

I. C. Hennen, B. Hofestädt, U. Kalisch, H. N. Marx,
H. Niewisch, U. Tostmann

Mazeration historischer Dachkonstruktionen.

**Erhebung und Klassifizierung des
Schadensumfangs in Sachsen-Anhalt.**

**Entwicklung und Erprobung eines
Schnelltestverfahrens (MATE)**



F 2765

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2010

ISBN 978-3-8167-8384-8

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

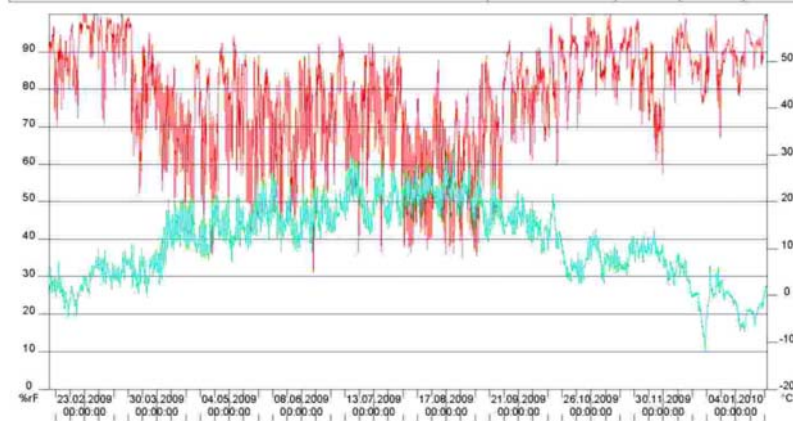
**Mazeration historischer Dachkonstruktionen
Erhebung und Klassifizierung des Schadensumfangs in Sachsen-Anhalt
Entwicklung und Erprobung eines Schnelltestverfahrens (MATE)**

Aktenzeichen DBU 26267
BBR II2-F20-08-1

Abschlussbericht August 2010



Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 2.1			K-1 [%F] Channel 1	31.00	99.90	78.43
Naumburg Dom Dachstuhl			K-2 [°C] Channel 2	-11.70	31.60	11.39
Logger 11.3 Raumklima rel. F. = rot; Temp. = grün			K-3 [°C] Channel 4	-10.90	30.20	11.50
T11.3 Oberflächentemp. Holz = hellblau						



**Mazeration historischer Dachkonstruktionen
Erhebung und Klassifizierung des Schadensumfangs in Sachsen-Anhalt
Entwicklung und Erprobung eines Schnelltestverfahrens (MATE)**

Projektförderer

Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Land Sachsen-Anhalt
Evangelische Kirche in Mitteldeutschland (EKM)

Zuwendungsempfänger

Evangelische Kirche in Mitteldeutschland EKM
(früher Föderation Evangelischer Kirchen Mitteldeutschlands)

Projektpartner

Institut für Diagnostik und Konservierung an Baudenkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt
(IDK) Halle
Ing. Büro Holger Niewisch, Berlin
SVB Marx, Bühl-Vimbuch
Tostmann Arbeitsschutz, Berlin
Dr. I.C.Hennen, Bauforschung – Denkmalpflege, Wittenberg

Toxikologischer Gutachter

Dr. Wolfgang Lingk, Lemgow

Wissenschaftlicher Beirat

Dr. Ute Schoknecht, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin
Dr. Thomas Nitz, Thüringisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie (TLDA),
Erfurt

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

Mazeration historischer Dachkonstruktionen (MATE)

Inhalt

1.	Ausgangslage und Ziele des Projekts	4
2.	Untersuchungsprogramm	6
3.	Stand des Vorhabens	7
4.	Angetroffene Schadensbilder	
	Baukonstruktive Beobachtungen – Umfang und Ausmaß der Mazeration	8
5.	Laborergebnisse	9
5.1	Feuerschutzsalze und/oder Holzschutzmittelbestandteile in den Holzproben	9
5.2	Ergebnisse der Luftmessungen	14
6.	Ergebnisse der Archivrecherchen zu HSM- und FSM-Behandlungen nach 1945	17
6.1	Tangermünde, St. Stephan	17
6.2	Wittenberg, St. Marien	18
6.3	Naumburg, Dom	18
7.	Ergebnisse der Holzfeuchtemessungen	19
8.	Klimamessungen: Installation, Zielrichtung, Ergebnisse	22
9.	Schnelltest: Ansätze und Ergebnisse	25
10.	Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse	28
10.1	Baukonstruktive Bewertungen	29
10.2	Zusammenhang Phosphat-/Sulfatgehalt – Mazerationssgefahr	29
10.3	Zusammenhang Mazeration – Klima	30
10.4	Belastung der Hölzer und der Luft durch DDT und Lindan	30
10.5	Schlussfolgerungen: Arbeits- und Gesundheitsschutz	31
11.	Vorschläge für Grenzwerte – Erste Ansätze zur Senkung der Belastung aus Holzschutzmittel-Rückständen	35
12.	Weiteres Vorgehen	36

Anhang

- Standardarbeitsanleitung zur Holzprobennahme
- Standardarbeitsanleitung zur Staubprobennahme
- Klima-/Holzfeuchtediagramme
- Toxikologisches Gutachten
- Handreichung für die Baupraxis

1. Ausgangslage und Ziele des Projekts

Seit Mitte der 1990er Jahre wurden in Sachsen-Anhalt wie auch in Brandenburg und Thüringen wiederholt Fälle von Holzkorrosion oder Mazeration an historischen Dachstühlen beobachtet. Diese Schäden sind wegen ihres Ausmaßes und der Möglichkeit des weiteren Fortschreitens der zerstörerischen Prozesse, die bis zum Verlust der kompletten Konstruktion führen können, sowohl wirtschaftlich als auch kulturhistorisch und im Blick auf den Arbeits- und Gesundheitsschutz relevant.

Als Mazeration oder Holzkorrosion werden Auffaserungserscheinungen im oberflächennahen Bereich bezeichnet. Dieser Schaden ist an Konstruktionen zu beobachten, die intensiv oder auch mehrfach mit Feuerschutzmitteln behandelt wurden. Im diesem Sinne wurden häufig Salze wie Ammoniumphosphat oder andere anorganische Salze mit mineralisierenden Eigenschaften eingesetzt. Die Schädigung beruht einerseits darauf, dass Salze hygroskopisch sind. Bei steigender Feuchtigkeit in der Umgebungsluft und auf der Holzoberfläche gehen die Salze in Lösung, bei sinkender Feuchtigkeit kristallisieren sie aus. Der Kristallisationsdruck schädigt und lockert die Holzstruktur¹.

Andererseits führt bei Salzverbindungen aus schwachen Basen und starken Säuren die Anlagerung eines Wassermoleküls zur Spaltung der chemischen Verbindung. Im Verlauf dieser Reaktion, der Hydrolyse, bildet sich beispielsweise aus Ammoniumsulfat (und Wasser aus der umgebenden Luft) Schwefelsäure, aus Ammoniumphosphat Phosphorsäure. Diese Säuren greifen das Holz langfristig an.

Einige Objekte wurden durch die am laufenden Vorhaben Beteiligten im Rahmen kleinerer Vorprojekte näher untersucht, wobei sich die Vermutung bestätigte, dass der Eintrag von Flammenschutzmitteln zu der beobachteten „wolligen“ Auflösung der Holzoberflächen geführt hat. Häufig handelt es sich um kulturhistorisch besonders wertvolle Bauwerke – Kirchen, Schlösser, Rathäuser –, die in der Vergangenheit „mit allen Mitteln“ vor Schäden durch Feuer, aber auch gegen Insekten oder Pilze geschützt werden sollten. In einigen Fällen wurden erhebliche Konzentrationen von mit PCP, γ -HCH und DDT nachgewiesen, die u.a. im Holzschutzmittel Hylotox und in Kombinationspräparaten wie Dohnalit FPI Verwendung fanden; „FPI“ steht hierbei für Feuer, Pilze, Insekten.

Am Beispiel des aus dem 15. Jahrhundert stammenden Dachwerks von St. Stephan in Tangermünde konnten 2005 im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) getragenen Modellprojekts die applizierten Präparate, die Motivation zur „Schutzimprägnierung“ mit Feuerschutzmitteln und der Behandlungszeitraum durch Archivforschungen identifiziert werden. Die Ergebnisse wurden durch die chemischen Analysen bestätigt.

Ein vom Land Sachsen-Anhalt und der Föderation Evangelischer Kirchen in Mitteldeutschland (EKMD) im Jahr 2007 finanziertes Vorprojekt diente der systematischen Darstellung des Forschungsstandes und der möglichst erschöpfenden Identifikation von Verdachtsfällen anhand von Archivrecherchen. Dabei stellte sich heraus, dass das Phänomen der Holzkorrosion oder Mazeration als Folge hochdosierter Flammenschutzmittelapplikationen und kombinierter Flammschutz- und Holzschutzanwendungen, wie sie in der DDR üblich waren, in der Forschung bislang allenfalls eine untergeordnete Rolle spielt. Außerdem zeigte sich, dass die möglichen Spätfolgen derartiger Behandlungen und der Gesundheitsschutz der Nutzer betroffener Gebäude ebenso wenig untersucht sind, wie es bislang keine systematische Erfassung der verwendeten Präparate und durch Mehrfachbehandlungen zustande gekommenen Wirkstoffkombinationen gibt. Außerdem fehlen preiswerte und einfach anzuwendende Standardtestverfahren, die zum Nachweis früherer

¹ Schwar, Andreas: Physiko – mechanische Untersuchungen des Schadensmechanismus bei Dachstuhlholzern durch spezifische Holzschutz- und Holzflammschutzmittel. Cottbus 2004 (Dissertation).

chemischer Behandlungen von Holzkonstruktionen eingesetzt werden könnten, um Sicherheit für Handwerker und Nutzer zu schaffen.

Zentrale Ergebnisse des bislang nicht publizierten Abschlussberichts dieses Vorprojekts werden im Folgenden kurz dargestellt.

Grundlage der Flammschutzmittelbehandlungen im Zweiten Weltkrieg war ein Erlass des Reichsluftfahrtministers Göring vom 18. September 1942, demzufolge die Holzbauteile von kultur- und kunstgeschichtlich besonders wertvollen Baudenkmalen einer vorbeugenden Flammschutzbehandlung unterzogen werden mussten. Die Provinzial- und Landeskonservatoren waren von Anfang an in die Feuerschutzaktionen eingebunden. Ihnen oblag es, die zu behandelnden Objekte zu benennen. Auf Veranlassung Robert Hieckes, der als Konservator der Baudenkmale beim Reichsminister für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung für die Denkmalpflege im gesamten Reichsgebiet und damit die Umsetzung des Luftschutzes für Kulturgüter verantwortlich war, wurden im Laufe der Jahre 1942 bis 1944 diverse Listen aufgestellt. Die Eintragung in diese Verzeichnisse begründete den Anspruch der Eigentümer auf Entschädigungszahlungen für die Luftschutzaufwendungen

Im Rahmen der 2007 unternommenen Archivrecherche wurden Aktenbestände im Landesarchiv in Magdeburg, in dessen Außenstelle Dessau und im Bundesarchiv am Standort Berlin-Lichterfelde konsultiert, die darauf abzielten diese Meldelisten aufzufinden. Dabei war festzustellen, dass der insgesamt als relevant einzuschätzende Aktenbestand sich nur lückenhaft erhalten hat. Die Akten des Reichsluftfahrtministeriums sind vollständig untergegangen, die Bestände der Hochbauämter, die an Ort und Stelle in die Feuerschutzmittelaktionen eingebunden waren, haben sich ebenfalls nur teilweise erhalten. Dennoch wurden im Rahmen der Recherche allein für Sachsen-Anhalt 81 Verdachtsfälle identifiziert, die wie der Dachstuhl von St. Stephan zu Tangermünde mit großer Wahrscheinlichkeit in den 1940er Jahren mit Flammschutzmitteln behandelt wurden. Dazu zählen die Stadtkirche St. Marien in Wittenberg, die Dachkonstruktionen des Quedlinburger Stiftsbergensembles, St. Johannis zu Halberstadt, die Dome in Naumburg, Stendal und Magdeburg.

Gleichzeitig wurden weitere Fälle von Mazerationerscheinungen bekannt, zu denen es keine Hinweise aus den erhaltenen Akten zu Flammschutzmittelbehandlungen im Zweiten Weltkrieg gegeben hatte.

Die in den zurückliegenden Jahren beobachteten Fälle deuten also sehr wahrscheinlich auf ein weit verbreitetes Problem, das offenbar das gesamte Gebiet des ehemaligen Deutschen Reiches betrifft. Bislang wurden überwiegend aus den sog. neuen Bundesländern Mazerationen bekannt, was damit zusammenhängen könnte, dass im Zuge von kombinierten Feuerschutz- und Holzschutzmaßnahmen weitere Substanzen eingetragen wurden, die in der Summe mit den Flammschutzmitteln der 1940er Jahre zur Holzkorrosion führen².

Zwei Beispiele – St. Marien zu Wittenberg und St. Servatii zu Quedlinburg – wurden 2007 stichprobenartig nachuntersucht, um einerseits den Aussagewert des Archivmaterials zu überprüfen und andererseits den tatsächlichen quantitativen und qualitativen Schadensumfang genauer einschätzen zu können.

