aufsetzen. Dann gibt es die Transportvorgänge im Gestein, die in aller Regel mit dem Wassertransport bei Regen in den Stein hinein, bei Trockenheit aus dem Stein an die Oberfläche heraus, auch mit dem Transport von Kationen und anderen Bestandteilen im Gestein beladen, verbunden sind. Wenn die im Gestein gelöste Kationenkonzentration an der Oberfläche austrocknet, dann kristallisiert sie da in aller Regel dann auch aus. Diese fügt dann unten drunter, unter dieser Kruste, die sich ein, zwei, drei Quarzkorn-Dicken vielleicht entwickeln kann, dort wird eine Auswaschung stattfinden, so daß die Matrix, die diese Quarzkörner zusammenhält, verschwindet und Sie haben dort an und für sich eine pulverige Zone. Die Umbildungen in dieser Krustenschicht werden dann sozusagen auch den Temperatureinflüssen und den äußeren Einflüssen unterworfen. Wenn ich ein Sulfat habe, dann ist es oberhalb von 40 °C von einer entwässerten Form und unterhalb von 40 °C in einer Wasserform vorliegend. Das kann an einer Südseite eines solchen Exponats zweimal am Tage diese Temperaturgrenze durchfahren sein, das bedeutet auch, daß jedes Mal die Kristallgröße verändert wird und damit Drücke hineingeraten.

Etringit ist da einer der gefürchteten Namen. Es gilt für Molassesandsteine in anderer Form mehr und Sie haben damit diese **Aufwölbungen**, die dann letztendlich irgendwann mechanisch auch durch Wind oder andere Dinge zum Abreißen kommen können, und dann rieselt der Sand darunter weg. Sie haben eine neue exponierte - Sie sagen unkontaminierte Oberfläche, weil sie sauber aussieht - aber sie ist bereits vorher durchwachsen worden, sie ist besiedelt worden und so kann dieser Biofilm sich oder hat sich sogar da schon gebildet und dann kann sich das neu wieder entwickeln. Das ist also eine **Sukzession von Abschalungen**, die über die Jahrzehnte letztendlich die Oberfläche immer tiefer in den Stein hineinlegt, und was Dombaumeister Wolff sagt, oben die Strebebögen sind jetzt so weit abgeblättert, daß sie gerade am Rande ihrer Standfestigkeit noch sind, das ist die Folge dessen.

---

#### Dr. Prinz:

---

Ich habe gerade mit Interesse festgestellt, daß wir eigentlich den Stoff von gestern hier gerade noch einmal kurz aufgearbeitet haben. Dies ist aber nicht weiter schlimm, das ist dann eben ein Nachholeffekt. Haben Sie noch etwas, Herr Wilimzig? Nein, dann können wir weiter fortfahren, glaube ich. Gibt es noch Fragen?

---

#### Dr. Fiebrich:

---

Ich würde gerne noch im Moment ein paar Sätze auf die **Schalenbildung** zu sprechen kommen, bevor ich also zu meinem Statement komme, und zwar, ich würde das gerne unterteilen in Schalenbildung an **Natursteinen** und im **Beton**. Ich möchte nur noch erwähnen, daß der Mechanismus, der zu diesem Abschalen führt, natürlich ohne **Mechanik** gar nicht nachzuvollziehen ist. Das heißt, es muß in diesem Gefüge auf Grund dieser äußeren Einwirkungen **E-Modulunterschiede** geben, unterschiedliche **Feuchtedehnungen**, die dann zu Zugkräften führen, die einfach das Material nicht aufweist. Sind denn an diesen Schalen, die Sie untersucht haben, auch derartige Merkmale einmal festgestellt worden, was die feuchtetechnischen Eigenschaften und die E-Module anbetrifft, um das nachzuvollziehen? Denn ich sehe ja, daß die Mikroorganismen mit ein auslösender Effekt sind. Und wenn Sie auch sagen, daß diese gallertartige Masse sehr dicht ist, denke ich eben auch an das sehr, sehr kleine Wassermolekül, und sind da schon einmal Bestimmungen gemacht worden, wie die

**Wasseraufnahme** einer solchen belegten **Schale** ist, um diese Überlegungen, die Sie gerade beschrieben haben, nachzuvollziehen?

---

#### Dr. Warscheid:

---

Ich meine, wir messen keine E-Module. Es ist einerseits nicht Teil unseres Auftrags, andererseits nicht Teil unserer Arbeit. Wir sind allerdings, ich sagte das auch schon bereits eben, dabei, zumindest diese Wasseraufnahme näher zu untersuchen. Wir beobachten die Asterixprüfkörper nun schon sehr lange und wissen, wo entsprechender biologischer Bewuchs ist, und wo wir keinen Bewuchs finden und nachweisen können. Zum Beispiel sind wir zur Untersuchung der **kapillaren Wasseraufnahme** einmal um diese Probenkörper herumgegangen und konnten durchaus zeigen, daß sich an diesen Stellen, wo wir wissen, daß auch die Biologie entsprechend aufwächst und auch nachweisbar ist, auch die Wasseraufnahme ändert und zwar überwiegend, daß sie **gestört**, bzw. gehemmt wird. Es gibt wohl in der Übergangphase bei grobkörnigem Sandstein die Möglichkeit, daß Sie erst einmal das **Zuwachsen** einer groben Pore haben und damit kurzzeitig eine Erhöhung kapillarer Wasseraufnahme, was man sich vorstellen kann, indem einfach der Porendurchmesser verändert wird. Wie das aber wirklich im einzelnen aussieht, und wie sich das über die Zeit verändert, sagte ich schon, ist jetzt Teil unserer weiteren Arbeit im Rahmen des Prüffeld-Projektes. Wir müssen natürlich auch erst einmal eine Bewitterung für einen ganzen Zeitraum haben, um überhaupt etwas messen zu können.

---

#### Dr. Fiebrich:

---

Ich halte das für sehr, sehr notwendig, daß man diese ganzen einzelnen Merkmale sieht. Wenn ich an die Behandlung eines porösen Substrats mit einem filmbildenden, polymer vernetzten Material denke, dann hat dieser Film sehr wohl noch eine Wasseraufnahme über Diffusion. Selbstverständlich ist ein derartig behandeltes Material oder die Schicht, hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften und feuchtetechnischen Eigenschaften von der unbehandelten zu unterscheiden, ganz klar. Zum Beton wollte ich noch folgendes sagen. Der Betonbau ist ja noch relativ jung, und es ist also für die Bautechnik im Grunde kein Problem, einen **Beton** herzustellen mit einem hohen **Frostwiderstand**. Wir bekommen natürlich auch immer wieder Schäden, nämlich dann, wenn der Beton nicht entsprechend dem derzeitigen Kenntnisstand



der **Rezeptur** ausgelegt ist. Einen Zusammenhang zur **Mikrobiologie** haben wir nicht festgestellt, aber was Sie da erwähnt haben, interessiert mich sehr, inwieweit da Zusammenhänge hergestellt werden können, daß die Mikrobiologie oder ein Bewuchs ein beschleunigender Faktor sein kann. Jetzt würde ich gern zu meinem eigentlichen Statement kommen. Ich möchte noch etwas vorausschicken. Wir beschäftigen uns im Bereich der Materialprüfung, mit der Forschung an **Oberflächenschutzsystemen** aus polymeren Stoffen, z.B. die **Bindemittelgruppepalette**: Acrylharze, Polyurethane, Epoxydharze und entsprechende Modifikationen, auch Siloxane, Silane. Die dienen zur Behandlung von Beton, mineralischen Flächen, Putz, um bestimmte Eigenschaften zu erzielen, die dieser entsprechend zu schützende, zu behandelnde Baustoff nicht aufweist. Ich denke da zum Beispiel an eine bestimmte **Dichtigkeit** gegenüber aggressiven Medien, beispielsweise Chloridlösungen beim Beton, oder wenn er besondere **mechanische Eigenschaften** benötigt bzw. Beanspruchungen da sind wie im Industriefußbodenbereich, im Parkhausbereich, die der Beton von sich aus nicht bringen kann. Dort setzt man **Oberflächenschutzmaßnahmen** ein, im Brückenbereich für rißüberbrückende Beschichtungen, bei Wannengebäuden, aber auch im Natursteinbereich. Und weil man doch die Erkenntnis ziehen konnte, daß die bisherigen Behandlungsmaßnahmen mit den silicioorganischen nicht-filmbildenden Stoffen nicht so erfolgversprechend gewesen sind, ist man auf die Schiene eingeschwenkt, **filmbildende Stoffe**, Schutzstoffe auf polymerer Basis zu entwickeln, die die inneren Porenräume auskleiden, aber **nicht verstopfen**. Nun ist im Forschungsbereich die Frage, wie dauerhaft denn eigentlich diese Stoffe sind, sowohl für den Betonschutz als auch für den Naturschutz, und dort verfolgen wir im wesentlichen zwei Hauptstränge. Einmal werden im Labor bestimmte **klimatische Beanspruchungen** im Einzelparameterversuch nachgefahren, ich denke an Temperaturwechselbeanspruchungen, Frost-/Tauwechsel, Gewitterregen oder an die künstliche Alterung, UV-Alterung, zusammen mit einer Regenbelastung oder auch die Belastung gegenüber chemischen Medien, und im Anschluß an diese **Einzelparameterbeanspruchung** werden **einzelne Merkmale** bestimmt. Dazu zählen zum Beispiel **mechanische Eigenschaften**, Beta-, Z-, Epsilon-Wasseraufnahme, auch die **visuelle Beurteilung**. Bilden sich also Risse, Ablösungen, Blasen, die man ja quantitativ mit Hilfe der verfügbaren Regelwerke sehr gut einschätzen kann, werden diese bestimmt, ebenso wie auch **Oberflächeneffekte**, Aufrauhungen, Farbe, oberflächenenergetische Gesichtspunkte. Randwinkelmessungen werden durchgeführt, da wir wissen, daß die Oberflächenenergie ein entscheidender Punkt für das Ver-

schmutzungsverhalten einer Beschichtung ist. Und nun ist es so, daß natürlich die Frage gestellt werden muß, ob diese Einzelparameterversuche ausreichen, um etwas über die Tauglichkeit in der Praxis zu sagen, und wir haben gesagt, sie reichen nicht aus, und haben deshalb **Freibewitterungsversuche** durchgeführt mit den vorgenannten Produkten an entsprechend dimensionierten Probekörpern. Die Probekörperform und Probekörperwahl hängt selbstverständlich sowohl von den zu bestimmenden Merkmalen am Expositionsstandort als auch von den später im Labor zu untersuchenden Proben ab. Die Größenordnung und die Standorte, die dort gewählt sind, sollten repräsentativ sein, die **Materialauswahl** erfolgt selbstverständlich nach Marktpräsenz-Gesichtspunkten. Ich komme auf die Wortmeldung des Herrn zurück, der die Sitzung verlassen hat: selbstverständlich macht man sich erst einmal Überlegungen, welche Produkte sind denn überhaupt marktrelevant und fängt nicht irgendwo an, und dann zapft man die Rohstoffhersteller an, es ist gerade Bayer, Hoechst und BASF genannt worden, nur muß man ganz klar sehen, in diesem Oberflächenschutzbereich sind diese potenten Rohstoffhersteller überhaupt nicht die Endformulierer. Es gibt nämlich noch die Zwischenformulierer, z.B. Remmers, Enzy-Bauchemie, Sika und so weiter, die eigentlich die Aufgabe hätten, diese Forschung zu tun, das aber nicht können, ganz einfach aufgrund ihrer Wirtschaftskraft. Die großen Firmen machen **Grundsatzuntersuchungen** mit bestimmten **Standardrezepturen**, wo sie Auslagerungen machen. Das Verhalten von Kreiden, ihre Pigmentzusammensetzung ist nicht das Problem, das entscheidende Problem ist, abzuschätzen, wie die endformulierten Produkte hinsichtlich ihrer **Dauerhaftigkeit** sind. Und bei dem Anlegen eines solchen Versuchsprogrammes macht man sich selbst sehr wohl Gedanken darüber, daß man alles aus einer Charge fertigt, daß man sowohl Probekörper, die an eine Exposition gelangen, als auch die, die im Labor untersucht werden, mit gleichem Zement, mit gleichem Zuschlag herstellt, zu gleichen Zeiten, aus gleichen Chargen etc., alles parallel untersucht, um möglichst viele Einflüsse auszuschalten. Dann vielleicht noch, das gilt für den Natursteinbereich, wir haben neben **Einzelparameteruntersuchungen im Labor** die **Freilandexposition ohne Beschleunigung**, und als den dritten Strang, daß das BMFT die sogenannte Venus oder eine **Umweltsimulationskammer** gesponsort hat. Diese erlaubt nach Meinung der an der Konzeption dieser Anlage beteiligten Partner, sowohl Physiker als auch Chemiker, Mineralogen, Ingenieure, daß man alle relevanten Merkmale simulieren kann wie Schadgase, Nebel, Sonne, Regen, Temperaturen, auch daß man die bauphysikalischen Bedingungen einer Wand innen/außen simulieren kann, also ein



---

**Zweikammersystem** fahren kann, was ein entscheidender Punkt ist. Das kann man ja bei einer normalen Exposition auf dem Wank, Korsika und Duisburg, die angesprochen sind, gar nicht simulieren, und diese Versuche sollen beschleunigend wirken, weil wir wissen, daß wir mit diesen langen Expositionszeiten vor Ort nicht so schnell zu Ergebnissen gelangen. Aber die Politik beispielsweise sagt, untersucht uns erst mal die Dauerhaftigkeit des Oberflächenschutzsystems beim Beton über fünf Jahre. Und zur Zeit sind diese Untersuchungen am Beton auf fünf Jahre hin ausgelegt.

---

**Dr. Prinz:**

---

Herr Herkendell, können wir Ihre Frage auf gleich verschieben. Wir haben ja noch den Punkt zwei: Welche **experimentellen Untersuchungen** halten Sie für zweckmäßig, einschließlich Expositionstechniken? Was mich wundert, ist, daß noch keiner etwas zur Geometrie der Probekörper gesagt hat. - Ach, das kommt noch. Sie lösen alles, Herr Brüggerhoff? Sonst gibt es dann zu den Ausführungen von Herrn Fiebrich keine Fragen mehr? Nein. Dann kommen wir zu Ihnen und Sie sind jetzt wieder der krönende Abschluß.

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Ich habe bewußt, nachdem das große BMFT-Projekt gestern mehrfach angesprochen worden ist, einige Dias herausgesucht, um denjenigen, die dort nicht involviert sind, jetzt auch einmal **Exponatgeometrien** vorstellen zu können. Deshalb jetzt erst einmal kein Statement von mir, sondern einfach nur einige Bilder mit Beschreibung. Hierbei können vielleicht auch einige andere Teilnehmer aus dem Projekt, da diese Objekte in einem Gesamtprojekt betreut wurden, Erklärungen abgeben. Das ist der besagte **Asterix**, so ausgebildet, um verschiedene **Bauwerkssituationen** in etwa **simulieren** zu können. Das heißt, man sieht auf der einen Seite sehr steile Zinnen, zwischen diesen Zinnen flache und steilere Abläufe, dann die besagte **Simssituation**, die durch diesen Vorsprung unten simuliert werden soll. Die zwei Löcher, von denen eines durchgängig ist, das andere nur bis zu Hälfte des Körpers gebohrt wurde, um Situationen darzustellen, wo sich Staubablagerungen ausbilden können, die weitestgehend ohne großen Feuchtigkeitseintrag sind. Das heißt, hier hat es in Gesprächen, soweit ich mich erinnere, mit dem Kölner Dombaumeister Professor Wolff, der dieses einmal

kurz skizziert hat, Überlegungen gegeben, möglichst viele **Bauwerksituationen** in einen Prüfkörper hineinzubringen. Gleich eine Wertung von mir: Es gibt sicherlich Vorteile für diesen Prüfkörper, weil eben sehr viele Situationen phänomenologisch beobachtbar sind. Es gibt aber auch einen großen Nachteil: Dieses System ist ungemein schwierig als Gesamtheit zu beschreiben, weil es so hochkomplex ist. Insofern stellt sich die **Interpretation** der Gesamtvorgänge natürlich auch **schwierig** dar. Das nächste Bild. Eine andere Konzeption besteht in der Ausbildung einer Wandfläche. Damit sind wir wieder bei dem, was Herr Professor Lucke ausgeführt hat. Man hat die Wand jetzt im Ganzen gesehen, dann haben wir hier ein Detailbild. Wir haben es hier mit einem System einer, jetzt auch wieder ein Name, "**Obelix-Wand**", auf dem Prüffeld in Holzkirchen, betreut vom Fraunhofer Institut für Bauphysik, zu tun. Dort wird versucht, bewußt diese Bauwerkssituation "**Wand**" durch ein **Zweikammersystem** darzustellen, das heißt, außen eine direkte, der natürlichen Umgebung ausgesetzte Fläche, eine **Vermörtelung**, um auch hier den Einfluß des Fugenmörtels noch mit hineinzubringen und innen die Möglichkeit, ein gesteuertes **Innenklima** zu fahren. Das nächste Bild bitte. Ich stelle jetzt einfach nur mal vor: Ein System, so wie wir es konzipiert haben, und das wir für Schutzmitteltests nehmen. Auch wir haben versucht, aber in einfachem Umfang, verschiedene Bauwerkssituationen zu simulieren. Hier vielleicht ganz interessant, das ist ein Baumberger Sandstein. Das Exponat ist nicht mit Schutzmitteln behandelt und jetzt, ich glaube, das Photo entstand zu einem Zeitpunkt, wo er etwa 1 1/2 Jahre exponiert war, sieht man schon eine deutliche biologische Besiedlungsdichte auf dem Material. Hier ist also das Ihnen allen bekannte **MANK'sche Karussell**, was ja auch schon zu Luckats Zeiten angewendet worden ist, wo wir ein sehr einfaches Prüfkörpersystem, nämlich nur **dünne Steinplättchen**, an einem relativ frei anströmbaren System der Witterung ausgesetzt haben. Die Proben wurden unter dem Dach, vor direktem Schlagregen geschützt, und über dem Dach exponiert. Vielleicht das nächste Bild, das noch einmal Details zeigt. Hier im Nachhinein eine gewisse Einschränkung. Wir haben dieses **MANK'sche Karussell** mit zehn unterschiedlichen Steinsorten belegt. Ich muß im Nachhinein sagen, dieses ist etwas kritisch. Um auf die Diskussion zwischen Dr. Krause und Dr. Marfels zurückzukommen, auch wir können nicht garantieren, daß die freie **Anströmbbarkeit** aller zehn Plättchen auf einem Karussell wirklich gleich ist. Es laufen jetzt Überlegungen und Untersuchungen, wirklich nur noch sternförmig fünf Plättchen zu nehmen. Aber diese zehn Plättchen, und dann geht das Ganze schon in meine nächste Überlegung hinein, sind gewählt worden, weil wir **zehn verschie-**

dene Steinsorten in dieser Untersuchung aufgenommen haben. Wenn ich jetzt noch einmal wieder dieses besagte Dia zurückhaben könnte, was ich vorhin überschlagen habe, hier jetzt eine Auswahl unterschiedlicher Gesteine. Das sind jetzt mehr als diese zehn, das sind alle in dem großen BMFT-Projekt exponierten Steinsorten. Dabei sieht man nun, daß es sich doch um eine Vielzahl unterschiedlicher Gesteine handelt. Hier ist ein Parameter, der zu Klassifizierung herangezogen werden kann, in Form der Bindung angegeben. Man könnte zehn bis zwanzig weitere Spalten dahintersetzen, die wiederum Unterschiede angeben, die zwischen den einzelnen Gesteinen auftreten. Weiterhin ganz wichtig ist die Porosität, die Professor Blaschke schon angesprochen hat. Zusätzlich noch die Festigkeitswerte, die sich bei diesen Materialien ergeben und und und... Dieses sei an dieser Stelle noch einmal angeführt, um zu zeigen, daß der Vergleich sicherlich nur zwischen artgleichen Systemen gezogen werden kann, und daß die Übertragung eines Mechanismus auf ein anderes Gestein mit gebotener Vorsicht erfolgen muß. Hier noch einmal ganz kurz eine Auswahl der Standorte, die letztendlich bestimmend sind für die Art der Einwirkung von Einflußparametern. Wir haben es ja immer mit einer natürlichen Situation zu tun, die wir nicht beeinflussen können, die wir uns aber in ihren Grundzügen natürlich ausgesucht haben. Das sind jetzt **sechs Stationen**, die dieses Prismenmaterial und die kleinen Plättchen aufweisen. Hier kann man jetzt Duisburg auch gleichzeitig als Standort für den vorgestellten Asterix sehen, und für den gleichen Exponattyp als siebten Standort Holzkirchen. Hier liegt, ähnlich wie in Kempten/Allgäu, ein Standort vor, der z.T. Gebirgsklima, zumindest Ozoneinflüsse aufweist. Die Auswahl der Standorte sollte verschiedenen Gegebenheiten Rücksicht tragen, da kann ich mich aber letztendlich auch den Worten von Herrn Fiebrich anschließen, der das auch schon ausgeführt hat. Danke für die Dias. Ich habe jetzt noch zu den Ergebnissen dieser Untersuchungen einige Folien vorbereitet. Ich möchte vorher aber eine grundsätzliche Bemerkung machen: Wir haben uns bisher immer darüber unterhalten, daß wir einzelne Parameter der Veränderung erfassen. Grundsätzlich muß vor all diesen Fragen natürlich stehen, wie weit sind diese Parameter, die wir erfassen, tatsächlich direkt **relevante Parameter im Verwitterungsprozeß**? In diesem Zusammenhang muß ich bei unseren Ergebnissen nun wieder sagen, auch wir haben nur Einzelparameter ermittelt. Das heißt, und ich gehe jetzt auf die Plättchenversuche ein, wir haben z.B. ermittelt, wie ist die **Schadstoffanreicherung** in der Probe, beziehungsweise wie ist der **Materialabtrag**. Das kann aber natürlich nur im Zusammenhang mit der Tatsache gesehen werden, daß vorgeklärt ist, daß der Schadstoffeintrag über eine erhöhte Salzbildung

und dann über die **Wechselwirkung** zwischen **Salzbildung** und **Sprengwirkung** zu einem Schädigungsprozeß führt. Letztendlich sollte man immer sehr vorsichtig sein, nur Faktoren zu messen und sie nicht in Bezug auf den Verwitterungsprozeß zu sehen. Ich lege jetzt einfach einmal die Folien auf, um die Ergebnisse vorzustellen, weil sich hier auch immissionsbedingte Einflüsse ganz klar abzeichnen. Vieles von dem ist fast trivial. Erstes Beispiel ist **Baumberger Kalksandstein**, ein sehr empfindliches Material, an drei Stationen, Duisburg, Dortmund und die Eifel (Bild 2a). Einfach einmal nur die **Expositionsdauer**, hier in dem Fall bis zwei Jahre, trockene Bewitterung, also Plättchen unter dem Dach, aufgetragen gegen die **Gesamtschwefelmenge**, die in dem Material nach dieser Zeit jeweils festzustellen war. Entnahmekzeiten waren ein halbes Jahr, ein Jahr, anderthalb Jahre und zwei Jahre. Wir haben unterschiedliche Proben exponiert und nach unterschiedlichen Zeiten entnommen, da muß natürlich wieder gewährleistet sein, daß das exponierte Material, das ist auch schon angesprochen, möglichst homogen und artgleich ist. Dieses kann hier nur in gewissen Grenzen erreicht werden. Deshalb gibt es letztendlich eine Vergrößerung der Aussagen. Sie sehen ganz klar, Duisburg als Industriestandort, in der Nähe Thyssen, ganz logischerweise ein deutlicher Anstieg, Dortmund - eine geringere Steigung, die Eifel noch geringer. Nur, das war ja die Frage, kann man das jetzt **verallgemeinern**? Deshalb eine andere Steinsorte: **Schleeriether Sandstein** (Bild 2b). Das gleiche Bild. Ich lege jetzt noch einmal das andere Dia mit der Skala auf, damit man den Unterschied zum Baumberger sieht. Wir haben es also hier einmal mit einer Skala, die bis 0,3 Gewichtsprozent ging, beim Schleeriether aber nur bis 0,2 Gew.% zu tun. Wie gesagt, dasselbe Bild, aber reduzierte Aufnahme, weil es sich um ein anderes Material handelt. Das gleiche, jetzt können wir das einfach schnell durchgehen, für den Obernkirchner Sandstein, ein nahezu rein silikatisches Material (Bild 2c). Wiederum dasselbe Bild, aber eben noch stärker **reduzierte Schadstoffaufnahme**. Dann haben wir gesagt, wir wollen diese Schadstoffaufnahme einmal korrelieren mit dem Schadstoffangebot, was an den einzelnen Stationen vorhanden war. Das Ergebnis hat uns ein bißchen überrascht. Wenn wir eine relativ einfache Größe als Bezugsgröße zur aufgenommenen Schadstoffmenge nehmen, nämlich die **mittlere SO<sub>2</sub>-Konzentration** im Expositionszeitraum, ganz einfach aus den Monatsdaten der LIS genommen, gemittelt über den Expositionszeitraum, multipliziert mit dem Expositionszeitraum, erhalten wir, unabhängig von der Station, eine **Korrelationsgröße zur Schadstoffaufnahme** bei einer bestimmten Steinsorte. Ich war selber überrascht, wie gut die Korrelation war. Man kann hier einen ma-

Baumberger Kalksandstein  
trockene Bewitterung

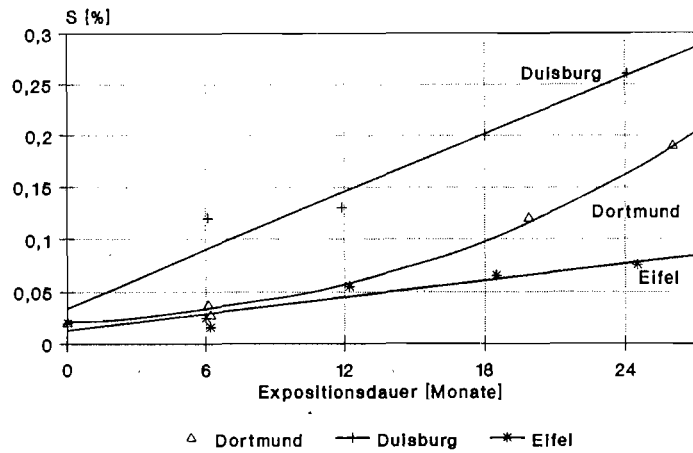


Bild 2 a

Schleieriether Sandstein  
trockene Bewitterung

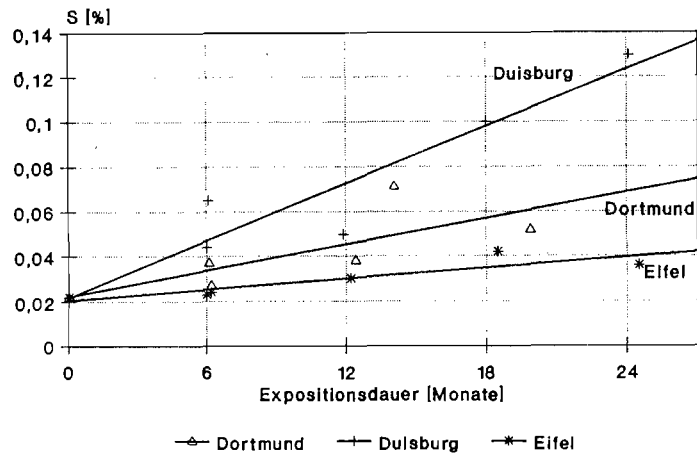


Bild 2 b

Oberkirchner Sandstein  
trockene Bewitterung

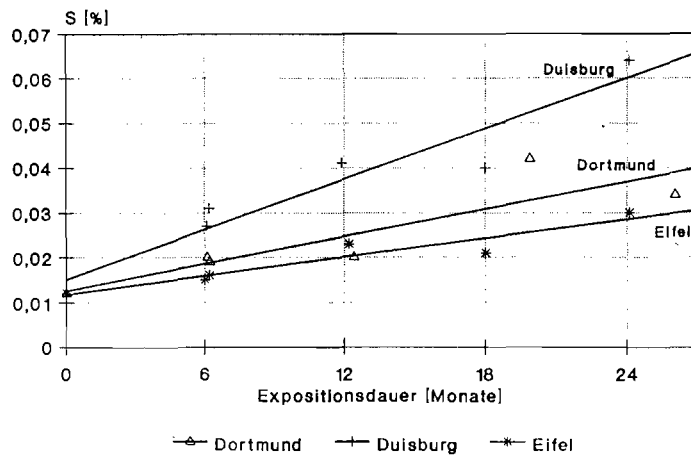


Bild 2 c

**terialspezifischen Faktor** für die Schadstoffaufnahme definieren. Dies ist überraschend, weil ich ja hier wirklich eine einfache Größe wie  $\text{SO}_2$  rausgenommen habe, keinen Einfluß von  $\text{NO}_x$  und anderen Größen berücksichtigt habe. Und doch scheint es so zu sein, daß sich diese einfache **Korrelation** schon heranziehen läßt (Bild 3a). Dasselbe Spielchen wie vorhin für **Schleeriether Sandstein** (Bild 3b), da sieht man, daß das Ganze schon nicht mehr so gut funktioniert, wir haben es aber trotzdem einmal aufgetragen, und dasselbe dann auch noch einmal für **Obernkirchner Sandstein** (Bild 3c). Auch hier scheint es eigentlich zu funktionieren. Das heißt also, dieser relativ einfache **Versuchsaufbau** scheint auch schon **konkrete Aussagen** zu bringen. Hier muß dazu gesagt werden, es fehlen in der Auswertung noch die Stationen in Süddeutschland, und der ganze Versuch ist angelegt auf einen Zeitraum von **fünf Jahren**. Ich will also dieses jetzt nur als vorläufiges Ergebnis hier vorstellen. Ähnliche Korrelationen, haben wir uns dann überlegt, müßten wir ja eigentlich auch bei feuchter Bewitterung finden. Hier haben wir wieder eine ganz einfache Größe herangezogen, die **Gewichtsänderung**, also den Gewichtsverlust der Plättchen auf dem Dach, die der direkten Beregnung ausgesetzt werden. Hier ist, da es sich um sehr kleine Plättchen mit einer möglichst großen Oberfläche handelt, keine Schadstoffanreicherung festzustellen, das heißt, der **Schadstoff** bzw. die Neubildungen werden einfach **ausgespült**. Man sieht aber hier, daß, abhängig von der Steinsorte und vom Standort, ein unterschiedlich starker Gewichtsverlust zu beobachten ist (Bild 4a). Der **Baumberger Sandstein** als kritisches Material ist natürlich sehr viel stärker betroffen, zeigt also stärkere **Materialverluste**. Der **Obernkirchner Sandstein** als Material, was sehr viel weniger stark Umsetzungsprodukte liefern kann, ist auch in Bezug auf den Materialverlust geringer betroffen. An der Station Eifel kann sogar eine **Gewichtszunahme** beobachtet werden, da will ich gleich noch einmal kurz etwas dazu zeigen. Da ist nämlich eine Korrelation mit den reinen Immissionen, und darüber unterhalten wir uns ja hier, nicht mehr möglich. Den Gewichtsverlust haben wir dann für die einzelnen Steinsorten wiederum mit dieser Korrelationsgröße "mittlere  $\text{SO}_2$ -Konzentration multipliziert mit der Expositionszeit", also einer **Dosis**, aufgetragen. Beim **Baumberger Sandstein** finden wir jetzt wieder eine **lineare Korrelation** (Bild 4b). Das heißt, die Gewichtsänderung läßt sich tatsächlich linear korrelieren mit der  $\text{SO}_2$ -Dosis im Expositionszeitraum und ist weitestgehend unabhängig vom Standort und den eventuellen Randbedingungen an diesem Standort, die ja unterschiedlich sein können. Beim **Schleeriether Sandstein** haben wir letztendlich einen "Sternenhimmel", da ist die Gerade etwas sehr

vermessen, die wir hier gezogen haben (Bild 4c). Das heißt, hier spielen sicherlich andere Einflußfaktoren eine größere Rolle. Betrachten wir noch den **Obernkirchner Sandstein**, das ist der Ball, den ich vielleicht noch einmal der Biologie zuspähen möchte. In **Duisburg** mit einer sehr hohen **Belastung** tritt auch hier noch ein **Gewichtsverlust** auf. In **Dortmund** ist jedoch eine **Gewichtszunahme** und in der **Eifel** nach unterschiedlichen Zeiten, entweder schon nach einem halben Jahr oder erst nach einem Jahr, festzustellen (Bild 4d). Das sieht man diesen Proben auch schon an, sie **vergrünen** nämlich ganz deutlich, das heißt also, die Korrelationsgröße Gewichtsverlust läßt sich hier bei diesem Material sicherlich nicht mehr heranziehen, um etwas über Immissionsbelastung auszusagen. Soviel eigentlich nur ganz kurz dazu. Die meisten grundsätzlichen Sachen sind ja eigentlich schon von den Experten dieser Runde erwähnt worden.

---

#### Dr. Prinz:

---

Vielen Dank, Herr Brüggerhoff für diese interessanten Ausführungen. Da Sie das **BMFT-Projekt** erwähnt haben, gibt mir dies Anlaß zu einer Frage, die ich auch nachher eigentlich noch einmal stellen wollte, nämlich, welche **Nischen** sehen Sie eigentlich für **Untersuchungen** hier im Land **Nordrhein-Westfalen**, gefördert durch unser Umweltministerium, vor dem Hintergrund dessen, daß hier schon sehr viel getan wurde und auch zur Zeit noch getan wird zum Beispiel im Rahmen von **BMFT-Projekten**?