In beiden Fällen waren Feuerschutzsalze nachweisbar, wenn auch in unterschiedlichen Konzentrationen. Es bestätigte sich auch die Vermutung, dass nach 1945 weitere Behandlungen vorgenommen wurden, woraus hohe bzw. sehr hohe Belastungen mit Lindan und DDT resultieren

Durch diese Untersuchungen wurden bereits Voraussetzungen für adäquate Sanierungsmaßnahmen geschaffen.

Im aktuellen Forschungsprojekt (Laufzeit 2008-2010) wurden repräsentativ für die neuen Bundesländer 43 von den über 80 in Sachsen-Anhalt ermittelten Verdachtsfällen näher

² Vgl. den unter 10.2 dargestellten Zusammenhang von Salzkonzentration und Mazerationsgrad.

untersucht, um den tatsächlich durch Mazeration hervorgerufenen Schadensumfang zu bestimmen. Aus den chemischen Analysen haben sich außerdem umfangreiche Erkenntnisse zur Problematik der Belastung historischer Bauten mit DDT, Lindan und PCP ergeben. Diese Ergebnisse bedingten, dass in der Abschlussphase des Projekts ein toxikologisches Gutachten eingeholt wurde, dessen Wortlaut ebenfalls im Anhang wiedergegeben ist. Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollte ein einfach zu handhabendes Schnelltestverfahren entwickelt und an den Objekten erprobt werden.

2. Untersuchungsprogramm

Bei den Untersuchungen vor Ort wurde einem zu Projektbeginn festgelegten Programm aus Holzuntersuchungen und chemischen Analysen, Luft-, Klima- und Feuchtemessungen gefolgt, das im Verlauf der Bearbeitungszeit leicht modifiziert wurde.

Zunächst wurde im Rahmen einer Begehung an 10 bis 20 Hölzern des alten Bestandes eine Mischprobe von der Oberfläche des Holzes aus bis zu 5mm Tiefe genommen, außerdem eine Einzelprobe eines bestimmten Bauteils sowie eine Tiefenprobe. Diese Holzproben wurden im Labor auf DDT, Lindan, PCP, sowie Feuerschutzsalze (Phosphat und Fluorid) geprüft. Nachdem sich gezeigt hatte, dass ein von Mazerationsschäden betroffenes Dachwerk weder Phosphat noch Fluorid enthielt, jedoch Sulfat, wurde die Analyse entsprechend ausgeweitet (s.u.).

Außerdem wurden Klima- und Holzfeuchtwerte ermittelt.

Die relative Feuchte des Holzes wurde im Dachraum am Altholz an der Oberfläche, in 5 mm Tiefe und teilweise auch in 10 mm Tiefe gemessen. Zusätzlich wurden relativ neu eingebaute Hölzer geprüft. Die verwendete Prüfmethode basiert auf elektrischem Widerstand.

Der Zeitpunkt der Untersuchung, die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit im Dachraum wurden festgehalten. An 12 Vertiefungsobjekten wurde der Klimaverlauf über wenigstens ein Jahr protokolliert.

Es erfolgte eine fotografische und/oder zeichnerische Dokumentation. Der optische Eindruck des Holzes einschließlich möglicherweise bestehender statischer Gefährdungen wurde beschrieben und der Grad der Schädigung des Dachwerks grob kategorisiert.

Die Schadensbilder sollten den unterschiedlichen Wirkstoffkombinationen zugeordnet und ein möglicherweise bestehender Zusammenhang zur klimatischen Situation im Dachraum beschrieben werden.

An ausgewählten Beispielen („Vertiefungsfällen“) wurde anhand der Objektakten untersucht, ob nach 1945 weitere chemische Applikationen vorgenommen und welche Präparate ggf. eingesetzt wurden.

Am Tag der jeweiligen Dachraum-Begehung wurde in der Ebene unter dem Dach, also beispielsweise im Kirchenraum, eine Luftmessung vorgenommen, um einen möglichen Einfluss von Holzschutzmittel-Behandlungen des Dachwerks auf die Luft in den dauerhaft oder zeitweilig genutzten Räumen des betroffenen Gebäudes zu erkennen. Dabei wurden jeweils 1000 l Luft durch einen PUR-Schaum-Prüfkörper gesaugt. Im Labor erfolgte die Untersuchung des Prüfkörpers auf DDT und seine Isomere, Lindan und PCP. Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte, Luftmenge und Zeit der Probenahme wurden registriert.

Festzuhalten ist, dass diese einmalig vorgenommenen Luftmessungen Stichproben darstellen (s.u.).

Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse erfolgte eine Ersteinschätzung bzgl. des Arbeits- und Gesundheitsschutzes.

Alle Ergebnisse wurden in einer Datenbank erfasst. Sie werden nach Abschluss des Projektes den betroffenen Verwaltungen und Eigentümern sowie einem Kreis von Sachverständigen präsentiert.

3. Stand des Vorhabens

Das Projekt konnte gemäß des Arbeitsplanes abgeschlossen werden.

Bis Ende April 2010 wurden an 43 Objekten Holzuntersuchungen und Luftmessungen vorgenommen. Am Tag der Untersuchung wurden die Lufttemperatur und der Luftdruck erfasst. Am Naumburger Dom, Schloss Mosigkau, am Oranienbaumer Schloss, der Marktkirche in Halle, der Quedlinburger Stiftskirche und der Stadtkirche St. Marien zu Wittenberg erfolgten seit Projektbeginn Klimamessungen. Dabei konnte z.T. zusätzlich auf ältere Messungen zurückgegriffen werden. Die seit Jahren laufenden Klimamessungen des IDK an verschiedenen Objekten in Sachsen-Anhalt konzentrierten sich zuvor nicht auf die Dachstühle, sondern auf Innenräume und meist im Vergleich dazu auf das Außenklima. Mit dem Mazerationsprojekt erfolgte seit 2009 eine Fokussierung auf die Dachkonstruktionen. Direkte Holzfeuchtemessungen (HF) im Gebälk sind in der nachfolgenden Liste (**Tabelle 1**) ebenfalls aufgeführt.

Tabelle 1: Klimamessungen an Mazerationsverdachtsfällen in Sachsen-Anhalt

Ort	Objekt ¹	Klimamessungen IDK von – bis	
		Innen	außen
Bernburg	Schloss mit Schlosskirche	seit 2006	
Eisleben	St. Petri-Pauli	seit 2009 Jahreszyklus	
Gernrode	Stiftskirche	seit 2006, zusätzlich seit 2009 Jahreszyklus, auch HF-Messungen in Brettern des Dachbodens	seit 2006
Halberstadt	Dom *	seit 1998	seit 1998
	U.L. Frauen	seit 1998	
Halle	Marktkirche *	2006 - 2007	Seit 2008
	Dom *	seit 2000 Kirchenschiff seit 2009 HF-Messungen im Dachstuhl	
Köthen	Schloss	1998 - 2001	1998 - 2001
Magdeburg	Dom *	seit 1999 seit 2009 HF-Messungen im Dachstuhl	seit 1999
	Unser Lieben Frauen		1995 - 1996
Merseburg	Dom*	seit 2003	seit 2003
Mosigkau	Schloss	seit 2009 Jahreszyklus	
Naumburg	Dom *	seit 2003 Kirchenschiff / seit 2009 HF-Messungen im Dachstuhl	seit 2003
Oranienbaum	Schloss	seit 2004	seit 2004
Quedlinburg	Stiftskirche St.Servatii +	seit 2002 (Krypta)	seit 2002
Salzwedel	Marienkirche	seit 2005	seit 2005
Tangermünde	St. Stephan +	seit 2006, auch HF- Messungen im Dachstuhl	seit 2006
Wittenberg	Stadtkirche	2000 - 2002 Kirchenschiff / seit 2009 HF-Messungen im Dachstuhl	
	Lutherhaus *	1998 - 2003 mit Unterbr.	
Wörlitz	Schloss	1997 bis 1998	1997 - 1998

¹ Nach der Objektrecherche Dr. I.C. Hennen, Abk.: + sicher, * wahrscheinlich behandelt; ? zweifelhaft.

Um den Zusammenhang zwischen Mazeration und Klima besser aufzudecken, wurden zusätzlich zu diesen Vertiefungsfällen an 12 Objekten seit April 2009 Klimamessungen mit kontinuierlicher Protokollierung vorgenommen, die wenigstens über ein Jahr geführt werden sollten, weshalb die Projektlaufzeit geringfügig verlängert wurde.

Archivforschungen sind zur Wittenberger Stadtkirche St. Marien und zum Naumburger Dom erfolgt. Aus dem 2005er Vorprojekt liegen entsprechende Ergebnisse bezüglich St. Stephan zu Tangermünde vor.

Sämtliche Untersuchungsergebnisse sind im vorliegenden Bericht niedergelegt.

4. Angetroffene Schadensbilder

Baukonstruktive Beobachtungen – Umfang und Ausmaß der Mazeration

Die untersuchten Kirchen und Profanbauten verfügen in großem Umfang noch über ihre bauzeitlichen Dachkonstruktionen. Das bedeutet auch, dass hier die Holzverbindungen mit ihren Verblattungen und Verkämmungen der Mazeration gegenüber empfindlich sind.



Lediglich die Ende des 19 Jahrhunderts grundlegend instandgesetzten Kirchen zeigen Pfettendächer, sonst sind Kehlbalkendächer mit teilweise riesigen Abmessungen vorhanden, oft höher als das Kirchenschiff. Besonders aufwändig und groß sind die Dachwerke der Hallenkirchen³.

Abb. 1

Detail aus dem Dachstuhl des Domes zu Naumburg mit Bohrungen zur Feuchtemessung und Probenahme

Die Materialien variieren. Dachwerke aus der Zeit vor 1500 sind vor allem in den nördlichen Teilen des Landes Sachsen-Anhalt vielfach aus Eichenholz gebaut worden, häufig handelt es sich auch um Mischkonstruktionen aus Eiche und Tanne. Später wurde mehr und mehr Kiefernholz verwendet. Es zeigte sich, dass besonders das Eichenholz

Mazerationerscheinungen aufweist, holzkorrosiven Einwirkungen gegenüber also weniger widerstandsfähig ist als Nadelholz.

Nach der Bearbeitung von insgesamt 43 Objekten wurden nicht so viele starke Mazerationen identifiziert wie zunächst erwartet.

Sehr starke oder zumindest deutliche Schäden weisen 17 dieser Fälle auf, also gut ein Drittel der Objekte, darunter der Dachstuhl des Domes zu Naumburg und der des SchLOSSchens Mosigkau (s. **Tabelle 2**).

Als gefährdet müssen jedoch zunächst alle Konstruktionen erscheinen, die hohe Phosphat- oder Sulfatkonzentrationen aufweisen (s.u.).

³ Vgl. Eißing, Thomas, Kirchendächer in Thüringen und dem südlichen Sachsen-Anhalt.

Dendrochronologie – Flößerei – Konstruktion, 2 Bde, Erfurt 2009 (= Arbeitsheft des Thüringischen Landesamts für Denkmalpflege und Archäologie, Neue Folge 32).

5. Laborergebnisse

5.1 Feuerschutzsalze und/oder Holzschutzmittelbestandteile in den Holzproben

Die Untersuchung der Holzproben umfasste folgende Biozide: DDT und dessen Isomere, Lindan, PCP und als Feuerschutzsalze Fluoride und Phosphate. Im letzten Projektabschnitt wurde auch der Sulfatgehalt ermittelt, da Mazerationsschäden an Hölzern festgestellt wurden, die weder mit Phosphat- noch mit Fluoridhaltigen Schutzmitteln behandelt worden waren.

In der Anlaufphase des Projekts zeigte sich, dass die Methode der Probennahme von entscheidender Bedeutung ist. Die zum Schutz gegen Feuer wie auch gegen biologische Schäden eingesetzten Präparate wurden im allgemeinen im Sprühverfahren aufgebracht, im Falle des Lutherhauses Wittenberg auch in Bohrlöchern verpresst. Das bedeutet, dass die Substanzen über die Oberflächen ins Holz eingetragen wurden, sich also vor allem im oberflächennahen Bereich des Holzes eingelagert haben oder auch im Verlaufe der Mazeration an der Oberfläche auskristallisieren.

Die Probennahme muss dementsprechend in diesem Bereich erfolgen und nicht – wie üblicherweise zum Nachweis der Wirksamkeit (!) von Holzschutzmitteln – im Inneren des Holzes. Zunächst wurden deshalb jeweils mehrere Oberflächenproben und eine Tiefenprobe entnommen. Seit März 2009 wurden stets Mischproben aus wenigstens 10 Hölzern gewonnen und zwar aus einer Tiefe von 0-5 mm. Zum Vergleich wurde außerdem wenigstens eine Oberflächenprobe aus einem augenscheinlich neuen und unbehandelten Holz im jeweiligen Dachraum entnommen. Dieses Verfahren wird in einer vorläufigen Handlungsanweisung beschrieben (s. Anhang).

Die Analyse der Tiefenproben, die aus dem Altholz unterhalb von 5 mm genommen wurden, zeigte in einigen Fällen noch mehr als 50% der Oberflächenwerte (Quedlinburg, Rathaus, Halle, Dom, Mosigkau Schloss usw.). Das bedeutet, dass die Präparate recht tief ins Holz eingedrungen sind.

**Tabelle 2 Ergebnisse der Laboruntersuchungen an Holzproben aus den Dachkonstruktionen der aufgelisteten Gebäude
Stand: 30.04.2010**

O	= Oberflächenprobe	P	= Probe aus der Ausstattung
T	= Tiefenprobe	H	= Probe aus Holzfasern
M	= Mischprobe	S	= Staubprobe
--	= unterhalb der Bestimmungsgrenze		

Zum Risikoindex s. Pkt. 10.2.

Ort	Datum	Probe	Sulfat = S /Phosphat mg/kg Holz	Fluorid mg/kg Holz	DDT mg/kg Holz	PCP mg/kg Holz	Lindan mg/kg Holz	Risiko- index	Schädigungsgrad
Bernburg Marienkirche	25.03.2009	O1	-	-	-	-	-	0	Sehr gering
		O2	-	-	-	-	-		
		T1	-	-	-	-	-		
Bernburg Nicolaik.	25.03.2009	O1	-	10	-	-	-	0	sehr gering
		O2	-	-	-	-	-		
		T1	-	-	-	-	-		
Bernburg, Schloss	25.03.2009	O1	-	8	-	-	-	0	sehr gering
		O2	-	-	-	-	-		
		T1	-	-	-	-	-		
Blankenburg, Schloss	30.07.2009	M1	27.500	70	690	0,5	0,7	> 10	Sehr stark
		O1	29.400	40	770	0,8	1,7		
		T1			31		4,8		

Brandenburg, Rathaus	17.03.2010	M1	2190	625	0	0,9	-	2	War extrem, gereinigt
		O1	2390	650	0	0,2	0		
		T1	1680	125	0	1,1	0		
Eisleben, St.Andreas	28.04.2009	O1	210	-	-	-	-	0	Gering
		O2	130	-	-	-	-		
		T1	105	-	-	-	-		
Eisleben, St. Petri	28.04.2009	O1	750	-	-	-	-	1	Deutlich
		O2	550	-	-	-	-		
		T1	140	-	-	-	-		
		H1	2600	93					
Eutzsch Dorfkirche	10.07.2009	M1	335	-	1744	1,6	67	2	Salze an der Holz- oberfläche
		O1	430	-	2022	3,7	74		
		T1	310	-	920	2,8	78		
	08.09.2009	P1	-	-	52	-	1,7		
		P2	-	-	170	0,7	11		
Gardelegen, St.Marien	14.05.2009	M1	2850	-	-	-	-	3	Eiche, deutlich Nadelholz, deutlich
		M2	2750	-	-	-	-	3	
		T1	1179	-	-	-	-		
Gernrode, St. Cyriakus	01.07.2009	M1	3080	-	-	-	-	3	keine
		O1	885	435	-	-	-		
		T1	700	-	-	-	-		
Halberstadt, Dom	08.05.2009	O1	3125	-	1	-	-	3	keine
		O2	1950	-	1,3	-	-		
		T1	400	-		-	-		
Halberstadt, Liebfrauen- kirche	08.05.2009	O1	2780	-	561	0,1	10	3	Leicht
		O2	2520	-	638	0,2	12		
		T1	250	-	110		14		
Halberstadt, Martini	19.05.2009	O1	o.B.	o.B.	o.B.	o.B.	o.B.	o.B.	ohne Befund, nicht zugänglich
		O2	o.B.	o.B.	o.B.	o.B.	o.B.		
		T1	o.B.	o.B.	o.B.	o.B.	o.B.		
Halle, Dom	10.02.2009	O1	2500	16	-	-	-	3	Gering
		O2	2400	21	-	-	-		
		T1	1100	12	-	-	-		
Halle, Marktkirche	10.02.2009	O1	3400	40	-	-	-	3	deutlich, im oberen Dachbereich
		O2	4100	19	-	-	-	4	
		T1	43	12	-	-	-		
Halle, Moritzkirche	04.03.2009	O1	-	-	-	-	-	0	gering
		O2	310	10	-	-	-		
		T1	-	-	-	-	-		
Halle, Ulrichskirche	07.04.2010	M1	24.000 S	0	0	0	0,1	> 10	Gering
		O1	285	0	0	0	0,4		
		T1	345	0	0	0,9	0,4		
Havelberg, Dom	10.09.2009	M1	4750	-	-	-	-	5	Deutlich, Eiche Nadelholz, gering
		M2	1750	-	-	-	-		
		T1	1500	-	-	-	-		

Hecklingen	19.05.2009	M1	-	-	-	-	-	0	Kalkanstrich
		O1	-	-	-	-	-		
		T1	-	-	-	-	-		
Huysburg, Abtshaus	30.07.2009	M1	-	1125	1,1	-	-	1	Sehr stark, versiegelt
		O1	10	555	1,7	-	-		
		T1	-	40	0,9	-	-		
Huysburg, Klosterkirche	01.07.2009	M1	565	20	7,2	-	-	1	Salze
		O1	595	20	19,2	0,3	0,3		
		T1	475	-	-	-	-		
Merseburg, Dom	07.04.2010	M1	35000 S	0	0	0,1	0,4	> 10	Sehr gering
		O1	2640	0	0	0,2	0		
		T1	245	0	0	0,2	0		
Mosigkau Schloss	13.02.2009	O1	1400	920	-	-	-	2	Sehr stark
		O2	2400	510	-	-	-	3	
		O3	2100	580	-	-	-		keine unten
		T1	730	620	-	-	-		
Naumburg, Dom	17.02.2009	O1	6300	350	385	6,5	16	7	Sehr stark
		O2	7400	220	2094	4,1	18	7	
		T1	170	270	88	2,7	21		
Naumburg, Wenzelskirche	08.12.2009	M1	-	925	1500	0,3	0,3	10	Sehr stark
		T1	-	-	0,8	-	-		
		H1	-	275	55	-	-		
Oranienbaum, Schloss	08.12.2008	O1	9700	510	3082	3,5	40	10	Deutlich, samtig
		O2	2500	35	464	0,8	29		
		O3	10.600	790	6081	1,9	56		
Osterburg	08.04.2009	O1	355	-	0,2	-	-	0	keine
		O2	25	-	-	-	-		
		T1	100	-	-	-	-		
Quedlinburg, Stiftskirche		O1	-	31	530		1,1	1	Teilweise deutlich
		O2	-	57	340		2,4		
Quedlinburg, Rathaus	26.02.2009	O1	5350	325	387	0,4	6,4	5	Keine
		O2	2600	188	79	0,4	4,6		
		T1	1260	88	97	0,6	6,6		
Salzwedel, Marienkirche	23.02.2009	O1	-	-	3,3	-	-	0	Stark
		O2	-	-	-	-	-		
		T1	-	-	-	-	-		
Salzwedel, Katharinen- kirche	23.02.2009	O1	-	-	-	-	-	0	Gering
		O2	-	-	-	-	-		
		T1	-	-	-	-	-		
Seefeld, Dorfkirche BRB	06.05.2009	M1	3900s	0	780	1200	1,1	4	Starke Salzaus- blühungen
		O1	n.b.	0	3,9	0,8	0,5		
		T1	375	n.b.	120	68	4,2		
Seehausen, Petrikirche	08.04.2009	O1	230	-	-	-	-	0	keine M.
		O2	165	-	-	-	-		
		T1	125	-	-	-	-		

Stendal, Dom	18.03.2009	O1	2920	-	700	1,2	11	4	Gering
		O2	680	-	910	1,2	1,5		
		T1	180	-	470	0,5	18		
Stendal, Marienkirche	18.03.2009	O1	3655	-	-	-	-	4	Gering, Nadelholz Deutlich, Eiche
		O2	4380	-	-	-	-		
		T1	1645	-	-	-	-		
Tangermünde Rathaus	16.06.2009	M1	3970	-	498	-	69	4	Keine
		O1	3240	-	376	-	54		
		T1	3425	-	322	-	36		
Tangermünde, St. Stefan	2006	O1	41500S 8150	6,3	2,6 DDT	-	-	>10	Gering
		O2	12250S 1480	-	1,0	-	1,1		
		O3	32300S 3800	-	0,8	-	2,9		
		O4	25850S 2830	-	0,6	-	-		
Werben, Johanniskirche	10.09.2009	M1	160	-	-	-	-	0	Gering
		O1	205	-	-	-	-		
		T1	0	-	-	-	-		
Wernigerode, Schloss	30.11.2009	M1	7500	1375	-	-	-	9	Gering bis deutlich
		O1	3900	200	-	-	-		
		T1	675	78	-	-	-		
		H1	9900	>4.500	-	-	-		
Wittenberg, St. Marien		M1	7390	-	1147	23	48	7	Teilweise deutlich Rep. Holz
		O1	1700	22	1900		6,1		
		O2	72	19	1400		5,2		
		S1	7500	38	879	9,8	8,5		
Wörlitz, Schloss	13.02.2009	O1	1800	98	419	0,2	25	2	Gering
		O2	270	32	1850	4,6	8,7		
		T1	36	13	1000	2,7	9,1		
Zeitz, Dom	08.12.2009	M1	29000 S	49	1800	0,4	0,7	>10	stark, nach Reinigung
		O1	-	11	3300	1,4	1,6		
		T1	-	-	300	0,3	5,1		
		H1	72500 S	35	7200		0,3		
Zeitz, Schloss	08.12.2009	M1	-	12	1300	1	3,2	1	gering, Salzausblühungen

Die in **Tabelle 2** zusammengefassten Ergebnisse zeigen sehr unterschiedliche Werte. Sieben der untersuchten Bauwerke wurden trotz der aktenkundlichen Anweisung nicht mit Feuerschutzmitteln behandelt. Dies trifft auf das Schloss und die Kirchen in Bernburg, die Kirche in Hecklingen, St. Martin in Halberstadt und evtl. auch die Stiftskirche in Quedlinburg zu. Letztgenannter Dachstuhl weist relativ niedrige Fluoridkonzentrationen auf, gleichzeitig sind DDT und geringe Mengen Lindan nachweisbar, was auf eine Kombinationsbehandlung nach 1945 hinweist. Offensichtlich wurden an den Dachwerken, die keine Feuerschutzsalze aufweisen, aus bisher unbekannten Gründen die Feuerschutzmaßnahmen unterlassen. Die Proben aus den Dachwerken der Kirchen in Salzwedel erbrachten keine brauchbaren Ergebnisse.

An 17 der untersuchten Objekte wurden ausschließlich Feuerschutzsalze nachgewiesen. Hier wurden nach 1945 offenbar keine Holzschutzmittel appliziert, allenfalls weitere Flamm-schutzmittelbehandlungen vorgenommen.

Die höchsten Phosphat-, Sulfat und Fluoridkonzentrationen weisen das Blankenburger Schloss, der Zeitzer Dom, Schloss Oranienbaum, der Naumburger Dom und die Stadtkirche in Wittenberg auf.

Biozide wurden an 16 der untersuchten Dachkonstruktionen nachgewiesen. Diese Objekte wurden offenbar zunächst im Zweiten Weltkrieg mit Feuerschutzsalzen und später mit Holzschutzmitteln oder Kombinationspräparaten behandelt. Hierzu gehören z.B. die Stadtkirche Wittenberg, das Quedlinburger Rathaus und das Blankenburger Schloss.

Hohe Phosphatwerte deuten auf FSM-Behandlungen der 1940er Jahre, hohe Fluoridwerte weisen auf Behandlungen nach 1945 (1949) mit sog. Dreifachmitteln bzw. auf Mehrfachbehandlungen hin. Im Falle des stark geschädigten Naumburger Doms wurden hohe Phosphat- und hohe DDT-Konzentrationen nachgewiesen.

Die hohen Konzentrationen lassen sich z.T. nur damit erklären, dass wiederholt Feuerschutzmittel- und/oder Holzschutzmittel-Anwendungen stattfanden. Dem entsprechend deutet z.B. ein Phosphatgehalt über 2500 mg/kg Holz auf eine starke Belastung in Folge von Mehrfachbehandlungen.

Die an am Dachwerk der Stiftskirche zu Quedlinburg ermittelten Werte lassen vermuten, dass nach 1945 ein Kombinationspräparat Anwendung fand, eine Flammenschutzmittelbehandlung im Zweiten Weltkrieg jedoch unterblieb. Als vergleichbar können die in Eutzsch, der Wenzelskirche in Naumburg und dem Schloss zu Zeitz ermittelten Konzentrationen angesehen werden: relativ niedrige Phosphat-/Sulfat- oder Fluoridkonzentrationen bei gleichzeitig hohem DDT-Gehalt.

Sehr hoch stellte sich der Biozidgehalt des Holzes im Naumburger Dom, im Schloss Oranienbaum und der Dorfkirche in Eutzsch bei Wittenberg dar. Es handelt es sich in der Regel um DDT, das ab Ende der 1950er Jahre z.B. im Produkt Hylotox in verschiedenen Rezepturen verwendet wurde.

Zur Bewertung der Belastung mit PCP, DDT und Lindan werden von unabhängigen Instituten folgende Konzentrationen vorgeschlagen:

Tabelle 3 Richtwerte zur Bewertung von PCP-, DDT- und Lindankonzentrationen im Holz

Belastung mit PCP und DDT	Belastung mit Lindan	Bewertung
bis 30 mg/kg	bis 5 mg/kg	gering belastet
30 – 200 mg/kg	5 – 30 mg/kg	deutlich belastet
200 – 1000 mg/kg	30 – 100 mg/kg	hohe Belastung
über 1000 mg/kg	über 100 mg/kg	sehr hohe Belastung

Gravierende Mazerationserscheinungen zeigen sich ganz offenbar dort, wo Flammenschutzmittel (FSM) und Holzschutzmittel (HSM) in der Zeit der DDR appliziert wurden, wo also sowohl anorganische (FSM) als organische Stoffe (HSM) aufgebracht wurden.