---

#### Dr. Brüggerhoff:

---

Da sind wir genau bei dem Punkt, der ja in der Überschrift dieser Expertenanhörung steht, nämlich **immissionsbedingte Schäden**. Darin sehe ich die zwei grundsätzlichen Unterschiede, die zwar zum gleichen Ziel führen, aber doch unterschiedliche Betrachtungsweisen darstellen. Dieses **BMFT-Projekt** ist ausgelegt auf eine **Ergründung von Schäden** an Bauwerken. Eine **Facette** davon sind **Immissionen**. Es gibt viele, viele weitere Facetten, und es wird letztendlich der Schaden am Bauwerk und die Instandsetzung des Bauwerks und der Schutz des Bauwerks als eigentliche Aufgabe betrachtet. Wir unterhalten uns über eine Facette, nämlich wie wir beurteilen können, ob die Immissionen, die derzeit herrschen, einen Einfluß haben auf das Material Stein. Dies betrachtet eben von dem Gesichtspunkt, müssen wir die Immissionen jetzt noch einmal senken, oder neue **Immissions-**

Baumberger Kalksandstein  
trockene Bewitterung

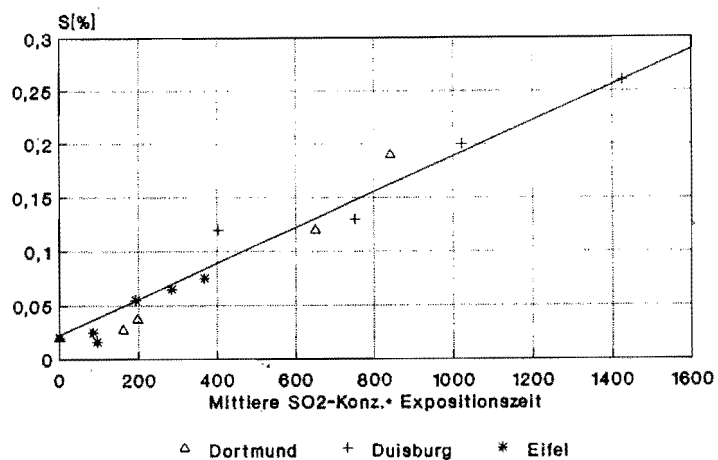


Bild 3 a

Schleierthaler Sandstein  
trockene Bewitterung

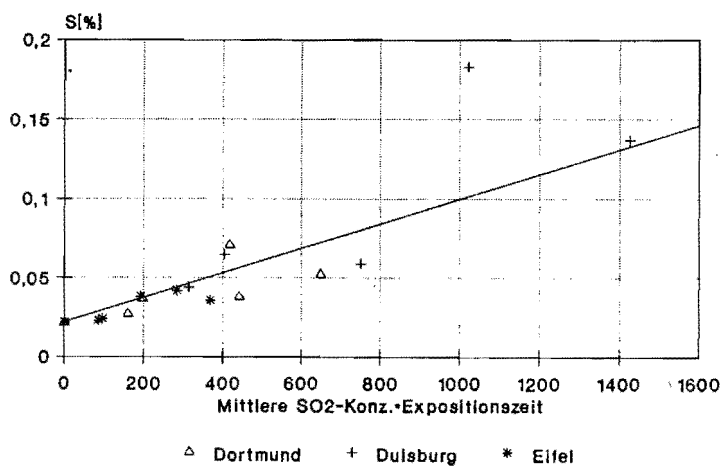


Bild 3 b

Oberkirchner Sandstein  
trockene Bewitterung

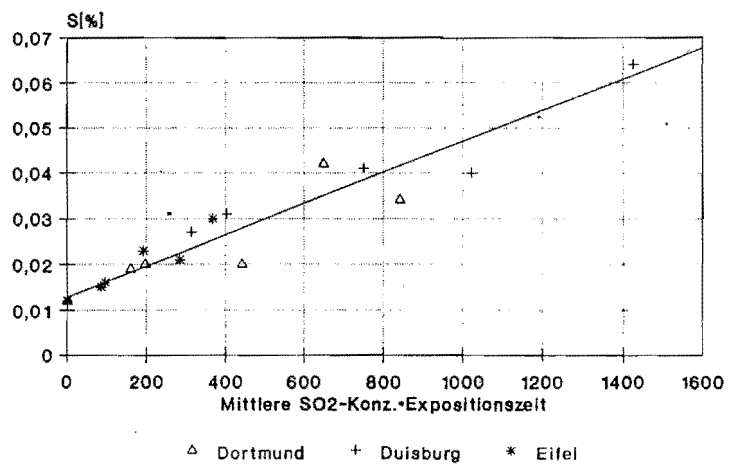


Bild 3 c

## feuchte Bewitterung

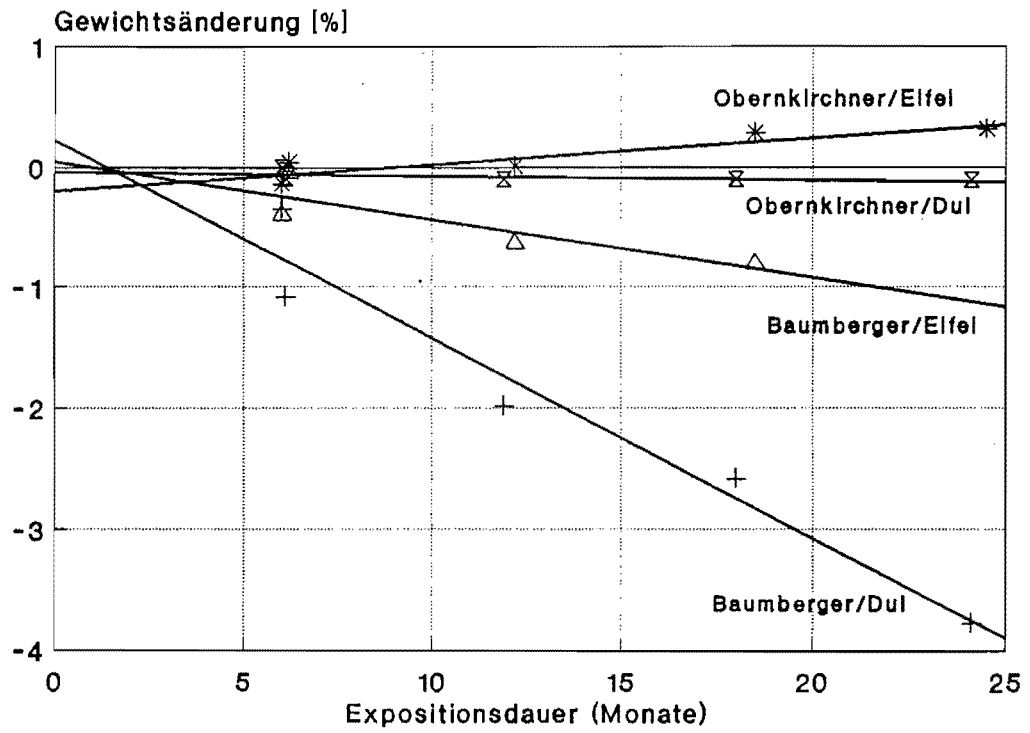


Bild 4 a

## Baumberger Kalksandstein feuchte Bewitterung

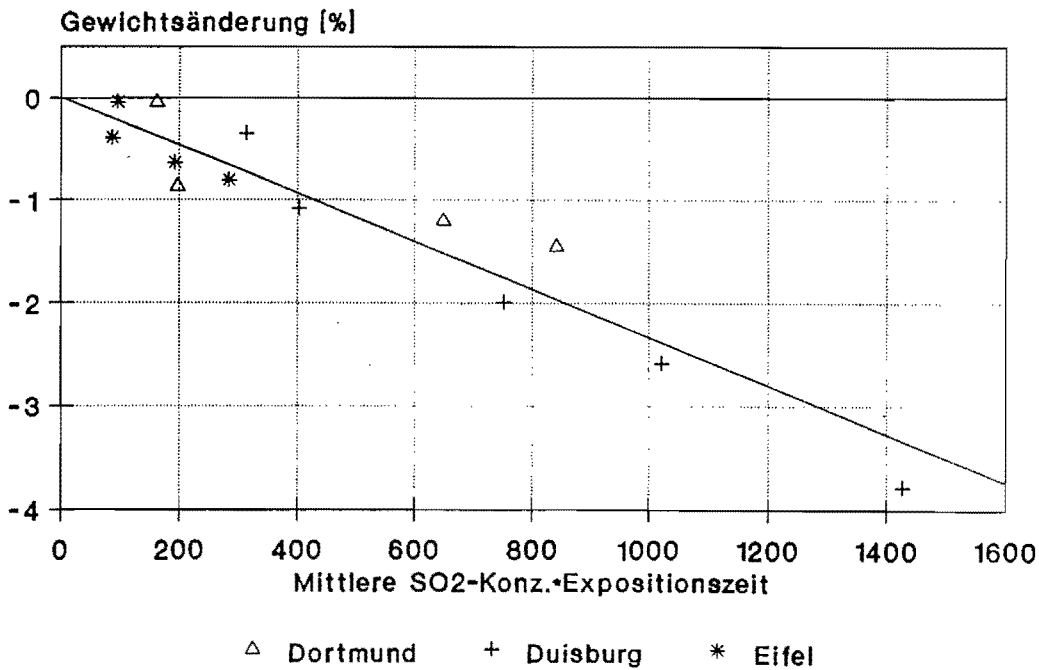


Bild 4 b

Schleieriether Sandstein  
feuchte Bewitterung

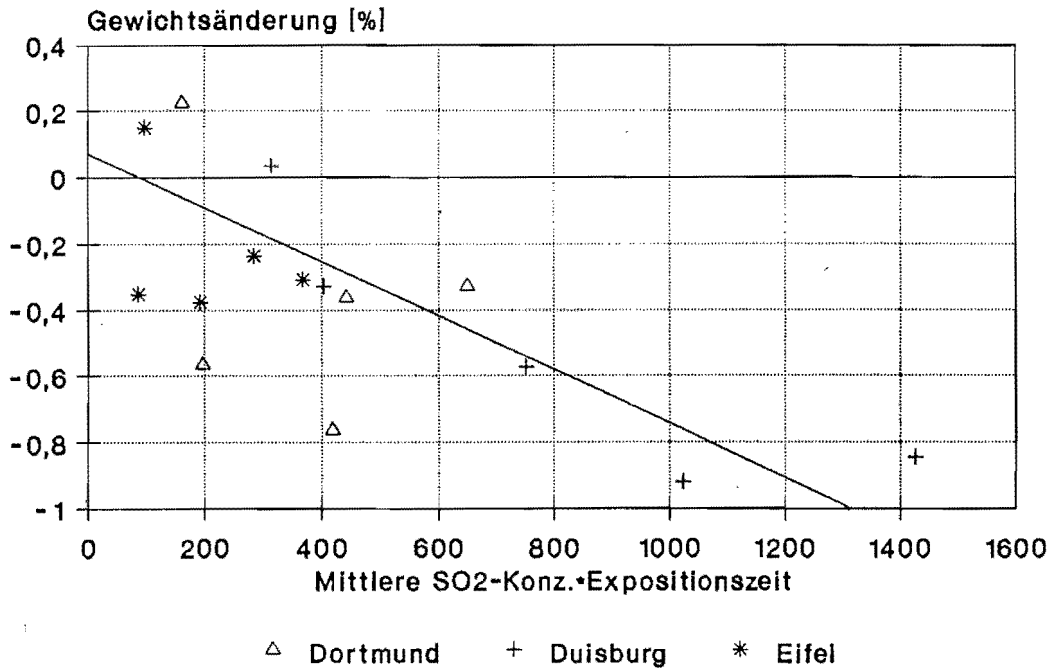


Bild 4 c

Obernkirchner Sandstein  
feuchte Bewitterung

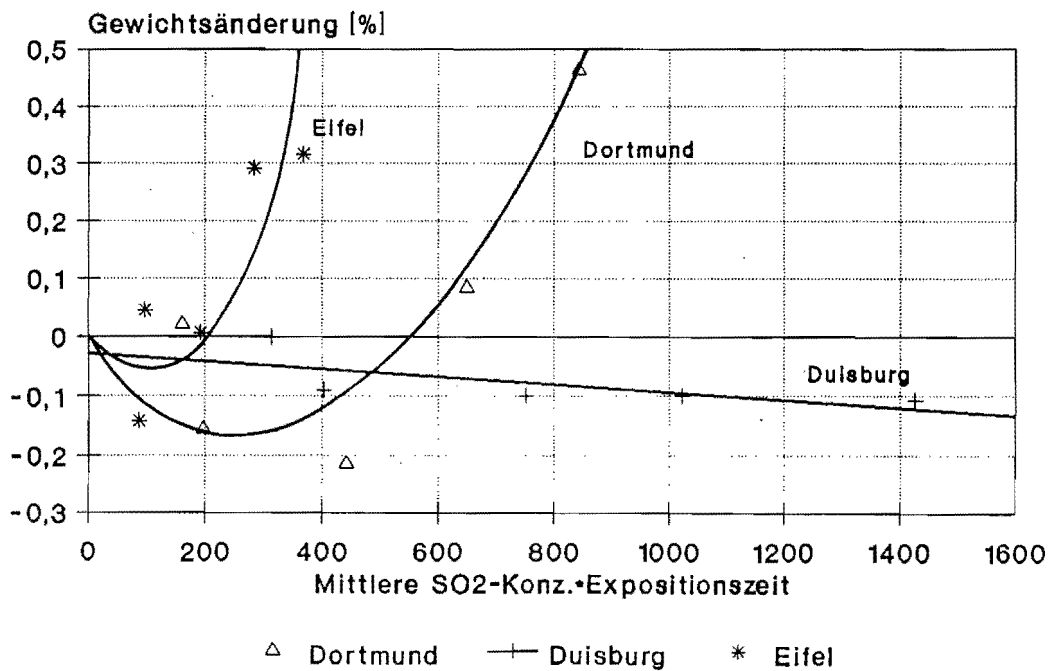


Bild 4 d

---

komponenten, die hinzugekommen sind, neu betrachten und diese senken, um das Bauwerk zu schützen oder um einen Teilbereich des Bauwerkschutzes zu erreichen oder ist das eigentlich jetzt im Wechselspiel aller Faktoren irrelevant geworden? Das ist eine Facette, die im BMFT, ich würde sagen, nicht ganz so stark betrachtet wird, weil mehr das gesamtheitliche Konzept einer Erhaltung des Bauwerks gesehen wird. Das ist eine Nische.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Beim Ansehen der Folien stelle ich fest, daß Sie nur bei der letzten Abbildung, also bei dem Obernkirchner Sandstein, direkt auch auf das Vorkommen von Mikroorganismen verwiesen haben. Heißt das im Umkehrschluß, daß Sie bei den anderen Gesteinsarten keine Mikroorganismen gefunden haben in Abhängigkeit von der Expositionszeit? Die Zeitspanne der Exposition ist ja durch die Multiplikation  $SO_2$ -Konzentration mal Expositionszeit in der Graphik nicht mehr so genau nachzuvollziehen.

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Dafür gibt es eine ganz einfache, leider auch banale Antwort: Wir haben sie gar nicht auf Mikroorganismen untersucht. Das heißt, wir sind von sehr einfachen Vorstellungen ausgegangen, haben Einzelversuche durchgeführt und haben dieses als Ergebnis bekommen. Wir haben es in Hamburg bereits schon einmal durchdiskutiert. Es ist sicherlich so, daß ein so einfacher Prüfkörper, der sehr schnelle Wechsel von Austrocknungen und Befeuchtungen immer wieder durchläuft, für die Ausbildung der Biologie ein anderes Milieu darstellt als ein wirklicher, in einem Gebäude eingebauter Stein, der in einem größeren Prüfkörper sicherlich auch besser dargestellt ist. Deshalb laufen die Untersuchungen im Hinblick auf biologische Aktivitäten auch an größeren Versuchskörpern wie den Asterixen, an denen dann zum Teil auch von anderen Gruppen auch wieder Schadstoffanalysen durchgeführt werden. Das heißt also hier, als Antwort auf Ihre Frage, das ganz Banale: Wir haben es nicht untersucht. Wir haben gar nicht die Möglichkeiten dazu.

---

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Es ist also vielmehr so zu sehen, daß bei diesem Sandstein die Grünfärbung so offensichtlich war, daß Sie das als Interpretationshilfe mit aufgenommen haben.

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Richtig.

---

**Dr. Fiebrich:**

---

Herr Brüggerhoff, Sie haben uns Meßergebnisse über einen Zeitraum von zwei Jahren vorgestellt, Schadstoffkonzentrationen an unterschiedlichen Sandsteinvarietäten, könnten Sie noch etwas, sofern möglich, über die bisher aufgetretenen Schadenserscheinungsformen, wenn es denn welche gibt, sagen?

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Da gilt letztendlich die gleiche Bemerkung wie zur Biologie. Wir haben uns natürlich auch die Schadensphänomene an diesen Plättchen angesehen. Aber diese Plättchen sind so grundsätzlich anders als der Stein im Bauwerk, daß wir, wenn wir es beispielsweise mit Rissen zu tun haben, den lapidaren Fall haben, dann reißt es natürlich an der Stelle, wo das Loch gebohrt wurde. Wir können natürlich grob korrelieren, daß bestimmte Gesteinsarten, ich erwähne jetzt einmal nicht die drei ausgewählten, aber beispielsweise der Burgsandstein, seine an den Gebäuden typischen Schäden auch bei diesen Plättchen zeigt. Er hat eine sehr schlechte Bindung, er sandet also ab. Wir beobachten an den Exponaten daher auch Kantenrundungen, und wir haben teilweise Risse in diesem Material. Diese Schadensformen, die Sie gerade erwähnten, kann man sehr viel besser an größeren Probekörpern beobachten, wie z.B. an den Asterixen. Ich hätte jetzt hier noch ein Bild zu den Ergebnissen von phänomenologischen Untersuchungen, die bei diesen größeren Probekörpern gemacht worden sind. Hier werden auch Schadensbilder angesprochen, z.B. bei den Asterixen in den Zinnen typischer-

---



---

weise Abbrüche, dort Risse, eine starke Staubbelastung in den Öffnungen, unter dem Balkon eine starke Vergrünung, Verschmutzung und Salzbildung. Aber diese sehr kleinen, einfachen Plättchen hatten wir wirklich auch in unserer Konzeption nur gedacht, um sie als **Immissionsindikatoren** zu benutzen. Sie würden überinterpretiert werden, wenn wir diese anderen Schadensphänomene daran auch noch untersuchen würden.

---

#### **Dr. Fiebrich:**

---

Ich stimme Ihnen völlig zu, und neben den Asterixen gibt es ja diese flankenversiegelten Probekörper, mit der Größe 5 mal 5 mal 10 beziehungsweise 5 mal 5 mal 30 cm und es werden ja an den Orten zwar nicht in der Vielzahl, aber in Duisburg, der Eifel, am Wank und auf Korsika diese Igel exponiert. Wir sehen das im Zusammenhang mit der **Schutzstoffbehandlung**, und man kann schon sagen, daß wir nach der Expositionsdauer von 1,5 Jahren an der **ungeschützten** Varietät von einem Schaden reden kann, an den anderen noch nicht. Wir haben ein sehr ausgeprägtes Bild an den ungeschützten, es ist nach eineinhalb Jahren noch nichts feststellbar an geschützten Objekten.

---

#### **Dr. Brüggerhoff:**

---

Ich könnte jetzt von den Prismen auch noch Bilder präsentieren, die zeigen, daß dort erste Schäden vorliegen.

---

#### **Dr. Prinz:**

---

Herr Brüggerhoff, wie haben Sie den zeitlichen Verlauf der Schäden an den Plättchen ermittelt? Holen Sie die Plättchen rein, wiegen sie diese und bringen sie dann wieder nach draußen, oder wie machen Sie das?

---

#### **Dr. Brüggerhoff:**

---

Das meinte ich vorhin mit meiner Bemerkung, daß wir eine bestimmte Menge Material exponiert haben, von dem wir Anteile nach **unterschiedlichen Zeiten** wieder hereinholen. Das heißt, wir haben insgesamt etwa 1000 Exponate ausgebracht, holen dann die ersten 100 nach einem halben Jahr herein, die nächsten 100 nach einem Jahr und so weiter.

---

Das heißt, hier muß ein möglichst einheitliches **homogenes Material** verwendet werden. Auf der anderen Seite, da so etwas bei einem Natursteinmaterial eben 100 %ig nicht erreichbar ist, hat man immer wieder die Vergrößerung des Bildes, daß man in gewisser Weise auch nur **statistische Aussagen** machen kann.

---

#### **Dr. Prinz:**

---

Sie können ja auch nicht vor Ort wiegen, weil Sie die Steine natürlich erst trocknen müssen. Das dauert auch eine bestimmte Zeit und dann wiegen Sie erst. Das sind ja alles in dieser Hinsicht sehr standardisierte Verfahren. Herr Fiebrich.

---

#### **Dr. Fiebrich:**

---

Wobei die Probekörper bei den **zerstörenden Prüfungen**, die ja durchgeführt werden, wie Wasseraufnahme, Sorptionswassergehalt und auch Porenuntersuchungen und Rastermikroskopieuntersuchungen, da müssen natürlich jedesmal richtige **Serien ins Labor** rein.

---

#### **Dr. Brüggerhoff:**

---

Wobei wir diese Proben auch chemisch analysiert haben, was zu meiner Aussage geführt hat, daß wir eine **Anreicherung bei trockener Exposition** festgestellt haben, und daß die **Neubildungen bei nasser Exposition** ausgewaschen worden sind. Deshalb haben wir sie im Labor gewogen. Wenn wir nur Gewichtsänderungen feststellen wollten, würde ich Ihnen vollkommen zustimmen, wäre es sehr viel besser an der gleichen Probe, selbst wenn man sie irgendwie beeinflussen müßte vor Ort, diese Untersuchung zu machen. Die Ergebnisse sind dann doch sehr viel genauer, weil sie sich immer wieder auf das gleiche Material beziehen.

---

#### **Herr Herkendell:**

---

Eine kurze Frage, die ein bißchen in die Zukunft gerichtet ist. Wir haben einen Wandel in den Immissionen erlebt. Weg vom SO<sub>2</sub>-dominanten Typ zu anderen Mischtypen. Der **Straßenverkehr** als Quelle von Luftverunreinigungen hat an Bedeutung gewaltig gewonnen. Könnte man nicht in unmittelbarer Nähe von Straßen Exponate ausbringen?

---

---

Frage: Wie würden Sie aus Ihrer Sicht methodisch herangehen wollen, um den neuen Immissionstyp herausfiltern zu wollen?

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

In dieser Beziehung, muß ich jetzt sagen, war das, was ich vorgestellt habe, auch nur ein erstes Teilergebnis dieser Studie. Wir haben bei unseren Laborarbeiten als allererstes coulometrisch den Schwefelgehalt untersucht. Gleichzeitig laufen jetzt noch Untersuchungen, die Proben wässrig auszuziehen und sie dann auf Nitrate, Nitrite und sonstige Komponenten zu untersuchen. Dabei bin ich der Überzeugung, daß nicht nur die Gehalte dieser Verbindungen entscheidend sind, sondern auch die Wechselwirkungen, die zwischen den Komponenten bestehen, wie wir das ja auch gestern angesprochen haben. Das heißt also nicht nur, daß wir jetzt einen durch Immissionen bedingten Gehalt an Nitrat finden müssen, der ja auch wieder anders bedingt sein kann, sondern daß wir berücksichtigen müssen, daß z.B. die Anwesenheit von NO<sub>x</sub> sich eventuell synergistisch auf eine Deposition von SO<sub>2</sub> auswirkt. Wir werden das in dem letzten Teil des heutigen Tages, nämlich der experimentellen Laborarbeit, der Simulation, sicherlich noch einmal viel besser ansprechen können, wie sich das Ganze dann auswirkt. Das kann man dort sehr viel besser machen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank. Dann können wir jetzt fortschreiten und Herrn Dr. Pöhlmann bitten zu erläutern, wie man Bronzeteile exponieren kann.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Ja, man hat damit natürlich hervorragend eine Chance, die Abhängigkeit der Schädigung vom Klima zu ermitteln. Man muß allerdings dann auch etwas Zeit haben, wenn man das bei den Expositionen macht, weil die interessanten Schäden erst nach 5 bis 10 Jahren auftreten. Wichtig ist natürlich da auch die Form, die Geometrie des Probenkörpers. Also es sollten zum Beispiel überstehende Teile an dem Probenkörper sein, daß sie darunter z.B. Staubablagerungen haben, um die Entstehung von Sinterkrusten mitstudieren zu können, oder Mulden und auch Rinnen, in denen sich die Feuchtigkeit lange halten kann. Rinnen und daraus Ab-

laufspuren treten an jeder Bronze auf. Da wäre es ganz interessant, wie der Materialabtrag in so einer Rinne erfolgt. Oder auch bei Schweißstellen, wie verhalten diese sich gegen Korrosion? Wesentlich wichtiger aber wäre die Exposition nicht für den Korrosionsverlauf selbst, sondern für Untersuchungen von Schutzmitteln, die zur Bronzekonservierung eingesetzt werden. Wie lange ist ihre Haltbarkeit, wie lange wirkt die Hydrophobierung, gibt es irgendwelche Veränderungen in der Farbe, wie werden die Schutzmittel abgebaut, gibt es vielleicht Abplatzungen größerer Schutzmittel-Patina-Bereiche. Das sind also so Fragen, die im Rahmen von Expositionen wesentlich wichtiger sind als die eigentliche Frage nach der Korrosion.

---

**Dr. Prinz:**

---

Sind solche Untersuchungen auch in das BMFT-Projekt eingebunden oder befaßt sich das BMFT-Projekt nur mit Steinen?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Nein, mit Bronzen nicht.

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Fachwerk, Wandmalerei, Glas, Stein und eventuelle Erweiterung. Aber das sind im Moment die ...

---

**Dr. Prinz:**

---

Aber im Augenblick ist Bronze nicht dabei?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Soviel ich weiß, nein.

---

**Dr. Prinz:**

---

Haben Sie denn auch so schöne Meßgrößen wie bei den Steinplättchen der Gewichtsverlust oder die Schwefelaufnahme?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Ja, der Gewichtsverlust ist beim ECE-Projekt das Hauptmaß für die Korrosion. Hätte man einen geometrisch komplizierten Probenkörper, könnte man das natürlich nicht mehr machen. Da müßte man vielleicht andere Methoden benutzen, wie, das machen wir zum Teil ja auch schon, **zerstörungsfreie Methoden**, daß wir mit Wirbelstrom die Schichtdicke der Korrosionsschicht messen oder daß wir einfach versuchen, zum Beispiel grüne Stellen mit einer Art **Photogrammetrie** zu quantifizieren.

---

**Dr. Prinz:**

---

Beim Gewichtsverlust ist ja immer das Verhältnis Oberfläche zu Volumen entscheidend. Deswegen haben Sie ja auch diese Plättchen benutzt. Wir hatten früher einmal mit den Würfeln angefangen. Das klappt natürlich nicht. Entscheidend ist, daß man ein möglichst **großes Oberflächen-/Volumenverhältnis** hat. Und das wäre dann bei der Bronze natürlich zwingend auch erforderlich. Andererseits bietet sich ja bei der Bronze wahrscheinlich ohnehin an, Plättchen zu exponieren.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Ja sicher, das wird auch gemacht. Die ECE-Proben haben die Abmessungen 100 x 150 x 2 mm. Aber nur die Anfangskorrosion der Proben kann wegen der 4jährigen Projektlaufzeit ermittelt werden. Wir hoffen, in nächster Zukunft noch Schutzmittel im Rahmen von Expositionen testen zu können, werden aber vermutlich diese Ergebnisse nicht mehr mit Immissions- und Klimadaten korrelieren können.

---

**Dr. Prinz:**

---

Bei **Stahl** ist es ja so, daß die Reaktionsprodukte, also der **Rost** mit einer **Spezialbeize** entfernt werden. Wäre so etwas auch bei der Bronze denkbar?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Im Rahmen des ECE-Projekts beizen wir die **Korrosionsprodukte** ab. Und zwar verwenden wir entgegen der Norm **Phosphorsäure**. Das greift am

wenigsten das Material an. Der Beizprozeß funktioniert ähnlich gut wie z.B. mit HCl oder H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, das Metall wird aber wesentlich weniger angegriffen.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Sie sprachen in der Mittagspause von diesem **Material-expositionsprojekt**, in dem Sie auch an unterschiedlichen Standorten exponieren. Könnten Sie erläutern, welche **Materialien** Sie in diesem Projekt ausgebracht haben?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Im Rahmen des ECE-Projekts sind Metalle ausgebracht. Das ist **Stahl, Aluminium, Zink, Kupfer und gegossene Bronze**. Kupfer ist gewalzt, Bronze ist gegossen und dann gesägt. Und wir bearbeiten Kupfer und Bronze. Zink und Eisen zum Beispiel werden von der Tschechoslowakei bearbeitet. Es ist nur ein Ausschnitt aus dem Expositionsprojekt. Da werden an verschiedenen Orten, an insgesamt 39 Meßstellen, über fast **Gesamteuropa** inklusive **UdSSR, USA und Kanada**, die Proben exponiert und dann die **Korrosionsdaten** mit den **Umweltdaten** korreliert. Ich hatte schon einmal einige Werte von Massenverlusten erwähnt. Nach einjähriger Exposition konnten wir an schwach belasteten Orten 5 g **Massenverlust** messen, an extrem stark belasteten Orten 15 g. Die Werte für die 3 Stationen in Nordrhein-Westfalen sind z.B. für Langfeld 9 g, Essen-Leite 10 g und Bottrop 12 g. Die Massenverluste sind auf 1 m<sup>2</sup> Probenfläche hochgerechnet.

---

**Dr. Prinz:**

---

Aber auch eine plausible Abstufung eigentlich.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Ja.

---

**Dr. Prinz:**

---

An diesem Programm sind Sie aktiv beteiligt, wenn ich das richtig sehe? Da ist eine **Methodenabsprache** erfolgt und eine **Absprache** bezüglich der Auswertung, oder wie läuft dieses ECE-Programm?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Für die Auswertung wurden ganz genaue Methoden gar nicht festgelegt. Als Maß für die Korrosion wurde der **Massenverlust** festgelegt. Die Art der **Korrosionsprodukte** wird durch Röntgenbeugung ermittelt, Informationen über **Kationenkonzentrationen** werden per Ionenchromatographie gemessen. Zusätzlich arbeiten wir mit zerstörungsfreier **Schichtdickenmessung**, FT-IR-Spektroskopie und Farbmessung. Gewisse Freiheiten in der Methodik hat jeder ECE-Teilnehmer.

---

**Dr. Prinz:**

---

Sind Sie denn in diesem ECE-Projekt auch mit Stein beteiligt?

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Nein. Zum Stein ist eine englische Gruppe, BRE (British Research Establishment) im ECE-Projekt vertreten.

---

**Dr. Prinz:**

---

Gibt es dann noch Fragen an Herrn Pöhlmann? Das ist nicht der Fall. Dann würde ich diesen Komplex hier gerne abschließen.

---

## Fragenkomplex Block B: "Zielgerichtete Untersuchungen"

2. Welche experimentellen Untersuchungen im Labor halten Sie für zweckmäßig?

---

**Dr. Prinz:**

---

Meine Damen und Herren, wir nähern uns dem Ende des heutigen Tages. Ich darf jetzt die zweite Frage aufrufen: Welche **experimentellen Untersuchungen im Labor** halten Sie für zweckmäßig? Ich wäre Ihnen dankbar, wir hatten dies vorhin schon einmal angeschnitten, wenn Sie vielleicht bei dieser Gelegenheit darauf eingehen würden, wo noch Nischen sind, wo **bestimmte Fragen** noch **nicht abgedeckt** sind. Wir möchten mit anderen Worten wissen, wo es auch unter dem Gesichtspunkt, daß wir uns hier im Lande Nordrhein-Westfalen befinden, besonders interessant wäre, noch **spezifische Untersuchungen** durchzuführen. Wenn Sie solche Fragen mit hier beantworten könnten, wäre das für uns natürlich sehr hilfreich. Ich würde dann vorschlagen, daß wir wieder einmal von rechts beginnen, und zunächst Herrn Professor Blaschke aufrufen, uns zu berichten, welche experimentellen Untersuchungen er im Labor für zweckmäßig hält. Bitte sehr, Herr Blaschke.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Ich glaube, ich habe meine Gedanken schon alle ausgestreut. Das ist einmal die **Probenbank**, die ich für sehr wichtig halte, daß man tatsächlich von den alten Objekten möglichst bald kleine Proben für die Zukunft fixiert, daß man den Fortschritt in den kommenden Jahren oder Jahrzehnten vergleichend feststellen kann. Für Immissionsfragen wichtig ist die Darstellung dessen, was in die Umwelt geschickt wird und was nachher dort damit passiert. Die **mikroskopische Darstellung** sollten Sie in irgendeiner Weise nutzen, um das Bewußtsein der Emittenten zu schärfen. Das kann sehr nützlich sein und ich glaube, sie werden dann die ähnlichen Erfolge haben, wie wir zur Zeit mit den Laborwagen, so daß die Verantwortlichen ihre Denkmäler mit ganz anderen Augen sehen und ein Erfolgserlebnis haben, wenn sie ihre eigenen Proben nun wirklich sehen, wie Schäden sich entwickeln. Das gilt ganz besonders auch für die **Schutzstoffe**, die wir neuerdings sehr schön sichtbar ma-

chen können mit dem neuen **Feldemissions-Rastermikroskop**.

Ich zeige Ihnen dazu zwei Bilder, leider nicht als Dias. Was ich hier zeigen wollte, ist wieder so ein **Kalkspatkristall**, wie ich ihn heute am Anfang schon einmal gezeigt habe. Nur mit dem Unterschied, der ist jetzt abgebildet **ohne Bedampfung**. Das kann man mit dem Feldemissionsgerät bei niedriger Beschleunigungsspannung machen. Der Unterschied zwischen den Bildern oben und unten liegt vor und nach Behandlung mit **Hydrophobierungsmittel**. Man sieht sofort, wo das **Hydrophobierungsmittel** ansetzt, daß es für feinkörnige Risse, aber auch für **Tonminerale**, als **Verfestigung** wirkt. Ich habe dasselbe auch an Proben von Professor Sasse, Aachen, machen dürfen an Schilfsandstein, der mit einem seiner neuen Schutzstoffe behandelt wurde. Das sind dünne Schichten im Nanometerbereich. Diese konnten früher mikroskopisch überhaupt nicht abgebildet werden, jetzt aber relativ mühelos. Das gleiche gilt auch für den Beton. Wir können endlich die **Matrix** so hoch auflösen, daß wir in den **Nanometerbereich** vorstoßen und das ist auch erforderlich. Da ist also mein Beitrag, den ich als Mikroskopiker dazu liefern kann. Ich schenke Ihnen dazu auch noch ein Bild, das zeigt Ihnen einen Fingerabdruck, den man auch im REM sichtbar machen kann. Man kann sogar die Schweißtropfen eines Fingers einzeln analysieren. Wenn Sie etwas ganz Gutes tun wollten, sorgen Sie dafür, daß man im Mikrobereich **organische Komponenten** bestimmen kann. Eine Anschrift kann ich Ihnen schon geben, die haben Sie im eigenen Lande, Herrn Kollegen Hillenkamp in Münster. Er entwickelt ein Desorptions-Lamma.

---

**Dr. Prinz:**

---

So eine Analyse kostet aber einiges.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Die Denkmäler kosten auch etwas! Das ist die eine Sache. Die **Analyse** geht so **schnell**, daß sie eigentlich gar nichts kostet. Die Hauptarbeit macht der Rechner, dann müssen Sie versuchen, die Bruchstücke der Moleküle, die analysiert werden, in einen größeren Reim hinein zu bringen, und in dieser Software-Entwicklung und in der Deutung liegt der Hauptzeitaufwand. Aber die Methodik ist so, daß Sie ein Lamma eigentlich gar nicht voll auslasten können. Das sind einzelne **Laserschüsse**, die ganze Analyse dauert etwa eine Sekunde.

---

**Dr. Marfels:**

---

Darf ich kurz auf das letzte, was Herr Blaschke angesprochen hat, antworten. Es gibt heutzutage schon Möglichkeiten, durch instrumentelle Analytik **feinste Spuren** in kleinsten Bereichen auf anderen Substraten nachzuweisen mit der sogenannten **Infrarot-Mikroskopie**. Und zwar benutzt man da ein spezielles Mikroskop mit einer besonderen Optik, die die Möglichkeit gestaltet, Infrarotstrahlen durchzulassen. Hinterher geschaltet ist ein sogenanntes **Fourier-Infrarot-Spektral-Fotometer**; damit gelingt es zum Beispiel auch, die bestimmten **Wachsspuren**, die auf Fichtennadeln sich angesammelt haben, in ganz dünner Schicht im Hinblick auf ihre Zusammensetzung zu analysieren, und es müßte an sich auch ein Anwendungsgebiet im Hinblick auf die Beschichtung, die Sie eben gerade angesprochen haben, möglich sein. Solche Geräte sind sowohl von Perkin & Elmer als auch von anderen Firmen schon im Handel. Aber wahrscheinlich noch nicht in dieser breiten Anwendung und vielleicht auch noch nicht so bekannt.

---

**Dr. Fiebrich:**

---

Ich möchte ein paar Ergänzungen dazu machen. Sie haben völlig recht, die FTR-Methode zählt zu der Gruppe der **oberflächensensitiven Verfahren** und ist unter den Leuten, die sich mit Oberflächentechnik beschäftigen, sehr wohl bekannt. Daneben, um das noch zu vervollständigen als Information, gibt es die **Mikrosonde**, die an das REM angeschlossen ist, nach oben hin und die Informationstiefe beim FTR ist etwa bis 1  $\mu\text{m}$  begrenzt und alles, was darunter ist, also in den Nanometerbereich geht, muß mit ESKA gemacht werden, der XPS der Photoelektronenspektroskopie, mit der es also durchaus möglich ist, viele Fragestellungen zu klären, zum Beispiel von Oberflächenbelegungen, wenn Sie **Adhäsionsschäden** haben, von Verschmutzungen, von Wachsen, die Sie natürlich auch mit Hilfe der Randwinkelmessung als Ergänzung bestimmen können. Also auch diese Erkenntnisse und oberflächensensitiven Methodiken von Mikrosonde mittels REM, FTR als auch ESKA, XPS sind in dem BMFT-Projekt sehr wohl bekannt und werden auch genutzt. Wir beschäftigen uns speziell mit diesen Techniken, weil es um die **Adhäsion** zwischen dem **Schutzstoff** und dem **Steinsubstrat** geht.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Nur ergänzend: Ein solches Fourier-Infrarot-Mikroskop hat bereits das WKI und die sind jetzt dabei, einen Laborwagen dazu zu beschaffen, so daß sie auch vor Ort arbeiten können. Haupteinsatzpunkt sind **Holzoberflächen** von Fachwerkhäusern, **Farbfassungen** von Wandmalereien und organische Bindemittel,

---

**Dr. Marfels:**

---

Ich wollte bloß ergänzen, falls nicht jeder weiß, was WKI ist. Das ist das Wilhelm-Klaudius-Institut für Holzforschung der Fraunhofer-Gesellschaft in Braunschweig.

---

**Dr. Prinz:**

---

Sie haben vorhin schon einmal von einem **Laborwagen** gesprochen. Um welchen Laborwagen handelt es sich denn? Haben Sie selber einen Laborwagen?

---

**Prof. Blaschke:**

---

Wir haben jetzt mittlerweile vier! Das heißt, zwei sind gerade noch in der Ausrüstung und zwei laufen schon; wir werden sozusagen von unserem eigenen Erfolg gefressen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Können Sie ganz schnell etwas dazu sagen, wie die Laborwagen ausgerüstet sind? Und zu welchem Zweck Sie diese einsetzen?

---

**Prof. Blaschke:**

---

Die jetzt endgültigen Laborwagen enthalten ein **Rastermikroskop** mit energiedispersiver Röntgenmikroanalyse, mit Bildanalyse und die komplette **Lichtmikroskopie** mit gesamter Präparation, insgesamt **vier Arbeitsplätze** in so einem Sechstonner.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ein Millionenprojekt fast, möchte ich sagen.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Die ersten beiden kosteten so 670.000 DM, die neuen kosten 870.000 DM, enthalten ein großes REM. Fast genauso teuer sind die Belegschaften, die man dafür braucht. Das Aufregende ist, und deswegen bin ich sehr froh, daß die Inanspruchnahme immer breiter wird, daß die Gründe, weswegen man das braucht, sich ständig erweitern und auch ökonomischer werden. Wie müssen ja demnächst ins freimarktwirtschaftliche Gewässer herausschwimmen. Es ist ja nicht eine Dauer-einrichtung des BMFT, sondern soll sich demnächst selbst ernähren. Eine Hilfestellung, die wir erwarten, kommt von den Leitstellen, die jetzt eingerichtet werden und alle BMFT-Projekte aus dem Gebiet "Bau" zusammenfassend regional steuern. Für NRW wird das Zollern-Institut Leitstelle. Der Name ist ein bißchen unglücklich, aber er bleibt jetzt.

---

**Dr. Prinz:**

---

Er schreibt sich mit "T", nicht mit "D"? Was sind das für Leitstellen?