Bei der Probennahme wurden neben Misch- und Einzelproben oberflächennaher Schichten jeweils auch Holzproben entnommen, die aus Schichten stammen, die ca. 5 mm unter der Oberfläche beginnen. Da die Schutzmittel meistens im Sprühverfahren aufgebracht wurden, war zu erwarten, dass der Gehalt an Bioziden und auch an Feuerschutzmitteln in der Tiefe erheblich geringer als an der Oberfläche war. Von Interesse für kurative Verfahren ist jedoch, dass die Abnahme des Gehalts an Feuerschutzsalzen völlig unterschiedlich ist.

Während die Tiefenprobe aus der Marktkirche in Halle nur noch 1% der Konzentration der Oberflächenprobe aufwies, wurde in Eisleben, St. Andreas, 80% der Konzentration der Oberflächenprobe nachgewiesen. Ein ähnliches Bild zeigte sich beim Vergleich der Proben aus dem Dachwerk des Rathauses Tangermünde.

Im Schloss von Blankenburg stehen extrem hohe Oberflächenwerte von 29 000 mg Phosphat einer nicht mehr nachweisbaren Konzentration in der Tiefenprobe gegenüber.

Große Unterschiede der Werte für Feuerschutzsalzkonzentrationen zwischen Holzoberfläche und -Tiefe korrespondieren mit starken Mazerationserscheinungen. Sie deuten an, dass sich die Feuerschutzsalze an der Oberfläche angereichert haben, was auf starke und häufige Wechsel der Holzfeuchtigkeit zurückzuführen ist. So zeigt das Rathaus in Tangermünde hohe Phosphatwerte an der Oberfläche und in der Tiefe und kaum Mazerationserscheinungen. Im Schloss Blankenburg oder auch im Naumburger Dom dagegen sind die Werte der Tiefenprobe gering bei hohem Salzgehalt der Oberfläche, gleichzeitig sind starke Schädigungen durch Holzkorrosion festzustellen.

Bei den Bioziden sind ebenfalls erhebliche Schwankungen des Verhältnisses von Oberflächen- und Tiefenproben vorhanden. Wiederum sind in Schloss Blankenburg und im Dom zu Naumburg die Werte des DDT-Gehalts der Tiefenprobe mit 4% der Oberflächenprobe extrem niedrig, während im Rathaus von Tangermünde die Tiefenprobe 86% des DDT-Gehalts der Oberflächenprobe enthält.

Dies dürfte einen Hinweis darauf darstellen, dass die Feuerschutzsalze, die zur Anreicherung an der Oberfläche neigen, die Biozide mit an die Holzoberfläche transportieren. Sind Hölzer mit Bioziden behandelt und es kommt zur Holzkorrosion, dann sind die sich ablösenden Fasern in hohem Umfang kontaminiert.

Für kurative Maßnahmen bedeutet dies, dass bei starker Mazeration Mittel und Maßnahmen erforderlich sind, die in den äußeren Schichten des Holzes Salze und Biozide entfernen oder neutralisieren (Beispiele Naumburger Dom und Schloss Blankenburg). Sind dagegen hohe Werte in oberen und unteren Holzschichten ermittelt worden, ist damit zu rechnen, dass es bei Veränderung der Klimaverhältnisse im Dachraum plötzlich zu starker Mazeration kommen wird (Beispiel Rathaus Tangermünde; s.u.).

Dem entsprechend kann also der Vergleich von Oberflächen- zur Tiefenprobe weitere Informationen liefern, welche klimatischen Verhältnisse in den Dachräumen geherrscht haben und welche Dachkonstruktionen „schlafende“ Mazerationsfälle sind.

5.2 Ergebnisse der Luftmessungen

Die Ergebnisse der Luftmessungen (**Tabelle 4**), die in den Kirchenräumen bzw. in Räumen unterhalb der Dachebene vorgenommen wurden, stehen z.T. in scheinbarem Widerspruch zu denen der Holzanalysen im Dach. Teilweise kommen in den Luftanalysen andere Stoffe vor als im Dach nachweisbar sind. Daraus kann geschlossen werden, dass auch die Ausstattungen der Gebäude chemisch behandelt wurden, wofür es auch aus den Akten Hinweise gibt (s.u.). Festzustellen ist, dass im Dach häufig hohe DDT-Konzentrationen aber selten hohe Lindangehalte gemessen wurden, während im Kirchenraum häufig erhöhte Lindangehalte zu verzeichnen sind. Häufig wurde durch die Luftmessungen und die Auswertung der Holzproben eine Kombination der Mittel nachgewiesen. Dieser Befund betrifft u.a. das Rathaus Quedlinburg, St. Marien Wittenberg, St. Andreas Eisleben und die Marktkirche Halle.

Die Unterschiede bestehen sowohl hinsichtlich der Quantitäten als auch der stofflichen Eigenschaften. So gibt es zwar z.B. in der Kirche in Eutzsch (350 ng DDT/m³ Luft) oder der Liebfrauenkirche in Halberstadt (800 ng DDT/m³ Luft) auch starke Luftbelastungen durch DDT, doch treten hier wie auch an vergleichbaren Fällen zusätzlich hohe Lindan- und PCP-Gehalte auf. In Eutzsch wurden 460 ng Lindan/m³ Luft, in Osterburg 170 ng Lindan/m³ Luft gemessen, in der Klosterkirche Huysburg 310 ng PCP/m³ Luft.



Abb. 2: Luftmessung im Schloss Bernburg.

Den Projektbeteiligten stellte sich die Frage, wie diese Wirkstoffkombinationen zu bewerten seien, weshalb ein Index diskutiert wurde, der die von den gemeinsam vorkommenden unterschiedlichen Stoffen ausgehende Gefährdung berücksichtigte. Da es bisher keine anerkannten Verfahren für eine Risikobewertung von Kombinationswirkungen von Schadstoffen gibt, wurde dieser Ansatz verworfen. Üblich ist es, die – unterschiedlich wirkenden – Einzelstoffe zu bewerten und aus dieser Bewertung Maßnahmen für die Zukunft abzuleiten.

**Tabelle 4 Ergebnisse der Luftmessungen
Stand: 30.04.2010**

Ergebnis der Luftuntersuchungen

Ort	Datum	DDT ng/m ³ Luft	Lindan ng/m ³ Luft	PCP ng/m ³ Luft
Bernburg Marienkirche	25.03.2009	2	0	3
Bernburg Nicolai.	25.03.2009	1	1	2
Bernburg, Schloss	25.03.2009	0	0	0
Blankenburg, Schloss	30.07.2009	380	32	14

Brandenburg, Rathaus	17.03.2010	o.B.	o.B.	o.B.
Eisleben, St.Andreas	28.04.2009	119	110	8
Eisleben, St. Petri	28.04.2009	4	11	12
Eutzsch Dorfkirche	10.07.2009	349	460	4
Gardelegen, St.Marien	14.05.2009	98	56	8
Gernrode, St. Cyriakus	01.07.2009	4	25	8
Halberstadt, Dom	08.05.2009	30	13	9
Halberstadt, Liebfrauenkirche	08.05.2009	803	31	5
Halberstadt, Martini	19.05.2009	5	5	5
Halle, Dom	10.02.2009	30	8	1
Halle, Marktkirche	10.02.2009	12	20	59
Halle, Moritzkirche	04.03.2009	16	5	20
Halle, Ulrichskirche	07.04.2010	4	2	1
Havelberg, Dom	10.09.2009	39	34	5
Hecklingen	19.05.2009	2	4	11
Huysburg, Abtshaus	30.07.2009	291	21	3
Huysburg, Klosterkirche	01.07.2009	120	9	310
Merseburg, Dom	07.04.2010	42	6	0
Mosigkau Schloss	13.02.2009	14	6	12

Naumburg, Dom	17.02.2009	11	5	1
Naumburg, Wenzelskirche	08.12.2009	217	8	5
Oranienbaum, Schloss	08.12.2008	100	8	4
Osterburg	08.04.2009	172	170	6
Quedlinburg, Stiftskirche	26.02.2009	59	6	40
Quedlinburg, Rathaus	26.02.2009	105	14	67
Salzwedel, Marienkirche	23.02.2009	1	2	1
Salzwedel, Katharinenkirche	23.02.2009	1	2	32
Seefeld, Dorfkirche BRB	06.05.2009	61	24	3
Seehausen, Petrikirche	08.04.2009	104	42	7
Stendal, Dom	18.03.2009	62	36	3
Stendal, Marienkirche	18.03.2009	18	4	4
Tangermünde Rathaus	16.06.2009	378	150	7
Tangermünde, St. Stefan	16.06.2009	22	47	9
Werben, Johanniskirche	10.09.2009	168	21	11
Wernigerode, Schloss	30.11.2009	3	6	2
Wittenberg, St. Marien	25.11.2008	14	30	43
Wörlitz, Schloss	13.02.2009	8	8	3
Zeitz, Dom	08.12.2009	o.B.	o.B.	o.B.
Zeitz, Schloss	08.12.2009	o.B.	o.B.	o.B.

6. Ergebnisse der Archivrecherchen zu HSM- und FSM-Behandlungen nach 1945

Die Archivrecherchen bezogen sich auf nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs vorgenommene Flammenschutz- und/oder Holzschutzmittelbehandlungen am Dachwerk und/ oder an der Ausstattung des Gebäudes.

6.1 Tangermünde, St. Stephan

Im Kirchenarchiv Tangermünde (KiA Tangermünde) wurden 2004/05 die Rechnungsbücher der Kirchenkasse (KiRe, KiKa) Manuale und Belege für die Jahre 1900 bis 2003 eingesehen.

Durch eine Umstellung in der Belegverwaltung und eine mangelhafte Archivierung sind die Zahlungsbelege für die Jahre ab 1976 unvollständig. Aus den Akten geht jedoch hervor, dass im Jahre 1971 eine Hylotox-Applikation an Teilen der jüngeren Ausstattung vorgenommen wurde. Die ältere Ausstattung wird laut korrespondierender Akten im LDA ausdrücklich davon ausgenommen. 1985 erfolgte eine zweite Hylotox-Behandlung an der Orgel und den Emporen.

6.2 Wittenberg, St. Marien

Im Kirchenarchiv Wittenberg (KiA Wittenberg B169) konnten Schriftstücke aufgefunden werden, die für den Herbst 1967 (13.-26.9.1967) eine Behandlung des Dachstuhls von St. Marien mit Hylotox IP oder Hylotox 59 belegen, u.a. die Auftragsbestätigung der PGH Bautenschutz, die ein Angebot für Hylotox 59 unterbreitet hatte. In diesem Schriftverkehr, an dem das Institut für Denkmalpflege und das Konsistorium beteiligt waren, werden DDT bzw. Lindan als Inhaltsstoffe explizit benannt, auch wird das Sprühverfahren erwähnt.

1977 wird eine Holzschutzbehandlung für sämtliche Einbauteile der Stadtkirche St. Marien geplant (KiBA Magdeburg, Wittenberg/Stadtkirche, 1963-1983). Ob diese auch ausgeführt wurde, geht aus den Unterlagen nicht hervor.

Dokumente, die irgendwelche Nachuntersuchungen belegen, wurden nicht aufgefunden.

6.3 Naumburg, Dom

Sämtliche Dachstühle des Domkomplexes wurden laut der im Domarchiv eingesehenen Akten (D 303 Dombau, Bausachen XIX^b, Abt. 1, Nr. 5) in den Jahren 1975/76 behandelt:

1. gegen holzerstörende Insekten
2. gegen Pilze und z.T. gegen schnelle Entflammbarkeit; dieser Arbeitsgang erfolgte mit zeitlichem Abstand.

Eingesetzt wurden laut Angebot der PGH Schädlingsbekämpfung und Holzschutz, Querfurt, vom 24.3.1975 folgende Mengen der genannten Präparate, die im Sprühverfahren in drei Arbeitsgängen appliziert wurden:

Tabelle 5: Holzschutzmitteleinsatz in Naumburg 1975/76

Dachstuhl	Kombinal TO Kg	Hylotox 59 kg	Kulbasal 55 FP Kg
Glockenturm (W-Turm)	195	490	345
Glockenstuhl Glockenturm	146	50	97
Boden Aula I	-	267	135
Boden II, III	-	357	178
Schulboden	-	1.485	742
Ostturm I	-	265	133
Ostturm II	-	325	163
Dreikönigskapelle	-	275	138
Seitenschiff Hof- Straßenseite	-	250	125
Hauptboden	-	2.165	1.085
Summe	341	5.929	3.143

Die Fläche im Glockenturm ist mit 483,5 m², die des Hauptbodens mit 5408 m² angegeben.

Das Angebot der PGH wurde am 18.4.1975 beauftragt. Die Ausführung erfolgte 1975/1976, nachdem im November 1974 eine Begehung mit dem Querfurter Holzschützer stattgefunden hatte. In deren Verlauf hatte „Herr Jauxs (...) vom Boden ein Schild mitgebracht, nach diesem müßten die Balken – sicher vor oder nach der Kriegszeit – mit Flammenschutzmitteln präpariert sein. Er hätte noch letzte Spuren davon feststellen können. Es wäre zu überlegen, die Holzeinbauten erneut zu behandeln“.

(Außerdem wurden 1951 „Deckschienen“ für die Bleiglasfenster eingesetzt, die aus Eichenholz bestehen und mit Xylamon vorbehandelt waren. 1974 wurde der Schwammbefall in der Hausmeisterwohnung „fertig gespritzt“, 1979 schlug Hauptkonservator Riemann vor, das Gestühl des Ostchores mit Piaflex zu behandeln. Piaflex war ein Klarlack).

Ernst Schubert stellte noch im Jahr 2001 fest: „Der Dachstuhl (des Domes, I.C.H.) war und ist in einem gutem Zustand. Nur vereinzelt mußten die Dachlatten und die Konterlattung ausgetauscht werden“.⁴ Es stellt sich die Frage, ob die gravierenden Mazerationserscheinungen damals noch nicht zu sehen waren.

7. Ergebnisse der Holzfeuchtemessungen

Nach einigen enttäuschenden Versuchen mit Mikrowellenmessgeräten wurde dieses Verfahren verworfen und die relative Holzfeuchte vor Ort mit einem konventionellen Messgerät erfasst, das auf Basis des elektrischen Widerstandes arbeitet („Hydromette“). Dabei wurden Messungen am Altholz an der Oberfläche, in 5 mm Tiefe und teilweise auch in 10 mm Tiefe vorgenommen. Zusätzlich wurden relativ neu eingebaute Hölzer geprüft.

Die Ergebnisse (s. **Tabelle 6**) waren bei den Oberflächen der Althölzer äußerst unterschiedlich. Wurden im Winter und Frühjahr teilweise Werte bis zu 73% gemessen, so waren die Werte im Sommer selbst bei starker Versalzung der Hölzer nicht höher als 15 – 16%. Eine Abweichung zeigte das Abtshaus in Huysburg, wo um die 29% angezeigt wurden. Hier waren die Holzoberflächen allerdings mit einem Maskierungsmittel behandelt worden.

Bei den Tiefenmessungen des Altholzes ergaben sich nicht so große Differenzen. Am höchsten war der Wert im Dom zu Naumburg mit 22% im Februar. Im Sommer nahmen die Werte ab und lagen bei 11 – 13%. Ausreißer sind hier nach unten die Holzfeuchtigkeiten in stark genutzten und beheizten Gebäuden, wo teilweise Werte unter 10% ermittelt wurden. Die Vergleichswerte von neu eingebauten, also unbehandelten Hölzern lagen in der Regel nahe an der Tiefenmessung.

Hieraus kann die Hypothese abgeleitet werden, dass die salzbedingte Feuchtaufnahme sich vor allem an der Oberfläche bis zu 5 mm Tiefe abspielt. Darunter liegende Schichten verhalten sich trotz teilweise erheblicher Salzgehalte ähnlich wie neu eingebautes Holz. Darüber hinaus nimmt die Feuchtigkeit der Oberflächen im Sommer sehr stark ab, wodurch die Salze kristallisieren und somit die elektrische Leitfähigkeit stark vermindert wird.

An mehreren ausgewählten Objekten (Dome in Halle, Naumburg und Magdeburg, sowie in der Stadtkirche Wittenberg) erfolgen im Rahmen des Projektes detaillierte Untersuchungen der klimaabhängigen Holzfeuchteänderung. Ziel dieser Messungen mit verschiedenen Systemen ist es, genauere Informationen über die Dynamik der Materialfeuchteänderungen und das Feuchteverhalten in den Hölzern und an ihren Oberflächen zu erhalten. Dabei sind die Messvorrichtungen so konzipiert, dass Wertereihen aus verschiedenen Holztiefen gewonnen werden. Die **Abbildungen 3 und 4** zeigen eine solche Vorrichtung im Dachstuhl des hallischen Domes.

⁴ Ernst Schubert, „Naumburger Dom, Domherrenkurien und Anlagen um den Dom – Instandsetzungsmaßnahmen 1990-2000“, in: Naumburg an der Saale, Beiträge zur Stadtgeschichte und Stadtansanierung, hrsg. Von der Stadt Naumburg, Petersberg: Imhof 2001, S. 195.

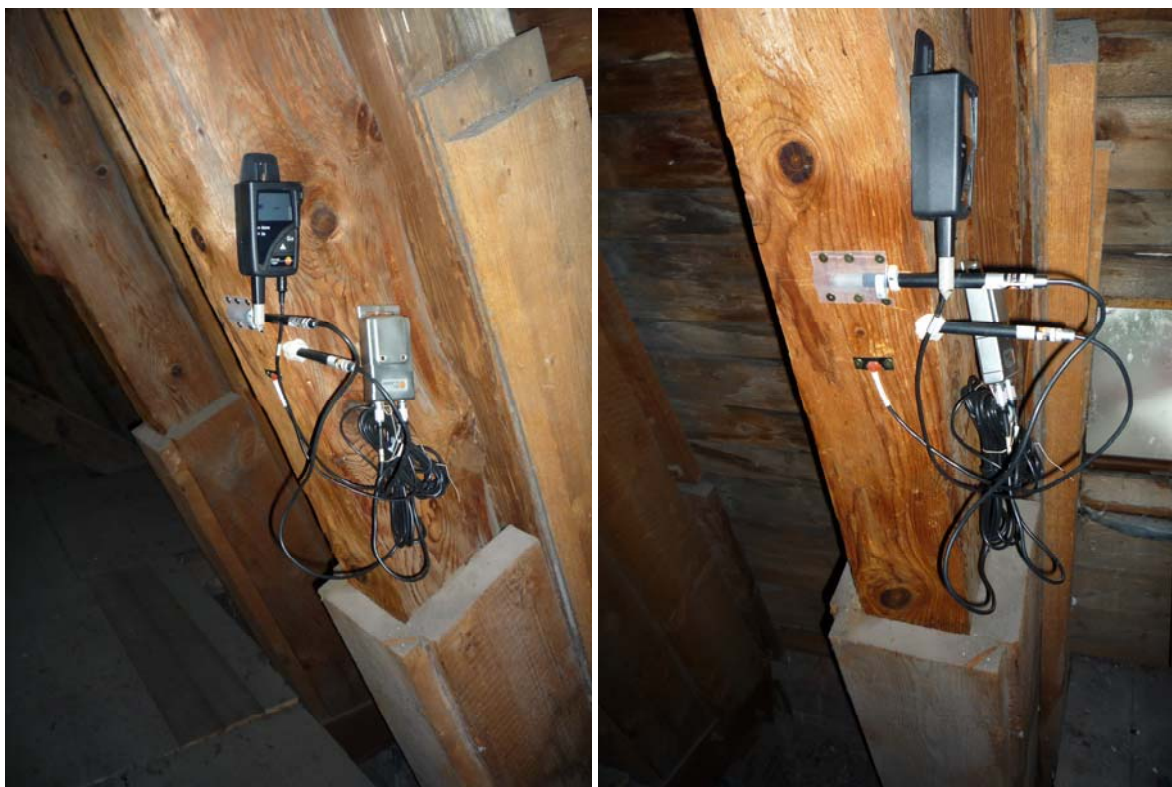


Abb. 3 und 4 Halle, Dom: Messgeräteanordnung zur klimaabhängigen Holzfeuchteänderung

Die seit 2005 laufenden Langzeitmessungen in der Stephanuskirche von Tangermünde bestimmen die Ausgleichsfeuchte des Holzes in ca. 4-5 cm Tiefe.

**Tabelle 6 Ergebnisse der Holzfeuchtemessungen mit der Hydromette und Grad der Mazeration
Stand: 30.04.2010**

Ort	Datum	Altholz Oberfl. %	Altholz Tiefe %	Neuholz Oberfl. %	Temp °C	Luft- feuchte %	Schädigungsgrad
Bernburg Marienkirche	25.03.2009	18	16	15	n.erh.	n.erh.	Sehr gering
Bernburg Nicolaiik.	25.03.2009	20	17	16	n.erh.	n.erh.	sehr gering
Bernburg, Schloss	25.03.2009	17	6	11	11	n.erh.	sehr gering
Blankenburg, Schloss ⁵	30.07.2009	15	11	11	24	40	Sehr stark
Brandenburg, Rathaus	17.03.2010	25-56	15-18	16	9	68	War extrem, gereinigt
Eisleben, St.Andreas	28.04.2009	18	13	14	18	53	Gering
Eisleben, St. Petri	28.04.2009	18	12	13	21	60	Deutlich

⁵ Vgl. die Diagramme DG05, DG05.01, DG05.02 im Anhang

Eutzsch Dorfkirche	10.07.2009	15-17	12	11	19	62	Salze an der Holz- oberfläche
Gardelegen, St.Marien	14.05.2009	17-18	15	13	18	43	Eiche, deutlich Nadelholz, deutlich
Gernrode, St. Cyriakus	01.07.2009	16	11	11	27	67	keine
Halberstadt, Dom	08.05.2009	20	13	13	18	65	keine
Halberstadt, Liebfrauenkirche	08.05.2009	18-20	15	13	17	64	Leicht
Halberstadt, Martini	19.05.2009	o.B.	o.B.	o.B.	o.B.	o.B.	ohne Befund, nicht zugänglich
Halle, Dom ⁶	10.02.2009	31	15	25	7	s.Diagramm 1.1	Gering
Halle, Marktkirche	10.02.2009	42	19	14	8	n.erh.	deutlich, im oberen Dachbereich
Halle, Moritzkirche	04.03.2009	17	13	13	n.erh.	n.erh.	gering
Halle, Ulrichskirche	07.04.2010	14	12	10	19	43	Gering
Havelberg, Dom	10.09.2009	19-23 18-25	13	14	19	67	Deutlich, Eiche Nadelholz, gering
Hecklingen	19.05.2009	14	11	11	25	48	Kalkanstrich
Huysburg, Abtshaus	30.07.2009	18-29	10	9	28	43	Sehr stark, versiegelt
Huysburg, Klosterkirche	01.07.2009	16	10	10	28	60	Salze
Merseburg, Dom	07.04.2010	18	14	12	13	55	Sehr gering
Mosigkau Schloss	13.02.2009	29-50	15	17	2	n.erh.	Sehr stark keine unten
Naumburg, Dom ⁷	17.02.2009	49-73	22	19	s.Diagramm 2.1	s.Diagramm 2.1	Sehr stark
Naumburg, Wenzelskirche	08.12.2009	21-76	17	16-18	9	75	Sehr stark
Oranienbaum, Schloss	08.12.2008	30-36	n.erh.	21	n.erh.	n.erh.	Deutlich, samtig
Osterburg	08.04.2009	20	14	17	14	65	keine

⁶ Vgl. die Diagramme DG01, DG01.01 und DG01.02.

⁷ Vgl. die Diagramme DG02, DG02.01, DG02.02 im Anhang

Quedlinburg, Stiftskirche ⁸	26.02.2009	-	-	-	-	-	Teilweise deutlich
Quedlinburg, Rathaus	26.02.2009	14	13	13	14	n.erh.	Keine
Salzwedel, Marienkirche	23.02.2009	53-65	20	20-22	n.erh.	n.erh.	Stark
Salzwedel, Katharinenkirche	23.02.2009	50	17,5	20	n.erh.	n.erh.	Gering
Seefeld, Dorfkirche BRB	06.05.2009	15-16	12	16	11	70	Starke Salzaus- blühungen
Seehausen, Petrikerkirche	08.04.2009	22	19	17	14	78	keine M.
Stendal, Dom	18.03.2009	30	19	18	n.erh.	n.erh.	Gering
Stendal, Marienkirche	18.03.2009	30 51	17 19	17 17	n.erh.	n.erh.	Gering, Nadelholz Deutlich, Eiche
Tangermünde Rathaus	16.06.2009	17-20	14	14	20	60	Keine
Tangermünde, St. Stefan	16.06.2009	20	14	14	17	57	Gering
Werben, Johanniskirche	10.09.2009	13-14	11	11	21	60	Gering
Wernigerode, Schloss	30.11.2009	17-23	11 13	13	9	69	Gering bis deutlich
Wittenberg, St. Marien ⁹							Teilweise deutlich Rep. Holz
Wörlitz, Schloss	13.02.2009	33	12	15	5	80	Gering
Zeitz, Dom	08.12.2009	26-56	14 16	16 17	8	80	stark, nach Reinigung
Zeitz, Schloss	08.12.2009	27-35	19	19	9	79	gering, Salzausblühungen

8. Klimamessungen: Installation, Zielrichtung, Ergebnisse

Die Materialfeuchte des Holzes in Dachwerken wird sehr stark durch das umgebende Raumklima bestimmt. Starke Schwankungen der relativen Luftfeuchte und Lufttemperatur führen durch Sorptionsprozesse zu Veränderungen der Materialfeuchte des Holzes.

In der überwiegenden Anzahl der untersuchten Dachkonstruktionen traten im Jahresverlauf sehr starke Schwankungen der relativen Luftfeuchte und Lufttemperatur auf (vergleiche

⁸ Ergebnisse unbrauchbar: Mikrowellenmessverfahren.

⁹ Vgl. die Diagramme DG04, DG04.01 und DG04.02 im Anhang.