---

**Prof. Blaschke:**

---

Die Leitstellen koordinieren das Zusammenwirken der regionalen Denkmalpflege und entsprechender Projekte des Bundesforschungsministers. In den vergangenen Jahren wurden Forscher aus Naturwissenschaft und Technik über bewilligte Anträge oder als Unterauftragnehmer mehr oder weniger direkt gefördert. Es ging darum, einen umfassenden Erfahrungsschatz zu gewinnen über die Ursachen des Steinzerfalls, Schäden an historischen Waldmalereien und neuerdings auch an Fachwerkbauten.

Die im Aufbau befindlichen Leitstellen sind im Wesentlichen ein Angebot des BMFT an die regionale Denkmalpflege, sich der nunmehr erprobten Methoden direkt bedienen zu können, bezahlt mit Mitteln, die den Leitstellen zugewiesen werden. Die Forschungsinstitute erhalten nunmehr konkrete

Aufträge, die entsprechend der erbrachten Leistung abgerechnet werden. Als Gegenleistung fordert der BMFT von den Landeskonservatoren in den ihnen nachgeschalteten Stellen, daß lohnende Objekte, d.h. sogenannte "Leitobjekte" für die Forschung zugänglich gemacht werden.

Ein Leitobjekt sollte nicht unmittelbar vor einer Sanierung stehen. Es sollte Beprobungen unter Aufsicht von Konservatoren zulassen. Es sollte ein möglichst reichhaltiges Spektrum typischer Schäden von allgemeinerer Bedeutung aufweisen und nicht nur einen exotischen Sonderfall darstellen. Die Arbeit der Leitstellen wird von der Leitstellenkonferenz von Fulda aus koordiniert, z.B. wie die vier Laborwagen und darin wirkenden Wissenschaftler auf die Gebiete der sieben Leitstellen zeitlich und räumlich verteilt werden können. Auch müssen wissenschaftliche Erkenntnisse aus den regionalen Leitstellen möglichst bald der Allgemeinheit zugänglich gemacht werden usw..

Während die Laborwagenteams bislang hauptsächlich bei der Schaddiagnose helfen, werden sie in Zukunft als weiteren Einsatzbereich zur Stützung von Sanierungsmaßnahmen dienen, von der mikroskopischen Wirksamkeitskontrolle verschiedener Reinigungsverfahren bis zur optimalen Verwendung von Schutzstoffen. Nur gemeinsam mit den Konservatoren können so mögliche Fehlbehandlungen an der Quelle verhindert werden.

---

**Dr. Prinz:**

---

Noch zwei Fragen: Wer ist Fulda? Sie sagen, Fulda entscheidet über den Einsatz.

---

**Prof. Blaschke:**

---

In Fulda ist ein Zentrum für Denkmalpflege (Handwerk- und Denkmalpflege).

---

**Prof. Lucke:**

---

Ich komme im Ergebnis unserer 2tägigen Diskussion zu der Überzeugung, daß es notwendig ist, daß wir uns nicht nur auf die Hauptschadstoffe der Luft beschränken, sondern auch andere in geringerer Konzentration vorhandene oder örtlich begrenzte Nebenbestandteile der Luft berücksichtigen.

---

Wenn ich unsere Diskussion analysiere, dann sind wir über SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> nicht hinausgekommen. Wir werden in nächster Zeit sicherlich noch stärker mit der Fragestellung konfrontiert, ob es durch andere Luftbestandteile, von **organischen Gasen bis zum Ozon**, eine Schädigung der Materialien gibt. Ich habe nicht den Überblick, inwieweit die Fragestellung heute schon beantwortet werden kann. Ich nehme aber an, daß es bei einer deutlichen Minderung der SO<sub>2</sub>-Emission Veränderungen in der Zusammensetzung der Luftschadstoffe gibt, die dann letztendlich Schädigungsart und -grad beeinflussen. Oder können wir sagen: Wenn wir die Probleme des NO<sub>x</sub> und SO<sub>2</sub> voll im Griff haben, dann ist alles Wesentliche geklärt.

---

**Dr. Prinz:**

---

Haben Sie irgendwelche Vorstellungen, wie man dieser Frage experimentell nachgehen kann?

---

**Prof. Lucke:**

---

Ich würde sagen, daß man hier den von mir eigentlich nicht so sehr befürworteten **Laboruntersuchungen mit höheren Konzentrationen** ein Feld eröffnen muß. Ich halte Laboruntersuchungen für notwendig, Untersuchungen unter normalen Umweltbedingungen für überaus kompliziert und wenig erfolgversprechend.

---

**Herr Herkendell:**

---

Ich entnehme Ihren Ausführungen, daß bei der Prüfung der Wirkung auf Materialien nicht nur die Luftschadstoffe, sondern auch der Faktor **Witterungseffekte** simuliert werden müßte?

---

**Prof. Lucke:**

---

Das habe ich von vornherein gesagt ...

---

**Herr Herkendell:**

---

Damit ist das eingeschlossen. Also es müßte eine **Simulationskammer** sein, die auf Witterungsergebnisse realitätsnah ...

---

---

**Prof. Lucke:**

---

Eine Simulationskammer, das ist eigentlich die beste Basis dafür.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielleicht doch noch einmal die Frage an Sie. Reicht unser Verständnis über den **Mechanismus der Korrosion** eigentlich schon aus, oder gibt es da auch noch einen Forschungsbedarf, den man experimentell dann abdecken müßte? Dies ist mir während der ganzen Anhörung noch nicht so klar geworden. Die Frage zum Beispiel, sie ist vorhin schon angetippt worden, ob die **Ammoniumsalze** tatsächlich eine große Bedeutung besitzen, mit oder ohne Mikroorganismen. Eine andere Frage von Bedeutung ist natürlich auch die Rolle **katalytisch wirkender Salze**, die erst einmal zu einer Aufoxidation von NO zu Salpetersäure oder von SO<sub>2</sub> zu Schwefelsäure führen. Gibt es da irgendwo noch Forschungsbedarf, den Sie sehen?

---

**Professor Lucke:**

---

Ja. Man kann natürlich heute nicht sagen, daß wir dort wirklich alle Teilprozesse und Einflußfaktoren eindeutig und quantitativ belegen können. Aber es ist jetzt eine Frage, wie weit man die letzten Lücken und Teilprobleme wirklich auch bearbeiten muß. Ich komme immer wieder drauf zurück, ist zwar jetzt nicht so ganz wissenschaftlich, was ich sage, aber ich will es einmal deutlich sagen, ich bin dort oft belehrt worden von meinen Lehrern, wir haben es mit **Baustoffen** zu tun. Baustoffe sind ein **Massenprodukt**. Die Aufklärung auch der letzten Details hat bei Baustoffen seine Grenzen. Ich würde sagen, ich könnte mit dem Wissensstand, zumindest mit Ausnahme des Gebietes, von dem ich gesprochen habe, könnte ich leben und könnte auch die Schädigungsprozesse ausreichend untersuchen. Aber dort ist noch Forschungsfeld da.

---

**Dr. Prinz:**

---

Dann können wir, glaube ich, weitergehen, zu Herrn Schmitt und Sie bitten, uns Ihre Vorstellungen vorzutragen, was die experimentellen Untersuchungen anbetrifft.

---



Ich möchte jetzt einmal etwas über die Umweltsimulation sagen, die hier drinsteht. Ich habe erzählt, daß ich auch noch bei der Gesellschaft für Umweltsimulation bin und möchte einmal diesen Begriff erläutern. **Umweltsimulation** heißt das Ganze nur, weil damit angefangen wurde, Vorgänge zu simulieren, die nicht direkt dort passieren, wo das Produkt hergestellt wird. Das kam aus der Elektroindustrie, die nachweisen mußte, daß ihr Telefon auch in der Sahara und im Polargebiet geht. Die haben dann einfach eine Simulationskammer gebaut, und haben ihr Produkt so lange verbessert, bis es nun auch unter verschiedenen klimatischen Bedingungen funktioniert hat. So kam dieser Begriff der Umweltsimulation zustande, der also jetzt auch eingeführt ist. Der nächste Schritt war, zu sagen, das genügt eigentlich gar nicht, jetzt müssen wir auch wissen, was wollen wir denn simulieren. Die Umwelteinflüsse müssen erfaßt werden, um sie dann wieder zu übertragen, um dann wieder Simulationsmöglichkeiten abzuleiten. Das geht natürlich nicht direkt, die Simulation wurde immer der technischen Gegebenheit angepaßt. Diese wurden dann wieder verbessert; es hat sich also gegenseitig aufgeschaukelt. Aber, und jetzt kam die große Frage dazu, was machen wir denn nun bei der Simulation? Und deswegen ist der nächste große Punkt die Beurteilung der **Wirkung auf Werkstoffe, Bauteile oder Systeme**. Das ist wohl der wichtigere Punkt und auch der, über den wir uns hier unterhalten müssen. Und seit neuestem, das ist der nächste Punkt, ist die **Wechselwirkung** zwischen den **Materialien** und der **Umwelt** von großem Interesse. Ganz in diese neuen Überlegungen geht ein, daß heute praktisch bei der Auslegung eines Produktes daran gedacht wird, was passiert denn, wenn es ausgesondert wird, also die **Entsorgungsproblematik**. Wie wirkt es denn in seiner Lebensdauer und seinem Lebenszyklus auf die Umwelt zurück? Das sind alles Überlegungen, die in dieses große Gebiet der Umweltsimulation hineinspielen und aufgenommen werden. Die Aufgabenstellungen sind, nun wieder von dem Produkt ausgehend, die, daß zunächst einmal das **Funktionsverhalten** getestet wird, und zwar normalerweise unter Extrembedingungen, und das zweite ist die **Lebensdauervorhersage**, und hier muß die Zeitverkürzung berücksichtigt werden. Deshalb ist es auch ganz notwendig, daß **Laborversuche** gemacht werden. Die Methodik, die Vorgehensweise war bisher so, daß aus dem Erfassen der Umweltbedingungen **Prüfvorschriften** abgeleitet wurden und diese nun streng anzuwenden waren. Die Erkenntnis war, das wird viel zu teuer, weil die Produkte dann für die Prüfvorschriften qualifiziert wurden und nicht für das

Anwendungsgebiet. Also kam eine neue Philosophie auf, das sogenannte "**test-tailoring**". Die Überlegung ist, wie muß denn die Prüfvorschrift aussehen, um für das zu qualifizierende Produkt angepaßt zu sein. Dieses test-tailoring hat **drei Teilschritte**. Das erste ist die Erfassung des **Lebenszyklus** des zu untersuchenden Systems, Bauteils oder Materials. Der zweite Schritt ist der, die **Umwelteinflüsse**, die in jeder Phase des Lebenszyklus nun auf das System einwirken, zu erfassen. Der dritte besteht darin, nun an diese Kenntnisse **Prüfbedingungen** im Hinblick auf die Zielsetzung der Prüfung zu erlassen. Das Lebenszyklusprofil fängt an bei der Auslegung, bei der Konstruktion, geht über die Herstellung, über den Versand, über den Gebrauch, Reparatur bis zur Aussonderung oder Recycling. Nun muß für jeden dieser Zyklen genau überlegt werden, wo sind nun die Belastungen, und ihre absolute und die relative Dauer, die Häufigkeit, die Einwirkungsmöglichkeiten der Umwelt und der Verwendungszweck des Materials. Zum Beispiel sind das im Hinblick auf **Klima** Btauungsphasen, Frostphasen, Erwärmungs-, Abkühlungsphasen, Beregnungsphasen, Befeuchtungs-, Trocknungsvorgänge, Sonnenlichtphasen, Windphasen; das sind auch alles Komponenten, die hier speziell auf die Denkmäler oder auf die Gebäude zugeschnitten sind. Der nächste Schritt ist nun die Überlegung, wann, bei welchem Lebenszyklus treten nun welche Belastungen auf, und das zu erfassen ist dringend notwendig, um nachher die Prüfvorschriften ableiten zu können. Wie häufig treten die **Einflüsse** auf, treten sie alleine auf oder treten sie **in Kombination** auf, das ist ein ganz wichtiger Punkt, der nachher bei der Prüfung mit reinspielt. Treten ähnliche Belastungen bei verschiedenen Lebenszyklusphasen auf oder sind sie nur einmalig. Welche **Alterungs- und Korrosionsmechanismen** des Testobjektes sind nun zu erwarten, eine Abschätzung im voraus. Kann die erwartete Verwitterung mit einem einzigen Simulationsversuch nachgewiesen werden oder sind mehrere notwendig? Welche Erfahrungen liegen von vergleichbarem Material unter ähnlichen Belastungen vor und müssen mit einbezogen werden, um möglichst den ganzen Aufwand etwas zu verringern? Ein zweites großes Problem, und das werden Sie alle kennen, wenn Sie solche Prüfungen machen, das ist: Wie kann ich nun eine **Lebensdauer** feststellen **durch Beschleunigung**? Es gibt bei der Umweltsimulation eigentlich zwei Möglichkeiten einer solchen Qualifikation. Das eine ist ein einfacher **Funktionstest**. Hier wird einfach unter den Extrembedingungen geprüft, belastet und normalerweise fallen Nachweisverfahren weg; der Funktionstest genügt. Das Problematische ist die **Lebensdaueruntersuchung**. Da gibt es wieder zwei Schritte. Ich will das einmal am Kraftfahrzeug erläutern, das ist vielleicht am ersichtlichsten, ein

Auto steht meistens nur rum. Es fährt die wenigste Zeit. Diese ganzen Zyklen kann man einfach einmal ausschalten. Das sind also die **episodischen Belastungen**, die einfach ausgeblendet werden, die Ruhezeiten. Damit läßt sich eine sehr große Zeitverkürzung erreichen. Das zweite sind dann aber die **kontinuierlichen Belastungen**. Hier muß jetzt überlegt werden, wie die nachgebildet werden. Es ist möglich, eine Dauerbelastung zu machen bei den Extremwerten. Das zweite ist eine **zyklische Belastung** zwischen den Extremwerten. Bereiche mit Wärme- und Kältezone, wo also breite Temperaturveränderungen da sind, erfordern eine wesentlich schärfere zyklische Belastung als konstant die Extremwerte, beispielsweise bei 80 ° oder bei 40 °C, zu fahren. Schließlich kann eine Beschleunigung durch **Verschärfung** erreicht werden. Das ist der kritischste Punkt eigentlich bei der ganzen Betrachtung. Man kann das machen, indem man einfach die Maximalwerte erhöht oder aber, indem man die Änderungsgeschwindigkeit beschleunigt. Wenn man die Maximalwerte erhöht, beispielsweise bei Luftschadstoffen, dann kriegt man ganz bestimmt ganz andere Wirkungsmechanismen. Diese Vorgehensweise ist sinnlos. Es muß genau überlegt werden, bis zu welcher Grenze man gehen kann. Wir mußten einmal Alterungsbestimmungen an gefüllten Kunststoffen und Voraussagen über ihre Lebensdauer machen. Wir haben folgendes getan: Wir haben eine Belastung eingestellt bei 50 °C, 65 °C und 80 °C. Bei 80 °C war die oberste Grenze, bei der noch die Reaktionen ablaufen, die auch bei Normaltemperatur ablaufen können. Wir kamen an die Grenze. Dadurch erhielten wir eine enorme Zeitverkürzung, beispielsweise auf drei Monate, im Gegensatz zu 50 °C, wo wir sechs Jahre brauchten, um eine Aussage zu bekommen. Die untere Grenze mit 50 °C ist durch den zulässigen Zeitablauf bestimmt. Das ist zum Beispiel so ein Fall für eine Erhöhung. Die Firma Siemens hat vor vielen Jahren einmal ein Problem gehabt mit Schaltern, die korrodiert sind durch Luftverunreinigungen. Da haben sie die Begasung in einer Höhe angesetzt, daß sie in kürzester Zeit Korrosion hatten an ihren Schaltern. Sie haben dann festgestellt, die Korrosion, die sie hatten, hat mit der Realität in keinsten Weise übereingestimmt. Es war also sinnlos, diese Versuche zu machen. Da liegt ein Problem bei der Umweltsimulation, weil hier Vorschriften vorliegen auch für Schadbegasungen, die so hoch sind, daß sie keine realen Werte liefern. Hier diese **Methoden** sind einsetzbar für **Materialvergleiche** und **nicht für Anwendungsvergleiche**. Das ist also etwas, was sehr streng beachtet werden muß. Soweit einmal in der Kürze zur Umweltsimulation. Was wir gemacht haben, was ich gestern auch angedeutet habe, waren nun Untersuchungen an **Polymere**n, das war das PVC, das Polyurethan, das

glasfaserverstärkte Polyester und der Alkydlack. Wir haben eine Anlage gebaut mit einer speziellen Verstärkung der Schadgaskonzentration, indem wir festlegten, daß der mittlere Durchschnittswert nicht mehr als mit Faktor 100 überschritten werden darf. Für die Maximalwerte sollte die Größenordnung den Faktor zwei bis fünf eigentlich nicht überschreiten. Wir liegen dann im Versuch in einem Bereich, der manchmal schon überschritten wird in sehr starken Belastungsbebeten. Wenn nun solche Versuche gemacht werden, muß ein dritter Punkt beachtet werden, der Punkt "**Probenahmetechnik und Nachweisverfahren**". Bei der Probenahmetechnik ist es nun wichtig, daß die Probe so gestaltet wird, daß sie einmal die Simulationsmöglichkeiten zuläßt, also nicht überdimensionale Belastungseinrichtung braucht, zum anderen aber auch eine Größe hat, daß die Nachweisverfahren wieder angewandt werden können. Es ist also immer ein Kompromiß zwischen verschiedenen Voraussetzungen. Wir haben für die Untersuchungen drei Hauptgruppen zur Charakterisierung der Proben verwendet, einmal die **mechanische Prüfung** und dann den **Zugversuch** und die **Härteprüfung**. Den Zugversuch, um festzustellen, ob charakteristische Änderungen vorhanden sind, die dann Gebrauchseigenschaften einschränken können. Letztendlich, wie Sie es sagten, bei dem Gestein, es könnte ja sein, daß die Festigkeit so zurückgeht, die Tragfähigkeit dann leidet. Die Mikrohärteprüfung gibt ein Maß für Versprödung oder Erweichung. Das Zweite waren morphologische Untersuchungen, einmal durch Lichtmikroskopie und zum anderen durch Rasterelektronenmikroskopie. Das geht jetzt zu Ihnen, Herr Blaschke, das wird also hier ganz eindeutig auch gemacht und gibt auch sehr interessante und gute Ergebnisse. Die dritten Messungen, das sind **chemisch-analytische Methoden**. Und da ist einmal die Gelpermationschromatographie (GPC), um die Molmassenverteilung in bestimmten Schichten festzustellen, und dann die vorhin angesprochene Infrarotabsorption, die sehr gute Auskünfte über die Oberflächen gibt. Jetzt noch zu Ihrer Frage: Wo sind denn nun die Nischen? Von meinem Standpunkt aus sind wir jetzt gerade dabei, bei dem was bisher gemacht wurde, die Nischen zu besetzen, aber das Generelle ist noch gar nicht erfaßt. Es ist das Problem dieser **Gesamtheitsbetrachtung**, das Ganze vernetzt zu sehen und da liegt die Problematik drin. Ich höre damit sofort wieder auf, weil das mein Lieblingsthema ist. Ich lese Ihnen hier mal was vor: Das kam beim VDI eigentlich heraus. Sie kennen das, Herr Prinz, in so Hauptsitzungen heißt es immer: Wir brauchen mehr Geld! Der VDI soll das zahlen! Wir können keine Untersuchungen machen! Wir sind dann einmal so vorgegangen, haben gesagt, vielleicht können wir das Geld anderweitig beschaffen und haben

bei der Wirkungsgruppe gesagt, wir versuchen mal, ein **Schwerpunktprogramm** zu machen. Dieses Schwerpunktprogramm ist jetzt eingereicht, die DFG hat Interesse bekundet. Die Chancen sind zur Zeit 50 %, weil von den ganzen eingereichten Vorhaben eben nur 50 % gefördert werden können. Ich lese jetzt mal die kurze Zusammenfassung vor: Bisherige Erfahrungen durch Untersuchungen bei Freifeldbewitterungen und in kontrollierter Laboratmosphäre haben erkennen lassen, daß zur **Klärung von Reaktionsmechanismen, Synergismen und Ursachen-Wirkungs-Beziehungen** noch umfangreiche, grundlegende Forschungsarbeiten notwendig sind. Das vorhandene **Kenntnisdefizit** kann unter anderem dadurch überwunden werden, daß mit Methoden der **Umweltsimulation** Möglichkeiten zur zeitgerafften Versuchsdurchführung geschaffen werden. Die Überschrift generell ist "Umweltsimulation und Wirkungsmechanismen luftgetragener Spurenstoffe bei abiotischen Materialien". Der Programmausschuß, das sind Professor Althausen aus Karlsruhe für Mineralogie, Herr Professor Grobe aus Münster für die Anorganische Chemie und Herr Professor Krumbein aus Oldenburg für die Biologie, Herr Professor Manier aus Darmstadt für die Meteorologie, Herr Dr. Mummert aus Dresden für Festkörperphysik, Professor Rostasy aus Braunschweig für Baustoffe und ich für die Umweltsimulation. Wir haben das ganze Problem auch noch eingebracht auf der europäischen Ebene, da gibt es inzwischen einen Zusammenschluß der **Gesellschaft für Umweltsimulation in Europa**, um auf der Ebene der EG auch noch einsteigen zu können. Da sind wir aber noch nicht so weit wie hier. Aber die Anfänge sind auch gemacht worden. Also, was ich hier eigentlich sagen will, ist, es müßte eigentlich noch sehr viel getan werden, und wenn Sie dem in der Kürze gefolgt sind, was ich allein über die Umweltsimulation, die Problematik dort, gesagt habe, dann dürfte das auch sehr verständlich sein.

---

#### Herr Herkendell:

---

Für mich waren die Ausführungen insofern etwas schwierig, weil sie nicht nur erschlagend, sondern auch komprimiert waren. Weil Sie sehr schön, wie Sie es schon sagten, ein bißchen gespickt haben. Mir drängt sich da etwas auf: Die Beschleunigung, die methodisch möglich wäre, den Nachweis von Umwelteinflüssen zu realisieren, die ist ja nur in engen Grenzen möglich. Die Grenzen zu beschreiben, ist ja letztlich die Aufgabe Ihrer Arbeitsgruppe. Wenn ich das aber jetzt einmal versuche, auf unsere hier anstehenden Fragen zu fokussieren, dann habe ich den Eindruck, daß wir da auch große Probleme haben. Wir können nicht einfach mit

80 % jetzt anfangen, um Ihr Zahlenbeispiel zu nennen, um eine Verkürzung zu erfahren, die es uns erlaubt, in vielleicht zwei, drei Jahren Wirkungsabläufe zu simulieren, die wahrscheinlich Jahrzehnte oder noch mehr beanspruchen dürften. Ich möchte Sie jetzt konkret fragen, wie könnten aus Ihrer Sicht **Vorschläge für die Simulation des Einflußfaktors Luftverunreinigungen** aussehen? Könnten Sie aus Ihrer Erfahrung Vorschläge unterbreiten, die uns bei weiteren Überlegungen hilfreich sein könnten? Und zwar konkreter, als Sie sie abstrakt gefaßt haben?

---

#### Dr. Schmitt:

---

Ja, konkret das, was wir jetzt getan haben, mit dem Projekt, das wir mit dem Umweltbundesamt durchführen, da haben wir eine **Simulationsanlage** aufgebaut, in der wir folgendes realisieren können: Wir können einmal die **Belastung mit und ohne Licht** machen. Wobei als Licht das natürliche Licht gedacht ist. Das zweite ist: Wir können ganz klar jetzt verschiedene **Schadgase** zuführen. NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, Ozon und eine Mischung aus diesen Gasen und zuletzt auch noch Reinluft als Vergleichsmaterial. Also das ist realisiert und kann jederzeit erweitert werden noch auf andere Gase. Die Wahl der Konzentration, die Verstärkung der Schadgase ist eigentlich so, daß wir hier auch meinen, daß es gut vertretbar ist, und auch in kurzer Zeit - in relativ kurzer Zeit - zum Beispiel nach zwei Jahren schon, ganz deutliche Erkenntnisse bringt. Erkenntnisse aber wieder nur durch die Möglichkeit der **verschiedenen Nachweisverfahren**, nur ein Nachweisverfahren allein könnte ohne weiteres ganz gewaltig in die Irre führen. Es ist notwendig, die Summe der Nachweisverfahren zusammenzunehmen und daraus dann ein Bild zu gewinnen.

---

#### Dr. Prinz:

---

Herr Schmitt, Sie haben sich ja sehr viel, auch gerade in Ihrem Vortrag, mit **methodischen Fragen** befaßt und diese Umweltsimulation als Methode der Wahl besonders herausgestellt. Auch an Sie die provokative Frage, die ich schon einmal gestellt hatte: Sie hätten jetzt grenzenlos viel Geld, könnten sich hervorragende Instrumentarien kaufen und damit die Umweltsimulation so exakt betreiben, wie man sich das nur im Traum vorstellen kann. Welche drängende Fragestellung würden Sie dann am liebsten damit behandeln? Wo sind die wirklich drängenden Fragen, die Sie dann anschließend mit dieser Methode gerne untersuchen möchten?

---

**Dr. Schmitt:**

---

Die drängenden Fragen, das sind eigentlich von meiner Sicht aus zunächst einmal die **grundlegenden Belastungs-Wirkungs-Beziehungen**. All das, was wir jetzt hier herausgearbeitet haben ist zum Beispiel, daß **Licht die Molekülketten aufbricht** und dann die Schadgase hier angreifen können. Es wurden Versuche an Materialien vorgenommen, die manchmal, wenn dann letztendlich Ergebnisse vorliegen, schon wieder modifiziert worden sind. Also meist sollten mal einfach die grundlegenden Untersuchungen von relativ reinen Materialien erfolgen und dann die Wirkung der Zusatzstoffe zusätzlich untersucht werden. Ich glaube, da liegt eine grundsätzliche Frage drin. Wenn Sie auf die Einrichtung gehen, wenn Sie mir Geld genug geben würden, da gibt es also zwei Möglichkeiten: Die eine Möglichkeit ist die, ich würde noch einmal ganz ordentlich in die **Nachweisverfahren** hineinstecken. Das scheint mir sehr wichtig zu sein. Von der Simulationsseite ist es immer sehr problematisch, wenn zu viele Dinge zum Beispiel in einer Kammer realisiert werden, die Kammern werden dann übermäßig anfällig. Das ist dann eine ganz klare Überlegung der Maximierung von Funktionsfähigkeiten und der Möglichkeiten, doch diese Simulationseinrichtung etwas einfacher aufzubauen, aber mehrere zu verwenden. Einen Generalissimus kann ich Ihnen nicht geben. Das ist eine Fragestellung, die wieder mit der vorgegebenen Aufgabe zusammenhängt. Hierzu sind Kammern gebaut worden, die sind sehr kompliziert, die müssen so kompliziert sein, um alle Fragestellungen zu beantworten.

---

**Dr. Prinz:**

---

Also die **Methode** ist sehr wichtig. Da gibt es auch wieder eine Analogie zur Waldschadensforschung, wo irgendwo im Süden unserer schönen Bundesrepublik sehr aufwendige Begasungskammern gebaut wurden und wo dann anschließend auch hochkarätige Wissenschaftler sich zusammengesetzt haben mit ihren schlaun Köpfen und dann erst einmal beraten haben, was man denn in diesen Kammern eigentlich untersuchen könnte oder sollte. Wo sind die Fragestellungen - und deswegen bohre ich hier noch einmal etwas - wo sind die drängenden Fragestellungen, die Sie in Ihren hochkomplizierten,

wunderschön gedachten Simulationskammern bearbeiten möchten?

---

**Dr. Schmitt:**

---

Die Vorgehensweise wäre eigentlich die, zunächst einmal ganz einfache Kammern zu bauen, um Einzeleinflüsse festzustellen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Welche Objekte würde Sie nehmen, welche Materialien? Wo sehen Sie den drängenden **Forschungsbedarf**, werden Sie mit Steinen beginnen, mit Metallen oder Kunststoffen? Wo würden Sie zuerst ansetzen, und welche **spezifischen Fragen** möchten Sie gerne beantworten?

---

**Dr. Schmitt:**

---

Wenn Sie jetzt einmal das aufsummieren, was hier gesprochen wurde, dann ist es doch so, daß man nicht hergehen kann und sagt, ich nehme jetzt erst einmal einen Stein. Es gilt, jeder Stein ist, genauso wie jeder Kunststoff, ein Individuum für sich und reagiert anders auf den gleichen Einfluß. Es ist also meiner Meinung nach so, daß zunächst einmal mit sehr **einfachen Materialien und einfachen Verfahren** angefangen werden muß. Daraus kann man sich dann ein Bild machen, um von daraus weiter zu gehen, um gleichzeitig mehrere Beeinflussungsfaktoren zusammenzunehmen und trotzdem dann einen Rückschluß zu ziehen, was passiert hier. Der nächste Schritt wäre jetzt wiederum, **zusammengesetzte Materialien** zu nehmen, denn nur auf diesem Weg kann man Rückschlüsse ziehen. Das, was wir zum Beispiel machen hier mit den Materialien, die mit dem Umweltbundesamt zusammen ausgesucht wurden, das ist eine Aussage für dieses Material. Wenn ich den Füllstoff ändere, dann muß ich wahrscheinlich wieder eine andere Aussage machen. Das ist ein Schritt zu weit. Deshalb ist das, was ich aus dem Antrag für ein Schwerpunktprogramm vorgelesen habe, die Ansicht, mehr auf die Basis runterzugehen, einmal in die **Grundlagen** reinzugehen.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Ich würde gern noch ein paar Randbedingungen zu den **Kammern** wissen, weil ich Ihre Anlage nicht kenne. Wie viele Kammern haben Sie denn und wie groß sind die? Damit man einmal eine Vorstellung bekommt, was man da exponieren könnte.

---

**Dr. Schmitt:**

---

Das sind 10 Kammern, in denen ungefähr 50 Proben untergebracht werden können. Die sind auf einem Dach aufgestellt. Sie sind nach Süden ausgerichtet unter 45°; im Untergeschoß ist die Be- gasungsanlage eingebaut. Die ist so angelegt, daß die Gase gleichmäßig verteilt werden und nicht durch Temperatureinflüsse schon im voraus ir- gendwie entmischt oder gemischt werden.

---

**Dr. Prinz:**

---

Okay. Die Zeit schreitet doch etwas voran, so daß wir dann fortfahren und Herrn Fütting bitten, seine Vorstellungen vorzutragen. Entschuldigung, Sie hatten sich gemeldet?

---

**Dr. Fiebrich:**

---

Also, ich habe sehr viel Verständnis für die boh- renden Fragen von Ihrer Seite auf die konkreten Antworten.

---

**Dr. Prinz:**

---

Erst mal auf die konkreten Fragen ...

---

**Dr. Fiebrich:**

---

Aber es ist ganz eindeutig, die Frage, was alles bei einer Umweltsimulation zu berücksichtigen ist und welche Merkmale nach einer erfolgten Betriebs- beanspruchung oder nach einer erfolgten Umweltsi- mulation zu untersuchen sind, hängt ganz einfach von der **Zielrichtung** ab. Ich habe in meinem letzten Statement im Tenor gesagt, daß Einzelpara-

meteruntersuchungen, zum Beispiel Tempe- raturwechsel, Frost-/Tauwechsel, nicht ausreichen, um bestimmte Phänomene zu deuten, sondern wir wissen alle, daß es aus der Vielzahl der einzelnen Parameter wie Witterung und Luftverunreinigung Synergieeffekte gibt, die eigentlich nur bei einer **komplexen Umweltsimulation** an einem Pro- bekörper nachvollziehbar sind. Lassen sie mich ganz kurz ein Beispiel bringen. Seit Jahren werden im Labor Eignungsprüfungen im Vorfeld für die Zulassung bestimmter Oberflächenschutzsysteme gemacht, **Einzelparameteruntersuchungen**. Da werden zum Beispiel Frost-/Tausalzwechsel oder Temperatur oder Gewitterregen simuliert nach ei- ner bestimmten Anzahl, z.B. zwei Winterperioden, und im Anschluß daran macht man die Haft-/Zug- Prüfung, um die Adhäsion zwischen den Stoffpha- sen Substrat und Beschichtung zu prüfen. An den gleichen Materialien, die dann aus dieser Prüfung als bewährt herauskommen, stellt man in der Pra- xis osmotisch bedingte Blasenphänomene, nur ein einziges Beispiel, fest und gleichzeitig ein chemi- scher Abbau, Kettenbrüche an der Oberfläche die- ses Systems, wenn man die Untersuchungen dann als Bestandsaufnahme am Objekt macht. Daraus haben wir ganz eindeutig gelernt, daß **Einzelnun- tersuchungen zu Fehlschlüssen führen**, und daß eine komplexe Umweltsimulation notwendig ist. Damit meine ich eben alle wesentlichen Parameter wie Schadgase, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, Temperaturwechsel, Sonne, die zweiseitige Belastung zur Simulation der Bau- physik, Wand außen/innen, um beispielsweise so eine osmotische Erscheinung an einem Oberflä- chenschutzsystem überhaupt einmal nachzufahren. Das bekommen Sie ohne eine **komplexe Um- weltsimulation** nicht heraus. Andererseits sind wir der Meinung, daß eine komplexe Umweltsimula- tion jedoch begleitet werden muß von Einzelparameteruntersuchungen im Rahmen von **Freilanduntersuchungen**. Das ist das Konzept, das im Rahmen des BMFT bei uns verfolgt wird, wo wir die definierte Aufgabe haben, **Schutzstoffe** für die Praxis zu entwickeln. Professor Wolf will in kürzester Zeit für seine Muschelkalkstrebenbögen einen Schutzstoff haben. Unter dieser Zielsetzung entwickeln wir unter Zuhilfenahme der komplexen Umweltsimulation Schutzstoffe, wobei wir die Er- gebnisse dieser Simulation natürlich versuchen zu korrelieren mit den Ergebnissen der Frei- landexposition, damit da nicht wieder Fehlschlüsse laufen. Es ist ein sehr komplexes Feld und ich bin der Meinung, wenn man unter diesem Zeitdruck steht, kann man den Weg, den Herr Schmitt aufge- zeigt hat, nicht verfolgen, daß man das alles ein- zeln nachvollzieht. Das sehe ich als eine Notwen- digkeit an. Es kommt ganz entscheidend auf die **Zielsetzung** an, wenn man sagt, wie soll Umwelt- simulation aussehen und welche Eigenschaften muß ich nachher prüfen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Gegen das Statement kann ich nichts einwenden, daß es auf die Zielsetzung ankommt, aber ...

---

**Dr. Schmitt:**

---

Also da muß ich etwas dazu sagen, ich bin vollständig mit Ihnen einer Meinung. Der Herr Prinz hat gefragt, wenn Sie Zeit und Geld genug hätten, wie würden Sie dann vorgehen?

---

**Dr. Prinz:**

---

Nicht: Wie! Welche Fragen möchte Sie dann gerne beantworten. Welche Fragen wären dringend zu beantworten?

---

**Dr. Schmitt:**

---

Es ist doch ein Unterschied, ob Sie eine genau vorgegebene Fragestellung haben, so wie Sie es jetzt geschildert haben, dann müssen Sie die **Umweltsimulation** so betrachten, wie ich das vorhin gesagt habe. Da kommen Sie nicht umhin, um diese Komplexität auch zusammenzubringen. Ich habe heute morgen gesagt, ich hätte gerne das in der **Freibewitterung** nachvollzogen, was wir hier gemacht haben im Labor, um jetzt wieder Rückschlüsse zu ziehen. Das geht vollkommen mit dem, was Sie sagen konform.

---

**Dr. Prinz:**

---

Wir sind uns einig, daß die **Umweltsimulation komplex** sein muß, weil die Fragestellung komplex ist. Wir sind uns auch einig, glaube ich, daß es sinnvoll ist, das Ergebnis im Labor immer noch einmal mit den Phänomenen draußen in der freien Natur zu vergleichen. So sind wir ja bei der **Waldschadensforschung** auch vorgegangen. Wir haben gesagt, durch **epidemiologische Untersuchungen** generiert man **Hypothesen**, im Labor verifiziert man oder falsifiziert man diese Hypothesen, und dann kommt noch einmal die **Schlußüberprüfung** dieser Verifikation oder Falsifikation an Hand der **Übertragung der Untersuchungsergebnisse** auf die Außenverhältnisse hinzu. Mit anderen Worten müßte man nach den Laboruntersuchungen wieder in die freie Natur hineingehen und noch einmal feststellen, ob das,

---

was man im Labor ermittelt hat, nicht vielleicht Artefakte darstellt, sondern etwas mit der Wirklichkeit zu tun hat. Insofern stimmen wir, glaube ich, alle auch mit Ihnen überein.

---

**Dr. Schmitt:**

---

Ein Beispiel: Wir mußten den Airbag qualifizieren, also den Luftsack für das Rückhaltesystem im Auto. Was glauben Sie, was die uns erzählt hätten, wenn wir so vorgegangen wären, wie ich es gesagt hatte, wie ich es gern machen würde. Da gehen wir selbstverständlich so vor, wie Sie das erläutert haben.