Diagramme 01.01 bis 05.01 im Anhang). Luftfeuchteschwankungen zwischen 35 % und 100 % rel. Feuchte sowie Lufttemperaturschwankungen zwischen -10 °C und 30 °C waren keine Ausnahme. Während die Ausgleichsfeuchte im Holz Einfluss auf das Sorptions- und damit das Lösungsverhalten der hygroskopischen Feuerschutzsalze hat, befördern hohe Luft- und Holztemperaturen die Biozidausgasung aus behandelten Hölzern. Aus diesem Grund bedürfen Luftschadstoffmessungen, die bei geringen Temperaturen durchgeführt wurden, einer Überprüfung unter sommerlichen Bedingungen.

Nach dem bisherigen Stand der Klima- und Holzfeuchtemessungen korreliert die Stärke der Mazerationsschäden bei ähnlicher Behandlungsintensität stark mit den Klimabedingungen in den Dachstühlen, die durch sehr hohe und stark schwankende Werte der relativen Luftfeuchte gekennzeichnet sind. Dabei sind insbesondere die relativen Luftfeuchten zu berücksichtigen, die im Kontaktbereich der Raumlufte zur Holzoberfläche auftreten. Je nach Differenz zwischen der Raumlufte- und Holztemperatur ergeben sich für diesen Grenzwert der relativen Luftfeuchte von der mittleren relativen Raumluftefeuchte stark abweichende Werte. Die Messergebnisse aus dem Dachstuhl des Blankenburger Schlosses sind dafür ein wichtiges Beispiel (siehe Diagramm 05.01 im Anhang).

Stark mazerierte Dachstühle wie die im Naumburger Dom oder im Blankenburger Schloss weisen verbunden mit häufigen Kondensationsereignissen deutlich stärkere Klimaschwankungen auf als weniger stark geschädigte Dachstühle, wie etwa im Dom zu Halle und in der Stadtkirche in Wittenberg (siehe **Diagramme 01.01 und 02.01**).

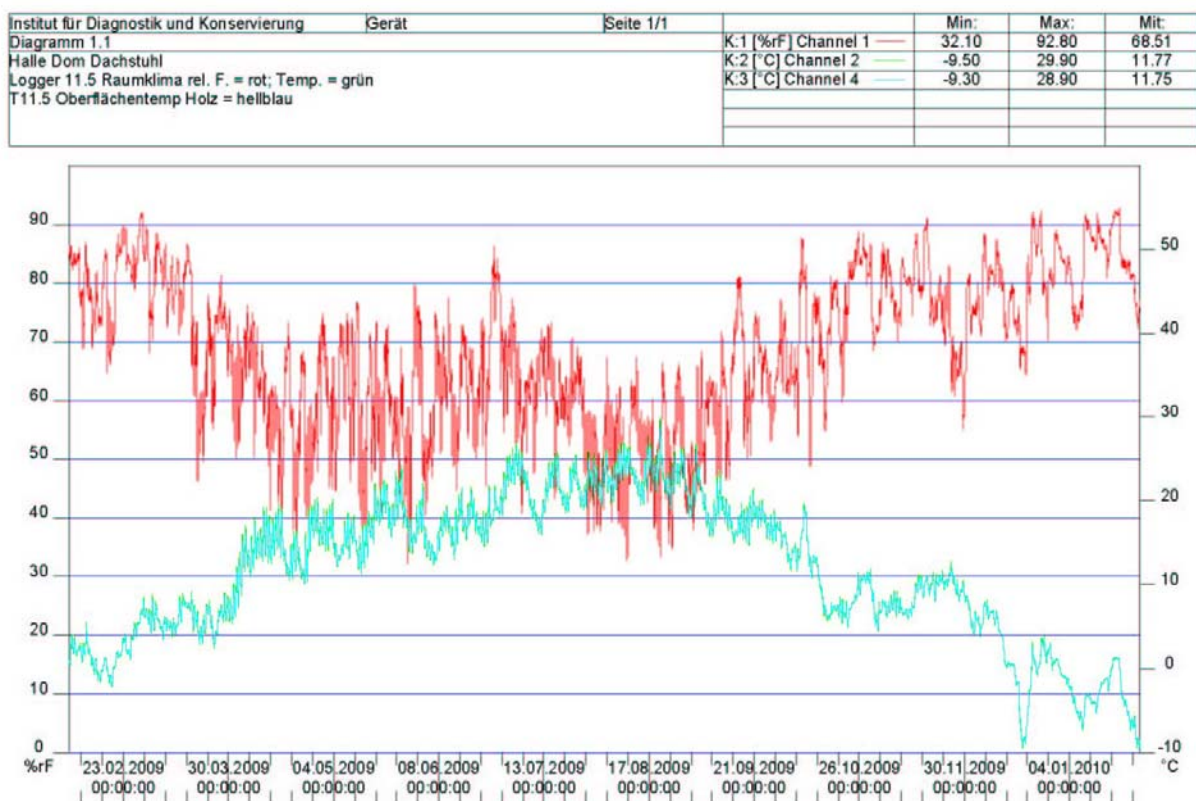


Diagramm 1.1 Jahresverlauf der relativen Luftfeuchte (rot) und Lufttemperatur (grün) im wenig geschädigten Dachstuhl des Doms zu Halle

Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1	Min:	Max:	Mit:	
Diagramm 2.1			K.1 [%rF] Channel 1	31.00	99.90	78.43
Naumburg Dom Dachstuhl			K.2 [°C] Channel 2	-11.70	31.60	11.39
Logger 11.3 Raumklima rel. F. = rot; Temp. = grün			K.3 [°C] Channel 4	-10.90	30.20	11.50
T11.3 Oberflächentemp. Holz = hellblau						

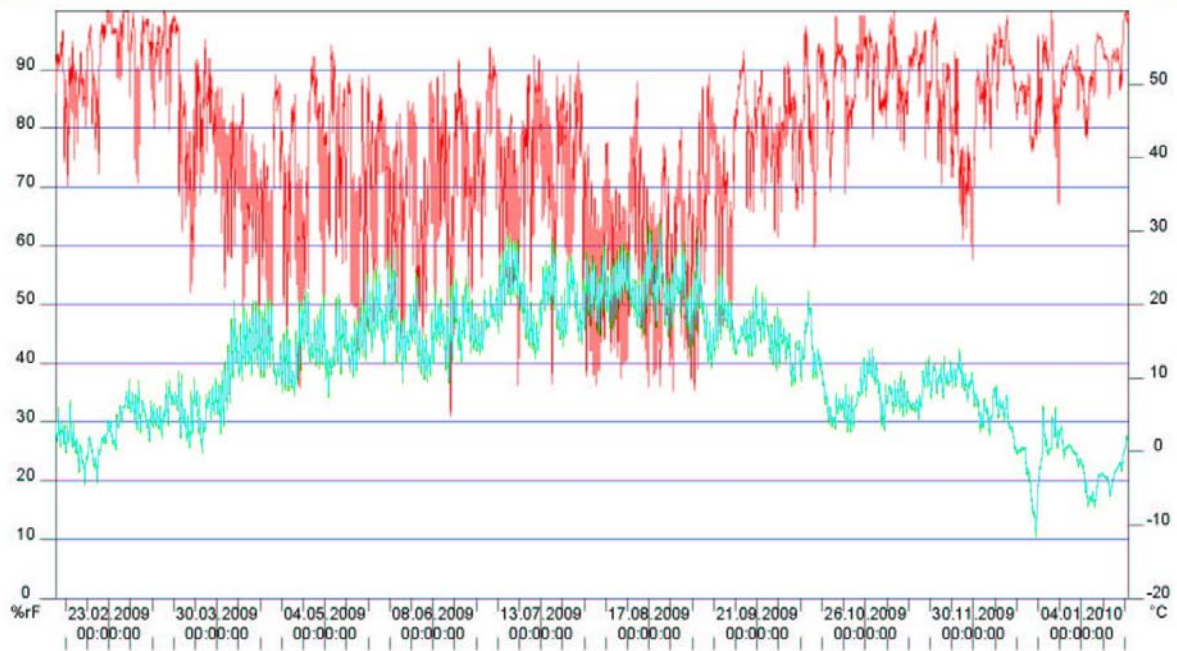


Diagramm 2.1 Jahresverlauf der relativen Luftfeuchte (rot) und Lufttemperatur (grün) im stark mazerierten Dachstuhl des Naumburger Doms

Da sich dieser Zusammenhang relativ frühzeitig abzeichnete, wurde das Messprogramm um weitere neun Aufzeichnungsstandorte erweitert. Dazu zählten:

- Eisleben, St. Petri-Pauli
- Gardelegen, St. Marien
- Halberstadt, Unser Lieben Frauen
- Mosigkau, Schloss
- Tangermünde, St. Stephan



Abb. 5 Thermo-Hygro-Station im Schloss Mosigkau

Tendenziell spiegelt sich diese Korrelation auch in den Werten der Materialausgleichsfeuchte an der Holzoberfläche und in ca. 1 cm Holztiefe wieder (vergleiche Diagramm 01, 02, 03, 04 und 05). Da die Werte der relativen Ausgleichsfeuchte aller Dachstühle dicht unter der Holz-

oberfläche in ca. 1 cm Materialtiefe bereits hohe Übereinstimmungen aufweisen, verstärkt das die Hypothese, dass der Mazerationprozess ausgesprochen oberflächennah verläuft.

Aus den Untersuchungen kristallisierte sich heraus, dass die Sorptionseigenschaften der hygroskopischen Feuerschutzsalze für die Umlagerung und Anreicherung der Salze an den Oberflächen von Bedeutung sind. Dies begünstigt Rekristallisationsprozesse, die von der Oberfläche ausgehend zur Lockerung und Zerstörung der Holzstruktur führen.

Die Untersuchung der Sorptionseigenschaften der Feuerschutzsalze ergab, dass die Gleichgewichtsfeuchte der Salzmischung nicht an einem Punkt, sondern in einem Bereich zwischen 63 und 76 % rel. Feuchte liegt. Unterhalb dieses Bereiches liegt das Salz kristallin vor und oberhalb dieses Bereiches löst es sich vollständig.

Versuche zur Dynamik der Sorptionseigenschaften zeigten, dass bei hohen Werten der umgebenden relativen Luftfeuchte die Salzgemische schneller und größere Mengen Feuchtigkeit aufnehmen (siehe **Abb.6**)

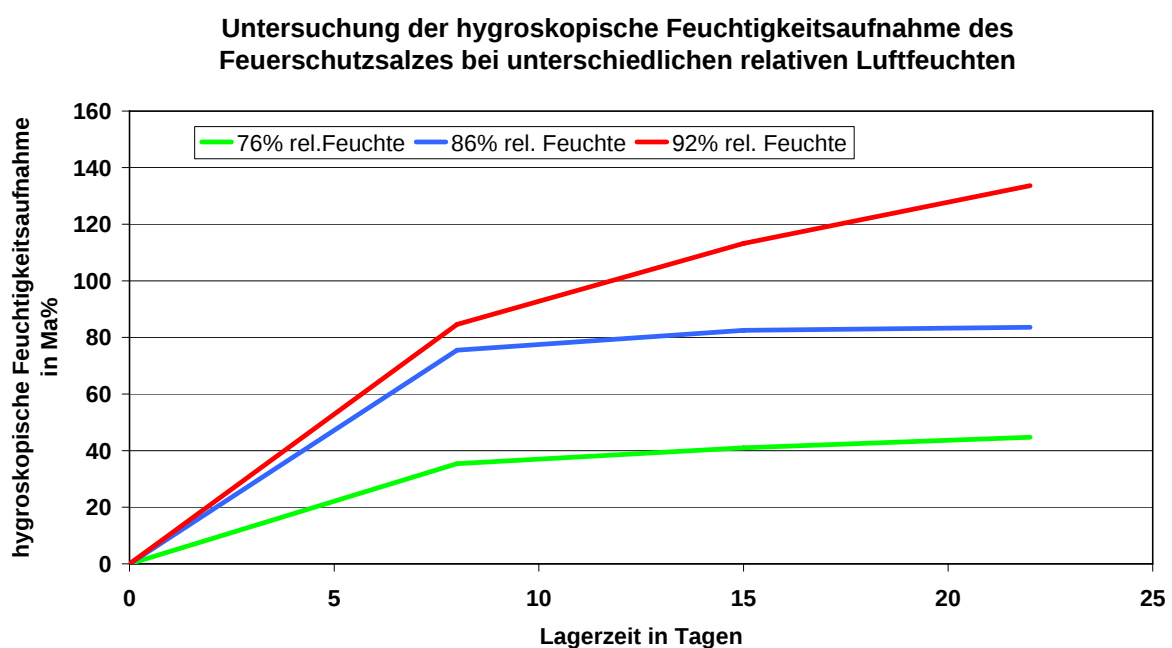


Abb. 6: Untersuchung der hygroskopischen Feuchtaufnahme des Feuerschutzsalzes bei unterschiedlich hohen Umgebungsluftfeuchten

Für die Praxis bedeutet dies, dass in Dachräumen mit häufigen und starken Luftfeuchteschwankungen über 76% bis 100% rel. F. die Feuerschutzsalze mit zunehmender Intensität und Geschwindigkeit Feuchtigkeit aufnehmen. Die schnellere Lösung der Salze ermöglicht deren schnellere Umlagerung und Anreicherung. Bei trockeneren Umgebungsbedingungen unter 63 % rel. Feuchte geben die Salze die Feuchtigkeit ab und kristallisieren aus. Die dabei entstehenden Kristallisationsdrücke tragen von der Oberfläche ausgehend zur Schädigung der Holzstruktur bei. Im Rahmen der weiterführenden Forschung müssen diese Mechanismen weiter differenziert werden.

9. Schnelltest: Ansätze und Ergebnisse

Bereits im Vorfeld des Projektes entstand der Wunsch, mit Hilfe eines Schnelltestes kontaminierte Holzbauteile oder Ausstattungsgegenstände schnell identifizieren zu können. Aus diesem Grund erfolgten im Rahmen des Projektes Versuche zur Auswahl und Modifizierung geeigneter transportabler Untersuchungstechniken. Trotz vielfältiger und umfangreicher Tests auch in Zusammenarbeit mit der Martin-Luther-Universität in Halle ließ sich dieser Wunsch bisher nur ungenügend erfüllen. Folgende Untersuchungstechniken wurden erprobt:

Kombinationsmessung aus Leitfähigkeits- und Mikrowellenuntersuchung

Entgegen der ursprünglichen Erwartung ließ sich eine Anomalie bei der Messung der Holzfeuchte mit Hilfe der Leitfähigkeitsmessung sowie der Mikrowellenmessung nicht für den Einsatz als Schnelltest auf Flammenschutzmittel nutzen. Während die Leitfähigkeitsmessung eine hohe Abhängigkeit vom Versalzungsgrad des Untergrundes aufweist, soll diese Beeinflussung bei der Feuchtigkeitsmessung mit Hilfe des Mikrowellenverfahrens nicht auftreten. Aus der theoretischen Möglichkeit, diese Eigenschaften auszunutzen, ergab sich die Idee für die Entwicklung eines Schnelltests auf Flammenschutzmittel. Ergeben beide Messverfahren bei der Messung der Holzfeuchte stark voneinander abweichende Messergebnisse und liegen die Messergebnisse der Leitfähigkeitsmessung deutlich höher als die Werte der Mikrowellenmessung, so könnte dies als Hinweis auf eine starke Versalzung des untersuchten Holzmaterials aufgefasst werden. Die Überprüfung dieses theoretischen Ansatzes unter Laborbedingungen sowie am Bauwerk vor Ort ergab jedoch eine zu hohe Fehlerquote in Bezug auf die parallel erfolgten chemischen Analysen der untersuchten Untergründe. Aus diesem Grund wurde diese technische Lösung für einen Schnelltest verworfen.

Wie unter Pkt. 7 beschrieben zeigten sich bei der „traditionellen“ Holzfeuchtebestimmung (Hydromette) jahreszeitlich und mikroklimatisch bestimmt unterschiedliche Werte von Tiefenmessungen und Messungen der Oberfläche von Reparaturhölzern (s.o. **Tabelle 6**). Vor allem im Frühjahr kam es zu relativ hohen Oberflächenfeuchten. Durch den Salzgehalt der mit Feuerschutzmitteln oder anderen Salzlösungen behandelten Althölzer unterscheidet sich deren Messwert gravierend von dem der Tiefenmessung und der Reparaturholzmessung. Dieser Unterschied ist besonders groß im Herbst und Frühjahr, besonders klein nach längeren Hitzeperioden im Sommer.

Eine große Differenz zwischen Oberflächen- und Tiefenmessung ist insofern immer ein Indikator für starke Salzbehandlungen der Konstruktionen, auf der anderen Seite ist ein geringer Unterschied nicht der Nachweis dafür, dass keine Behandlung stattgefunden hat. Wegen der starken Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen eignet sich die Messung der Holzfeuchte mit Geräten, die auf der Basis des elektrischen Widerstandes arbeiten, nicht als verlässlicher Schnelltest.

Infrarotspektroskopie

Eine zweite Versuchsserie erprobte die Eignung eines tragbaren Infrarotspektrometers für die Vorortuntersuchung. Dafür wurden insgesamt über 60 Proben hergestellt und getestet. Auch mit dieser Untersuchungsmethode war es nicht möglich, eine signifikante Unterscheidung zwischen unbelastetem und kontaminiertem Holz zu treffen (siehe **Abb. 7**).

Zusätzlich erfolgten vergleichende Untersuchungen an der Martin-Luther-Universität in Halle (Kurzwellige Infrarot-Spektroskopie von Dachstuhl-Holzproben aus historischen Gebäuden - Prof. Dr. G. Borg, A. Kamradt: Petrologie und Lagerstättenkunde, Bericht vom 26.1.2010).

Leider führten auch diese Versuche zu keinem positiven Ergebnis.

Die Mitarbeiter der Universität Halle empfahlen aber in ihrem Kurzbericht, die Versuche mit einem tragbaren Röntgenfluoreszenzanalysator fortzusetzen.

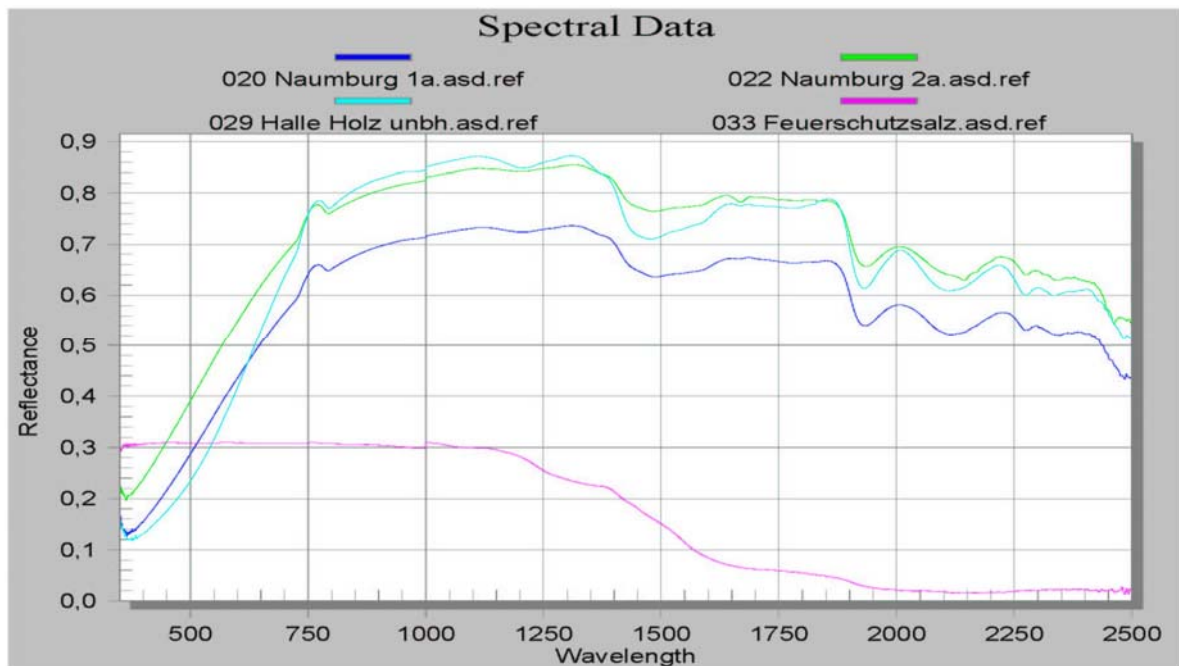


Abb. 7: Infrarotspektren von reinem Feuerschutzsalz sowie behandelten und unbehandelten Holzproben aus den Domen zu Naumburger und Halle. Unbehandeltes Holz (hellblau), kontaminierte Holzproben aus Naumburg (grün und dunkelblau) sowie reines Feuerschutzsalz (lila)

Röntgenfluoreszenzanalysen

Die Versuche durch Steffi Bürger und Andreas Kamrath aus dem Fachbereich Petrologie und Lagerstättenkunde der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg mit einem portablen RFA-Analysators (Nitron XL3t 900) fanden am 8.3.2010 ihren Abschluss.

Die Auswertung verweist auf wenige Gemeinsamkeiten zwischen behandelten Holzproben und dem reinen Feuerschutzsalz. Hierbei handelt es sich um die Elemente Molybdän, Uran, Blei und Kupfer. Da Blei und Kupfer gerade bei historischen Dächern auch aus anderen Quellen stammen können, konzentrierte sich das Interesse besonders auf die Elemente Molybdän und Uran, deren Herkunft jedoch noch nicht abgeklärt werden konnte (siehe **Abb. 8**). Sowohl in den Feuerschutzsalzen sowie auch in allen untersuchten Holzproben wurde das Element Molybdän zwar identifiziert, möglicherweise handelt es sich aber um Fremdkontaminationen; diese Stoffe sind nicht rezeptmäßiger Bestandteil der Formulierung der HSM und FSM gewesen.

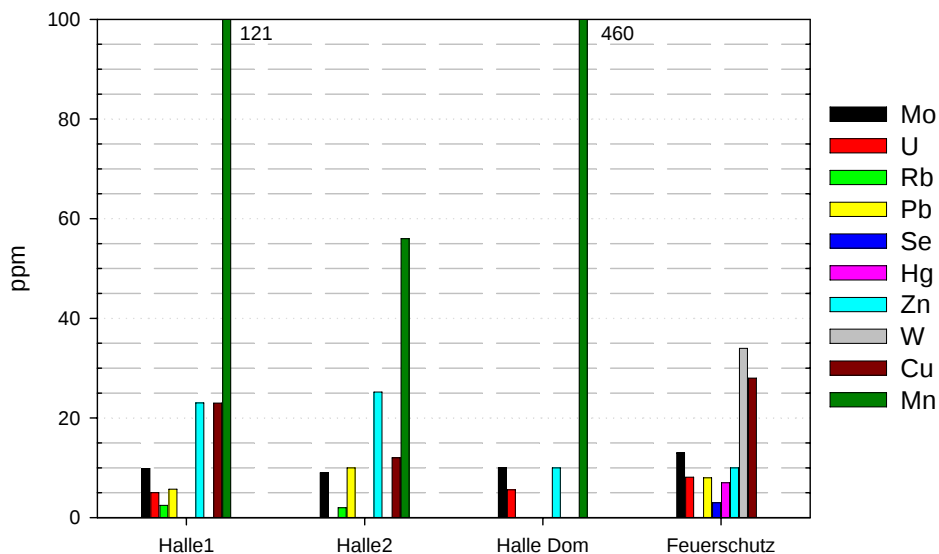


Abb. 8: Elementaranalyse an Holzproben aus dem Dachstuhl des Doms zu Halle sowie des reinen Feuerschutzsalzes (Kamradt, A. und Bürger, St.: Dachstuhl-Holzproben gemessen mit portablen RFA-Analysator Niton XL3t 900, Bericht vom 8.3.2010, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg)

Bis auf weiteres empfiehlt sich deshalb die Entnahme einer Mischprobe und deren Analyse auf Phosphat, Fluoride, Sulfat, DDT, Lindan und PCP, gemäß der innerhalb des Projekts formulierten Arbeitsanleitung. Hierbei handelt es sich um keinen „klassischen“ Schnelltest, und die Probenentnahme wie auch die Auswertung muss durch qualifizierte Personen erfolgen (s. Anhang Standardarbeitsanleitung zur Holzprobennahme). Das Ergebnis gibt jedoch über die Behandlung mit Feuerschutzsalzen hinaus noch Auskunft über das Vorkommen gesundheitsgefährdender Holzschutzmittel. Die klassischen analytischen Verfahren sind zudem zuverlässig und aussagekräftig.

10. Zusammenfassung und Bewertung der Zwischenergebnisse

Die innerhalb des Projekts gewonnenen Ergebnisse bedeuten, dass vielen untersuchten Fällen zwei Probleme zugrunde liegen:

1. Die primär auf Salzeintrag beruhende Mazeration
2. Teilweise in sehr hohen Konzentrationen vorkommende Biozide in der Raumluft

Bezüglich der Mazeration wird es künftig darum gehen müssen, die Entwicklung noch nicht akut gewordener Mazerationen abzuschnüren. Was bedeutet im Einzelfall ein hoher Salzgehalt im Holz, wenn sich noch keine oder nur geringe Mazerationen zeigen? Was kann zum Ausbruch der Mazeration führen? Was hat dies bisher verhindert? Zur Risikoabschätzung sind im Einzelfall die möglichen Einflüsse des Klimas, der baulichen Verhältnisse, der Nutzung usw. zu bewerten.

Bei Objekten mit deutlichen Mazerationen wird die Eindämmung der weiteren Schädigung im Mittelpunkt der Bemühungen stehen müssen. Möglicherweise kann hierbei im Einzelfall die nachgewiesene Abhängigkeit des Schadensprozesses von der Umgebungsfeuchte genutzt werden. In vielen Fällen wird es um die Reinigung der Holzoberflächen und damit die partielle Entfernung von schädigenden Salzen gehen. Die Wirksamkeit von Maskierungsmitteln und Präparaten zur Neutralisation von Feuerschutzmitteln sollte Gegenstand weiterer Forschungen und der Nachuntersuchung von zwischenzeitlich „sanierten“ Dachwerken sein.

Mazeration in Folge von Feuerschutzmittel-Behandlungen betrifft alle Bundesländer (und z.T. das Ausland), wenngleich nach 1945 im Westen weniger Feuerschutzmittel-Behandlungen stattfanden als im Osten.