---

**Dr. Prinz:**

---

Gut, aber das ist vielleicht auch Stoff für eine Unterhaltung nach diesem eigentlichen Programm, wie ich mir vorstellen könnte. Herr Blaschke.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Ich glaube, Sie hatten immer die Idee mit der **Umkehrung des Prozesses**. Die kam mir jetzt gerade auch. Wir versuchen, von unten her aufzubauen eine Simulationskammer, die hat A, B, C und dann immer weiter. Wie wäre es denn, wenn wir umgekehrt, wenn wir nur **einen Parameter in der Natur verändern**. Nur zum Beispiel: Ich stelle die Behauptung auf, im wechselfeuchten Mauergebiet sind die Schäden zehnmal größer als im dauerfeuchten. Können wir nicht eine offene Klimakammer bauen, in der wir nichts anderes ändern als nur diesen Befeuchtungs- und Trocknungszyklus künstlich irgendwie zu erhöhen, alle Schadstoffe so belassen, wie sie sowieso sind?

---

**Dr. Prinz:**

---

Zum Beispiel warme Luft dagegenblasen.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Und dann wieder Regen oder irgendsoetwas erzeugen. Ich meine, mal das Prinzip umkehren, daß man alle Parameter beläßt, nur einen so überdimensioniert, daß man dessen Einfluß so besser in den Griff bekommt. Das war einmal so eine ...

---



---

**Dr. Prinz:**

---

Da gibt es wiederum interessante Analogien zur Waldschadens- oder zur biologischen Forschung. Hier haben wir ebenfalls die beiden Möglichkeiten, daß wir entweder eine Expositions-kammer haben, bei der wir bestimmte Schadstoffe hinzudosieren, das ist die eine Möglichkeit. Oder wir haben die andere Möglichkeit, daß wir in ein Schadensgebiet hineingehen, mit all den Schadstoffen, die da nun einmal dort vorhanden sind und stellen Schadstoffexpositions-kammern dorthin, jetzt aber in negativer Weise, in dem wir die Schadstoffe ausfiltern. Man könnte sogar selektiv nur ganz bestimmte Schadstoffe ausfiltern. Dies macht man in der biologischen Forschung, und vielleicht wäre das auch einmal ein interessanter Aspekt für die Materialforschung.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Da hätte ich den Vorschlag zu machen: Wir haben doch bei uns die van-HAUT-Kammern, das sind zweigeteilte Kammern, in denen man direkt im Vergleich mit Standortluft, und gefilterter Luft begasen kann. Wir machen das zur Zeit mit Pflanzen, aber man kann die Kammern ja auch mit Steinen drin irgendwo hinstellen, wo man gerne diese Wirkungsunterschiede herausfinden möchte. Man könnte die Einrichtung vielleicht auch modifizieren, und eine Kammer feuchter halten als die andere, oder mit Parallelmessungen im Freiland verbinden. Das wäre eine Zwischenstufe.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, damit hat sich eine Anregung ergeben, die, glaube ich, sehr positiv zu werten ist. Dann können wir einen Schritt weitergehen oder eine Person weiter. Herr Fütting, Sie sind jetzt gefragt.

---

**Dr. Fütting:**

---

Durch die festgelegte Reihenfolge kommt jetzt wieder ein kleiner Bruch. Ich will über ein Nachweisverfahren sprechen, was hier schon

erwähnt wurde. Über die Raster-elektronenmikroskopie, kombiniert mit der Elektronenstrahlmikroanalyse - und ganz speziell über die Untersuchungen, die wir an solchen schwarzen Krusten gemacht haben. Ich kann Dias dazu zeigen und zwei Folien auflegen. Zur Erinnerung noch einmal: Das hier ist eine Marmorfigur vor der Bildergalerie in Potsdam-Sanssouci, ganz deutlich zu sehen, was heute vormittag schon im Gespräch war: Die schwarze Kruste dort an der Stelle, wo sie abplatzt, ein sehr großer Materialverlust in die Tiefe. Das ist hier am Knie zu sehen. Wir haben nun untersucht, wie diese Krusten in ihrer Schichtung chemisch zusammengesetzt sind bzw. erst einmal natürlich, wie sich von oben ihre Oberfläche darbietet. Bitte das nächste Dia. Man sieht als erstes die bekannten Gipskristallneubildungen. Hier als Rosette aufgewachsen auf einer sehr unübersichtlichen Oberfläche, die mit der Oberfläche eines Marmors nichts mehr zu tun hat. Bitte das nächste Dia. Hier als Beispiel wieder eine Oberfläche, auf der diese kleinen Kügelchen zu erkennen und auch größenordnungsmäßig im Durchmesser abzuschätzen sind. Hier unten, der Marker ist 10 µm lang. Sie sehen, das größte Teilchen, das man findet, ist gerade 10 µm. Alle übrigen sind kleiner. Das ist sehr wichtig für die Ergebnisinterpretation. Dann bitte das nächste Dia. Hier haben wir so eine Schichtbildung in der Übersicht, wir sehen hier diese verwitterte Oberflächenschicht, dann hier ihre Dicke und hier unten den Marmor, so wie er sich an einer Bruchfläche, die jetzt senkrecht durch die Verwitterungsschicht in das nahezu gesunde Material hineingeht, darbietet. Hier die relativ glatten Spaltflächen von den Calciumcarbonatkristallen. Bitte das nächste Dia. Wir haben dann mit der Mikrosonde quer über eine Probe die Schwefel-, die Calcium- und die Magnesiumkonzentration nach einem speziellen Verfahren gemessen. Das hing mit der Probenpräparation zusammen, weil wir die Probe so wenig wie möglich verändern wollten. Es ist sehr schwierig, an so einer Bruchfläche vernünftig zu analysieren, vor allen Dingen quantitativ. Da haben wir uns auf ein spezielles Verfahren zurückgezogen, auf das sogenannte Peak-Untergrund-Verfahren, und damit umgehen wir störende Präparationseinflüsse. Man kann dann diese Werte, die wir hier erhalten, auch in Konzentrationen umrechnen. Ich will das nicht weiter darstellen. Wichtig ist jetzt nur: Wir haben hier oben im Bild einen Bereich, der ganz klar die Zusammensetzung von Gips

zeigt. Dann: - da müßte ich zum Schluß noch einmal darauf zu sprechen kommen - Schwefelkonzentrationen, die deutlich darüber hinausgehen, und im gesunden Material dann also die Calciumkonzentration, wie sie für Calciumcarbonat zu erwarten ist, und die Schwefelkonzentration nahe Null. Magnesium ist ein Begleitbestandteil aus der Genese des Marmors. Bitte das nächste Dia. Die übrigen Elemente jetzt in der Schicht zu finden: Barium und Titan. Ich habe das gestern schon einmal in kleinerer Runde erzählt, es war also üblich, die **Marmorfiguren** alljährlich zu **putzen**. Mit einer aufgeschlammten Lösung von **Bariumsulfat** und **Titandioxid** wurden sie eingepinselt und dann wieder abgebürstet. Daher also Bestandteile, die Barium und Titan enthalten, Chlor als Verunreinigungselement. Bitte das nächste Dia. Jetzt kommen die Elemente Eisen, Silicium und Aluminium, wobei man doch sieht, daß Aluminium und Eisen einen sehr ähnlichen Verlauf zeigen. Wir haben das damals abgetan als Fremdeinschlüsse in diesen aufgewachsenen und verwitterten Gipsschichten. Bitte das nächste Dia. Zur Vervollständigung noch einmal die übrigen Elemente: Kalium, Natrium und Phosphor. Phosphor ist schwierig zu interpretieren. Der kann biologischen Ursprungs sein, kann aber auch durch Düngereintrag auf die Oberfläche gelangt sein. Das ist also sehr schwierig herauszufinden. Natrium und Kalium bieten auch Probleme bei der Interpretation, weil natürlich die Alkalien sehr mobil sind. Insbesondere da ja diese Oberflächenschicht ständig durchfeuchtet wird. Unsere erste Überlegung war falsch, daß nur die Elemente Eisen, Silicium und Aluminium Fremdeinschlüsse darstellen. Die zweite Überlegung kam dann erst, als wir uns über die **Kügelchen** und **Flugasche** teilchen, die wir da gefunden haben auf der Oberfläche, Gedanken gemacht haben. Und dann sind wir darauf gestoßen, nachdem ich mir Werte von den Kraftwerken besorgt habe: Es gab drei Sorten von **Kraftwerksaschen** in der DDR, kalkreiche und kieselsäurereiche und tonerdereiche. Für diese Zwecke hier kann ich die letzten beiden zusammenfassen. Ich unterscheide hier also nur **kalkreiche** und dann die übrigen. Ich habe jetzt hier aufgetragen: Den **Teilchendurchmesser**, wie er bei verschiedenen **Filterfraktionen** anfällt, die Konzentration an Eisenoxid und Calciumoxid, oben noch Aluminiumoxid, und habe so von den groben Bestandteilen bis zu den feinen und dem Feinstkornanteil, der ist zwar jetzt bei den Analysen kaum noch bestimmt,

extrapoliert über einen Bereich bis zu 10  $\mu\text{m}$  herunter, weil gerade der eben sehr weittragend verbreitet wird. Da stellt sich dann heraus, gerade beim Calcium sind deutlich **steigende Calciumgehalte**, je feiner die Fraktion wird, zu beobachten. Daher kann man bei der Interpretation solcher Meßergebnisse, wie ich sie am Anfang vorgestellt habe, nicht davon ausgehen, wie ist die Asche insgesamt zusammengesetzt, sondern ich muß wirklich den **weittragenden Feinstkornanteil** betrachten. Das ist meines Wissens immer wieder unter den Tisch gefallen. Die Leute haben die Ascheanalysen bekommen und haben geschlußfolgert: Das kann unmöglich einen großen Anteil bei der Bildung der Gipskrusten ausmachen. Mir ging es jetzt darum, diesen Anteil einmal abzuschätzen. Wie groß kann denn der sein? Und dabei benutze ich das **Aluminium-Eisen-Verhältnis** zur Charakterisierung der **Asche**, die dort abgelagert ist an der Meßstelle, in dem Meßprofil und rechne dann über die Aschezusammensetzung aus dem Calciumgehalt, wie ich ihn eben gezeigt habe, den Anteil an **Gips** aus, der aus dem Flugascheeintrag stammt. Wir haben hier vier Profile genommen, jeweils immer drei Meßpunkte aus diesem vorderen Bereich, vielleicht erinnern Sie sich noch: das fiel ja dann recht schnell ins Materialinnere ab, das Aluminiumprofil und das Eisenprofil jeweils zur Identifizierung der Ascheart benutzt, also hier wahrscheinlich kieselsäurereich, hier kalkreich, wieder kalkreich, kieselsäurereich und daraus den möglichen Anteil am Calciumoxidgehalt der Kruste berechnet, der aus der Flugasche stammt. Das sehen wir hier, das liegt also so um 20 %, was ich errechne, und das hier um 40 %. Das ist also ein Anteil - nach dieser Abschätzung, mit den gemachten Voraussetzungen - der keineswegs vernachlässigt werden kann. Ich muß wirklich davon ausgehen, daß ungefähr **bis zur Hälfte der aufgewachsenen Kruste aus Flugasche** aufgebaut wird. Der Calciumanteil stammte aus dem Calciumgehalt der Flugasche und nicht aus dem Calciumgehalt meines Substrates, was in diesem Fall natürlich ideal war, reines Calciumcarbonat mit ganz geringen Beimengungen an Magnesiumoxid, wie ich das eben an den Analyseergebnissen zeigen konnte. Also hier sieht man einmal, daß doch die **Interpretation** solcher Ergebnisse nicht von vornherein auf der Hand liegt. Und nun möchte ich die Gelegenheit nutzen, noch einmal auf diese erhöhten **Schwefelkonzentrationen** unterhalb der Gipskruste zu kommen. Meine Vermutung ist, daß



---

das eventuell biologische Ursachen haben könnte. Ich weiß nicht, ob da jetzt jemand so aus dem Stand etwas dazu sagen kann. Die zweite Vermutung ist, daß es ein Eintrag ist, der durch **Feuchtigkeitsvordringungen**, die dann durch Austrocknung wieder zurückweichen, aber an der Stelle ihrer maximalen Ausbreitung **Ablagerungen** zurücklassen, verursacht ist. Man kann das simulieren: Zwischen zwei Glasplatten Sand streuen, den befeuchten und dann sieht man, wie diese Fronten verweilen; wenn man dann hin und wieder austrocknet, hat man so eine Ränderbildung dort. Daher könnten diese Maxima kommen, weil das auch immer so ein **oszillierendes Verhalten** ist. Die Auflösung dieser Messungen ist ziemlich genau, die liegt so bei  $1,5 \mu\text{m}$  lateraler Auflösung. Man sieht also ganz deutlich: Diese Amplituden, die ich hier habe, die sind deutlich länger. Also es ist kein Meßartefakt, sondern wirklich vorhanden. Gut, das war es, was ich hier sagen wollte. Danke schön.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, Herr Fütting. Ergeben sich hierzu Fragen? Das war eigentlich ja nicht genau die Antwort zu dem Thema, welche experimentellen Untersuchungen man durchführen sollte, wenn ich das richtig verstanden habe. Vielmehr waren es mehr **phänomenologische Darstellungen** dessen, was Sie gefunden haben, nicht wahr?

---

**Dr. Fütting:**

---

Dann sag ich noch zwei Sätze dazu: Sowohl exponierte Objekte als auch Simulationen müssen sich an solchen und ähnlichen Untersuchungen, die an vorhandenen Objekten gemacht wurden, dann auch messen lassen. Das war jetzt der Gedanke. Ich kann den Bestand, wie ich ihn vorfinde, relativ genau charakterisieren. Und jede Simulation und jede Exposition muß sich dann wieder daran messen lassen. Wenn ich den **Schadensmechanismus** halbwegs richtig **simuliert** habe, dann muß ungefähr dasselbe herauskommen.

---

---

**Herr Herkendell:**

---

Unmittelbar zu Ihren Forschungsergebnissen noch kurz eine Anmerkung: Könnte es nicht sein, daß Sie bei Ihren Untersuchungen einen Faktor vergessen haben? Und zwar der, daß wir in den letzten 20 Jahren vermehrt gewaltige Einträge haben von **basischen Stäuben**. Nicht nur aus Feuerungsanlagen, sondern auch aus Erosionsgebieten, die außerhalb unseres Klimabereichs liegen, zum Teil mit hohen basischen Anteilen. Wenn man diese hochrechnet auf eine Quadratmeteranzahl Gebäude könnte es theoretisch sein, daß Sie die Größe nicht ausreichend berücksichtigt haben?

---

**Dr. Fütting:**

---

Das habe ich nicht vergessen. Ich habe hier eine entsprechende Analyse, die auf der Nordseeinsel Pellworm gemacht wurde, wo auch diese **fraktionierte Aufteilung** der einzelnen Konzentrationen gemacht ist, da kommt dasselbe raus wie bei den **Flugaschen**. Ob ich das nun als "Flugasche" anspreche oder als "Flugstaub" integral einschließlich der von ganz weit hergetragenen Sachen annehme, das ist das gleiche, so genau festlegen wollte ich das nicht. Flugasche ist jetzt nur ein Name für diese Sache. Ich habe beides verglichen, das stimmt genau überein. Die Tendenz ist also immer so, daß der **Calciumgehalt** auch auf Pellworm bei den ganz kleinen Teilchen hoch geht und erst unterhalb von  $1,5 \mu\text{m}$  dann wieder leicht abfällt.

---

**Dr. Prinz:**

---

Herr Fütting, die Frage von Herrn Herkendell regt mich zu einer anderen Frage an, die auch wieder ihre Grundlagen, ihre Wurzeln in der Biologie bzw. der Waldschadensforschung hat. Es gibt Argumente, daß durch die **emissionsmindernden Maßnahmen**, die jetzt in den neuen Bundesländern in der ehemaligen DDR, erfolgen, zunächst einmal die **Stäube** aus der Atmosphäre **ausgeschieden** werden, so wie es hier in den alten Bundesländern ja auch in den 60er Jahren der Fall war. Erst sehr viel später

---

---

konnte damals die Schwefeldioxidemission vermindert werden, gleichbedeutend mit dem Hauptanteil säurebildender Gase. Es ist zu vermuten, daß durch ähnliche Entwicklungen in unseren östlichen Bundesländern eine **pH-Verschiebung** stattfindet, daß also mit anderen Worten im Augenblick bei Ihnen dieser saure Regen praktisch noch gar keine Rolle spielt, sondern daß ganz im Gegenteil **basische Stäube** das pH-Regime in der Atmosphäre bestimmen. Und nun könnte ja es sein, daß bei den Materialien dies auch eine große Bedeutung hat, daß wir zunächst einmal Staubauflagerungen haben, die basisch sind und die säurebildenden Gase abpuffern. Wenn jetzt emissionsmindernde Maßnahmen, wiederum in Analogie zu den Verhältnissen in unseren westlichen Bundesländern, erst einmal greifen und die Stäube ausgefiltert werden, könnten sich die Reaktionsverhältnisse wesentlich verändern. Daher sollte man experimentell untersuchen, welche **Wechselwirkung** zwischen **puffernden Stäuben** und **säurebildenden Schadgasen** besteht und welche Wirkungen zu erwarten sind, wenn dann tatsächlich die Stäube einmal verschwinden. Normalerweise messen wir allen Luftverunreinigungen eine schädigende Wirkung zu. Aber es kann ja auch sein, daß es Luftverunreinigungen gibt, gerade bei den Stäuben, die durchaus eine heilsame, fast therapeutische Wirkung haben.

---

**Dr. Fütting:**

---

Dazu möchte ich jetzt einmal auf ein Gebiet kommen, was mir gar nicht so zusteht, nämlich auf diese Waldschäden. Und da ist gerade der Raum **Leipzig-Halle** mit der Dübener Heide ja bevorteilt dadurch, daß dort ein **hoher Calciumoxid-Eintrag** ist, der die Wirkung des sauren Regens dort gemindert hat, zum Glück muß man sagen. Das ist also so ein positiver Einfluß, wie Sie den eben ansprachen. Für diesen Verwitterungstyp schwarze Krusten, wie ich ihn jetzt hier vorgestellt habe und aus meinen Untersuchungen in der DDR kenne, würde ich jetzt einmal spekulieren. Natürlich haben wir da noch nichts gemessen: Daß, wenn der Staubeintrag nicht mehr so groß ist, natürlich auch die **Aufwachsgeschwindigkeit** dieser Krusten sich **verlangsamen** wird. Einfach, weil der Materialeintrag, die Depositionsrate also, kleiner

wird. Inwieweit der Säureangriff dann in den Vordergrund tritt und mir den Stein direkt schädigt, ist eine andere Frage. Ich spekuliere jetzt aber einmal, daß das geringer sein wird. Denn - deswegen habe ich am Anfang dieses Bild mit dem kleinen Marmoraffen gezeigt -, wo so eine Kruste dann irgendwann einmal abplatzt, nach langer Zeit, dann ist das Material darunter enorm geschädigt. Es ist eine unglaubliche Tiefe. Wenn jetzt die Krustenbildung nicht mehr auftritt, - im günstigsten Fall -, und ich nur noch Säureangriff habe, der ja natürlich immer durch Regen etc. unterbrochen wird, also nicht ständig ist, könnte es sein, daß sich das verlangsamt.

---

**Herr Herkendell:**

---

Noch eine Anmerkung und eine Ergänzung zu dem, was Sie jetzt gesagt haben. Sie werden **Veränderungen** in der Zusammensetzung und Menge der **emittierten Stäube** erfahren. Die Schwefeldioxidbelastung wird sicherlich auch mittelfristig abnehmen. Aber wesentlich entscheidender ist, Sie importieren ja auch eine gewaltige **Stickstoffbelastung**. Es wird ein Phänomen importiert, schlagartig, was vorher gar nicht da war. Nämlich der **Kfz-Verkehr** und seine Emissionen. Die Belastungssituation wird sich von Kohlenwasserstoffen zu Stickstoffoxiden verlängern. Diese Entwicklung hat sicherlich auch Konsequenzen hinsichtlich des Faktors Luftverunreinigung im Gesamtcannon der Einflüsse, die wir hier diskutieren. Das ist etwas Neues, was in den letzten dreißig Jahren nicht der Fall war.

---

**Dr. Fütting:**

---

Aus den Sachen, die ich jetzt hier gehört habe, würde ich sagen, daß das, was Professor Blaschke schon gestern vorgetragen hat, dann auch häufiger in den neuen Bundesländern zu finden sein wird. Also in diese Richtung wird sich das **Schadensbild** dann wahrscheinlich ändern. Man hat jetzt im Grunde genommen die letzte Chance, noch dieses alte Schadensbild, den alten Mechanismus aufzuklären unter den Randbedingungen, wie sie ungefähr die letzten 15 Jahre existiert haben. Das wird recht schnell verschwinden oder überlagert werden.

---

**Dr. Prinz:**

---

Daher sind ja die Epidemiologen so aktiv geworden bei Ihnen. Ich meine die Westdeutschen, die haben Kreuzzüge jetzt in den neuen Bundesländern veranstaltet.

---

**Dr. Fütting:**

---

Also das berührt eine Frage, die am ersten Tag ja dran war: Welche **neuen Schadensbilder** treten auf? Das ist für die neuen Bundesländer wahrscheinlich aus der Erfahrung der alten Bundesländer relativ einfach zu beantworten dann, in welche Richtung das gehen wird. Welchen Umfang und so weiß man nicht, aber in welche Richtung.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Also vielleicht noch eine kleine Ergänzung zu den Calciumanteilen. Soweit ich erinnere, es waren schon in früherer Zeit Untersuchungen in Venedig auch gemacht worden oder auch sonstige an den Luftstäuben, daß diese Calciumanteile in aller Regel als **Sulfate** transportiert wurden, so daß also ein Teil des  $\text{SO}_2$  in der Luft ja sowieso als Sulfat erst niederschlägt und nicht als  $\text{SO}_2$ , und diese Bindung dann in diesen Calciumanteilen gelaufen ist.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ja, das hängt natürlich von der **Zusammensetzung der Emissionen** ab, wenn Stäube nach wie vor emittiert werden, aber wenn der Schwefelanteil abnimmt, dann wird es auch Calciumoxide geben statt der Calciumsulfate.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Die Bindung mit dem Sulfat ist intensiver und von daher gesehen wird sich das bevorzugt bilden.

---

**Dr. Prinz:**

---

Aber stöchiometrisch kann nicht mehr Calciumsulfat da sein als originär an Calcium und Schwefel von der Emission angeboten wird. Wenn durch einen geringeren Schwefelanteil im Brennstoff, was zum Beispiel bei der Substitution Kohle/Öl ja schon der Fall war, einfach weniger Schwefel emittiert wird, dann wird sich auch dieses Komponentenspektrum entsprechend verändern. Dann wird einfach der **basische Anteil abnehmen** und der **saure Anteil zunehmen**. Aber vielleicht sollten wir das jetzt nicht zu weit treiben. Wir wollten ja eigentlich wissen, welche experimentellen Untersuchungen man durchführen sollte und deswegen gebe ich dann gleich das Wort weiter.

---

**Prof. Lucke:**

---

Eine kleine Bemerkung. Da wir seit Jahrzehnten unsere Braunkohlenaschen untersucht haben, kann ich Ihnen mitteilen, daß in den Aschen und auch in ihren Feinstanteilen kein freies  $\text{CaO}$  vorliegt. Es ist richtig, was hier gesagt wurde, Sie haben immer ein bestimmtes Verhältnis von  $\text{SO}_3$  zu  $\text{CaO}$ , d.h. Sie haben es mit Calciumsulfat zu tun.

---

**Dr. Marfels:**

---

Ich möchte an zwei Dinge anknüpfen, die hier vorhin schon einmal angeschnitten wurden. Und zwar zunächst einmal an die Frage, die Sie gestellt hatten, Frau Köth, wie man sich solche Kammern vorzustellen hat, um jetzt noch einmal an das heranzugehen, was Herr Schmitt schon sagte, und dazu hätte ich ganz gerne gleich das erste Dia und dann möchte ich auch noch einmal auf die Nischen kommen, die Sie vorhin schon angesprochen hatten. Wir haben im Rahmen eines umfangreichen Projektes für das Umweltbundesamt, das sich damit beschäftigen sollte, wie die Immissionsratenmessung zu verbessern ist und wie die Wechselwirkung zwischen technischen Oberflächen und Schadgasen gemessen werden kann, so eine Kammer gebaut. Ich zeige sie im nächsten Dia gleich im Originalzustand. Im

Zentrum ist der eigentliche Versuchsraum und das gekrümmte ist der sogenannte **Windkanal**, der von einer leistungsstarken Turbine getrieben wird. Der Durchmesser von diesem Windkanal ist etwa 40 cm. Sie haben dann entsprechende Vorrichtungen zum **Einspeisen von Schadgasen**, hier als Beispiel von  $\text{SO}_2$ , was einmal in die Kammer eingeführt wird, und dann über Trocknungsvorrichtungen, Ventile usw. läuft, und auf der anderen Seite sind die **Meßvorrichtungen, Monitore**, um die Konzentrationen bzw. die Gleichmäßigkeit und auch die Abnahme, nachdem das System eingebracht wurde, feststellen zu können. Gleich das nächste. Da sieht man also das Ganze von vorne. Es ist dieser **Versuchsraum**, in dem wir zunächst einmal nicht nur die **Schadgaskonzentration** variieren konnten, sondern auch die **Geschwindigkeit**, mit der das Schadgas auftritt, also mit anderen Worten die Gasgeschwindigkeit oder dann die **Temperatur**. Man konnte kühlen oder erhitzen und natürlich auch weitere Parameter. In dieser Kammer kann man beispielsweise auch solche MANK'schen Karussells aufbringen, um die ganze Sache noch in Bewegung aufzunehmen. Vielleicht gleich die nächsten Dias ganz schnell durch. Das ist hier die Begasungsvorrichtung, wo man die Verteilung über verschiedene Strömungsmesser eingibt. Das nächste gleich. Sie sehen also, wie aufwendig so etwas ist. Das da hinten ist der Schreiber für die  $\text{SO}_2$ -Konzentration und so weiter. Man kann jetzt mit dieser Vorrichtung natürlich auch mit **Aerosolen** arbeiten. Das haben wir auch gemacht. Das ist ein ganz wichtiger Punkt, den Sie, Herr Prinz, vorhin auch schon angeschnitten haben, weil viel zu wenig bekannt ist über die Wechselwirkung zwischen Feinstaerosolteilchen und der Abscheidung auf deren Oberfläche, was wir als Grundlegendes festgestellt haben. Wir haben mit Modellaerosolen gearbeitet, zunächst einmal mit ganz einfachen Fluorescein-Teilchen, aber wir sind dann später auch auf andere übergegangen. Wir stellten fest, daß es keinen Unterschied macht beispielsweise, ob die Akzeptoroberfläche feucht oder trocken ist, die **Depositionsgeschwindigkeiten** sind die gleichen, so daß man also in diesem Falle mit einfachen Systemen arbeiten kann. Außerdem war die **Depositionsrate**, oder wie man weniger exakt sagt, die Immissionsrate, annähernd **proportional zur Aerosolkonzentration**. Das ist vielleicht auch ein wichtiger Gesichtspunkt,

der bei diesem Projekt herausgekommen ist. Aber was ich eigentlich sagen wollte, die Untersuchungen haben eigentlich gezeigt, wo das Defizit ist für spätere Arbeiten, daß man nämlich bis heute nicht genau sagen kann, wie die abgeschiedenen **Aerosole** bei verschiedenen Konzentrationen, bei verschiedenen Bedingungen, dazu war im Rahmen dieses Projektes nicht genügend Geld vorhanden, später die **Akzeptoroberfläche beeinflussen**, wie beispielsweise also die sauren oder alkalischen Anteile der Feinstäube wieder rückwirken auf die Oberfläche, die dann die Korrosion fördern können. Selbstverständlich haben wir diese **Versuche** kombiniert mit **Freilanduntersuchungen** der exponierten Materialien, hier in diesem Falle waren auch wieder Marmor, Metalle und auch Glas und auch Kunststoffe untergebracht, die wir dann im Freiland bewittert haben. Der Schwerpunkt lag in diesem Falle auf dem **Gestein und den Metallen**. Es hat sich eine relativ gute **Übereinstimmung** gezeigt zwischen den Bedingungen, die wir im **Freiland** festgestellt hatten und den Bedingungen, die wir in der **Kammer** angepaßt hatten. Was wir allerdings immer wieder gemerkt haben, was uns fehlte für solche Modelluntersuchungen, sind geeignete **Referenzsubstanzen**, auf die man sich beziehen kann. Und das ist ganz besonders schwierig, wenn man es mit komplex aufgebautem Gestein zu tun hat. Jeder, der mit solchen Materialien arbeitet, weiß sehr genau, daß, wenn er das auch aus **demselben Standort** entnimmt, er aufgrund ihrer doch nicht zu vernachlässigenden Einschlüsse immer mal wieder von Plättchen zu Plättchen **unterschiedliche Ergebnisse** bekommt. Wir haben nicht umsonst, wie ich das schon vorhin einmal sagte, mit Carrara-Marmor gearbeitet, von dem wir uns eine ziemlich große Menge hingelegt hatten, um wenigstens bei unseren Versuchen eine halbwegs vernünftige Bezugsgröße zu haben. Ich würde sagen, zwei Dinge sollte man eigentlich in Zukunft, wenn man solche Modelluntersuchungen in größerem Stil gekoppelt mit Freilandexpositionen durchführen will, beachten: Man sollte erstens einmal gezielter die **Wechselwirkungen** von **Aerosolen** untersuchen und zum anderen auch danach trachten, daß man geeignete **Bezugssysteme** entwickelt, um praktisch eine **Referenz** in der Hand zu haben. Das war es im wesentlichen, was ich zunächst einmal kurz dazu sagen wollte.

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Wir haben auch zwei Simulationskammern bei uns. Und darüber werden wir wahrscheinlich noch etwas sehen in unserem Film, falls wir den hier noch zeigen können. Aber was wichtig ist dabei: Man muß, bevor man so eine Kammer einrichtet, eine **komplette Fragestellung** haben. Wir haben eine sehr einfache Kammer, wo wir nachweisen wollten, daß **Nitrifikanten** überhaupt **Korrosion am Stein** verursachen. Das ist unsere erste Kammer. Dort werden Steine eingebracht und mit Nitrifikanten beimpft, die unter optimalen Bedingungen darauf wachsen. So können wir Schadensbilder am Gestein erzeugen. In der zweiten Kammer wollten wir den **Unterschied** zwischen einem **chemischen** und einem **biologischen Angriff** nachweisen, indem wir auf der einen Seite die Steine ohne Bakterien und auf der anderen Seite die Steine mit Bakterien einbringen, aber sonstige gleiche Bedingungen schaffen. Am Anfang haben sich Schwierigkeiten ergeben, und wir sind im Endeffekt zu anderen Ergebnissen gekommen, z. B. was ich vorhin schon sagte über das Absterben jeglicher Mikroflora auf Steinen durch zu hohe Schadgaskonzentrationen. Dieses zeigt, daß wir sehr **vorsichtig** sein müssen mit **Erhöhungsexperimenten**, so daß wir nicht nach dem Motto "viel hilft viel" ein Experiment beginnen, aber dann zu einem ganz anderen Ergebnis kommen. Ein weiteres Ergebnis ist der **Wasserfilm**, um einen Bakterienbewuchs erreichen zu können, was vorher auch nie gezeigt worden ist. Wenn man so ein **Experiment**, welches komplexer sein sollte, plant, müßte man nach meiner Meinung **schrittweise** vorgehen. Zum Beispiel bei den Gasen: Man fängt erst mit einem Gas an, dann zwei Gase, mehrere Gase, trocken, feucht, so daß man nicht zu viele Parameter reinbringt, so daß man im Endeffekt nicht weiß, welches der auswirkende Faktor ist. Und jetzt hier zur weiteren Frage nach Techniken im Labor: Wir sind ja ein mikrobiologisches Forschungsinstitut und dementsprechend ist auch unsere Problemstellung, z.B. die **Wechselwirkung** innerhalb einer **Bakterienpopulation**, welcher **Austausch von Stoffen** vollzieht sich, was für **Bedingungen** herrschen in diesen Mikrokolonien? Solche Untersuchungen an Biofilmen werden intensiv an Faultürmen und sonstigen Abwassereinrichtungen durchgeführt, wo diese

Biofilme sehr häufig auftreten, aber im Gestein ist so etwas bisher nicht untersucht worden. Ein weiteres Defizit ist die **Analyse** von **kurzkettigen Alkanen**, also C1 bis C10. Längerkettige Alkane werden häufig untersucht, weil der chromatographische Nachweis einfacher ist. Aber kurzkettige Alkane, **Alkene** und deren Auswirkungen auf Gesteine sowie Umwandlung auf Oberflächen sind wenig untersucht worden. Dies ist ein Defizit.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, Herr Wilimzig. Fragen dazu? Offensichtlich laufen ja bei Ihnen schon sehr intensive Untersuchungen bezüglich der Wechselwirkung Luftverunreinigung, Mikroorganismen und Steine.

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Ja, auf Nitrifikanten bezogen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Und seit wann führen Sie die Untersuchungen schon durch? Seit wievielen Jahren?

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Die Kammer läuft seit ungefähr zwei Jahren.

---

**Dr. Prinz:**

---

Seit zwei Jahren, also noch relativ neu alles? Dann sind Sie wahrscheinlich auch noch mitten in der Phase, wichtige **Informationen** erst einmal noch zu **erzeugen**.

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Wenn man die Zeit dazu hat, ja.

---

**Dr. Prinz:**

---

Sind das auch Untersuchungen im Auftrag des BMFT?

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Die Simulationskammer ist ein Standbein von uns in diesem BMFT-Projekt.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Mit welchen Schadgasen arbeiten Sie zur Zeit und in welcher Kombination?

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Wir untersuchen SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> und NO, die Konzentrationen wechseln.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Also zur Zeit haben Sie noch keine organischen Komponenten?

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Nein. Die sind auch nicht vorgesehen.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Das war also nur ein Wunsch, den Sie geäußert haben. Ich dachte, daß diese Frage für Sie interessant wäre, weil Sie unterschieden haben zwischen den kurzkettigen und langkettigen Alkanen und Alkenen.

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Das war ein Wunsch von mir, um die Frage nach Defiziten zu beantworten.

---

---

**Prof. Blaschke:**

---

Ich wollte eigentlich noch Herrn Wilimzig ergänzen, weil ich Hamburg schon ein bißchen länger beobachte, als er dort ist, jedenfalls an dem Institut. Die großen Verdienste von Herrn Bock und seiner Arbeitsgruppe waren, daß er schon seit zwanzig Jahren etwa solche Kammern betreibt. Zunächst mit der Aufgabe, die **Zerstörung des Betons** im Tiefbau - Schaden etwa 1 Milliarde allein in Hamburg - zu klären. Das hat er über die **Thiobakterien** damals sehr gut getan und brachte ihm den Zulauf. Und das zweite, was ich vielleicht auch nicht erwähnt habe, warum es dort häufig Überraschungen gibt: Die erste V2A Ausstattung der Bock'schen Kammern ist in kurzer Zeit so korrodiert worden, daß die komplizierte Ausstattung der Simulationskammern völlig neu konzipiert werden mußte.

---

**Dr. Prinz:**

---

Hatte die Korrosion auch das BMFT zu verantworten? Durch Vorgabe der Versuchsanstellung?

---

**Prof. Blaschke:**

---

Nee, das war Allgemeinwissen, daß V2A-Stahl standzuhalten hat. Daß er es dann nicht tat, das war eine Überraschung.

---

**Dr. Prinz:**

---

Aber es ist immerhin interessant, Sie hatten jetzt einmal die Korrosionswirkung an einem sozusagen inerten Material untersucht; hoffentlich haben Sie da auch eine wissenschaftliche Veröffentlichung daraus gemacht!

---

**Herr Herkendell:**

---

Noch eine ganz kurze, ergänzende Frage, die auch an das Auditorium insgesamt noch einmal zurückgegeben werden kann, falls da et-

---

---

was gemacht wird. Ich hatte bei der Teilnahme eines Kongresses in Glasgow über die Wirkung saurer Niederschläge im letzten Herbst auch mit einigen Arbeitsgruppen gesprochen, die sich mit Materialfragen auseinandersetzten. Dabei fiel mir auf, daß einige Wissenschaftler sogar soweit gehen, sich mit Fragen des Einflusses veränderter Temperaturverhältnisse in Europa, veränderter Zusammensetzung der Atmosphäre, usw. der Intensität der Einstrahlung auseinandersetzen. Werden derartige Überlegungen in laufenden Projekten des BMFT berücksichtigt?

---

**Dr. Prinz:**

---

Also Klimaveränderung und Materialwirkung, das wäre das Stichwort. Offensichtlich nicht.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Doch, es gibt das, also nicht Klima der Städte, die, sagen wir, zwei Grad wärmer sind, sondern durch den Betrieb des Gebäudes, und das ist ganz charakteristisch für die vielen Kirchen und auch zum Beispiel in Schleswig-Holstein hat die Umstellung der Fachwerkhäuser auf Zentralheizung und Dichtungsmaßnahmen einschließlich der Fenster und Rigips und so weiter zu einem hohen Erkrankungsgrad und einer erhöhten Zahl von Pilzsporen geführt. Also die Klimaveränderungen, wenn sie von innen vorgenommen werden, durch Heizung, die sind schon untersucht worden.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ich glaube, Ihre Frage, Herr Herkendell, ist negativ zu beantworten. Dann können wir fortfahren zu Herrn Dr. Eckhardt.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Ich kann die Problemstellung, die mein Nachbar hier genannt hatte, nur unterstützen. Was ich von meiner Seite, als ein Vertreter der Gruppe der heterotropen Bakterien und Pilze dazufügen möchte, ist, daß die Kombina-

nen von verschiedenen Mikroorganismen untereinander bisher relativ wenig untersucht worden sind. Wenn Untersuchungen zu bestimmten Problemen in dieser Art gemacht wurden, dann im wesentlichen mit einhellig arbeitenden, zum Beispiel nitrifizierenden oder schwefeloxidierenden Bakterien, die alle an einem Strang ziehen. Aber die Kombinationen von verschiedenartig arbeitenden Organismen ist bisher noch relativ wenig betrachtet worden. Das geht soweit, daß man auch ganz verschiedene Gruppen, also die phototrophen Algen und Cyanobakterien miteinbeziehen muß, die ja als sehr starke Schleimbildner bekannt sind, und es wurde ja in einigen Diplomarbeiten das Zusammenwachsen oder die Zusammenarbeit von einer solchen Alge mit Pilzen untersucht. Wir haben sie in Reinkultur, aber auch in Mischkultur gehalten und dabei gesehen, daß sie auf solchem Gesteinsmaterial in der Mischkultur sehr viel stärkere Effekte ausüben als jede für sich alleine. Und das ist eine Sache, wie sie in der Natur üblich ist, daß sie zusammenwachsen, und daß damit sozusagen auch eventuelle Steuermechanismen mit eingebaut werden können. Diese Frage der gemischten Kulturen unter kontrollierten Bedingungen, eventuell auch unter kontrollierten Begasungen, die halte ich also für eine wichtige Sache bei der weiteren Erklärung der Phänomene.

---

**Herr Herkendell:**

---

Wie wollen Sie denn bei dem sehr beschränkten Kenntnisstand über die Populationen ihre Sukzession und ihr Verhalten unter den derzeitigen Umweltbedingungen und Ihre Ergebnisse interpretieren? Selbst wenn wir so ein Projekt fördern würden, um die Interaktionen zwischen den Spezies oder Speziesgruppen etwas besser zu verstehen. Wie würde denn so etwas interpretierbar sein im Hinblick auf die übergeordnete Fragestellung "Beschleuniger Effekt bei Korrosion"?

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Nach der Hypothese, die ich habe, ist dies, daß ich eine entsprechende Mischpopulation als den potenteren Korrosionsfaktor ansehe, als wenn ich nur eine Reinkultur dort habe. Das ist das einfachste, was ich dabei sagen kann.

---

**Herr Herkendell:**

---

Sie gehen davon aus, daß die Reaktionen oder die Stoffwechselprodukte oder die Auswirkung der Existenz dieser Organismen in oder am Gestein korrosionsfördernd wirken könnte.

---

**Dr. Prinz:**

---

Gibt es Wechselwirkungen zwischen den Spezies?

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Sie unterstützen sich deutlich gegenseitig. Vielleicht als Beispiel aus einem anderen Gebiet des Metall-leachings: Man hat nitrifizierende Bakterien zusammengebracht mit einem anderen Stamm, Beijerinckia, einem stickstofffixierenden Bakterium. Diese haben sich gegenseitig so stark unterstützt, daß das mehrfache an Metall geleacht werden konnte durch Schwefeloxidierung. Das mehrfache konnte man damit leachen als wenn man jeweils die Reinkultur genommen hätte. Der eine konnte gar nicht leachen, der andere konnte es, aber mit der **Unterstützung des zweiten Stammes** war eine **bessere Ertragsausbeute** bei Metall-leaching zu erreichen. Das ist nur eins der vielen Beispiele, wie man sie meiner Ansicht nach finden würde, wenn man dem etwas näher nachginge.

---

**Herr Herkendell:**

---

Hat man sich in dem Zusammenhang eigentlich einmal mit der Frage auseinandergesetzt, welchen Einfluß **Viren** in ihrem flächigen Auftreten in der Umwelt haben? Üben sie nicht einen Selektionsdruck auf die Population aus, und wären sie in der Lage, Stoffwechseleigenschaften zu verändern?

---

**Dr. Eckhardt:**

---

In diesem Gebiet ist das bisher noch ein Neuland. Absolut. Ich weiß, daß es im Rahmen der Landwirtschaft und des Pflanzenbaus

durchaus schon praktiziert wird. Man hat ja die biologische Schädlingsbekämpfung auf Virenbasis, die man durchaus auch im Moment noch erweitert dabei, und man hat mit dem Problem der **Viren** auch das Problem der **Bakterien**, daß man da Eigenschaften übertragen kann durch diese **Infektionszyklen**.

---

**Dr. Prinz:**

---

Aber die Viren sind ja auch nicht für sich lebensfähig, sie müßten dann wieder Algen besiedeln.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Das schon, aber das ist das kleinere Problem, die finden schon jemand, wo sie sich drinnen multiplizieren können.

Aber man könnte das als **Bekämpfungsmechanismus**, zum Beispiel gegen **Nitrifizierer** dann einsetzen. Genauso könnte man auch andere Mikroorganismenstämme als Antagonisten gegen Nitrifizierer vielleicht einsetzen. Das wäre auch eine Vorstellung, die meiner Ansicht nach eine gewisse Berechtigung hat.

---

**Herr Herkendell:**

---

Ja, wäre es denn nicht sinnvoller, zum Beispiel, jetzt um auf die Ausführungen des Vordredners zurückzukommen, diese **Viren** u.U. in **Böden** gezielt einzusetzen, um bestimmte unerwünschte Populationen zu bekämpfen?

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Das ist, glaube ich, ein sehr gefährliches Gebiet, was Sie da gerade ansprechen. Ich glaube auch nicht, daß das einen großen Erfolg hat. Wenn Sie nämlich ein so großes Areal wie den Boden ansprechen, fassen Sie damit, Sie sehen, ich bin sehr vorsichtig, was diese Dinge angeht, in ein Teufelsnest. Nach beiden Seiten hin.



---

### Frau Köth-Jahr:

---

Ich habe noch eine grundsätzliche Frage zu den **Mikroorganismenpopulationen**. Und zwar, ob es tatsächlich immer so ist, daß diese eine **zerstörende Wirkung** haben, wenn sie auf den Steinen siedeln. Bisher haben wir praktisch immer nur die negative Wirkung erwähnt, die diese Organismen haben. Ist damit sozusagen das Ziel, das man verfolgen sollte, darin zu sehen, diese **Mikroorganismen** dort zu **entfernen**? Oder gäbe es auch eine Denkweise in der Richtung, daß diese Organismen zum Beispiel bestimmte **Luftschadstoffe abfangen** können, die dann nicht an das Gestein herangetragen werden. Eventuell sind sie für bestimmte Situationen auch nützlich. Das ist jetzt nur eine Überlegung, aber sie sollte doch berücksichtigt werden.

---

### Dr. Eckhardt:

---

Das ist richtig, daß Sie das fragen. Vielleicht ist es unklar. Bei **Flechten** hat man doch hin und wieder auch die Aussage, daß sie als eine **Schutzschicht** auf dem Stein drauf sitzen und dabei eben den Zutritt von schädlichen Gasen unterbinden. Dadurch, daß sie einfach eine **Absperrschicht** bilden. Das ist für gewisse Flechtenstadien und gewisse Flechtenarten vielleicht richtig, auch für Krustenflechten, oder die Nabelflechten sitzen als eine Fläche auf und haben damit eine gewisse Depositionsperre. Aber auch bei diesen hat man ja das Problem der **Kristall- und Mineralverwitterung** durch die Flechtensäuren sogar noch eher, als man das bei den anderen bisher näher untersucht hatte, festgestellt; und das Prinzip, was man bei den Mikroorganismen sehen muß, ist folgendes: Sie sind überhaupt nicht daran interessiert, den Stein zu zerstören, sondern sie siedeln dort in einem Areal, wo sie sich dann auch vermehren, wenn sie sich wohlfühlen. Für ihre Stoffwechselleistungen, für ihre Vermehrung, für ihre **Biomassevermehrung** benötigen sie gewisse **Ausgangssubstanzen**, die ihnen der Stein bietet oder die im Stein ihnen angeboten werden in Form von gasförmigen Zulieferungen wie dem Stickstoff oder auch dem  $\text{SO}_2$ . Was sie auch benötigen, das sind, gerade wenn ich von den organisch verbrauchenden Bakterien und Pilzen spreche, **Kationen** für ihre Enzymreaktio-

nen. Die bekommen sie aus dem Stein. Die holen sie sich da raus. Es gibt Regelmechanismen, die man inzwischen entdeckt hat, wo die Ausscheidung organischer Säuren davon abhängig ist, ob sie in ihrem Zellinneren, in ihrem Zellsaft, genügende Mengen an Kalium-, an Magnesium- oder an Eisenionen haben. Wenn das nicht der Fall ist, wird eine erhöhte Ausscheidung von organischen Säuren durch diese Bakterien und Pilze beobachtet, diese Säuren werden undifferenziert in die Gegend geschickt, können verschieden weit diffundieren und lösen aus den Kristallen, den Mineralien, diese entsprechenden Kationen heraus, machen sie transportfähig, so daß sie die Säuren oder daß sie als Komplexe dieses aus dem Kristall wieder herauslösen. Dann baut sich ein **Gradient zur Zelloberfläche** auf und durch einen bestimmten Mechanismus werden diese Kationen dann in die Zelle aufgenommen. Wenn die Zelle jetzt genügend von diesen Eisen- oder Magnesium-Kationen hat, dann wird die Säureproduktion wieder zurückgefahren. Es ist also ein **Regelmechanismus**, wie er in einem Betrieb besser nicht laufen könnte, der hier in der Natur funktioniert. Das ist also das Problem, was Sie haben an diesem Standort Stein. Und sie sind da und da passiert das dann, von daher gesehen ist das einfach eine natürliche Situation, mit der wir auskommen. Sie bauen an anderen Stellen auch mal Gestein auf, bei den Kalken zum Beispiel konnte man sie dann auch beobachten. Aber in der Mehrzahl der Fälle nehmen sie von den Steinen das, was sie brauchen für ihren Stoffwechsel.

---

### Dr. Wilimzig:

---

Es ist ja so, daß diese Bakterien zu 99 % in einem Biofilm wachsen und daß dieser **Biofilm** durch seine hygroskopischen Eigenschaften eine **zerstörende Wirkung** hat. Und zum Wegfangen von Schadstoffen: Sobald Organismen Schadstoffe als Substrat zum Wachstum verwenden können, werden sie sie auch aufnehmen, und wir haben eine Art von **Entgiftung**. Aber diese Stoffe werden dann umgebaut. Es ist nicht so, daß ein komplexer **Kohlenwasserstoff** von Mikroorganismen sofort zu  $\text{CO}_2$  und Wasser abgebaut wird. Sondern es entstehen dabei **Zwischenstufen**, die wieder vom nächsten Mikroorganismus abgebaut werden. Wenn dieser Zwischenwirt dann

---

fehlt, reichern sich Zwischenstufen an, die möglicherweise toxischer als die Ausgangssubstanz sind.

---

### Dr. Warscheid:

---

Ich möchte gerade, weil das jetzt mit der Mischpopulation mitangesprochen war, noch einmal klarstellen, daß wir **Kohlenwasserstoffgemische** auf Steinen haben. Daß man nicht mit einem Organismus arbeiten kann, der kann möglicherweise mit seinem Latein am Ende sein, wenn man ihn auf eine Kruste setzt, weil er einen Partner braucht, der ihm quasi dieses Material aufarbeitet, und er ist dann derjenige, der das dann zu Ende verarbeitet oder zumindest eine Stufe weiter, das heißt, wir müssen immer im Auge haben, daß wir bei solchen Prozessen mit Mischpopulationen zu arbeiten haben. Wobei das einerseits sicherlich im Labor möglich ist, aber zum anderen möchte ich eben doch auf dem Prüffeld eine Simulation durchführen, die wir am natürlichen Standort besser verfolgen können, besonders wenn ich einmal an all diese Parameter denke, die aufgelistet worden sind und solche Prozesse beeinflussen. Man versucht es natürlich so gut wie möglich in der Simulation nachzuvollziehen, und es ist sicherlich auch richtig, bestimmten Parametern in einzelnen nachzugehen. Aber man läuft natürlich immer Gefahr, daß man doch die Dinge überstrapaziert. Ich denke zum Beispiel daran, was den **Aufwuchs eines Biofilms** angeht, wenn man mit erhöhten Schadgasen drangeht, dann kommt es möglicherweise gar nicht zur Entwicklung von irgendwelchen Biofilmen, das heißt, ich beobachte diesen Prozeß eben ohne Biofilme. Oder es geht auch darum, daß ich Temperaturen zu weit erhöhe und so weiter. Insofern ist eine Simulation sicherlich einerseits möglich, aber man sollte sich auch immer wieder ins Gewissen zurückrufen, daß es draußen ein so komplexer Prozeß ist, und daß man wirklich nur diesen einen Parameter untersucht hat. Man sollte nicht so leichtfertig damit umgehen und die Ergebnisse auch auf andere Parameter beziehen. Eine weitere Sache ist auch, Dinge, die uns im Labor aufgefallen sind, die die Untersuchungen von Mikroorganismen in der Mikrobiologie angehen, auf andere Bereiche zu übertragen. Man ist immer davon ausgegangen, in Reagenzgläsern in Nährlösungen zu untersuchen, und das ist eigentlich im Bereich für diese Untersuchung

fast gar nicht möglich. Da spielt immer die **mineralische Oberfläche** eine ganz besondere Rolle für die Organismen. Wenn Sie beispielsweise eine Säureexkretion bei chemoorganotrophen Bakterien untersuchen, dann werden Sie feststellen, daß die Exkretion wesentlich höher wird, sobald Sie ihnen mineralische Oberflächen anbieten. Wobei ich jetzt nicht auf die komplexen Zusammenhänge eingehen möchte. Aber es ist eben sehr wichtig, daß man solche Untersuchungen auf Verwertung von Schadstoffen immer im Zusammenhang mit dem Substrat, auf dem die Organismen auch wachsen, sehen sollte. Denn die Verwertung sieht dann ganz anders aus. Ein weiterer Punkt ist auch das **Siedungsverhalten von Mikroorganismen**. Aufgrund von Bedingungen wie oligotrophen Verhältnissen, das heißt, sie haben sehr wenig Nährstoffe, werden Sie Mikroorganismen antreffen, die Größenverhältnisse bekommen, die das Zehnfache unter dem liegen, was wir normalerweise als Mikroorganismus ansehen. Ich möchte jetzt einmal eine Zahl nennen, wir sagen normalerweise 1 bis 3  $\mu\text{m}$  pro Bakterium, das ist die normale Größe, und es sind uns Strukturen vorgekommen, die 0,1  $\mu\text{m}$  ausmachen. Unter ganz bestimmten Bedingungen haben die auch ein ganz anderes **Anheftungsverhalten** auf diesen mineralischen Oberflächen, das heißt, ein Organismus, der gute Nährstoffverhältnisse hat, hat weniger das Bestreben, sich an einer Oberfläche erst einmal festzusetzen als ein Organismus, der aus oligotrophen, also aus nährstoffarmen Verhältnissen kommt. Das sind sehr komplexe Zusammenhänge, die ich nur hier insofern einwerfen möchte, wenn es darum geht, was in Zukunft getan werden sollte. Weil es da doch nicht so einfach ist, man impft etwas auf und es kommt in die Nährlösung, und dann setzt es sich schon irgendwie fest und dann fängt es an, auf dem Gestein herumzukratzen. Das bildet schon irgendwie eine Einheit und das nur mit Einzelorganismen zu untersuchen, ist ein bißchen gefährlich. Ein anderer Fall ist, wenn Sie im Labor zum Beispiel Pilze auf Oberflächen aufwachsen lassen, dann bekommen sie einen **hydrophilen Film**. Das heißt also, es wird verstärkt Feuchte aufgenommen von diesem Pilz. Und wenn Sie aber **ähnliche Matten** auch auf dem Prüffeld draußen untersuchen, wo Sie auch zum Beispiel die Algen sehen, dann kann es Ihnen hin und wieder passieren, daß Sie **abperlendes Verhalten** draußen haben. Sie haben nicht unbedingt immer ein hydrophiles Verhalten. Das heißt, das

---

kommt natürlich auch durch **Kohlenwasserstoffe**, durch Verbindungen, die diesen Film, äußerlich zumindest, **hydrophob** machen können. Das heißt, es ist sehr schwierig, mit dieser Simulation einfach einen Organismus auf eine Oberfläche zu bringen und dann zu sehen, was er mit dem Stein macht. Der Grund, daß ich immer solche Untersuchungen auf dem Prüffeld favorisiere, auch wenn sie etwas länger dauern, ist, daß sie doch viele dieser Parameter mit einschließen. Das heißt, ich muß mir sicherlich bei der Auswahl der Expositionsfaktoren Gedanken machen, aber danach lasse ich das eigentlich für sich wirken und messe diese Dinge, und kann mir dann eigentlich von diesen komplexen Prozessen ein viel besseres Bild machen.

---

#### **Prof. Blaschke:**

---

Ich versuche jetzt einmal, so ganz primitiv das **Massenwirkungsgesetz** auf die Bakterien oder Mikroorganismen zu übertragen. Da gibt es doch drei Möglichkeiten: Entweder die Mikroorganismen finden nichts mehr zu fressen vor, denn sie haben alles **Karbonat aufgelöst**. Diesen Zustand wollen wir ja nicht abwarten. Der zweite wäre, daß sie nur **Teilabbau** leisten und die produzierten Rückstände sie daran hindern, sich weiter zu entfalten, es sei denn, wie Herr Eckhardt das so schön darstellte, daß die Kollegen kommen und für sie die Arbeit abnehmen und die Rückstände abbauen. Die dritte Möglichkeit wäre, und das ist jetzt so eine Schnapsidee, wenn man denen das, was sie auf Halde produzieren, **zusätzlich anbietet**, dann müßten sie ja keine Lust mehr haben, noch mehr zu produzieren. Wenn ich irgendwo Nitrifizierer feststelle, dann wird Nitrit und Nitrat aufgesprüht. Was passiert dann? Könnte man einen **Ersatzstoff** finden, den die Mikroorganismen für Nitrat oder Nitrit halten, der aber schwer löslich ist, dann würden die Mikros keine Lust mehr haben zu produzieren. Das ist wohl so eine Idee ins Unreine?

---

#### **Dr. Eckhardt:**

---

Das stimmt, was Sie sagen. Das letzte, die Schnapsidee. Das ist die, die in der Natur realisiert ist. Wenn **genügend** von dem **Endprodukt** da ist, werden die **Anfangsprozesse**

**unterdrückt**. Das sind **Regelmechanismen**, quasi industrieller Art, die einer Rückkopplung unterliegen, so daß die Anfangsprozesse nicht mehr laufen. **Endproduktthemmung** nennt man das auch. Auf der anderen Seite, wenn Sie überschüssige Ausgangssubstanz anbieten, vermehren sich die betreffenden Mikroorganismen auf Teufel komm raus. Da nehmen sie keine Rücksicht. Das wird dann verbraucht. Das funktioniert also so nicht.

---

#### **Prof. Blaschke:**

---

Das ist ja auch der Fehlglaube im Beton, daß man meint, durch viel Zement im Beton würde man den einwirkenden Schadstoffen viel anbieten, so daß langsamer korrodiert wird. Das bestätigt sich in der Praxis nicht, im Gegenteil, ein **Beton mit viel Zement** ist unter Umständen viel **empfindlicher** als ein magerer. Man müßte Mikroorganismen züchten, die zum Beispiel Bariumionen transportieren und abgeben, um die ganzen Gipskrusten in Bariumsulfatkrusten umzuwandeln und zu verfestigen. Dann wären wir alle Korrosionsprobleme los und brauchen nicht einmal zu reinigen. Ich habe da kürzlich einmal einen Versuch gemacht, ich kann Ihnen sogar das Bild herumreichen. Ich habe Baumberger Sandstein, der sehr stark verwittert war, einfach in eine Bariumionenlösung getaucht und habe festgestellt: Das ist die Idealstruktur für die **Verfestigung**. Es bilden sich winzig kleine **Bariumsulfatbrücken**, und die gesamte Porosität bleibt praktisch erhalten. Es wird tatsächlich verfestigt. Nur der Umgang mit den toxischen Bariumverbindungen, solange sie kein unlösliches Sulfat sind, ist sehr gefährlich. Also ich könnte mir vorstellen, daß man einen Grabstein oder eine Skulptur in ein Bad mit einer Barium-Kationenhaltigen Lösung eintaucht und dann wieder trocknen läßt. Gips wird dann zu Barium-Sulfat; da besteht da kein Zweifel. Aber 'Rumsprühen in der Umgebung ist nicht angeraten.

---

#### **Dr. Prinz:**

---

Ich würde dann vorschlagen, daß wir weitergehen, Herrn Pöhlmann einmal wieder überschlagen, bis nachher, und damit zu Herrn Fiebrich kommen.

---

## Dr. Fiebrich:

---

Ich möchte hier nur noch kurz auf die experimentellen Untersuchungen zum Nachweis bestimmter **Merkmale** nach einer **Umweltsimulation** zu sprechen kommen. Die anderen Punkte sind sehr ausführlich diskutiert worden auch im Zusammenhang mit dem Statement von Herrn Schmitt. Es hat sich als sehr nützlich erwiesen bei unseren Forschungen im Zusammenhang mit der Entwicklung von Oberflächenschutzsystemen für Beton und Natursteine, daß man nach einer erfolgten Betriebsbeanspruchung oder Umweltsimulation oder auch einer Feldexposition eine sehr umfassende Untersuchung macht. Man hat ja generell mehrere Möglichkeiten der Vorgehensweise, der Deutung einer **phänomenologischen Erscheinung**, zum Beispiel einer Ablösung, die man visuell wahrnehmen kann oder beispielsweise mit Hilfe der **Rastermikroskopie** in dünnen Schichten nachweisen kann, wenn man eine Fehlstelle zwischen dem Substrat und dem Beschichtungsfilm visualisieren kann. Nun besteht die Möglichkeit, mit Hilfe von **Porenverteilungsuntersuchungen** am Balg, an einem oberflächennahen Teil des Substrates, die Poreneigenschaften festzustellen, und vermag dann zu korrelieren zwischen den Poren, Volumen, Porengrößenverteilung und dem Adhäsionsverhalten einer spezifischen Beschichtung. Dann stellt man fest, daß generell mit abnehmendem Porenvolumen, mit abnehmender Porengröße, die physikalische Beanspruchung infolge Kapillardrücken und osmotischer Drücke zunimmt. Das ist ein Phänomen in einer ersten Stufe, und man kann daraus die Praxisfolgerung ziehen, möglichst poröse Stoffe zu verwenden, sofern das bei künstlichen Stoffen möglich ist, also möglichst poröse Betone. Um aber jetzt die Frage zu klären, was kann man denn von der Stoffseite her, von der Beschichtungsseite oder **Schutzstoffseite** her tun, ist es erforderlich, weitere physikalische, physikalisch-chemische Untersuchungen durchzuführen, zum Beispiel die Frage der Klärung der **Dipoleigenschaften** des Stoffes. Man muß hierzu **Dipol-**Untersuchungen machen mit Hilfe der Relaxationsspektroskopie, oder Oberflächenspannungsuntersuchungen, ein physikalisches Meßverfahren. Hier muß man wieder den entsprechenden Physiker oder Physiko-Chemiker einschalten, der mit dem entsprechenden Mann, der die mechanischen Ei-

genschaften bestimmt oder bestimmt hat, zusammenarbeitet und auch kommuniziert. Auch oberflächensensitive Verfahren zur Detektion von Kettenbrüchen an der Oberfläche infolge Bewitterung unter Einsatz der ESKA, FTER oder XPS-Technik, wie sie angesprochen wurde, erfordern sehr viel Erfahrung und auch ein hohes Können der Präparation. Das heißt, hier sind Spezialisten erforderlich, um diese Kette von dem Phänomen bis zur Ursachenklärung im Stoff herauszufinden, einzugrenzen und zu sagen, ich muß an der Molekülstruktur diese oder jene funktionelle Gruppe weglassen und muß die Polarität in dieser Richtung erhöhen. Ich möchte nur sagen, die ganze Palette der Meßtechnik, auch die biologischen Eigenschaften spielen da eine Rolle und Analysen, und dieses ist einfach zwingend erforderlich, daß die Ergebnisse zusammengetragen werden, auch gemeinsam sehr kritisch diskutiert werden, um zu dem entscheidenden richtigen Ergebnis zu kommen. In Richtung neue Techniken möchte ich das anschließen an das, was Herr Professor Blaschke erwähnte, das sogenannte Kryo-Rem, das es uns ermöglicht, Wasser auf der Oberfläche von mineralischen Stoffen zu visualisieren. Ein Beispiel: Wir stellen an bestimmten behandelten Stoffen und Natursteinen und Betonen fest, nach einer Exposition, daß der Wassergehalt zunimmt. Mit Hilfe der ESKA und des MFTR sind wir in der Lage, **Kettenbrüche** zu detektieren, aber wir wissen nicht, warum beispielsweise in der Summe die Wasseraufnahme zunimmt. Mit Hilfe des Kryo-Rems sind wir in der Lage, zu einer bestimmten Sorptionsfeuchte 23,50 - 28,90 - 28,00 °C, 90 Prozent relative Luftfeuchte, den Zustand einzufrieren und zu visualisieren und sehen, daß eine **Konzentration von Wasser** an diesen Stellen, wo **Kettenbrüche**, also polare Eigenschaften da sind, sich konzentriert. Wir sehen da die Schwachstellen und können nun gezielt eine Schwachstellenanalyse machen und sehen, daß es nämlich bestimmte **Molekülverbindungen** sind, die aufbrechen. Auch hierzu kann ich, wenn es erforderlich ist oder Bedarf besteht, natürlich einige Bilder zur Verfügung stellen, die ich wegen der Kürze der Zeit nicht mitgebracht habe. Jetzt zum Schluß zu einigen Nischen. Eines erscheint mir relativ wichtig bei den bisherigen Forschungen mit Oberflächenschutzsystemen. An Betonbauwerken ist die Frage der **Ver- schmutzungsneigung** eigentlich ein **wirtschaftlicher** und weniger technischer Fak-

---

tor zur Zeit, den man hintangestellt hat, weil die technischen Probleme der Dauerhaftigkeit der **Rißüberbrückungseigenschaften** verständlicherweise als prioritär eingeordnet worden sind. Aber es ist wirklich unklar und nicht erforscht, welchen Einfluß bestimmte molekulare Eigenschaften auf oberflächenenergetische Eigenschaften haben, auf die Ansammlung von Schmutzstoffen aus der Atmosphäre, und wenn infolge UV-Bewitterung Kettenaufbrüche da sind, inwieweit gelöste Schadstoffe in die Struktur eindringen und diese beschleunigt zerstören. Dann, was man in der letzten Zeit auch besonders bei **künstlichen Vormauerziegeln** feststellt, ist die **verstärkte Verschmutzung, Flechtenansammlung**. Obwohl die Steine mit einer Hydrophobierung auf silicio-organischer Basis, wässrig oder gelöst, behandelt worden sind, ist ungeklärt, warum so schnell Flechtenansammlungen da sind, die zu einer Wirkungslosigkeit der Hydrophobierungsmaßnahme beitragen. Es sind zwei Detailpunkte, aber sicherlich unseres Erachtens klärungsbedürftig.

---

**Herr Herkendell:**

---

Was ist an der Meldung in der Frankfurter Allgemeinen Zeitung dran? Gibt es einen derartigen Simulator?

---

**Dr. Fiebrich:**

---

Sie können sich vorstellen, daß diese Kammer ganz einfach ausgeschlachtet wurde. Das Institut hatte überhaupt keinen Einfluß auf diese Pressemitteilung. Sie wurde verfaßt von der zuständigen Pressestelle der TH, ohne überhaupt mit dem Institut Rücksprache zu nehmen. Wir haben dagegen natürlich Einspruch erhoben, denn das ist einfach barer Unsinn. Vergessen Sie das einfach, was da drinstand!

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Noch einmal eine spezielle Frage zu diesen Vormauerziegeln, die Sie erwähnten, die so stark veralgt, vergrünt oder verflechtet sind, trotz **Hydrophobierung**, sagten Sie. Und die Hydrophobierung ist weg. Ist das geprüft worden?

---

**Dr. Fiebrich:**

---

Sie ist nicht weg, man findet vereinzelt schon noch die SiO-Gruppen und hydrophobe Gruppen, nur die sind wirkungslos, weil über die Flechten natürlich eine gewisse Wasseraufnahme da ist und dann, bei starker Schlagregenbeanspruchung, saugt sich der Stein einfach voll. Sie finden schon noch Spuren, aber dieser typische Effekt, der **Abperleffekt**, die Verminderung des kapillaren Saugens, ist einfach **nicht mehr vorhanden**. Und auch dort kann die **Industrie** einfach keine Hilfestellung geben, sie gibt auch, besonders in exponierten Gebieten, z.B. Flußgegenden, überhaupt **keine Gewährleistung** mehr auf diese Produkte, weil das in der letzten Zeit verstärkt auftritt.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Welche **Hydrophobierungsmittel** sind da genommen worden?

---

**Dr. Fiebrich:**

---

Es ist im Grunde egal. Es gibt da die beiden Hersteller Wacker und Dynamit Nobel. Das sind gelöste Silane und die gelösten Siloxane bzw. jetzt gibt es auch wäßrige Mikroemulsionen von der Firma Wacker. Dieses **Phänomen** wird **bei allen** diesen **beobachtet**. Und im Moment werden von entsprechenden Stellen bei den Ministerien keine Mittel dafür zur Verfügung gestellt, um das zu klären.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Also die Algen und Flechten kümmern sich nicht um die Hydrophobierung?

---

**Dr. Fiebrich:**

---

So ist das. Das kann man ganz klar sagen. Es wird höchstens diskutiert, zu sagen, wir vergessen die Oberflächenschutzmaßnahme Hy-

---

drophobierung überhaupt. Wir streichen sie als eine geeignete Maßnahme. Das ist natürlich auch möglich.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Ich habe noch eine Verständnisfrage: Haben Sie jetzt bei der Unwirksamkeit der Hydrophobierung nur von Beton geredet oder auch vom Naturstein?

---

**Dr. Fiebrich:**

---

Dieses Beispiel der verstärkten Ansammlung habe ich auf den künstlichen Vormauerziegel beschränkt wissen wollen.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Also ein hochgebrannter Ziegel?

---

**Dr. Fiebrich:**

---

Vormauerziegel sind in der Regel immer hochgebrannt. Es gibt natürlich auch bei Mitteltemperatur gebrannte, die ein hohes mittleres Porenvolumen haben, und man stellt also zum Beispiel Zusammenhänge fest zwischen dem großen Porenvolumen und einem sehr kleinen Porenvolumen. Man weiß also, daß die weicheren Ziegel, die in der Summe mehr Porenvolumen aufnehmen, bis 40 % etwa haben, diese Neigung zur Flechtenansammlung wesentlich ausgeprägter zeigen als die anderen.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Wir hatten nämlich am Rathaus Enkhuisen genau das Gegenteil: Die Quetschfugen waren nicht mehr wirksam hydrophobiert und haben das Wasser aufgenommen, das die Wände und Fenster herunterläuft. Von den Stirnflächen der Klinkerziegel dagegen perlte das

Wasser herunter. Man sah im Versuch genau, wie es in die Fuge verschwand.

---

**Dr. Fiebrich:**

---

Das ist ein anderes Problem, klar, die Schwachstelle im Übergangsbereich Ziegel und Lagerfuge ist sowieso ein generelles Problem. Sobald dort ein Riß da ist, der nach der Hydrophobierung auftritt, und die treten ja immer wieder auf aufgrund der thermischen Beanspruchung, ist natürlich da bevorzugt Wasser.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Nicht der Riß, sondern das Fugenmaterial hat wie wahnsinnig gesaugt.

---

**Dr. Brüggerhoff:**

---

Ich werde mich sehr kurz fassen, weil zu dieser Thematik wir im eigenen Hause eigentlich auch nur Grundversuche machen, und hier die größeren Experten sicherlich schon ihre Meinung kundgetan haben. Ich habe nur in der Diskussion letztendlich eine Lücke gesehen. Wir haben eigentlich immer oder zu Anfang über neue Luftschadstoffe und eventuelle neue Wirkungen gesprochen, und es ist auch schon mehrfach von Ihrer Seite aufgeworfen worden, was wir auch in der Simulation wieder sehen, was bisher immer gemacht worden ist, wir haben SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und vielleicht noch Ozon untersucht. Also doch wieder die üblichen "alten" Schadkomponenten. Es wäre doch sinnvoll, jetzt auch einmal neue Schadstoffe zu untersuchen. Nicht sofort in einer aufwendigen Simulation, die ja ungeheuer schwierig ist, gleich mit 15 neuen Stoffen oder so, sondern einmal hinzugehen, eventuell mit einer Literaturstudie, die erst einmal auflistet, was es an neuen Stoffen gibt und in welchen Konzentrationen diese vorliegen. Dieses sollte den Leuten, die die Schäden beurteilen, in die Hand gegeben werden und dann gefragt werden: Siehst Du in den Stoffen eine Relevanz für die Schadensphänomene, die Du untersuchst? So zu selektieren, um dann nach ei-

---

nem solchen entsprechenden **Selektionsprozeß** sich zu überlegen, welche dieser neuen Stoffe einmal aufgegriffen werden sollen und in welchen Prozessen. Das ist eine reine Anregung, ansonsten, wie gesagt, die Experten zur Simulation sitzen am Tisch.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank, Herr Brüggerhoff, das ist eine sehr pragmatische und deshalb auch wirkungsvolle Anregung. Fragen noch zu diesen kurzen Ausführungen? Dies ist nicht der Fall. Dann wäre Herr Dr. Pöhlmann der letzte im Bunde.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Wir haben für ein Projekt, das von der Stiftung Volkswagenwerk finanziert worden war, das hieß "Die Konservierung von Bronzen im Freien", eine kleine **Simulationsanlage** gebaut, und zwar war hier die Hauptaufgabe zu überprüfen, welche **Korrosionsinhibitoren**, die in der Technik gegen die Korrosion von Kupfer verwendet werden, sich auf **Bronze** übertragen lassen. Die anderen Aufgabengebiete oder Interessengebiete waren auch noch die **Schutzwirkung** von verschiedenen **Wachsen** und **Lacksystemen**. Die Kammer ist aber, wie gesagt, wirklich klein und auch sehr, sehr einfach konzipiert. Wir bewittern dort nur mit Schwefeldioxid, und zwar mit einer Betauung. Es hat sich nämlich herausgestellt, daß auf der **Bronze** der **Hauptschaden** durch **Tröpfchenbildung** entsteht. Sie können auch ohne Schadstoffbelastungen, wenn Sie nur reinen **Wasserdampf** an der Bronzeoberfläche, einer polierten Bronzeoberfläche kondensieren lassen, meßbare **Materialverluste** erzeugen, während, wenn Sie die gleiche Bronze in einem Wasserglas eine Woche liegen lassen, überhaupt nichts passiert. Sie bleibt blank. Uns ist natürlich klar, daß eine reine **SO<sub>2</sub>-Bewitterung** nicht ausreicht, vor allem, wir haben keine Möglichkeit, die **Auswirkung** von **UV-Strahlung** mit zu prüfen, und das wäre ja bei den **organischen Schutzsystemen** wichtig. Es handelt sich im wesentlichen um **Wachse** oder um **Acrylatdispersionen**. Aber vor allem deshalb sind alle Ergebnisse, die wir aus der Schadgaskammer erhalten haben, in

einer **Freibewitterung** zu überprüfen, so daß auf jeden Fall eventuelle **Folgeschäden**, die durch den Auftrag dieser Substanzen entstehen könnten, ausgeschlossen werden können. Ich meine, wünschenswert wäre natürlich für uns auch eine **Simulationskammer**, in der wir auch **synergistische Probleme** behandeln können, also mehrere **Schadgase** benutzen können, eventuell würde ja auch bei der **Bronze-korrosion** **Schwefelwasserstoff** eine Rolle spielen. Sicher auch sehr, sehr wichtig sind die Einflüsse von **Staub**, und zwar nicht unbedingt die Einflüsse von aggressiven Stäuben, sondern nur **Staub** als **Kristallisationskeim** für **Tautröpfchen**. **UV-Licht** ist wichtig für den Abbau organischer Systeme und eventuell dann auch noch der **Elektrolyteinfluß**, den ich hier auch schon erwähnt hatte, daß also eine **Korrelation** möglich ist zwischen der **Leitfähigkeit** des Niederschlags und der **Korrosionsrate** des Materials.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Ich habe noch eine ergänzende Frage. Sie sagten, wenn Sie die Bronzen mit Wasser besprühen und die Tröpfchen stehen lassen ..?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Nicht besprühen. Wir haben auf der Bronze in der Kammer durch **Taubildung** Tröpfchen entstehen lassen, und das wurde dann wieder getrocknet. Die Kammer arbeitet mit alternierenden **Feuchte-Trocken-Zyklen**.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Dann gehen Sie davon aus, daß Wasser inert ist?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Wir können natürlich nicht ausschließen, daß irgendwo in der Befeuchtungsanlage etwas war.

---

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Ganz sicherlich haben Sie CO<sub>2</sub> und haben damit **Kohlensäure**, die einen pH von 5,6 oder 5,2 erzeugen kann. Und Sie haben damit einen **Säureeffekt**, der vielleicht doch einmal geprüft werden müßte.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Aber den Effekt hätten Sie sicher auch noch bedingt in Leitungswasser oder in destilliertem Wasser. Hier konnte keine Veränderung festgestellt werden.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Wenn Sie **destilliertes Wasser** stehen lassen, haben Sie bald kein destilliertes Wasser, sondern **Kohlensäurelösung**.

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Ja, stimmt. Und da war eben gar nichts. Wenn Sie das ganze in Wasser stehen lassen, passiert überhaupt nichts.

---

**Prof. Blaschke:**

---

War das **reine Bronze** oder war das Bronze mit allerlei drauf?

---

**Dr. Pöhlmann:**

---

Nein, nein, das war reine, frisch polierte Bronze, aber nicht steril!

---

**Dr. Prinz:**

---

Ja, dann sind wir am Ende des heutigen Tages angelangt, zumindest, was die Anhörung hier anbetrifft, Herr Wilimzig will morgen dann noch einen Film zeigen.



---

## Fragenkomplex B: "Zielgerichtete Untersuchungen"

3. Wie ist der derzeitige Kenntnisstand zur Vermeidung von Immissionsschäden an Materialien?
4. Welche systematischen Untersuchungen sind erforderlich, um neue Abhilfemaßnahmen zu entwickeln bzw. die bestehenden Maßnahmen zu verbessern?

---

**Dr. Prinz:**

---

Das Thema, das wir uns für heute vorgenommen hatten, war: Wie ist der derzeitige Kenntnisstand zur Vermeidung von Immissionsschäden an Materialien? Gemeint ist also das, was wir normalerweise auch als **passive Immissionsschutzmaßnahmen** bezeichnen. Welche **systematischen Untersuchungen** sind erforderlich, um **neue Abhilfemaßnahmen** zu entwickeln bzw. bestehende Maßnahmen zu verbessern? An Maßnahmen kommen ja im Grunde in Frage: **Materialsubstitution**, indem man empfindliche Materialien durch weniger empfindliche Materialien ersetzt, die **Aufbringung von Schutzmitteln**, hier sind schon mehrfach, glaube ich, **Hydrophobierungsmittel** genannt worden oder sonstige Maßnahmen. Wenn ich an die Bakterien denke, könnte man ja auch vielleicht daran denken, sogar Steine zu desinfizieren. Und dann eben auch die Frage: Was muß man weiterhin tun, um solche Maßnahmen neu zu entwickeln? Ich würde vorschlagen, daß wir einfach mal wieder so eine Runde hier eröffnen, wobei ich jetzt nicht weiß, Herr Kirchner, Sie vertreten Herrn Brüggerhoff?

---

**Herr Kirchner:**

---

Ja. Wir haben uns bisher hauptsächlich um die **Eignungstests von vorhandenen Schutzmitteln auf Silicon-, Silan-, Siloxan-, Polyurethan- und Acrylharzbasis** beschränkt. **Eignungstests** daher, weil verschiedene

Steinschutzmittel auf dem gleichen Stein unterschiedliche Erfolge oder Mißerfolge erzielen können. Mit **Schutzmitteln auf Emulsionsbasis**, die Herr Blaschke gestern in diesen eindrucksvollen Bildern gezeigt hat, haben wir also noch **keine Erfahrungen**. Zur **Materialsubstitution** kann ich den Einwand anführen, daß wir da oftmals mit der Denkmalpflege in einen Konflikt geraten, weil diese die **alte Bausubstanz erhalten** möchte. Ein Austausch alten Materials gegen ein unempfindlicheres ist also wirklich nur da möglich, wo z.B. keine Steinmetzzeichen vorhanden sind, oder das handwerkliche Können der Erbauer einer Kirche oder eines Profanbaues ist so demonstriert, daß ein Austausch diesen Eindruck nicht zerstören oder verfremden würde.

---

**Dr. Prinz:**

---

Geben Sie den Denkmalpflegern denn auch **Hinweise, Empfehlungen**, was die Anwendung von Schutzmaßnahmen anbetrifft?

---

**Herr Kirchner:**

---

Ja, wir haben uns bisher auf den **Kristallisationstest nach VDI 3797** und die **reduzierte Wasseraufnahme** beschränkt, wobei der Kristallisationstest eine nicht in der Umwelt reproduzierbare, vorkommende Belastung der Gesteine darstellt. Die reduzierte Wasseraufnahme gibt da schon eher Hinweise. Besonders in letzter Zeit messen wir die reduzierte Wasseraufnahme auch über längere Zeiträume hinweg. Ergebnisse, die aus dem Kristallisationstest stammen, werden auch bestätigt. Die Vergangenheit hat aber gezeigt, daß der Kristallisationstest nicht immer zuverlässige Ergebnisse erbringt.

---

**Dr. Prinz:**

---

Wie schätzen Sie denn den Markt ein für Schutzmittel? Da gibt es ja, glaube ich, **Goldschmidt, Wacker Chemie**. Es sind nur einige wenige Firmen, glaube ich, die sich damit befassen. Kann man denn überhaupt deren Schutzmittel mit gutem Gewissen empfehlen?

---

**Herr Kirchner:**

---

Ich glaube, da sind andere Experten in der Runde qualifizierter.

---

**Dr. Prinz:**

---

Aber die Frage werde ich damit auch gleich weitergeben an die anderen, oder ist nicht zu befürchten, daß mit Schutzmitteln alles noch viel schlimmer wird als ohne Schutzmittel?

---

**Herr Kirchner:**

---

Es ist schon vorgekommen.

---

**Dr. Warscheid:**

---

Ich möchte mich da auch meinem Vorredner anschließen, was die **Materialsstitution** angeht, da ist das wohl ähnlich. Es gibt Materialien, die biologisch nicht angreifbar sind, bei denen man durchaus Empfehlungen geben könnte, vor allem auch in stark belasteten Gegenden, ich will jetzt einmal als Beispiel den Obernkirchner Sandstein herausgreifen, der sich sowieso als sehr verwitterungsbeständig erwiesen hat. Nun können Sie den allerdings nicht überall einsetzen, das sähe wahrscheinlich fürchterlich aus, wenn alle Bauten nur noch mit diesem Material restauriert würden. Was die **Schutzmitteluntersuchung** betrifft, das ist einerseits, daß wir bislang für Verfahren wie zum Beispiel die **Hochdruckstrahlreinigung** insofern Aussagen treffen können, daß die Organismenzahlen temporär zumindest reduziert sind. Es ist andererseits allerdings möglich, auch hier vom Material abhängig, daß Sie recht schnell Steigerungen der Keimzahlen haben auf Gesteinen, die ja entsprechend gute **Voraussetzungen** für eine **Ansiedlung** bieten. Sie haben durch die **Reinigung** ja wieder eine frische Mineraloberfläche geschaffen, und damit kann dann der Angriff eigentlich fast schlimmer vonstatten gehen, als wenn Sie diese abgetragene Oberfläche draufgelassen hätten. Deswegen ist eher meine Empfehlung, wenn man nicht weiß, was nach der Reinigung kommen

soll, daß man das auch erst einmal sein läßt. Denn in der Beziehung gibt diese verwitterte Außenschicht doch noch einen gewissen Schutz, bevor man weiter verfährt. Was diese Weiterverwendung von Mitteln wie zum Beispiel **Hydrophobierungsmittel** betrifft, so können wir sagen, daß es sogenannte Erstproduzenten gibt und sogenannte Zweitverwerter. Daß also, je nach Komposition dieser Schutzmittel, selbst wenn möglicherweise die Grundsubstanzen von einem Hersteller gekommen sind, die **Komposition** der einzelnen Firmen da wohl auch einen Ausschlag gibt, beispielsweise in Hinblick auf die Lösungsmittel, die verwandt werden, und daß wir dort **Angriffe durch Pilze** zeigen konnten. Die Ergebnisse im Freiland beziehungsweise auch am Objekt sind teilweise etwas widersprüchlich. Jüngste Ergebnisse aus Erfurt, wo auch hydrophobiert worden ist, zeigen deutliche Hinweise auf Pilzkontamination, teilweise sogar schlimmer als vorher.

---

**Dr. Prinz:**

---

Habe ich Sie richtig verstanden, daß durch die **Hydrophobierungsmittel** die **Pilzbesiedlung** gefördert wird?

---

**Dr. Warscheid:**

---

Ich möchte sagen, im Labor ist es eindeutig zu zeigen, im Freiland hingegen gibt es widersprüchliche Ergebnisse. Es gibt durchaus auch eine **Schutzwirkung**. Deswegen muß das sicherlich von Gebäude zu Gebäude auch unterschieden werden. Das ist sicherlich jetzt auch keine Reaktion, die überall gleichmäßig stattfindet, nur es ist eben, ich möchte schon sagen, im überwiegenden Falle so, daß gerade **Pilze** sehr stark an **hydrophobierten Oberflächen** auftreten, wenn auch das entsprechende Steinmaterial vorliegt.

---

**Dr. Prinz:**

---

Und wie kann man sich das vorstellen, da wäre ja eher eigentlich das Umgekehrte zu erwarten.

---

**Dr. Warscheid:**

---

Ja, ich meine, erstens liegt das wohl mit daran, daß die **Pilze nicht die Feuchtigkeitsempfindlichkeit** haben wie wir das bislang kennen und, ich möchte auch noch in den Raum stellen, daß wir vielleicht über diese **Überlebensstrategien** dieser Organismen, die sich auf dem Stein befinden, eigentlich noch gar nicht so viel wissen, wie sie das schaffen. Sie können sich vorstellen, an einem heißen Sommertag trocknet Ihnen der Stein aus, gibt eine große Hitze ab, und trotzdem gelingt es ihnen, dort zu überleben, ohne daß gleich wieder eine neue Besiedlung stattfinden muß von außen. Genau wissen wir es nicht, wir wissen nur, daß sie es auf solchen hydrophobierten Oberflächen durchaus aushalten und daß sie dort überleben können. Es ist auch sicherlich chemisch schwer nachzuweisen, aber wir können nicht unbedingt zeigen, daß das Hydrophobierungsmittel selbst angegriffen wird. Was allerdings die Entwicklung angeht - versucht wird, die Poren der Steine auszukleiden, damit die **Wasserdampfdiffusion erhalten** bleibt. Aber es wird sich fatal auswirken, wenn dieses **Hydrophobierungsmittel** eine **Nährstoffgrundlage** bietet, denn dann passiert eben genau das, was man mit großem Forschungsaufwand hat verhindern wollen, nämlich daß die **Poren verschlossen** werden. Das sehe ich eigentlich als das massive **Problem**, zumindest für die Stellen, die wir auch jetzt in Erfurt kürzlich gesehen haben. Denn dann kommt es wieder zu **Absplitterungen**, obschon es eine hydrophobierte Oberfläche ist.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ist das ein Thema, das jetzt auch wissenschaftlich im größeren Rahmen erarbeitet wird?

---

**Dr. Warscheid:**

---

Ja, das ist auch jetzt Teil unserer Aufgabe, quasi nach der Ursachenforschung, obschon ich die nun auch nicht unbedingt als abgeschlossen betrachte, in diese **Schutzmitteluntersuchung** zu gehen. Es gab eigentlich zu Anfang des Projektes bereits Hin-

weise darauf, jetzt auch von Seiten der Arbeitsgruppe Sasse, daß **Hydrophobierungsmittel**, wenn sie in der Kammer getestet werden, zum Teil zu erheblichen **Verpilzungen** oder **Veralgungen** geführt haben, also nicht unbedingt zu dem, was man erwartet hätte von diesen Mitteln.

---

**Dr. Prinz:**

---

Diese Untersuchung läuft also auch im Rahmen des BMFT-Programmes?

---

**Dr. Warscheid:**

---

Es läuft im Rahmen und es ist ja zumindest jetzt für die kommende Zeit geplant. Wir wissen alle, daß das Projekt in eine neue Phase geht, und da wird es auch noch einmal zu zeigen sein, in welcher Form das geschieht.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ist es überhaupt denkbar, daß **langfristig wirkende Bakterizide** und **Fungizide** angewendet werden?

---

**Dr. Warscheid:**

---

Das ist eine zweite Sache, die in unserer Arbeitsgruppe durchgeführt wird, die Prüfung von Bioziden, weil dies eigentlich mehr für den Wandmalerei-Bereich gelten darf. Es hat sich eigentlich gezeigt, daß wir in Hinblick auf die Vertretbarkeit, solche Biozide anzuwenden, doch Grenzen gesetzt bekommen. Denn die meisten Biozide, die gängig auf dem Markt sind, wirken nicht, oder das, was Sie zum Beispiel als Algenvernichter und so weiter verwenden, hat doch nur **kurzzeitige Wirkungen**, und danach schlägt das ins Gegenteil um, weil teilweise die Verbindungen sehr stickstoffhaltig sind. Die Verbindungen, die wirklich etwas in dieser Beziehung helfen, wie **zinn-organische Verbindungen**, dürfen Sie kaum in größerem Maße draußen anwenden, denn sie sind eben auch für den Menschen

---

sehr schnell toxisch. Das einzige, was nützlich sein wird, ist, daß man versucht - es wird sicherlich nicht für Fassaden möglich sein, aber sicherlich für die eine oder andere Skulptur oder bestimmte Portale - eine **Ethylenoxid-Sterilisation** zu betreiben, wobei das natürlich mit einem hohen technischen Aufwand verbunden ist. Es hat sich da jetzt eine Firma angeboten, in dieser Hinsicht aktiv zu werden. Das ist natürlich auch nur eine Sterilisation ad hoc und dann kommt es auch wieder zur Ansiedlung, dann müßten Sie zur Nachsorge durch **Biozide** versuchen, zumindest die **Neuansiedlung einzuschränken**, und können dann mit wesentlich geringeren Konzentrationen arbeiten. Das ist also eigentlich die Palette, seien es die Hydrophobierungsmittel oder seien es die Biozide, die man zusetzt. Es haben auch viele Hersteller bereits damals auf diese Hinweise reagiert, als wir zeigen konnten, daß die Pilze in diesen Mitteln aktiv werden und haben bereits Mittel auf den Markt gebracht, die biozid ausgestattet sind. Wobei das natürlich Betriebsgeheimnisse sind, was das für Biozide sind. Es ist allerdings zu beobachten, daß jedes **Biozid** letztendlich auch wieder ein **potentieller Nährstoff** ist. Das heißt, wie es eben in der Biologie ist, jeder **Organismus** sucht sich seine **Nische** und er findet auch wieder eine. Der eine findet Dioxin oder der andere ein Biozid, und da wird dann auch wieder eine entsprechende Kontamination stattfinden. Aber da ist sicherlich mit einer Verzögerung zu rechnen. Ein anderer Fall ist auch hier verschiedentlich angesprochen worden, die **Polyurethane**. Es ist eigentlich für einen Mikrobiologen einigermaßen unverständlich, daß man sie einsetzt. Es ist zwar vielleicht verständlich, vom Baustofflichen so etwas zu verwenden, zum Beispiel erwähnte ich diese Schalenanbindungen im Kloster Birkenfeld, bei dem man versucht, den mechanischen Eigenschaften des Gemäuers damit gerecht zu werden und eine quasi flexible Aufhängung dieser Schalen zu gewährleisten. Nur gerade diese weichen **Polyurethane** sind natürlich ein **exzellenter Nährboden für Mikroorganismen**, und das ist eigentlich auch nichts Neues, sondern das ist eigentlich schon seit Jahren bekannt. Es hat kürzlich auf einer Tagung Leute einigermaßen verwundert, daß man so etwas draußen einsetzen möchte.

---

#### Dr. Prinz:

---

Sie haben jetzt hier doch schon einiges gesagt zu den erforderlichen systematischen Untersuchungen, so wie sie hier unter Punkt 4 formuliert sind. Können Sie das noch ergänzen, diese Frage vier? Also das war einmal Darstellung des Kenntnisstandes und die zweite Frage, welche **systematischen Untersuchungen** noch erforderlich sind. Sie haben das zum Teil ja schon angeschnitten, aber nur die Frage, ob das aus Ihrer Sicht noch zu ergänzen wäre.

---

#### Dr. Warscheid:

---

Ich sagte schon, auch im Hinblick auf die **Hydrophobierungsmittel**, Sie können einerseits **im Labor prüfen**, eine Vorauswahl bestimmter Produkte treffen. Das geht sicherlich in den Verfahren, die gängig sind, um auch Antibiotikatests zu machen und so weiter, nur daß nicht jeder dieser Tests, die nach diesen rein klassischen Verfahren der Mikrobiologie stattfinden, auch nach draußen übertragbar ist. Es wird zwar viel strapaziert, aber es ist nun mal dieser **Biofilm**, der die Mikrobiologie in den nächsten Jahrzehnten noch viel beschäftigen wird, weil man eigentlich erst so richtig anfängt, zu begreifen, daß die Mikrobiologie dort stattfindet, und dieser Biofilm auch einen Schutz bietet gegen solche Angriffe. Wir können Organismen isolieren und können feststellen, daß wir sie ab einer bestimmten Konzentration abtöten können, und Sie gehen mit diesem Biozid an den Stein heran, auf dem Sie diesen Organismus haben, der sich dort festgesetzt hat, und nichts passiert, weil der Organismus sich geschützt hat. Sie erreichen nur die **äußere Schicht** und töten dort etwas ab, aber in die tieferen Schichten kommen Sie gar nicht rein. Und das macht für den Organismus auch Sinn. Er muß sich auch schützen, und deswegen habe ich das auch mit der **Ethylenoxid-Behandlung** angesprochen, das sind schon Verfahren, mit denen Sie zu einer radikalen Sterilisation kommen. Also wie gesagt, für diese Testverfahren bleibt nach wie vor auch die Untersuchung draußen vor Ort

---

notwendig. Es bleibt noch zu klären, wie das technisch durchzuführen ist, ich meine zum Beispiel bezogen auf die **Prüffelder**: Wir haben im Augenblick die Diskussion, was eigentlich mit den **Asterixen** geschieht. Die verwittern so vor sich hin, und es gibt eigentlich genügend Vorschläge von jeder Arbeitsgruppe, wir haben da was im Labor entwickelt und wir möchten das gerne einmal an so einem Asterix, der jetzt doch einige Zeit bewittert wurde, auch ausprobieren, aber da werden uns noch nicht die Türen geöffnet. Das wäre sicherlich da sehr sinnvoll, denn das müßte die Laborarbeit ergänzen.

---

#### **Prof. Blaschke:**

---

Ich kann mal wieder nur die Mikroskopie zur Geltung bringen. Wir sehen die große Aufgabe unserer Laborwagen auch darin, die **Schutzmittel** oder Schutzstoffe, wie sie neuerdings heißen, vor Ort zu **mikroskopieren** und zwar in praktischer Anwendung an kleinen Versuchsflächen am Objekt. Wir könnten es aber viel einfacher machen, wenn wir diese Schutzstoffe zum Nachweis **markieren**. Es gilt, die Industrie und die ausführenden Handwerksfirmen von dem großen wissenschaftlichen Nutzen einer **Schutzstoffmarkierung** für die **mikroskopische Kontrolle** zu überzeugen. Ich habe es neulich einmal im Zollerninstitut geäußert: Der ideale Schutzstoff wäre ein Lodenstoff, hochporös und atmungsaktiv, aus durchsichtigen feinen Fasern, so daß das Wasser herunterperlen könnte. Wir hätten keine Frostschäden. Wir könnten auch diesen Belag irgendwann einmal notfalls entfernen und erneuern. Ohne Feuchte passiert nichts, weder chemisch noch biologisch!

---

#### **Dr. Prinz:**

---

Haben Sie sowas schon mit **GORETEX** verhandelt?

---

#### **Prof. Blaschke:**

---

Nein, da ist die Faserstruktur nicht dachziegelartig ausgerichtet. Ich meine, atmungsaktiv ist es schon und die Oberfläche ist hydrophobiert. Es müßte aber so unsichtbar fein sein,

daß der Grünsandstein noch Grünsandstein bleibt. Auch dürfte die Biologie nicht gleich wieder darauf siedeln.

Dank interessierter Restauratoren konnten wird schon eine Reihe von **Sanierungsmaßnahmen mikroskopisch verfolgen** und klären, z.B. wie kommt es zu **Rißbildung** im Kieselsäureesterfilm oder wie wirken **Hydrophierungsmittel** bei tonhaltigen Gesteinen.

---

#### **Dr. Prinz:**

---

Herr Blaschke, die kombinierte Anwendung von **Kieselsäureester** und **Hydrophobierungsmitteln** ist ja eigentlich Stand der Technik schon vor 20 Jahren gewesen. Ich habe einige Fragen, zunächst einmal die: Gibt es denn lediglich verschiedene Fabrikate oder sind es tatsächlich unterschiedliche Produkte von verschiedenen Fabrikanten? Die Frage eigentlich: Wer entscheidet vor Ort, **welches Mittel** jeweils angewendet wird bei der Unsicherheit, die ich gefühlsmäßig hier empfinde und die zweite Frage, wer entwickelt unter Umständen völlig **neue Schutzstoffe** oder Schutzmittel, die z.B. mit **Kieselsäureestern** und **Hydrophobierungsmitteln** nichts zu tun haben? Es könnte ja sein, daß noch ganz andere Verfahren sinnvoll sind, und die dritte Frage: Gibt es so eine amtliche Stelle, die die **Nützlichkeit** oder auch **Schädlichkeit** **verschiedener Schutzmittel** überprüft, **testet**, so eine Art **DM-Test**? Kümmert sich jemand darum oder überläßt man das der Industrie und den Werbeabteilungen der einzelnen Firmen, welche Schutzmittel nun tatsächlich Anwendung finden und welche nicht?

---

#### **Prof. Blaschke:**

---

Ich nehme an, daß es einmal darauf hinauslaufen wird, ähnlich, wie es von **Aachen** ausging, wo die seinerzeit die erste **Prüfstelle** für die **Verwendung von Oxidharzen** für die **Sanierung von Beton** gegründet wurde. In Aachen ist die Voraussetzung insofern gut, weil sich ein Zentrum gebildet hat mit den Arbeitsgruppen **Sasse, Schießel und Höcker** und der Industrie. Es sieht so aus, daß die **Grundsubstanzhersteller** der **neuen Schutzstoffe** ihre Produkte zu **Testversuchen** zur Verfügung stellen, so daß ich davon ausgehe,

---

daß Nordrhein-Westfalen gut bedient ist, indem Aachen wieder einmal die Keimzelle für eine solche Kontrolle bildet. Die Denkmalverantwortlichen werden sich immer mehr bewußt, welche Verantwortung sie tragen und deswegen taktieren sie immer vorsichtiger. Bislang aber sieht das häufig noch so aus: Der Erbdrostenhof in Münster, z.B., müßte einmal wieder gereinigt werden. Da wird vom Landschaftsverband Geld beantragt. Zunächst gibt es nichts, das zweite Jahr und das dritte Jahr auch nicht. Plötzlich heißt es im Mai: Die Gelder sind da! Es muß bis Oktober abgerechnet sein. Dann muß erst einmal gesehen werden, was überhaupt los ist. Es wird schnell eingerüstet. Das Gerüst kostet viel Geld. Allein für die Lamberti-Kirche in Münster kostet das Gerüst eine Million Mark. Das Aufstellen ist alle zehn Jahre vorgeschrieben aus statischen Gründen. Dann kommen natürlich die Firmen. Sie ziehen drei Bohrkerne und stellen fest, wie groß das Wasseraufnahmevermögen ist und sagen, da kriegen wir soundso viele Liter Schutzstoffe rein. Daraus ergibt sich ein Angebot, die Voruntersuchungen werden angerechnet, wenn wir den Auftrag bekommen. Der Zeitplan: Erst Reinigen der Fassade, dann lassen wir drei Wochen vergehen, dann wird imprägniert, dann lassen wir wieder drei Wochen vergehen und schließlich wird der Schutzstoff aufgetragen. Am 15. Oktober ist die Rechnung auf dem Tisch. Deswegen ist dann mit der Wahl des Verfahrens aus Zeitgründen gar nicht mehr viel los. Vernünftiger wäre dagegen zunächst eine Eingangsdia gnose, wie sie im BMFT-Projekt jetzt gesammelt werden. Es ist viel billiger, zunächst einmal einen Hubwagen hinzuschicken zur Probenahme. Im Laborwagen werden die Grundsatzuntersuchungen durchgeführt. Dann können die Planer gut entscheiden, wie sie das Geld ausgeben. Aber im Moment geht das noch hoppla-hopp, weil das Gerüst schon steht. Wir sind dann in Zeitdruck und müssen schnell handeln und flexibel sein. Eine Grundidee ist, die stammt vom Restaurator Belck, daß man mit der Eingangsdia gnose sofort kleine unschädliche Versuchsflächen anlegt, so daß möglichst lange Beobachtungen schon bei der endgültigen Maßnahme vorliegen, in ein bis zwei Jahren.

---

### Dr. Prinz:

---

Da es ja Schutzmittel gibt, die ohne Zweifel mehr schädigen als nutzen, also ich meine Schutzmittel, die zum Beispiel nicht atmungsaktiv sind, die wie ein Lack aufgebracht werden, muß doch jemand da sein, der den Entscheidungsträger, das ist ja wahrscheinlich, ja, wer ist der Entscheidungsträger, der Eigentümer sozusagen, das Land oder die Kirchengemeinde, irgendjemand muß denen doch sagen, das Schutzmittel ist angebracht und jenes nicht. Die Frage: Wer vermittelt dieses Wissen?

---

### Prof. Blaschke:

---

Es gibt Empfehlungen zum Beispiel von Fulda für den Fachwerkbau. In den alten Bundesländern sind von etwa 1,5 Millionen Fachwerkhäusern bereits etwa 1,4 Millionen durch Fehlbehandlung schwer geschädigt und hauptsächlich dadurch, daß man einen dichten Kunststoffauftrag aufs Holz gebracht hat. Darunter geht alles kaputt. Soweit ich weiß, gibt es zur Zeit nur zwei Anstriche, der eine ist schwarz, der andere ist dunkelbraun, die nachweislich so atmungsaktiv bleiben, daß das Holz darunter nicht stark gefährdet ist.

---

### Herr Kirchner:

---

Der Verfahrensmodus bei dem Schutzmitteltest ist nicht grundsätzlich so, wie Sie ihn beschrieben haben. Die Regel bei uns ist, daß das Denkmalamt in Münster zum Beispiel schon aus der Wellbergenliste weiß, welche Denkmäler zur Restaurierung anstehen, daß wir dann vor Ort einen Probestein entnehmen, Testwürfel schneiden und die gängigsten Schutzmittel prüfen oder, wenn wir den Stein schon einmal untersucht haben, eine Auswahl treffen, welche Mittel bisher gute Ergebnisse im Test erzielt haben. Im Kristallisationstest oder in der reduzierten Wasseraufnahme testen

---

wir dann parallel mindestens zwei, drei Mittel, manchmal auch 15 verschiedene Mittel. Wir geben dann eine **Empfehlung** ab, daß das eine Mittel besser geeignet ist als ein anderes. Es ist aber nicht nur das Denkmalamt, sondern auch Architekten oder Kirchengemeinden, die auf uns zukommen und dann diese Tests in Auftrag geben, desweiteren auch Wasserdampfdiffusionsdurchlässigkeitstests. Die werden auch bei uns durchgeführt, um zu sehen, verstopft das Schutzmittel die Poren oder ist es noch einigermaßen wasserdampfdurchlässig.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Also dann haben Sie schon seit Jahren die **Leitstellenfunktion**. Ein Zwang, sich beraten zu lassen, denke ich, ist bislang nicht gegeben?

---

**Herr Kirchner:**

---

Es gibt überhaupt keinen Zwang, daß man vorher Untersuchungen machen lassen muß. Ob es dazu gesetzlich kommt, ist in der Schwebe. Das Problem ist auch weiterhin noch, daß wir wirklich **keine geeigneten Tests** haben. Die Kristallisationstests geben nur einen Anhaltspunkt, ist aber nun letztlich nicht das Gelbe vom Ei.

---

**Dr. Prinz:**

---

Das ist eben auch wieder die Frage des **Zeitraffereffektes**. Ob man wirklich das erfaßt, was sich bei einer Langzeitexposition unter realistischen Bedingungen einstellt.

---

**Herr Kirchner:**

---

Also was von Professor Blaschke beschrieben wurde, ist oft wirklich so, daß wir z.B. im Mai einen Anruf bekommen, wir möchten die Kirche jetzt hydrophobieren. Dann müssen wir also flugs hin, einen Probestein an irgendeiner Stelle herausnehmen, die nicht so relevant ist. Der Test dauert mindestens drei Monate. Die

Auftraggeber wollen aber meistens schon im Juni/Juli hydrophobieren. Dann passiert es oftmals, daß die Fassade erst im September/Okttober, wenn das Mauerwerk schon witterungsbedingt naß ist, hydrophobiert wird. Da werden erst einmal die richtigen Schäden erzeugt. Das darf man also auf keinen Fall machen. Wenn man in der **nassen Jahreszeit** oder wenn das Mauerwerk feucht ist, das **Schutzmittel** aufbringt, dann wirkt es nicht mehr.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Unter Umständen wird die Sache dadurch erschwert, daß eine Firma, die nicht den Auftrag bekam, mit einem Gerichtsverfahren droht.

---

**Herr Kirchner:**

---

Den Fall hatten wir noch nicht.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Offensichtlich funktioniert in diesem Fall der **Wettbewerb** untereinander nicht. Sonst müßte man dadurch, daß die von den Firmen angebotenen Mittel alle ähnlich sind, über die jeweils konkurrierende Firma eigentlich die **Schwachpunkte** der einzelnen Produkte erfahren können. Daß die **Schutzmittel** der eigenen Firma natürlich immer besonders positiv dargestellt werden, ist zu erwarten, aber es wäre vielleicht möglich, die Konkurrenz etwas stärker zu fördern in dieser Hinsicht, um an die entsprechenden Informationen zu kommen.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Wenn sich jemand um seinen Auftrag betrogen fühlt, dann kann er unter Umständen in die Versuchung fallen, zu meinen, es sei gekungelt worden, wo er doch von seiner Arbeit überzeugt ist. Das fängt schon bei dem Reinigungsverfahren an. Es gibt Restauratoren, die meinen, man müßte mit einem Wasserschlauch mit Löchern die Fassade drei Wochen intensiv

---

wässern. Das Schlimme ist ja nur, daß die Schäden einer **Fehlsanierung** zwar beim Holz schon nach zwei, drei Jahren auftreten, bei unseren Natursteinfassaden dagegen erst nach einer Generation. Man kann sagen, ein künstlicher Porenverschluß nimmt den Bioschleim produzierenden Organismen 30 bis 50 Jahre Arbeit ab.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Ich selber habe zu diesen Problemen relativ wenig experimentelle Erfahrungen gemacht. Ich habe Beobachtungen an Standorten gemacht, insbesondere ein Beispiel ist mir da immer wieder wert, daß ich es vorbringe: Im Schwahl, dem Kreuzgang des Schleswiger Domes, wurden Wandmalereien aus dem 14. Jahrhundert restauriert, sie waren mit Mineralfarben gemalt worden und waren noch recht gut erhalten. An einigen Stellen war die Wand doch recht sandig geworden und man hatte dort **hydrophobiert** und gefestigt. Man hatte bei dieser Gelegenheit gleichzeitig den Dachstuhl des Kreuzganges erneuern müssen, und weil ja Schleswig-Holstein für Regen, für manche jedenfalls, bekannt erscheint, haben sie ein großes **Wetterzelt** da drüber gezogen und weil die ja auch immer wieder Westwinde haben, hatte man das Wetterzelt sehr tief **heruntergezogen**, bis 2 Meter über Grund. Das hatte zur Folge, daß der Regen nicht so richtig rankam an die eigentlichen Gemälde, daß aber die **Kondensationsfeuchte** enorm hoch war, daß das Wasser nach den Aussagen der vor Ort Arbeitenden zuweilen an den Wänden heruntergelaufen ist und sich am Fußboden gesammelt hat. Nun, das sind Erfahrungen, die ich dann nachher erst herausbekommen habe. Der Erfolg dort war, daß die Restaurierungen sehr schön waren, die **Wandbilder** wieder erstrahlten und anschließend dann einige dieser Wandbilder in ihren Farbstrichen nicht mehr zu erkennen waren, weil sie dicht mit **Pilzen** besetzt waren. Die Konsequenz davon - ich habe mich dann eingeschaltet, habe Untersuchungen vor Ort gemacht: Pilze waren reichlich in der **Putzschicht** vertreten. Es waren zwei Folgen oder es war eine Folge von zwei Faktoren dafür verantwortlich. Einmal diese **hohe Feuchtigkeit**, die vorhanden war und das zweite, der Einsatz dieses **Hydrophobierungsmittels**, das heißt des **Lösungsmittels**, die dabei meines Erachtens den wesentlichen

Ausschlag für dieses intensive Pilzwachstum gegeben haben. Ich denke, das ist eins der Probleme, die bei diesen Untersuchungen, die Herr Warscheid angeführt hat, eine Rolle spielen, welche Auswirkungen haben auf dieses mikrobielle Wachstum: Nicht die eigentlichen Festigungsmittel oder Hydrophobierungsmittel, sondern die **Lösungsmittel**. Das zweite ist, wie tief kriegt man dieses Zeug in die Wand oder in den Stein hinein. Darüber gibt es auch sehr unterschiedliche Aussagen. Wenn das nur oberflächlich passiert, ist es meines Erachtens sehr schädlich, je **tiefer, um so besser**, wäre sozusagen dann die Folge davon. Das dritte ist, wie schnell und wie konsequent kriegt man das **Lösungsmittel** wieder aus dem gefestigten Material **heraus**, weil das, meines Erachtens, eins der guten Nährstoffkomponenten ist, die man da mit hineinbringt, in das System. Wenn dann diese Dinge so richtig gelaufen sind, dann wäre die zweite Frage, hat jetzt dieses eigentliche **Schutzmittel** einen **Einfluß auf das Wachstum** oder eine Behinderung des Wachstums. Das sind also zwei Prüfungen, die vielleicht doch getrennt gefahren werden müssen, um da eine gewisse Erfolgsgarantie geben zu können, soweit man das überhaupt als Garantie bezeichnen kann. Den Einsatz der verschiedensten **Pestizide**, die man dabei einsetzt und ich gebrauche diesen Ausdruck Pestizide hier als einen doch recht schlimm erscheinenden Ausdruck bewußt, ist eine Frage, die auch für uns dabei eine Rolle spielt, wenn die zinnorganischen Verbindungen heute eine der vielleicht zukunftssträchtigen Komponenten sind, so sind diese **zinnorganischen Verbindungen** für uns selber als Anwender und als Besucher der Orte durchaus eine **Gefährdung**. Da halte ich also die Dinge etwas für suspekt, wenn sie in großem Maße angewendet werden. Zu der **Ethylenoxid-Begasung** muß ich sagen, daß sie ganz sicherlich die erfolgversprechendste Komponente ist, die man in diesem Sektor anwenden kann; sie hat den Nachteil, daß sie im wesentlichen nur bei **transportablen Geräten**, Gegenständen, Steinen verwendet werden kann, weil man nicht ganze Kirchen, Dome und so weiter in Ethylenoxid eintauchen kann. Man hat das schon gemacht, daß man in Restauratorbetrieben größere Gemälde zum Beispiel, so erinnere ich mich, eingewickelt hat in Plastikfolien und dann kleine Ethylenoxidfläschchen reingestellt hat und so weiter. Das halte ich für eine nicht ganz ungefährliche Methode. Unter gewissen Vorsichtsmaß-



---

nahmen läßt sich das vielleicht machen. Aber wenn wir große Wandflächen oder auch Bauteile haben, die nicht weiter transportiert werden können, dann geht das nicht.

---

**Prof. Blaschke:**

---

Wie **toxisch** ist denn dieses **Ethylenoxid**? Ich hörte, daß zum Beispiel große Bemühungen da sind, die Getreidekonservierung in den Silos, die ja mit Ethylenoxid bisher erreicht wird, durch **Stickstoff** zu ersetzen.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Nein, das wirkt an und für sich auf alle Zellsysteme bzw. auf die **Enzymsysteme** und hat außerdem den Nachteil, daß es **explosiv** ist. Also die Staubexplosionen in den Silos könnte man damit noch ein bißchen verbessern.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ist das nicht auch **kanzerogen-verdächtig**, Ethylenoxid? Das meine ich doch nach der MAK-Wert-Liste.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Ja. Man könnte unter Umständen einfach auch mal semantisch umdenken und provokativ sagen: Wieviel muß ich denn eigentlich gegen diesen Besatz von Mikroorganismen tun? Das ist dann sozusagen eine Diskussion, die man nicht überall führen kann.- Was ich in solchen Fällen sagen kann, ist: ich weiß im Moment wirklich nicht, welches **Pestizid** oder welches andere dieser Mittel ich **empfehlen** kann, wenn ich zu Gutachten gerufen werde. Das Grundsätzliche, was ich tun kann, ist das, was Herr Blaschke ja auch immer wieder betont, daß ich die **Wasserhaltigkeit** dieser bestimmten Region **so niedrig wie möglich** halte. Das ist einer der Steuerfaktoren, die man in irgendeiner Weise fassen kann, womit man doch einen gewissen Einfluß, mindestens auf das biologische, aber auch auf das chemische Vorgehen in diesen Gesteinen hat, daß man die Wasserhaltigkeit so niedrig wie möglich hält.

---

**Dr. Prinz:**

---

Mir ist das eigentlich während der Anhörung auch nicht ganz klar geworden, ob nun der **Biofilm** in jedem Fall zu vermeiden ist oder zu **verhindern** ist, oder ob der nicht auch **Nutzen** mit sich bringt. Ich meine, ich hätte aus Ihren Äußerungen beides herausgehört. Jeweils unterschiedlich, also keiner hat sich so richtig festgelegt und hat gesagt, wir müssen jetzt da sterile Bedingungen schaffen.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Darüber liegen bisher noch recht wenige Erfahrungen vor. Die meisten Erfahrungen an Biofilmen hat man bisher aus dem Wasser-/Abwasserbereich wo diese Biofilme sich aufgrund der Verhältnisse doch recht intensiv gestalten, sehr dick werden und dabei als Schädigung dann für irgendwelche laufenden Prozesse, Pumpen, Zusätzen usw. und so fort. Daß man da tatsächlich gegen angeht, diese **Biofilme als "foulings"** auf den Schiffsböden und so weiter, sind seit langem schon ein Dorn im Auge der Segler. Man macht da große Anstrengungen, die Böden der Boote sehr stark giftig zu halten. Das ist heute auch wieder ein **Problem der Entsorgung**, wenn dann die Boote im Frühjahr wieder aufbereitet werden oder im Winter, dann müssen sie heute tatsächlich schon das als Sondermüll abfahren lassen, das hat man vorher dann einfach in die Natur gegeben.

---

**Dr. Prinz:**

---

Also, um ganz ehrlich zu sein, der **Stellenwert der Algen, Pilze, Bakterien** als Schädigungsfaktor - bewußt jetzt als Schädigungsfaktor - ist mir während der Anhörung nicht so ganz klar geworden. Mag sein, daß ich da manches überhört habe. Mal hatte ich das Empfinden, das ist ein **wichtiger Schädigungsfaktor**, der zwar auch wieder durch die Luftverunreinigungen beeinflusst wird, ganz klar, und dann habe ich auch wieder, meine ich, herausgehört, daß die Summe dieser Organismen einen **Schutzfilm** darstellen, der den Angriff von Luftschadstoffen vielleicht sogar ein bißchen abschottet. Deswegen ist mir bis

---

zu diesem Augenblick nicht ganz klar, müssen wir unbedingt eine sterile Oberfläche schaffen oder ist so ein wenig Besiedlung vielleicht sogar nützlich?

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Es gibt verschiedene Fälle, wo die Schädigung eindeutig ist. Das sind zum Beispiel die **Abwassersammlersysteme**, die Zementrohre, die von den **Thiobazillen** zerfressen werden. Die Dinge sind eindeutig. Und da ist es eindeutig Schaden. Nun gibt es auch die Besiedlung durch **Nitrifizierer** auf den Zementplatten der **Kühltürme**, die ganz eindeutig auch zur Zersetzung des Karbonatanteils führen und damit also auch eine Zersetzung der Substanzen, die eigentlich über 60, 70 Jahre geplant sind, behindern. Bei den **Wandmalereien**, aus meinem eigenen Erfahrungsbereich, sind die **Pilze** ganz sicherlich ein **Schädigungsfaktor**, weil sie mit den in diesen Fresken, Putzen eingearbeiteten organischen Komponenten ein phantastisches Nährmedium bekommen haben und sich da also sehr gut halten, breitmachen können und meistens auch genügend Feuchtigkeit haben durch Kondensfeuchte und zum Teil Wasserschäden in den Wänden, so daß diese Wandmalereien damit auch direkt gefährdet werden. Der Karbonatanteil der Wände wird dabei auch recht angegriffen, die Wände werden bröselig und porös, und die Malereien fallen ab. Diese Dinge halte ich eindeutig für Schädigungen. In den Steinen hat Herr Warscheid und die Gruppe in Oldenburg ganz sicherlich auch, was die Pilze und die heterotrophen Bakterien anbelangt, noch ein paar kompetente Aussagen dazu zu machen, wo es wirklich Schädigung ist und wo es, wie er auch schon sagte, mit dem Biofilm eventuell eine Schutzwirkung haben könnte. Da will ich mich einmal ein bißchen zurückhalten.

---

**Dr. Prinz:**

---

Können Sie zur Frage 4 noch etwas sagen, welche systematischen Untersuchungen erforderlich sind?

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Was die Schutzmittel anbelangten, muß ganz sicherlich geprüft werden, einmal welches ist der **Einfluß des Lösungsmittels** auf die entsprechenden Komponenten, wie muß ich damit umgehen, damit das Lösungsmittel so schnell wie möglich aus den Systemen herauskommt. Man hat es bisher der Diffusion überlassen, wann es herauskommt und wie persistent denn eigentlich die organischen Komponenten sind, die ich da einbringe. Man muß ja von allen organischen Komponenten eine gewisse **Abdampfung** erwarten, so daß also die Konzentration auch bei **Bioziden** mit der Zeit etwas abnimmt und damit also unter Umständen unter den kritischen Punkt kommt. Damit es also dann nicht mehr eine biozide, sondern höchstens noch **biostatische Wirkung** hat. Da fängt es dann an, daß die **Organismen** sich möglicherweise **anpassen** können, denn sie sind ja relativ schnell in ihrem Mutationsgeschehen anpaßbar an solche Dinge, so daß sie auch unter Umständen Abwehrmechanismen haben. Es gibt ja Fälle, wo Bakterien von Penicillin leben als einzige Nährstoffquelle oder leben können, weil es eigentlich aber umgekehrt gedacht ist. Sie haben sich also so schnell mit ihren Abwehrmechanismen darauf eingestellt, daß sie da einfach dagegen arbeiten können. Solche Dinge muß man praktisch auch beim Einsatz von Pestiziden mit berücksichtigen, daß eine gewisse - wir sagen jetzt salopp Gewöhnung - aber eine Anpassung an diese eventuellen Gefahrenpotentiale innerhalb kürzester Zeit möglich ist.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Sind denn schon einmal **systematische Untersuchungen** in der Richtung gemacht worden, daß man beispielsweise Mikroorganismenpopulationen mit bestimmten **Luftschadstoffen** begast oder mit bestimmten **Bioziden** behandelt hat um festzustellen, wie schnell die Rate der Anpassung oder **genetischen Umwandlung** dann sein könnte, oder wie schnell der Erfolg eines Biozids zum Beispiel sozusagen wieder zunichte gemacht werden kann?

---

### Dr. Eckhardt:

---

Ist im Bereich des **Steines** meines Wissens **nicht systematisch** gemacht worden. Sie sind ganz sicher im Bereich der **eigentlichen Herstellerfirmen** gemacht worden. Ich meine, Bayer Leverkusen hat in Monheim, seinem Versuchsgelände, da ganz sicherlich einiges an Untersuchungen, die sie vielleicht auch einmal bereitstellen, aber meistens nicht. In der **Phytopathologie**, einer speziellen Wissenschaftsrichtung der landwirtschaftlichen Fakultäten, liegen solche Dinge meistens auch schon etwas mehr vor und ich gehe häufig und gerne da hin, um mich zu erkundigen. Auch in deren Literaturen dazu. Es ist das Problem, daß die Publikationen hier und da gemacht werden, aber nicht unbedingt so überall zugänglich sind. Im Bereich der Restaurierungen wüßte ich da keine Fälle zu nennen.

---

### Dr. Warscheid:

---

Wenn ich dazu vielleicht noch etwas sagen darf. Die **Hersteller**, die solche Produkte auf den Markt bringen, die müssen das natürlich vorher **prüfen**. Nur das wird meistens mit **Organismen** geprüft, die diese Hersteller auch wie ihre Haustiere behandeln, nämlich bei *Escherichia coli* oder anderen. Auch **Aspergillen**, also Schimmelpilze, werden hier und da einmal in die Untersuchung mit einbezogen. Es ist aber letztendlich so, man versucht im Labor einiges zu testen und draußen funktioniert es dann nicht. Das hat damit zu tun, daß die Organismen, die wir am Stein finden, nicht **Bakterien** sind, die jetzt einfach da nur Feuchte suchten und dann da sitzen, sondern **speziell adaptiert** sind an diese Umwelt, und sie haben natürlich auch **Überlebensmechanismen**. Wenn wir diese **Tests** mit solchen Organismen durchführen, dann müssen wir die **Konzentrationen** meistens zwei oder drei Stufen höher ansetzen als das, was der Hersteller empfiehlt, um überhaupt eine Wirkung zu sehen. Das heißt, da wird vom Hersteller selbst überhaupt nichts gemacht, und von unserer Seite aus muß man eben sagen, daß wir erst jetzt seit vielleicht zwei, drei Jahren genau wissen, mit welchen Organismen wir es hier zu tun bekommen. Ich glaube, wie schon Herr Eckhardt vor zwei Tagen sagte, vielleicht haben wir noch gar nicht einmal alle

entdeckt, auf die wir testen sollten. Nur was wir eben wissen, daß sie wesentlich weniger empfindlich sind gegenüber diesen Pestiziden.

---

### Frau Köth-Jahr:

---

Es gibt ein Problem, das bei dem Aufbringen der **Biozide** auftritt, wenn man sie auf ein ganzes Gebäude überträgt. Da stellt sich die Frage, wie sich das zum Beispiel mit den **Naturschutzbedingungen** vereinbaren läßt, daß Vögel, Bienen usw. dort auch anfliegen, und es gibt ja konkrete Bestimmungen, für die Gärtner zum Beispiel, wann er welche Stoffe ausbringen darf und wann nicht, und er muß sich an diese Vorschriften halten. Ich meine, bei einem meist **großflächigen Gebäude** muß man diese Vorschriften eigentlich noch stärker berücksichtigen.

---

### Dr. Warscheid:

---

Wenn ich dazu kurz was sagen darf. Ich wollte das eben auch betonen, daß wir **nicht** daran denken, daß wir ein gesamtes **Gebäude mit Bioziden** - ich nenne ruhig den Ausdruck - **verseuchen**. Also daran ist sicherlich nicht gedacht. Woran gedacht ist, ist einerseits, daß wenn man wirklich ganz spezifische Figuren und so weiter hat, die wirklich so unwiederbringlich wird, und wir können so eindeutig auch eine biologische Belastung nachweisen, deswegen, wir machen ja auch nun noch Abstufungen, wir sagen ja nun nicht, die Biologie muß überall weg, sondern es gibt da eben auch graduelle Unterschiede, und es gibt aber auch die Fälle, in denen es eine so massive Belastung gibt, daß man tatsächlich überlegen sollte, speziell bei entsprechenden historischen Kunstwerken, ob hier eine Behandlung einfach notwendig ist. Selbst dann ist immer noch die Stufe vorher, daß man zunächst einmal eine **Reinigung** durchführt, man wird dadurch den Biofilm nicht ganz wegbekommen, aber man wird ihn schon erheblich stören, wenn man danach noch zu einem **Schutzmittel** in geringer Konzentration ein **Biozid** zusetzt. Dann ist das sicherlich auch noch vertretbar, aber nur in ganz gewissem Rahmen. Ich möchte jetzt nicht den Eindruck erwecken, daß wir den **Großeinsatz** planen. Das ist sicherlich nicht in unserem Sinne.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Ja, das, was Herr Marfels sagt, trifft jetzt ganz sicherlich für die Außenfronten zu. Bei den **Wandfresken** wird es so gehandhabt, daß es meistens mit **Kompressen** aufgetupft wird und unter Umständen nach einer gewissen **Einsaugzeit** wieder mit **Wasser** abgetupft wird, so daß also an der Oberfläche das Biozid vielleicht etwas weniger konzentriert vorliegt. In den Innenräumen wird dann eine Gefährdung möglicherweise auch für Besucher stattfinden, diese Räume sind aber in aller Regel für Besucher geschlossen. Wenn eine **Gefährdung der Mitarbeiter** dabei gegeben ist, müssen diese mit **Haut- und Atemschutz** arbeiten. Da würde ich für mich in manchen Fällen ablehnen, unter solchen schlechten Bedingungen zu arbeiten. Aber was ist die Priorität dabei?

---

**Dr. Prinz:**

---

Dann können wir glaube ich, fortfahren und Herrn Wilimzig bitten, uns Antworten auf die Fragen 2 und 4 zu geben.

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Über Schutzmittel ist ja nun das meiste gesagt worden. Was ich noch zur Reinigung sagen wollte: Wir haben das Leine-Schloß in Hannover vor und nach der Reinigung auf Nitrifikanten untersucht und festgestellt, daß diese **oberflächlichen Reinigungen**, wie sie ja vorgesehen sind, um so wenig wie möglich den Stein zu schädigen, eigentlich sehr wenig bis **keine Wirkung auf Nitrifikanten** im Gestein haben. Die Bakterien wachsen tiefer im Gestein. Wir haben in 15 und auch 30 cm Tiefe **Bakterien** festgestellt, die dann durch diese oberflächliche Reinigung überhaupt nicht betroffen sind. Zukünftig sind **Forschungen über Reinigungsverfahren**, die speziell die **Biologie** betreffen, nötig. Was ich aber allgemein sagen muß, dieser **Steinzerfall**, den wir beobachten, ist im Grunde genommen ein sehr **natürlicher Vorgang**, und wir können es uns nur aus einem gewissen Wohlstand leisten, die Gebäude so lange zu erhalten. Wo ich vielmehr Ansatzpunkte sehe, ist bei der Ver-

meidung von **Stickstoffemissionen** aus der Landwirtschaft, z.B. der Gülle und der Düngung, oder aus dem Verkehr. Dies ist ein wichtiger Ansatzpunkt, überhaupt die Emissionen zu vermeiden, die einen biologischen Bewuchs verursachen.

---

**Frau Köth-Jahr:**

---

Für mich beinhaltet dieses Statement auch wieder eine Analogie zu den Überlegungen, die im Rahmen der Waldschadensforschung angestellt wurden. Man muß die Ursache finden und beheben, also z.B. die Emissionen zurückdrehen, und nicht am Symptom "herumkurieren" - mit irgendwelchen Mitteln.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielleicht können wir bei der Gelegenheit noch einmal kurz auf Ihren Film zu sprechen kommen. Wo sehen Sie den größten Informationsgewinn in der Zukunft? Das, was im Film dargestellt worden ist, sind doch Untersuchungen, die Sie derzeit durchführen. Welche Ergebnisse erwarten Sie von diesen Untersuchungen, oder wo sehen Sie die größten Chancen, für eine Anreicherung unserer Erkenntnisse durch Ihre Untersuchungen?

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Einmal natürlich die **Ursachenforschung**: Wie kommen die Bakterien in das Gestein, wie vermehren sie sich dort und welche Umweltbedingungen schaffen wir, damit sie sich besonders gut vermehren? Dann natürlich, der nächste Punkt sind die **Schutzstoffe**. Dieser Punkt wird jetzt in diesem BMFT-Projekt sehr propagiert. In Zukunft werden wir in unserer Simulationskammer auch Schutzstoffe und mit Schutzstoffen behandelte Steine untersuchen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Ich hatte, glaube ich, gestern oder vorgestern schon einmal gefragt, ob es Möglichkeiten gibt, **Steine**, die man draußen exponiert, mit

**Kulturen zu impfen** und Sie haben heute in dem Film gezeigt, daß man zumindest im Laborexperiment so etwas macht. Ich glaube, Sie hatten gestern schon Einschränkungen geäußert, was die Anwendung dieser Methode im Freiland anbetrifft. Also wenn man jetzt die Steinflächen, die Herr Brüggerhoff gezeigt hatte, vorher beimpfen und sie dann ein Jahr draußen exponieren würde, könnte man nicht nur den Gewichtsverlust bestimmen, sondern auch die Änderung der Besiedlung.

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Da bin ich der Meinung, daß nach einer gewissen Zeit, ich kann leider nicht sagen, wie schnell das geht, sich die natürliche oder den Umständen entsprechende **Mikroflora** einstellt. Es wird sich ein Gleichgewicht entsprechend den Bedingungen, die wir schaffen, einstellen.

---

**Dr. Prinz:**

---

Wenn Sie jetzt geimpft haben, dann haben Sie vermutlich eine **Suspension** benutzt, deren Zusammensetzung Ihnen ja bekannt ist, vermutlich...

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Das ist genau definiert...

---

**Dr. Prinz:**

---

Ja, ist genau definiert. Können Sie quantitativ nach einer bestimmten Exposition auch nachprüfen, wie sich dann die Population in der **Artenzusammensetzung** geändert hat?

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Wir haben den Vorteil, daß wir nur mit sehr **wenigen Bakterienarten** arbeiten und nach Möglichkeit immer nur wenige Arten auf die Steine aufbringen, um diese Wechselwirkungen und dadurch die Unsicherheitsfaktoren

zu vermeiden. Es ist ja unsere Arbeit, daß wir feststellen, wieviele Bakterien im Stein und mit welcher Aktivität dort leben.

---

**Dr. Prinz:**

---

Stellen Sie dann die **Besiedlungsdichte** nachher pro Quadratcentimeter Oberfläche fest oder wie machen Sie das? Wie ist das quantitative Maß?

---

**Dr. Wilimzig:**

---

Pro Gramm Gestein.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Es war gestern oder vorgestern, wo ich hier auch schon einmal den Vorschlag gemacht habe, solche eventuell **antagonistischen Organismen** mit einzubringen. Das wird in der Tat in der Holzbearbeitung oder -verarbeitenden Industrie schon so gemacht. Man fällt z.B. die Bäume im Wald und läßt sie zunächst erst einmal liegen, um sie etwas abtrocknen zu lassen. Das ist eine der Zeiten, wo sie mit den sogenannten **holzerstörenden Pilzen** sehr intensiv befallen werden können und damit eine Gefährdung stattfindet. Man hat inzwischen herausgefunden, daß, wenn man diese **Bäume mit bestimmten Schimmelpilzen beimpft**, insbesondere die Schnittflächen, die ja die stärksten Befallsflächen sind, daß durch diese Schimmelpilze der Befall mit den **Holzpilzen** vermieden wird. Diese sind also regelrecht antagonistisch wirksam. Dieses Prinzip als solches versucht man heute schon in der Landwirtschaft und auch an verschiedenen anderen Stellen zu verifizieren, daß man dort tatsächlich die **antagonistischen Prinzipien**, die es in der Natur allemal gibt, jetzt aufdeckt und einsetzt. Man könnte also **Steine** - in welcher Weise auch immer - zunächst sterilisieren und sie dann **mit nachweislich unschädlichen Organismen** - wobei ich das mit einer gewissen Vorsicht sage, aber das Prinzip meine - sozusagen **animpfen**, so daß eine Besiedlung mit schädlichen Organismen verhindert wird. Das ist aber eine Forschungsrichtung, die wahrscheinlich noch Jahrzehnte zur Entwicklung braucht.

---

**Dr. Prinz:**

---

Da ist die Gentechnik gefordert.

---

**Dr. Eckhardt:**

---

Es muß nicht die Gentechnik sein, es kann **ökologische Untersuchungen** bedeuten, daß man einfach diese natürlichen, antagonistischen Prinzipien aufdeckt, an denen man bisher einfach vorbeigegangen ist. Man hatte entweder Scheuklappen gehabt oder gar nicht daran gedacht. Das letzte ist meistens der Fall.

---

**Dr. Marfels:**

---

Zu diesen beiden Punkten kann ich nicht viel beitragen. Vielleicht einige Ergänzungen: Mir ist noch eingefallen, daß heute noch gar nicht über den **Schutz von historischen Glasfenstern** gesprochen wurde, wofür ja wahrscheinlich dasselbe gilt wie auch für die Gesteinsoberflächen, daß man lange Zeit durch **Beschichtung mit Acrylharzen** die Situation noch **schlimmer** gemacht hat, das heißt also, diese dann erst recht eingetrübt hat. Unser Institut in Würzburg hat auf diesem Gebiet sehr viele Erfahrungen gewonnen und ich kann nicht sagen, ob man diese Situation heute im Griff hat, aber möglicherweise ist es in diesem Fall auch ein bißchen einfacher, weil diese Gläser ja nicht immer diese poröse Oberfläche haben, wie es bei Gesteinen ist. Ein weiterer Punkt ist - wozu ich vielleicht etwas beitragen kann - die **Verwitterung und Vermeidung von Verwitterung** von sogenannten **Asbestzementoberflächen**. Wir haben da ein ziemlich umfangreiches BMFT-Projekt gemacht vor einigen Jahren, wobei wir unbeschichtete Platten, die auf Dächern und an Wänden exponiert sind, in verschiedensten Gegenden der Bundesrepublik wie Helgoland, den Mittelgebirgen, Ballungsgebieten und in Reinluftgebieten zu vergleichen versucht haben mit solchen, die vorher schon eine Beschichtung trugen. Die Situation stellt sich dann so dar, daß nach etwa drei Jahren - unabhängig von der Art der Beschichtung - die Verwitterung im gleichen Maße linear mit der Zeit weiter fortschritt, und wir haben auch bei unseren vielen, bevorzugt rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen feststellen können, daß sich nach

dem oder auch gleichzeitig mit dem Herauslösen von Zementpartikeln Flechten, Moose und dann natürlich auch Bakterien angesiedelt hatten, die diesen Prozeß wie bei anderen Produkten beschleunigt haben. In der heutigen Zeit verfolgt man ja zwei Philosophien. Nach dem Motto, man möchte das gefährliche Zeug möglichst bald los sein, wird in vielen Fällen, wenn die Fassaden und Dächer schon stärker angegriffen sind, eine **Totalsubstitution** vorgenommen, womit man das Problem dann einigermaßen los ist. Oder aber, wenn die Platten noch ein relativ gutes Aussehen, eine ziemlich dichte Oberfläche haben, geht man auch dazu über, **Polymerharze** auf der Oberfläche zu verteilen. Das hat nur immer eine Schwierigkeit, um die Harze auf der Oberfläche haften zu lassen, muß man natürlich dasselbe machen wie bei Steinen von historischen Objekten, man muß die Oberfläche erst einmal reinigen. Und über die Art der **Reinigungsverfahren** ist man sich heutzutage noch nicht so einig. Nach den vielen negativen Erfahrungen, die man mit Sandstrahl- oder auch Hochdruckwasserstrahl-Verfahren gemacht hat, wozu es also sehr viele Fälle gibt, zu denen ich auch als Gutachter geholt wurde, und die praktisch eine Kontamination von diesen gefährlichen Stoffen der Umwelt herbeigeführt haben, ist es heute so, daß man zumindest unter starker Feuchthaltung der Oberfläche mit Methoden, die von Hand eingesetzt werden, also Bürsten mit nicht zu starken Borsten, wobei natürlich auch selbst in diesen Fällen die Leute Atemschutz tragen müssen, die Oberfläche von bevorzugt Flechten und Moosen und von den Verwitterungsprodukten befreit. Und dann werden diese **Versiegelungsmittel** meistens in zwei Schichten aufgetragen. Es handelt sich auch oftmals um **Acrylharze**, aber auch um andere Polymere, und angeblich hat man zumindest in der kurzen Zeit, die seit Anwendung dieser Mittel, die neuerdings dafür entwickelt wurden, zur Beobachtung zur Verfügung hat, das sind also eigentlich wenige Jahre erst, ganz gute Erfolge damit. Aber ich glaube, dieses Problem ist doch ein ganz anderes, weil man letzten Endes bei diesen technischen Objekten, zu denen ich da diese Platten auch zählen würde, eigentlich nur die Verwitterung etwas hinauszögern möchte, bevor man das Ganze dann doch entfernt. Ein ganz anderer Punkt ist vielleicht noch, dazu wird sicher Herr Schmitt noch einiges sagen wollen, die **Vermeidung von Immissionsschäden bei Kunststoffen**, bei denen die Industrie auch schon in letzter Zeit

---

einiges getan hat, indem sie **Substanzen** in das Polymerisat eingebracht hat, die den Einfluß der **UV-Strahlung vermindert** haben, so daß also Objekte, ob das nun Lacke sind oder auch Harze, die besonders dem Licht ausgesetzt sind, in Verbindung auch mit sauren Niederschlägen, nicht mehr so schnell zerstört werden, wie das früher vielleicht der Fall war. Aber für alle diese Objekte gilt natürlich im Vergleich zu den historischen Objekten, daß denen nur eine begrenzte Lebensdauer zugebilligt wird, und daß man sehr wohl weiß, daß diese Verbesserungen eigentlich nur einen Kompromiß darstellen zwischen dem, was man dem Produkt ohnehin zumuten möchte an Lebensdauer und dem Effekt, der dazu beitragen kann. Das ist eigentlich im wesentlichen das, was ich sagen möchte. Herr Schmitt wird das sicher deutlich ergänzen können.

---

**Dr. Schmitt:**

Also so deutlich ergänzen kann ich das nicht. Aber etwas gerade anschließend an das, was Herr Marfels gesagt hat. Für die Werkstoffe, die gebraucht werden für, sagen wir einmal, **technische Erzeugnisse**, die keinen kulturhistorischen Wert haben, für diese gilt eine andere Überlegung, und die möchte ich noch einmal ins Spiel bringen. Ich habe schon einmal gesagt, mit der begrenzten Lebensdauer, es ist das **Problem der Entsorgung**, das auf uns zukommt. Es ist ein Kreislauf, der sich hier ergibt. Denn durch die Entsorgung, sei es nun einmal, daß die Stoffe verbrannt werden oder abgelagert werden, das geht wieder rückwärts dazu, daß dann wieder mehr Emissionen auftreten. Das ist ein **Regelkreis**, der hier abläuft. Das darf in diesem Zusammenhang nicht aus den Augen verloren werden. Das ist ganz klar, und ich möchte ganz stark darauf hinweisen. Es kommt heute auch mit der Problematik des **Recyclings**, daß jetzt auch hier eine ganz klare Abstufung ist, daß zunächst einmal ein Produkt-Recycling stattfinden soll, wenn irgendwie möglich, wenn das nicht geht, ein Bauteil-Recycling, als nächste Stufe das Material-Recycling, das im Moment wohl dasjenige ist, das die meisten Chancen hat, und dann als nächste Stufe das Energie-Recycling. Dann kommt schon die Problematik, über die wir hier sprechen, wenn wir das Produkt jetzt verbrennen zur Energiegewinnung und als letztes dann die Depo-

nierung, die Ablagerung. Das ist eine ziemlich starke Problematik. Neulich war in München ein Hearing über die Entsorgung von Autos. Da wurde dann auch gesagt, was machen wir denn mit den Autos, die jetzt zur Entsorgung anstehen? Da wurde ja nie drauf geachtet, daß es da auch einmal eine Problematik mit Abfall gibt. Die Autos müssen wir halt jetzt noch deponieren. Und dann kam der Streit auf. Werden sie deponiert oder werden sie verbrannt? Wenn sie verbrannt werden, dann kommt die **Schadstoffbelastung** gleich, werden sie deponiert, werden unsere Kinder und Enkel die Schäden haben, die dann entstanden sind. Es ist also eine Zeitbombe, die hier vor uns liegt, und wo jetzt, beispielsweise im Automobilbau, darauf geachtet werden soll, daß die verwendeten Produkte eben recycelbar sind. Nicht nur durch Energie-Recycling, sondern durch andere Möglichkeiten. Das spielt hier alles mit hinein, auch wenn es scheinbar nicht direkt zutrifft. Ich möchte noch auf etwas hinweisen. Ich kann nicht viel dazu sagen. Vor zwei oder drei Jahren hat an der Technischen Akademie in Esslingen ein Seminar stattgefunden, oder Kolloquium, da ging es um Schutzmittel. Ich kann es Ihnen einmal schicken, wenn es Sie interessiert. Da sind sehr viele Vorträge darüber gehalten worden.

---

**Dr. Prinz:**

Das wäre schon interessant.

---

**Dr. Schmitt:**

Da war auch die Industrie dabei, die vorgestellt hat, was sie tut, pro und contra. Das sind also Fragen, die hier gerade angeschnitten waren. Bei den Kunststoffen, die in die **Gebrauchsstoffe** reingehen, hat Herr Marfels auch schon gesagt, gibt man sich ja Mühe, durch irgendwelche **Zusatzstoffe** vorzusorgen, das sind hauptsächlich solche, die vor Lichtschädigungen schützen, weil im nachfolgenden dann wieder Wirkungen von den Luftschadstoffen auftreten können. Hier läßt die Industrie auch solche, ich hatte es gestern bei der Umweltsimulation erwähnt, Qualifikationen durchführen, und setzt dann möglicherweise geplante Materialien gar nicht ein, sondern sucht nach neuen, also echtem

**Materialersatz**, der wesentlich besser geeignet ist in bezug auf den Lebenszyklus der Erzeugnisse. Dazu sind **systematische Untersuchungen** notwendig, das hatte ich gestern auch schon, glaube ich, ausführlich gesagt. Ich möchte es noch einmal wiederholen, wichtig ist die Kenntnis der **Reaktionsmechanismen, Synergismen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen**. Und ich glaube, das sind alle die Fragen, die ich rausgehört habe bei der Diskussion, die jetzt bei Ihnen geführt wurde. Ich habe ein Heft, das von der Fraunhofer-Gesellschaft herausgegeben wurde, mit einem Aufsatz über die Moludoc-Fakten-Datenbank. Das ist sicher bekannt, sie wird von der Raum-Bau-Stelle der Fraunhofer-Gesellschaft geführt. Da wird versucht, eine Dokumentation zu machen, was alles in dieser Richtung getan wurde. Ich habe da gerade eben gelesen, da ist zum Beispiel drin: Einsatzmöglichkeiten der Acrylharz-Volltränkung von Snetlage oder ein Bericht über Herrn Snetlage selber, weil er Pilotversuche zur Sicherung der Chorquerfenster am Erfurter Dom macht und so weiter. Das ist vielleicht etwas, wo auch noch eine Auskunft herkommen kann, bzgl. Glas, was Sie angeschnitten haben. Das ISC, das Institut für Silicatiforschung der FhG in Würzburg, hat **Beschichtungen von Gläsern** gemacht mit ganz, ganz dünnen, feinen Schichten, und diese Gläser waren in unserer Schadgasanlage drin, und es hat sich herausgestellt, daß sie da sehr große Erfolge mit erzielen konnten. Außerdem wurde dort ein sogenannter **Glassensor** entwickelt, der in relativ kurzer Zeit Aussagen macht, ob Glas angegriffen wird von Schadstoffen. Ich glaube, es ist bloß ein Schadstoff, ich weiß es aber nicht genau, ich kann Ihnen da aber auch Material zukommen lassen. Das Würzburger Institut stellt die Glassensoren her, verschicken die auch, kriegen sie dann wieder zurück und können dann sofort eine Aussage über den Zustand des Glases machen, ohne daß an dem Glas überhaupt etwas sichtbar ist. Das ist eine **Maßnahme in der Vorstufe**, wenn man dies so sagen kann, also hier könnten Schädigungen auftreten. Ja, das war es eigentlich.

---

**Dr. Prinz:**

Vielen Dank, Herr Schmitt. Das Thema Glas ist hier eigentlich während der Anhörung gar nicht zur Sprache gekommen, obwohl Glas als

Material für **Kirchenfenster** ja doch auch von großer Bedeutung ist, und tatsächlich dort ja auch Schäden vorliegen. Es gibt da ebenfalls Krustenbildung. Die Frage an die Mikrobiologen: Haben sich die Mikrobiologen noch nicht dafür interessiert, oder ist das kein Thema für die Mikrobiologen?

---

**Dr. Eckhardt:**

Es war ein Thema für die Mikrobiologen. Und die Konservatoren haben die mikrobiologischen Untersuchungen gestoppt, weil sie davon nicht überzeugt waren, daß **Mikrobiologie auf den Glasfenstern** eine Rolle spielt. Es ist eine Frage des Geldes. Ich habe selbst unten im Raum München an verschiedenen Kirchen mich mit Leitern hoch und runter bewegt und habe dort Proben genommen, untersucht und es war an allen Stellen sichtbar. Nachher im mikroskopischen Bild, wo sich insbesondere auch Korrosionen an den Glasfenstern zeigten, waren an den Stellen gehäuft **Pilzkolonien**. Es ist zwar noch nicht der Beweis damit gelungen, daß die Korrosion durch die Pilze hervorgerufen ist, die hätten sich da an diesen rauen Stellen auch besonders gut aufhalten können. Aber aus den physiologischen Aktivitäten dieser Pilze heraus kann man schließen, daß sie für die **Kationenextraktion** gerade aus diesen frühmittelalterlichen Glasfenstern heraus die Potenz haben. Und es ist nicht von der Hand zu weisen, man müßte das Gegenteil beweisen, daß sie es nicht tun. Gerade die Oberfläche ist ja meistens mehr solartig, als daß es eine feste Materie ist, so daß da eine Mobilisierung dieser Kationen, die die Silicate zusammenhalten, meines Erachtens recht gut möglich ist. Die heutige, meines Wissen gängige Form, solche Gläser zu schützen, ist, daß man sie zunächst reinigt, insbesondere dann von den Außenseiten her verglast, und sie vom Innenraum her lüftet. So daß sie damit eine gewisse Trocknung haben, daß sich keine Kondensfeuchte da niederlassen kann, daß sie aber gegen die äußeren Einwirkungen jetzt **durch die Verglasungen geschützt** werden. Es gibt kaum noch Fenster im Münchner Raum, jedenfalls soweit mir bekannt ist, die nicht verglast sind, die also solchen Immissionswirkungen ausgesetzt sind.



---

## Dr. Schmitt:

---

Ich habe noch eine Bemerkung. Es gibt jetzt auch noch eine deutsch-französische Zusammenarbeit über den Schutz von kultur-historischen Bauwerken. Und zwar ist da das Münster in Tann und das Münster in Salem ausgesetzt worden. Und nachdem das genehmigt war, war natürlich im BMFT kein Geld mehr vorhanden, und da hieß es, das muß jetzt aus diesem Topf des BMFT-Forschungsvorhaben rausgenommen werden, und jetzt ist ein gewisser Streit vorprogrammiert, was da alles laufen wird. Im Zusammenhang mit diesem Vorhaben gibt es auch eine **Untersuchung, wie Schutzmittel wirken**, speziell wieder auf Tann und Salem bezogen. Die ersten Gespräche haben schon stattgefunden, und die Fachleute sind dann nicht sehr eindeutig auseinandergesprochen, es wird sich zeigen müssen, wie das in der Zukunft aussieht. Soweit mir bekannt ist, heißt es, daß das BMFT-Vorhaben in 4 Jahren mit dem Schutzmittel anfangen möchte, während die deutsch-französische Zusammenarbeit sofort mit dem Schutzmittel anfangen soll. Hier muß jetzt noch ein Konsens gefunden werden. Das zweite ist eine Bemerkung, die Sie gemacht haben vorhin, als Sie sagten, es muß vielleicht einfach der Grenzwert runtergesetzt werden für die Emissionen. Ein Kollege, Herr Zigalm, sitzt in einer UNO-Kommission, die Grenzwerte festlegt. Er ist zuständig für Materialien. Da wurde er einmal gefragt, wie aus seiner Sicht die Grenzwerte nach unten sein müßten. Er hat geantwortet: "Die müssen bei Null sein!" Denn alle Organismen können in einem gewissen Maße so eine Belastung ertragen und regenerieren. Material kann das grundsätzlich eigentlich nicht.

---

## Prof. Lucke:

---

Wir haben einen bestimmten Erkenntnisstand bezüglich der Vermeidung von Immissionschäden. Wenn man das für die Baumaterialien betrachtet, dann ist natürlich die Chance gegeben, daß schon bei der Errichtung eines Bauwerkes Vorkehrungen getroffen werden können, um Immissionschäden zu vermeiden. Das ist auf dem Gebiet des Betons schon sehr weit gediehen. Man kann sagen, daß, Extremfälle ausgenommen, heute durch

aus ohne Anwendung von **Bautenschutzmitteln stabile Betonsysteme** hergestellt werden können. Ich betrachte solche Ausnahmen wie Kläranlagen und Kühltürme als Sonderfälle, da sie nur einen kleinen Anteil der Gesamtmenge des verarbeiteten Betons ausmachen.

Eine zweite Problematik, die man hier sicherlich mit ins Spiel bringen kann, wurde von den Herren Vorredner schon genannt. Man muß bedenken, daß wir es nicht nur mit kulturhistorisch wertvoller Substanz zu tun haben, sondern einfach mit Gebäuden, für die entweder durch die Veränderung der Nutzungsbedingungen oder durch allgemeine Verschleißerscheinungen der Zeitpunkt kommt, daß man sich die Frage stellt, wozu man noch einen hohen Aufwand für einen Schutz des Gebäudes beschreiben soll. Man reißt das Bauwerk ab. Es ist immer auch eine **Wirtschaftlichkeitsfrage**.

Ob Asbestplatten oder Putze, man wird zuerst überprüfen, ob es noch einen Sinn hat, Schutzmaßnahmen oder Schutzmittel anzuwenden. Bei Putzen ist es oftmals so, daß diese Maßnahmen letztendlich doch nur eine **Verlängerung der Nutzungsdauer** von mehreren Jahren ermöglichen, z.B. wenn Sie nachträglich Hydrophobierungsmittel anwenden. Zweckmäßig ist dagegen, daß Sie Trockenmörtel und Trockenputze mit Hydrophobierungsmittel verwenden. Das ist ein Weg, der in der Praxis üblich ist, d.h. ich sehe hier die Möglichkeit, aus dem Kenntnisstand über die Einwirkungen von aggressiven Stoffen, die weit über den Bereich der Immission hinausgehen können, Schlußfolgerungen abzuleiten. Wir können unsere Rezepturen so einstellen, daß auch extrem harten Beanspruchungen Paroli geboten wird. Bei Wohnbauten kommt ein weiterer Aspekt hinzu. Wir müssen das **bauphysikalische Verhalten** mit in Betracht ziehen. Es nützt nichts, wenn ich für eine Außenfassade oder Außenwand besonders dichte mit Polymeren versetzte Sonderbetone verwende. Sie können dann zwar sagen, durch eine Immissionswirkung wird in den nächsten Jahrzehnten nichts passieren, aber in diesen Gebäuden können Sie nicht wohnen. Die **Wände müssen "atmungsaktiv"** sein. Das gilt es auch zu berücksichtigen, wenn neue Stoffsysteme beim Bauen zur Anwendung kommen. Die Immissionen sind nicht die einzige Quelle einer Schädigung. Man muß auch die anderen Einflüsse sehen, die sich aus physikalischen Faktoren ergeben.

Wir haben eine ganze Reihe von Schäden, die aus der Vorstellung resultieren: Machen wir alles oberflächlich dicht, dann kann nichts hinein und kann auch nichts mehr geschädigt werden. Sie müssen aber z.B. im Winterhalbjahr damit rechnen, daß von außen die **Wirkung des Frostes** einsetzt. Sie haben dann ideale Bedingungen für das **Absprengen einer Schale**, weil in einer bestimmten Zone ein hoher Füllungsgrad der Poren mit Wasser vorhanden ist. Es tritt eine **Frostschädigung** auf, und es war absolut sinnlos, eine Oberflächendichtheit zu schaffen. Ich halte es deshalb für notwendig, daß man diese kombinierten physikalischen und chemischen Wirkungen bei Baukonstruktionen noch stärker berücksichtigt. Ich kann aus unserer Erfahrung der letzten 15 Jahren sagen, daß die in unserem Institut vorhandene bauphysikalische Untersuchungskapazität den rein stofflich orientierten Wissenschaftlern sehr viel Unterstützung bei solchen Schadensfällen gegeben hat.

Zu der Frage 4 kann ich nicht viel sagen. Wenn man die Frage stellt, was ist an weiteren systematischen Untersuchungen notwendig, so kommt man doch etwas in Konflikt mit den Interessen der Entwickler, Hersteller oder Anwender von Mitteln. Allerdings habe ich etwas Sorge, denn ich merke, bei unseren **Auftraggebern** und Bauherren ist der **Kenntnisstand** zu diesen Problemen nicht sehr groß, so daß die Gefahr besteht, daß ein Verfahren angewendet wird, ohne wirkliche Kenntnis von seiner Wirkung zu haben. Sicherlich ist jeder Bauherr gut beraten, sich in solchen Fällen an eine unabhängige Forschungseinrichtung oder eine **Begutachtungsstelle** zu wenden, um sich fachkundigen Rat zu holen. Es besteht bei solchen Sanierungen immer die Gefahr, daß man mehr Schaden anrichtet als vorher vorhanden war. Insofern kann man es nur begrüßen, daß beispielsweise auf dem Gebiet der **Betonsanierung** durch **Sanierungsrichtlinien**, die jetzt für ganz Deutschland verbindlich sind, Prämissen gesetzt sind, die Gewähr bieten, daß eine ausreichende Qualität auch bei diesen Sanierungsmaßnahmen eingehalten wird.

---

#### Herr Kirchner:

---

Ich hätte noch eine Ergänzung zu den Ausführungen von Professor Lucke zum Thema 3: "Sonstige Maßnahmen". Er schlug Schutzmaßnahmen schon beim Bau eines Objektes

vor. Wir kennen viele Fälle von mittelalterlichen Kirchen, wo zum Schutze der Steine ein Putz aufgebracht war. Und dann kam irgendwann einmal die Bewegung "Zurück zur Natur", da wurde der Putz wieder runtergerissen und manchmal wirklich schlechtes Baumaterial wieder freigelegt. Das sollte dann erhalten werden. Da kann man als weitere **Schutzmaßnahme** noch die Neuverputzung oder der **Überzug** mit einer **dünnen Schlämme** anführen, wobei man also einen ganz dünnen Mörtel aufbringt und die Fassade somit trotzdem noch **steinsichtig** erhält, also die Konturen der Steine noch sieht. Es ist im Prinzip auch eine Schutzmaßnahme.

---

#### Frau Köth-Jahr:

---

Vielleicht wäre eine Maßnahmen für zukünftige Bauwerke, daß man mit **entsprechender Architektur** versucht zu berücksichtigen, erst gar nicht solche großen Hohlräume zu schaffen, in denen sich die Feuchtigkeit hält. Es sollte auch Wert darauf gelegt werden, solche Schutzmaßnahmen praktisch schon beim Bau zu berücksichtigen.

---

#### Dr. Prinz:

---

Bei modernen Betonbauwerken sicherlich eine sinnvolle Methode oder ein sinnvoller Hinweis. Ich weiß nicht, ob dieser Gesichtspunkt bereits irgendwo berücksichtigt worden ist. Man könnte sich vorstellen, daß unter dem Aspekt ein Architektenwettbewerb veranstaltet würde. Ich weiß nicht, ob da jemand etwas darüber sagen kann, ob so etwas schon einmal überlegt wurde.

---

#### Prof. Lucke:

---

Das ist eigentlich gegeben. Natürlich weiß der Architekt, daß er entsprechend den Nutzungsbedingungen bestimmte **Qualitätsmerkmale** fordern muß, was die Materialien anbelangen. Zur Frage der **Gestaltung** eines Bauwerkes, was sehr stark mit dem bauphysikalischen Verhalten korrespondiert, da habe ich meine Bedenken, ob wir den Architekten sehr viel

---

abringen können. Ich glaube, es ist noch nicht soweit, daß man sich hinsichtlich der gestalterischen Seite aus solchen Überlegungen heraus beschränkt.

---

### Frau Köth-Jahr:

---

Ich stelle mir natürlich nicht vor, daß alle Gebäude daraufhin nur noch wie ein Quader aussehen, aber daß dieser Aspekt bei der Planung berücksichtigt wird.

---

### Dr. Pöhlmann:

---

Zur Frage der Materialsubstitution besteht ja bei uns im Grunde eigentlich wieder auch nur die Möglichkeit, die Statue oder das Denkmal dann wieder in **Bronze nachzugießen**. Es gibt einige wenige Fälle, wo das auch gemacht wurde. Es handelt sich in einem solchen Fall aber immer nur um extrem kunsthistorisch wertvolle Figuren, zum Beispiel der Braunschweiger Burglöwe, das ist eine Figur von 1166, der wurde nachgegossen, die Kopie auf den Sockel gestellt und das Original ins Museum verbracht. Das ist auch in bestimmten Situationen sicher zu vertreten und zu unterstützen, weil in **Innenräumen die Korrosion wesentlich geringer** ist. Sie haben geringere Schadstoffbelastung, ein wichtiger Schädigungsfaktor fällt mit Sicherheit auch aus, das ist die **Betauung**. In Bayern ist im Augenblick eine Planung im Gange, die Bronze-Türen am Augsburger Dom, die von 1066 stammen, es sind Relieftüren, nachzugießen. Die Originale stehen mittlerweile schon im Innenraum. Nach der letzten Konservierung sind doch einige Schäden aufgetreten, und möglicherweise ist es in diesem Fall doch die beste Lösung, wenn man hier auch einen **Nachguß** aufstellt. Man hat natürlich das Problem, daß beim Guß **Schrumpfungen** auftreten. Sie bekommen also nicht mehr die Originalgröße. Die nachgegossenen Figuren sind immer kleiner. Wo es vielleicht übertrieben war, man hat sehr, sehr viele Brunnenfiguren in München in der Residenz nachgegossen und hat die Originale dann im Innenraum gelagert. Man erkennt dort die Nachgüsse eindeutig an ihrem kleineren Bronzesockel. Die Frage der Schutzmittel. Das ist natürlich das allerwichtigste, der **passive Immissionsschutz**. Reinigung, Pflege, Schutz, das ist wahrscheinlich der Punkt, auf den man am allermeisten eingehen

muß. Zur **Reinigung**: Hier sind unsere Restauratoren sehr restriktiv. Bevorzugt würde man die Schmutzkrusten **mechanisch** mit dem Skalpell abnehmen. Das bedingt natürlich einen hohen Zeitaufwand und verteuert solche Restaurierungen gewaltig. Es wird unter Umständen noch akzeptiert, wenn mit entsprechender Vorsicht mit mechanischen Mitteln Schmutzkrusten abgenommen werden, dann die Figur gewaschen wird und anschließend besteht die Möglichkeit noch, einen **Korrosionsinhibitor** aufzutragen.

---

### Dr. Prinz:

---

Was ist das, chemisch gesehen?

---

### Dr. Pöhlmann:

---

Zur Zeit **Benzotriazol**. Das ist ein ganz phantastischer Korrosionsinhibitor auf blankem Kupfer. Grüne Bereiche versucht man so gut es geht zu erhalten. Man entfernt nur die obersten, lockeren Schichten. Entfernt werden auch **Sinterkrusten**, da sie als Feuchtigkeitsspeicher, als **Schadstoffspeicher**, wirken. Möglicherweise schützt aber das Benzotriazol auf patinierter Oberfläche nicht mehr so gut wie auf Kupfer. Da sind wir zur Zeit auch auf der Suche nach was Neuem. Wir versuchten in unserer Schadgaskammer einfach auch einmal **andere Heterozyklen**, die wir dann auf vorpatinierte Bleche auftrugen, auf eine inhibierende Wirkung zu prüfen. Es zeichnen sich auch schon erste Ergebnisse ab, vielleicht finden wir da etwas Besseres. Als **Schutzmaßnahme** eigentlich in jedem Fall, das dürfte sogar allgemein für Deutschland gelten, werden **Wachse** aufgetragen, mikrokristalline Wachse, die haben einen Schmelzpunkt oder es werden Wachse benutzt, die einen Schmelzpunkt von ungefähr 100 °C haben. Bronze wird bei Sonnenbestrahlung sehr heiß. 80 bis 90 °C sind keine Seltenheit, das wurde schon da gemessen. Wachse besitzen nur eine **geringe Haltbarkeit**. Die Behandlung müßte jedes Jahr wiederholt werden. Alternativ wäre eine Aufbringung einer **Acrylatdispersion** zu diskutieren. In den USA zum Beispiel ist dies die übliche Schutzmethode. Acrylat und dann meist noch mit Benzotriazol (in dem Fall soll das Benzotriazol allerdings mehr als UV-Absorber wirken). Acrylate werden oft wegen ihres starken Glanzes abgelehnt, zeigen jedoch eine

---

hervorragende Schutzfunktion und Haltbarkeit. Eine zusätzliche matte Wachsschicht könnte sowohl den Glanz mildern als auch, wie beim Autolack, die Acrylatschicht schützen.

Beim Punkt systematischer Untersuchungen würden wir uns wünschen, an Hand von **jährlichen Reinigungs- und Pflegemaßnahmen** exemplarisch die Wirksamkeit dieses Verfahrens demonstrieren zu können. Das Ziel sollte darin bestehen, die verantwortlichen Stellen, aber auch die Bürger auf der Straße, davon zu überzeugen, daß es sinnvoll ist, jährlich einen relativ geringen Betrag für den Erhalt und die Schönheit der Bronzestandbilder auszugeben. Sie sollen erkennen, daß die derzeit praktizierte Methode, nach einem längeren Zeitraum der Verwahrlosung mit immensen Geldmitteln die Standbilder zu restaurieren, um sie nachher wieder verwahrlosen zu lassen, der teuerste, aber auch der schlechteste Dienst ist, den man diesen Kulturgütern zukommen lassen kann.

Zum **Austausch grün patinierter Kupfer-Dachflächen** wäre zu sagen, daß hier die Möglichkeit besteht, **industriell vorpatinierte Bleche** zu verwenden. Der Fall, bei dem über 100jährige, stark angegriffene Dachbleche aus denkmalpflegerischen Gründen gegen natürlich patinierte Dachplatten, die anderenorts bei einer Kirchendachrenovierung angefallen waren, ausgetauscht wurden, wird sicher eher ein Kuriosum bleiben. Kupferdachbleche haben also eine sehr lange Standzeit. Ich glaube, 100 Jahre oder mehr kann man durchaus erwarten, obwohl sie vielleicht höchstens nur eine Stärke von 2 mm haben.

---

#### Frau Köth-Jahr:

---

Ich möchte noch einmal nachfragen, wie sich die **Korrosion** bei diesen **Kupferdächern**, die Sie gerade erwähnt haben, verhält. Ist das so, daß nach Bildung der Patina praktisch kein weiterer **Materialverlust** mehr eintritt?

---

#### Dr. Pöhlmann:

---

Doch, ein **Materialverlust** tritt sicher ein, aber er läuft bei Kupfer extrem **langsam** ab. Die Patina besteht aus basischen Kupfersulfaten. Wenn Sie saure Einflüsse haben, treten Auflösungsprozesse auf. Also wird sicherlich eine Materialabtragung immer eintreten. Es wird natürlich auch etwas Material von unten

nachgeliefert. Aber es bilden sich eigentlich in seltenen Fällen Krusten. Und vielleicht sind das tatsächlich die gefährlichsten. Solange die Patina gleichmäßig aufgebaut und langsam gewachsen ist, zeigt sie einen gewissen Schutz. Vielleicht ist auch noch ein wichtiger Faktor, daß Taubildung nicht so stark eintritt, wenn sie auf Gebäuden ist, da das Ganze doch sehr schnell erwärmt werden kann.

---

#### Dr. Wilimzig:

---

Dienen diese Wachse hier so als **Nutzschicht**, d.h. ein Schutz, der aufgebracht wird, um sich abzunützen?

---

#### Dr. Pöhlmann:

---

Wachse dienen als **echte Schutzschicht**. Sie wirken eindeutig hydrophobierend und verringern somit den Angriff wassergelöster Schadstoffe auf die Patina. Zusätzlich sprechen Restauratoren von einer **Verdichtung der Patina** durch das Einbürsten bei der Wachsapplikation. Ständige Berührung mit Händen soll neben dem Fetten auch diesen Verdichtungseffekt verursachen. Die wichtigste Funktion besteht aber eindeutig im Aufbau einer hydrophobierenden Barriere als Schutz gegen Nässe, Staub und Schmutz.

---

#### Dr. Eckhardt:

---

Es ist ja so, daß man sich vorstellen kann, daß die Kupfersalze mit den Wachsen reagieren und sich dabei **Kupferseifen** bilden, die dann einem biologischen Abbau auf jeden Fall starken Widerstand leisten. Die **Abbauraten** von solchen Säuren, auch wenn sie als Salze vorliegen, und Kupfersalze sind relativ schwer löslich, ist von daher gesehen **geringer**.

---

#### Dr. Pöhlmann:

---

Da gibt es aber auch Leute, die die genau gegensätzliche Meinung vertreten, die sagen nämlich, daß **Kupferseifen** in der Wachsschicht **sehr mobil** sind und deshalb bereits vorhandene Korrosion fördern würden. Ich möchte dazu vielleicht noch sagen, daß die

---

mikrokristallinen Wachse Kohlenwasserstoffwachse sind. Die Bildung von Kupferseifen sollte hier langsam vor sich gehen. Also die Frage nach dem Einfluß von Fettsäuren kann man vielleicht nicht sicher beantworten. Ich stelle in der Bewitterungskammer fest, wenn ich eine Probe mit einer Fettsäure beschichte, bekomme ich eine ganz leichte Steigerung der Korrosionsrate. Ich halte diese Frage, dieses Problem, aber für nebensächlich. Zyklische Pflegemaßnahmen, d.h. Waschen und Wachsen von Bronzestandbildern werden sich auf den Erhaltungszustand positiv auswirken. Schön wäre es tatsächlich, würden die Kupferseifen biologische Prozesse reduzieren.

---

**Dr. Prinz:**

---

Vielen Dank. Damit sind wir am Ende der Anhörung angelangt. Es ist natürlich so, daß der vermittelte Eindruck sich bei uns zunächst einmal setzen muß. Der wesentliche Punkt wird für uns sein, hier im Land Nordrhein-

Westfalen tatsächlich die Nischen ausfindig zu machen, d.h. Felder aufzusuchen, die an anderer Stelle noch nicht bearbeitet sind. Dies habe ich ja bereits mehrfach erwähnt, und das wird sicherlich unsere wichtigste Aufgabe sein.

Dann bleibt es mir als Letztes, Ihnen natürlich zu danken für die Zeit, die Sie hier geopfert und die Sie uns zur Verfügung gestellt haben, vor allem auch für die freimütige Informationsvermittlung. Sie haben uns doch ziemlich viel gesagt von dem, was Sie wissen und was für uns sicherlich außerordentlich nützlich sein wird. Damit haben Sie eine Fülle von Informationen vermittelt. Auch für die offene Diskussion darf ich mich sehr herzlich bedanken.

Sie waren mir alle sehr sympathisch und ich hoffe, daß der Kontakt auch in der Zukunft bestehen bleibt und daß wir uns daher sicherlich noch einmal irgendwo, hier oder dort, wiedersehen werden. Noch einmal herzlichen Dank, gute Heimfahrt und gutes Gelingen für Ihre Arbeit in Zukunft.

---

## 5. Veranstaltungsablauf

Montag, den 27. Mai 1991

Anreise zum Zentrum für Aus- und Fortbildung in der Wasser und Abfallwirtschaft Nordrhein-Westfalen GmbH, Essen (ZAWA) bis 12.00 Uhr

12.00 Uhr - 13.00 Uhr	gemeinsames Mittagessen  anschließend Anhörung zum Fragenkomplex Block A: "Situationsanalyse"
13.00 Uhr - 13.15 Uhr	Begrüßung und Eröffnung der Veranstaltung
13.15 Uhr - 14.15 Uhr	1. In welchem Gebiet bzw. an welchen Objekten liegen größere immissionsbedingte Schäden an Materialien vor:  a) bei nichtmetallischen, anorganischen Werkstoffen  b) bei metallischen Werkstoffen  c) bei organischen Werkstoffen (Natur- und Kunststoffe)
14.15 Uhr - 15.15 Uhr	2. Wie ist die Art und das Ausmaß der Schäden für den jeweiligen Werkstoff (1a-c) einzuschätzen?
15.15 Uhr - 15.30 Uhr	Kaffepause
15.30 Uhr - 16.30 Uhr	3. Worauf werden die Vermutungen gestützt, daß die Schäden immissionsbedingt sind?
16.30 Uhr - 17.30 Uhr	4. Gibt es zeitliche Entwicklungen oder räumliche Gegebenheiten, die auf bestimmte, ggf. neuartige Ursachenfaktoren schließen lassen?
17.30 Uhr - 18.30 Uhr	Abendessen

---

Dienstag, den 28. Mai 1991

Anhörung zum Fragenkomplex Block B: "Zielgerichtete Untersuchungen"

09.00 Uhr - 12.00 Uhr

1. Welche spezifischen, systematischen Untersuchungen im Freiland halten Sie für zweckmäßig, um die im Block A dargestellten Sachverhalte wissenschaftlich abzusichern?

a) Untersuchungen an vorhandenen Objekten am natürlichen Standort

Teilfragen zu a)

- Auswahl der Objekte
- Erfassung der Begleitfaktoren (Immissions- und Klimasituation)
- Probenahmetechnik
- Nachweisverfahren

b) Versuche mit exponierten Objekten an natürlichen Standorten

Teilfragen zu b)

- Auswahl der Objekte
- Expositionstechnik
- Erfassung der Begleitfaktoren (Immissions- und Klimasituation)
- Probenahmetechnik
- Nachweisverfahren

12.00 Uhr - 13.00 Uhr

Mittagspause

13.00 Uhr - 17.00 Uhr

2. Welche experimentellen Untersuchungen im Labor halten Sie für zweckmäßig?

Teilfragen

- Auswahl der Objekte
- Expositionstechnik
- Anordnung an Verfahren zur Umweltsimulation
- Probenahmetechnik
- Nachweisverfahren

15.10 Uhr - 15.30 Uhr

Kaffeepause

17.30 Uhr - 18.30 Uhr

Abendessen

---

**Mittwoch, den 29. Mai 1991**

Fortsetzung der Anhörung zum Fragenkomplex B: "Zielgerichtete Untersuchungen"

09.00 Uhr - 12.00 Uhr

3. Wie ist der derzeitige Kenntnisstand zur Vermeidung von Immissionsschäden an Materialien?

Teilfragen

- Materialsubstitution
- Schutzmittel
- sonstige Maßnahmen

4. Welche systematischen Untersuchungen sind erforderlich, um neue Abhilfemaßnahmen zu entwickeln bzw. die bestehenden Maßnahmen zu verbessern?

12.00 Uhr - 13.00 Uhr

Mittagspause

14.00 Uhr - 16.30 Uhr

Besichtigung der LIS  
(für Interessierte)



---

**Teilnehmer Expertenanhörung**  
**"Immissionsbedingte Materialschäden"**  
**27. - 29. Mai 1991**

Prof. Dr. R. Blaschke  
Amtliche Materialprüfungsanstalt  
(MPA)  
Paul-Feller-Str. 1  
2800 Bremen 1

FD J. Herkendell  
Ministerium für Umwelt, Raumordnung und  
Landwirtschaft NRW  
Schwannstr. 3  
4000 Düsseldorf 30

Dr. St. Brüggerhoff  
Zollern-Institut  
Lohrheidestr. 57  
4630 Bochum 6

H. Kirchner  
Zollern-Institut  
Lohrheidestr. 57  
4630 Bochum 6

Dr. F.E.W. Eckhardt  
Universität Kiel  
Institut für Allgemeine  
Mikrobiologie  
Olshausenstr. 40  
2300 Kiel

Dipl.Biol.'in I. Köth-Jahr  
Landesanstalt für Immissions-  
schutz NRW  
Wallneyer Str. 6  
4300 Essen 1

Dr. M. Fiebrich  
Institut für Bauforschung  
RWTH Aachen  
Schinkelstr. 3  
5100 Aachen

Dr. G.H.M. Krause  
Landesanstalt für Immissions-  
schutz NRW  
Wallneyer Str. 6  
4300 Essen 1

Dr.-Ing. B. Fitzner  
Institut für Geologie  
RWTH Aachen  
Wüllnerstr. 2  
5100 Aachen 2

Prof. Dr. K.H. Lucke  
Institut für Baustoffe  
Geschwister-Scholl-Str. 7a  
0-5300 Weimar

Dr. M. Fütting  
Institut für Festkörper-  
physik und Elektronenmikroskopie  
Weinberg 2  
0-4020 Halle

Dr. H. Marfels  
TÜV Südwest  
Gottlieb-Daimler-Str. 7  
7024 Filderstadt

Dipl.-Ing.'in G. Garus  
Landesanstalt für Immissions-  
schutz NRW  
Wallneyer Str. 6  
4300 Essen 1

H. Mescher  
Landesanstalt für Immissions-  
schutz NRW  
Wallneyer Str. 6  
4300 Essen 1

---

A. Palmberg  
Spezielle Zoologie  
Ruhr-Universität Bochum  
Postfach  
4630 Bochum

Dr. Th. Warscheid  
Universität Oldenburg  
ICBM  
Ammerländer Heerstr. 114 - 118  
Postfach 25 03  
2900 Oldenburg

Dr. G. Pöhlmann  
Bayerisches Landesamt für  
Denkmalpflege, Metallabor im  
Deutschen Museum  
Museumsinsel 1  
8000 München 22

Prof. Dr.-Ing. K. Wesche  
Institut für Bauforschung  
RWTH Aachen  
Schinkelstr. 3  
5100 Aachen

Dr. B. Prinz  
Landesanstalt für Immissions-  
schutz NRW  
Wallneyer Str.6  
4300 Essen 1

Dr. M. Wilimzig  
Universität Hamburg  
Institut für Allgemeine Botanik  
Ohnhorststr. 18  
2000 Hamburg 52

Prof. Dr. M. Pütz  
Ministerium für Umwelt, Raum-  
ordnung und Landwirtschaft NRW  
Schwannstr. 3  
4000 Düsseldorf 30

Dipl. Biol.'in B. Wolf  
Institut für Biotechnologie  
Potsdam  
Templiner Str. 21  
1560 Potsdam

Dr. D. Schmitt  
Fraunhofer-Institut für  
Chemische Technologie (ICT)  
Josef-von Fraunhofer-Straße  
Postfach 12 40  
5707 Pfinztal 1

## LIS-Berichte

der Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen, Essen

Die LIS-Berichte haben spezielle Themen aus dem Untersuchungs- und Forschungsprogramm der LIS zum Gegenstand. Die in der Regel umfangreichen Texte sind nur in begrenzter Auflage vorrätig. Sie werden - soweit nicht vergriffen - Interessenten auf Anfrage hin kostenlos zur Verfügung gestellt. Alle LIS-Berichte - auch die vergriffenen - stehen Interessenten in zahlreichen Universitäts- und Hochschulbibliotheken zur Einsichtnahme und Ausleihe zur Verfügung.

Bestellungen sind zu richten an die



Die Titel der LIS-Berichte Nr. 1 bis 50 sind in einem Prospekt nachgewiesen, der auf Anfrage gerne zugeschickt wird. Diese Berichte sind, bis auf teilweise noch verfügbare Überstücke, vergriffen.

- Berichte-Nr. 51: Herpertz, E., J. Assmann, D. Krane, E. Hartmann, B. Steck, E. Brewig und J. Krochmann:  
(vergriffen) Messen und Beurteilen von Lichtimmissionen (1984).
- Berichte-Nr. 52: Pfeffer, H.-U.:  
(vergriffen) Qualitätssicherung in automatischen Immissionsmeßnetzen.  
Teil 3: Ringversuche der staatlichen Immissions-Meß- und Erhebungsstellen in der Bundesrepublik Deutschland (STIMES).  
Ergebnisse für die Komponenten SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> und CO (1984).
- Berichte-Nr. 53: Beier, R.:  
(vergriffen) Zur Planung und Auswertung von Immissionsmessungen gemäß TA-Luft 1983 (1985).
- Berichte-Nr. 54: Bröker, G. und H. Gliwa:  
(vergriffen) Polychlorierte Dibenzo-Dioxine und -Furane in den Filterstäuben und Schlacken der 12 Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen sowie einiger Sondermüllverbrennungsanlagen (1985).
- Berichte-Nr. 55: Külske, S., J. Giebel, H.-U. Pfeffer und R. Beier:  
(vergriffen) Analyse der Smoglage vom 16. bis 21. Januar 1985 im Rhein-Ruhr-Gebiet.  
Teil 1: Text- und Bildband (1985)  
Teil 2: Meßergebnisse (1985).
- Berichte-Nr. 56: Splittgerber, H., M. Klein und P. Neutz:  
Untersuchungen zur Ermittlung der Wahrnehmungsschwelle bei Einwirkung von Erschütterungen auf den Menschen - Beschreibung der Versuchsanlage - (1985).
- Berichte-Nr. 57: Prinz, B., J. Hradetzky, H.-U. Pfeffer, H.W. Zöttl und H.-K. Lichtenthaler:  
(vergriffen) Forschungsergebnisse zur Problematik der neuartigen Waldschäden (1985).
- Berichte-Nr. 58: Giebel, J. und W. Strampl:  
(vergriffen) Untersuchung über die Eignung des Korrelationsspektrometers COSPEC V zur Bestimmung des Transportes von Schwefeldioxid bzw. Stickstoffdioxid (1986).

- Berichte-Nr. 59: Prinz, B., D. Schwela, E. Koch, S. Ganser und T. Eikmann:  
(vergriffen) Untersuchungen zum Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Häufigkeit von Pseudokrupperkrankungen im Stadtgebiet Essen (1986)..
- Berichte-Nr. 60: Manns, H. und H. Gies:  
(vergriffen) Ergebnis der Erprobung des automatischen Ozon-Meßgerätes Dasibi, Typ 1008 AH (1986).
- Berichte-Nr. 61: Splittgerber, H.:  
(vergriffen) Messung und Beurteilung von Erschütterungsimmissionen - Vergleich verschiedener Verfahren - (1986).
- Berichte-Nr. 62: Buck, M. und P. Kirschmer:  
(vergriffen) Immissionsmessungen polychlorierter Dibenzo-p-Dioxine und Dibenzofurane in Nordrhein-Westfalen (1986).
- Berichte-Nr. 62: Buck, M. und P. Kirschmer:  
(vergriffen) Measurements of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans in Outdoor Air (1987).(Übersetzung des 1986 erschienenen LIS-Berichtes Nr. 62)
- Berichte-Nr. 63: Giebel, J.:  
(vergriffen) Untersuchung über die praktische Anwendung eines numerischen Ausbreitungsmodells (K-Modell) für die Praxis der Immissionssimulation (1986).
- Berichte-Nr. 64: Winkler, H.D.:  
(vergriffen) Thalliumemissionen bei der Zementherstellung - Ursachen und Minderungsmaßnahmen - (1986).
- Berichte-Nr. 65: Wietlake, K.H.:  
(vergriffen) Erschütterungseinwirkungen durch Exzenter-Schmiedepressen und ihre Minderung durch Direktabfederung (1986).
- Berichte-Nr. 66: Viertes Symposium über die Technik der Kernreaktorfernüberwachungssysteme am 8. und 9. Oktober 1985 in der LIS, Essen (1986).
- Berichte-Nr. 67: Assmann, J.:  
(vergriffen) Hinweise zur Prognose von Geräuschimmissionen im Rahmen von Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (1986).
- Berichte-Nr. 68: Manns, H. und H. Gies:  
(vergriffen) Erprobung des Schwebstaubmeßgerätes FH 62 I 3 m<sup>3</sup>/h für die automatisierte Immissionsmessung (1986).
- Berichte-Nr. 69: Beine, H.:  
(vergriffen) Phosphorsäureester und verwandte Verbindungen - Umweltrelevanz und luftanalytische Bestimmung (1987).
- Berichte-Nr. 70: Buck, M. und H.-U. Pfeffer:  
(vergriffen) Air Quality Surveillance in the State North-Rhine-Westphalia (F.R.G.). (Vollständig neu bearbeitete Fassung LIS-Berichtes Nr. 46 ) (1987).
- Berichte-Nr. 71: Wefers, H. und H. Katzer:  
(vergriffen) Zusammenstellung von zusätzlichen sicherheitstechnischen Anforderungen an Anlagen zur Lagerung von druckverflüssigtem Ammoniak in Kraftwerken (1987).
- Berichte-Nr. 72: Beier, R., J. Kohlert und M. Buck:  
(vergriffen) Entwicklung der Immissionsbelastung in der Umgebung der Aluminiumhütte im Essener Norden in den Jahren 1984 bis 1986 (1987).
- Berichte-Nr. 73: Schade, H.:  
(vergriffen) Erstellung eines Emissionskatasters und einer Emissionsprognose für Feuerungsanlagen im Sektor Haushalte und Kleinverbraucher des Belastungsgebietes Ruhrgebiet Ost. (1987).

- Berichte-Nr. 74: Beier, R. und M. Buck:  
(vergriffen) Möglichkeit und Grenzen der Nutzung von Luftqualitätsdaten aus diskontinuierlichen Messungen gemäß TA-Luft (1988).
- Berichte-Nr. 75: Koch, E. und P. Altenbeck:  
(vergriffen) Prinzipien des prophylaktischen Immissionsschutzes (1988).
- Berichte-Nr. 76: Giebel, J.:  
(vergriffen) Eine vereinfachte Methode zur Immissionssimulation (1988).
- Berichte-Nr. 77: Külske, S., R. Beier und H.-U. Pfeffer:  
(vergriffen) Die Smoglage vom 14. bis 22. Januar 1987 in Nordrhein-Westfalen und ihre Ursachen. (1988).
- Berichte-Nr. 78: Geueke, K.-J. und H. Niesenhaus:  
(vergriffen) Bestimmung von Benzol in Abgasen (1988).
- Berichte-Nr. 79: Wietlake, K.-H.:  
(vergriffen) Geräuschkürzung durch Teilkapselung von Schmiedehämmern (1988).
- Berichte-Nr. 80: Krause, G.H.M. und B. Prinz:  
Experimentelle Untersuchungen der LIS zur Aufklärung möglicher Ursachen der neuartigen Waldschäden (1989).
- Berichte-Nr. 81: Goldberg, K.H.:  
(vergriffen) Untersuchungen zur Geräuschemission und -ausbreitung von Schußsignalen bei Kleinkaliberschießständen (1988).
- Berichte-Nr. 82: Buck, M. und K. Ellermann:  
(vergriffen) Die Immissionsbelastung durch Benzol in Nordrhein-Westfalen (1988).
- Berichte-Nr. 83: Wefers, H., S. Delling und T. Schulz:  
Hinweise zur Erstellung und Prüfung von betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrplänen nach der Störfall-Verordnung (1988).
- Berichte-Nr. 84: Wefers, H., T. Schulz und R. John:  
(vergriffen) Hinweise und Suchstrategien zu den Stoffen der Störfall-Verordnung (1988).
- LIS-Bericht-Nr. 84 wurde ersetzt durch den LIS-Bericht-Nr. 105 (1992)!
- Berichte-Nr. 85: Krause, G.H.M.:  
Untersuchungen zum Vegetationszustand im Umgebungsbereich der nordrhein-westfälischen Aluminiumhütten mit Hilfe der Falschfarbenfotografie (1988).
- Berichte-Nr. 86: Katzer, H. und R. John:  
Einsatz von Ammoniakwasser in katalytischen DeNO<sub>x</sub>-Anlagen - Ergebnisse an einer Versuchsanlage - (1989).
- Berichte-Nr. 87: Kirschmer, P. und A. Gerlach:  
Immissionsmessungen von Chlorkohlenwasserstoffen - Probenahme, Analyse, Ergebnisse - (1989).
- Berichte-Nr. 88: Euteneuer, U., H. Katzer und H. Wefers:  
Sicherheitstechnische Überprüfung einer verfahrenstechnischen Anlage nach einem modifizierten PAAG-Verfahren am Beispiel eines Flüssiggaslagers (1989).
- Berichte-Nr. 89: Beier, R. und A. Doppelfeld:  
Analyse der räumlichen Repräsentativität automatischer Meßnetze der Luftqualität (1989).
- Berichte-Nr. 90: Beier, R. und J. Kohlert:  
Pilotstudie zur Überwachung von Tetrachlorethen in der Nachbarschaft von Chemisch-Reinigungsanlagen in Nordrhein-Westfalen (1989).

- Berichte-Nr. 91: Buck, M. (Bearb.):  
Asbest-Immissionsbelastung durch Abwitterung.  
Fachkolloquium am 06. Juli 1989 in der LIS NRW, Essen,  
Tagungsbericht. Gem. hrsg. von: Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg, Niedersächsisches Landesamt für Immissionsschutz, Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen (1989).
- Berichte-Nr. 92: Kirschmer, P. und P. Eynck:  
Meßverfahren mit automatisierter Probenahme zur Bestimmung von Aldehyden in der Luft (1989).
- Berichte-Nr. 93: Ehl, W. und A. Ertl:  
Kriterien-Katalog zur "Prüftiefe" bei Sicherheitsanalysen am Beispiel eines Flüssiggaslagers. (1990).
- Berichte-Nr. 94: Manns, H., G. Nitz und B. Striefler:  
Weiterentwicklung und Erprobung von Immissionsmeßverfahren für gesundheitsgefährdende organische Stoffe. (1990).
- Berichte-Nr. 95: Splittgerber, H. und R. Hillen:  
Wahrnehmungsschwelle für Ganzkörperschwingungen in sitzender Körperhaltung. (1991).
- Berichte-Nr. 96: Mang, F. und F. Wolfmüller  
Großvolumige Behälter zur erdgedeckten Lagerung von druckverflüssigtem Propan, Butan und Ammoniak (bearb. von W. v. Borries und H. Katzer). (1991).
- Berichte-Nr. 97: Hansmann, G. und H. Wefers:  
Sicherheitstechnik bei Aktivkoksfiltren an Abfallverbrennungsanlagen  
- Hinweise und Anforderungen aus der Sicht der Störfall-Verordnung (1991)
- Berichte-Nr. 98: Koch, E. und P. Altenbeck:  
Umsetzung der Großfeuerungsanlagen-Richtlinie der EG in den Mitgliedstaaten. (1992)
- Berichte Nr. 99: Beisheim, K., A. Ertl und H. Wefers:  
Sicherheitsanalysen zu Pflanzenschutzmittellägern  
- gutachterliche Bewertung zweier Beispiele. (1992)
- Berichte Nr. 100: Pfeffer, H.-U., H. Dobrick und R. Junker:  
Qualitätssicherung in automatischen Immissionsmeßnetzen.  
Anforderungen an die Telemetrischen Echtzeit-Immissionsmeßsysteme TEMES und MILIS in NRW. (1992)
- Berichte Nr. 101: Beier, R. und A. Doppelfeld:  
Räumliche Übertragbarkeit und Interpolation von Luftqualitätsdaten im Meßnetz TEMES. (1992)
- Berichte Nr. 102: Essers, K.-H.:  
Praxiserfahrungen mit dem LIS-Olfaktometer MEO-5. (1992)
- Berichte Nr. 103: Bröker, G., K.-J. Geueke, E. Hiester und H. Niesenhaus:  
Emission polychlorierter Dibenzo-p-dioxine und -furane aus Hausbrand-Feuerungen. (1992)
- Berichte-Nr. 104: Manns, H. und H. Gies:  
Erprobung des Schwebstaubmeßgerätes FH 62 I-N (1 und 3 m<sup>3</sup>/h, geregelt) für die automatisierte Immissionsmessung. (1992).

Berichte-Nr. 105: Howe, U., M. Mayer, T. Schulz und A. Ertl:  
Hinweise und Suchstrategien zu den Stoffen der Störfallverordnung.  
(1992)

**Hinweis:**

Die Grundlage des LIS-Berichtes bildet eine ständig fortgeschriebene PC-Organismen- und Stoffliste mit modularem Aufbau (mit mehr als 30 Einzellisten) die von der LIS mit Hilfe einer relationalen Datenbank für Personalcomputer erstellt wurde. Die PC-Organismen- und Stoffliste kann auf PC mit Festplatte und dem Betriebssystem MS-DOS (IBM-kompatibel) betrieben werden. Sie wird im Auftrag der LIS von der Fa. Colman Computer Service, Brunnenstr. 61 - 65, 4300 Essen, Tel.: (0201)87206-0, Telefax: (0201) 784559, für DM 195,- vertrieben!