Insektizidbehandlungen im Sinne des vorbeugenden Holzschutzes fanden nach 1945 sowohl in der Bundesrepublik als auch in der DDR statt¹⁰.

Hinsichtlich der Biozide in der Raumluft muss der Personenschutz bzw. die Abschätzung des Gefährdungspotentials für die Nutzer kontaminierter Gebäude im Mittelpunkt stehen. Damit verbunden ist die Frage, woher die Biozide kommen: aus dem Dach oder/und aus der Ausstattung. Es ist nach geeigneten Möglichkeiten der Minderung der Gefahren zu suchen und nach kurativen Möglichkeiten, um die toxischen Stoffe unschädlich zu machen. Außerdem stellt sich die Frage der Richtwerte.

10.1 Baukonstruktive Bewertungen

Die Schädigung durch Mazeration betrifft in der Regel zwar nur ca. 1 – 2 cm des Holzquerschnitts, ist aber ein ständig fortschreitender Prozess. Dies bedeutet beim Vollquerschnitt in der Regel bis heute keine statisch relevante Schwächung. Relevant ist der Materialverlust allerdings im Bereich der Holzverbindungen. Ältere Konstruktionen, die grob gesagt vor 1600 entstanden sind, wurden durch Verblattungen und Verkämmungen verbunden und durch Holznägel gesichert. In diesen Verbindungen sind die mazerierten Hölzer sehr geschwächt und haben nur noch wenige Zentimeter Querschnitt. Die Mazeration wirkt hier auf alle Oberflächen und kann zum Versagen der Konstruktion führen.

10.2 Zusammenhang Phosphat-/Sulfatgehalt – Mazerationsgefahr

Der Umfang der Mazeration des Holzes steht in keinem linearen Verhältnis zur Konzentration der Feuerschutzmittel im Holz, genauer der Phosphate, Sulfate oder Fluoride. Dennoch ist der Gehalt an Feuerschutzsalzen im Holz eine wichtige Größe. Je höher dieser ist, um so größer ist das Risiko, dass es bei Änderung der Nutzung, bei Änderung von Geschossdeckenaufbauten oder Dachdeckungen, d.h. insgesamt bei baulichen Maßnahmen zu plötzlicher Holzersetzung kommt, insbesondere wenn diese Auswirkungen auf das Klima im Dachraum haben (s.u.).

Die bisherigen Ergebnisse legen nahe, dass besonders ein hoher Phosphat- oder Sulfatgehalt auf eine Mazerationsgefahr hindeutet. Es wird daher vorläufig vorgeschlagen, den Phosphat- bzw. Sulfatgehalt des Holzes als Richtwert für künftige Mazerationsgefahren zu verwenden. Dieser erreicht Maximalwerte von teilweise über 10 000 mg/kg Holz bei den Schlössern in Blankenburg, Zeitz und Oranienbaum und 7 500 mg bei der Stadtkirche in Wittenberg. Zunächst wurde daher eine Risikoskala von 1 bis 10 am Gehalt von Phosphaten und Sulfaten entwickelt, wobei 10 das höchste Risiko ausdrückt (**s. Tabelle 2**).

Die Phosphat- oder Sulfatkonzentration kann als Leitstoff für die Mazerationsgefahrenabschätzung angesehen werden. Eventuell ist auch der Gesamtsalzgehalt entscheidend. Das würde bedeuten, dass der Fluoridwert zum Phosphat-/Sulfatwert addiert werden müsste. Andererseits ist die Phosphorsäure für das Holz gefährlicher als die Flusssäure.

Aus den bisher vorliegenden Messergebnissen könnte folgende Kategorisierung abgeleitet werden:

Phosphat bzw. Sulfat	
< 800 mg/kg Holz	keine Mazerationsgefahr
< 2000 mg/kg Holz	mittlere Gefahr: Beobachtung der Hölzer alle 5 Jahre erforderlich
> 2000 mg/kg Holz	höhere Gefahr der Mazeration: jährlich oder alle 2 Jahre Hölzer beobachten, Nutzungs- und Klimaänderungen beachten!

¹⁰ Produkte auf Basis der Wirkstoffe DDT und Lindan kamen erst nach 1945 resp. in den 1950er Jahren auf den Markt.

10.3 Zusammenhang Mazeration – Klima

Entscheidenden Einfluss auf die Schädigung durch Mazeration hat die Klimatik des Dachraumes. Diese hängt von baulichen und umgebungsklimatischen Faktoren sowie der Art und Intensität der Nutzung ab. Baulich spielen dabei beispielsweise die Art der Dachdeckung und der Umfang von Belüftungsöffnungen eine Rolle. Die Umgebungsklimatik umfasst die Nähe zu Gewässern, die Situation im Gelände, die exponierte oder geschützte Lage, die jährlichen Schwankungen der Luftfeuchtigkeit. Die Intensität der Nutzung und Beheizung von Versammlungsräumen bestimmt wiederum die Menge des von unten nach oben steigenden Wasserdampfes.

Die Ergebnisse der innerhalb des Projekt vorgenommenen Klima- und Holzfeuchtemessungen belegen, dass die Stärke der Mazerationsschäden bei ähnlicher Konzentration der Feuerschutzsalze stark durch die Klimabedingungen in den Dachstühlen bestimmt wird, die durch sehr hohe und stark schwankende Werte der relativen Luftfeuchte gekennzeichnet sind. Dabei sind insbesondere die relativen Luftfeuchten zu berücksichtigen, die im Kontaktbereich der Raumluft zur Holzoberfläche auftreten. Je nach Differenz zwischen der Raumlufttemperatur und Holztemperatur ergeben sich für diesen Grenzwert der relativen Luftfeuchte von der mittleren relativen Raumluftfeuchte stark abweichende Werte.

Stark mazerierte Dachstühle wie die im Naumburger Dom oder im Blankenburger Schloss weisen verbunden mit häufigen Kondensationsereignissen deutlich stärkere Klimaschwankungen auf als weniger stark geschädigte Dachstühle, wie etwa im Dom zu Halle und in der Stadtkirche in Wittenberg.

In Dachstühlen mit häufigen und starken Luftfeuchteschwankungen über 76% bis 100% rel. F. nehmen die Feuerschutzsalze mit zunehmender Intensität und Geschwindigkeit Feuchtigkeit auf. Die schnellere Lösung der Salze ermöglicht deren schnellere Umlagerung und Anreicherung. Bei trockeneren Umgebungsbedingungen unter 63 % rel. Feuchte geben die Salze die Feuchtigkeit ab und kristallisieren aus. Die dabei entstehenden Kristallisationsdrücke tragen von der Oberfläche ausgehend zur Schädigung der Holzstruktur bei. Im Rahmen der weiterführenden Forschung müssen diese Mechanismen weiter differenziert werden. Im Kontext der Biozid-Belastungen wird zu untersuchen sein, inwiefern die Feuerschutzsalze die Biozide mit an die Oberfläche transportieren.

Aus den Luftfeuchtwerten im Dachraum und dem Salzgehalt der jeweiligen Dachkonstruktion dürfte eine Mazerationprognose abzuleiten sein.

10.4 Belastung der Hölzer und der Luft durch DDT und Lindan

Die bisher jeweils einmalig und hauptsächlich in großen Kirchenräumen gemessenen Luftwerte warfen die Frage der Bewertung der Ergebnisse der Luftmessungen auf.

Die einzelnen Messungen wurden protokolliert. Die Erfassung der Temperatur innen und außen zum Zeitpunkt der Messung, sowie des Luftdrucks ist von Bedeutung, da Lindan und DDT sowohl partikelgebunden als auch in Gasform auftreten. Da die Luftmessungen „Momentaufnahmen“ darstellen, müssten sie (besonders in kritischen Fällen) bei anderen Klimaverhältnissen wiederholt werden, um zu repräsentativen Messwerten zu gelangen.

Die vorliegenden Messdaten können nur als Hinweise verstanden werden und sind mit besonderer Vorsicht für ein zukünftiges Handeln zu interpretieren.

Für eine Risikobewertung (Risk Assessment) werden die national und auch international diskutierten Grenzwerte nur der Ausgangspunkt für weitere Überlegungen sein können. Alle Empfehlungen z.B. zu Sanierungsmaßnahmen in der Vergangenheit gingen von diesen Grenzwerten in der Überlegung aus, dass Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden können - und auch sinnfällige sind - (z.B. Sanierungsmaßnahmen im privaten Bereich, PCP-Probleme in Schulen), wenn bestimmte Belastungswerte überschritten sind. Für die in diesem Projekt untersuchten Bauwerke – Kirchen, Schlösser, Rathäuser, also keine derzeit genutzte Wohnbauten - wird eine eigene Form der Risikoabschätzung zu finden sein. Die Beseitigung, der Ersatz der zahlreichen historischen Dachwerke wird weder aus denkmalpflegerischer noch aus wirtschaftlicher Sicht in Frage kommen. Andererseits sind die

Expositionszeiten und –bedingungen der Nutzer der Gebäude in die Überlegungen einzubeziehen.

Erforderlich ist, in Zukunft repräsentative Belastungsdaten (und Quellen) zu erarbeiten. Die innerhalb des Projekts gewonnenen Daten dürften dafür eine sehr gute Basis darstellen.

Die Förderer des Projekts waren damit einverstanden, dass Projektmittel, die ursprünglich für eine an die Praktiker gerichtete Publikation der Projektergebnisse vorgesehen waren, für ein toxikologisches Gutachten verwendet wurden. Der Wortlaut des von Dr. Wolfgang Lingk erstellten Gutachtens ist im Anhang wiedergegeben.

10.5 Schlussfolgerungen: Arbeits- und Gesundheitsschutz

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass sich eine mögliche Gefährdung der Gesundheit in unterschiedlichen Szenarien darstellt oder darstellen kann, die wesentlich durch die jeweiligen Nutzungsanforderungen im Gebäude definiert werden.

Einerseits sind Dachräume betroffen, die selten genutzt und nur zu Wartungszwecken betreten werden. In anderen Fällen sollen Sanierungsarbeiten durchgeführt werden. In einer weiteren Gefährdungssituation ist die Kontamination auch in der Luft der Räume unter der Dachebene, also z.B. im Kirchenraum nachweisbar, so dass möglicherweise Mitarbeiter und Besucher gefährdet sind.

Diesen Fallbeispielen ist gemeinsam, dass sie die Eigentümer und Verantwortlichen mit der Frage nach Handlungsoptionen konfrontieren.

Hier werden wiederum zwei unterschiedliche Aspekte deutlich. Zum einen ist den Verantwortlichen die Auskunft über die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben wichtig. Dies schließt die Frage ein, ob schon ein Nichthandeln gegen gesetzliche Regelungen und Vorschriften verstößt.

Der zweite Aspekt beschreibt den Anspruch auf einen sinnvollen und vernünftigen Umgang mit der Kontamination. Welche Maßnahmen sollen durchgeführt werden, selbst unter der Voraussetzung, dass eine eindeutige, gesetzlich vorgeschriebene Sanierungsnotwendigkeit nicht besteht?

Die Handlungsempfehlungen unterscheiden sich wesentlich durch die Voraussetzung, ob Rechtsgrundlagen des Arbeitsschutzes oder des Gesundheitsschutzes der Nutzer anzuwenden sind.

Auf diesen unterschiedlichen Grundlagen lassen sich an die Situation angepasste Muster für Maßnahmeempfehlungen ableiten. In der Beschreibung dieser Grundmuster wird deutlich, dass neben den gegebenen Antworten noch ungeklärte Fragestellungen bestehen, die dringend beantwortet werden müssen.

Gefährdungssituation: Arbeiten im kontaminierten Bereich

Für den Fall, dass in einem kontaminierten Bereich gearbeitet wird, haben der Gesetzgeber und die gesetzliche Unfallversicherung (Berufsgenossenschaften) detaillierte Auflagen verfügt.¹¹

Für den Eigentümer eines Gebäudes bedeutet das, dass er vor Aufnahme der Arbeiten¹² im Wesentlichen zwei Aufgaben erfüllen muss. Er muss seiner Erkundungs- und seiner Informationspflicht nachkommen; d.h. er muss dafür sorgen, dass die Bereiche, in denen gearbeitet

¹¹ Für das Regelwerk der gesetzlichen Unfallversicherung bildet das Sozialgesetzbuch VII die Grundlage. Der § 15 SGB VII ermächtigt die Unfallversicherungsträger als autonomes Recht Unfallverhütungsvorschriften zu erlassen.

¹² Nach der Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Kontaminierte Bereiche, BGR 128, 2. umfasst der Begriff Arbeiten das Herstellen, Instandhalten, Ändern und Beseitigen von baulichen Anlagen. Vgl. auch die neue TRGS 524 (Neufassung 2010) in der die Bestimmungen der BGR 128 und der bis dato gültigen TRGS 524 zusammengeführt wurden.

werden soll auf Schadstoffe untersucht werden und dass im Falle eines positiven Befundes diese Information weitergegeben wird.¹³

Dafür muss er die Ergebnisse seiner Ermittlungen dokumentieren und einen Arbeits- und Sicherheitsplan (A+S-Plan) erstellen oder von einem Sachkundigen erstellen lassen.

Die Freisetzung der Gefahrstoffe (Staubungsverhalten), d.h. die Gefährdung ist bei den einzelnen Arbeiten auf der Baustelle sehr unterschiedlich. Deshalb werden Arbeitsschutzmaßnahmen durch eine tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung festgelegt, die dieses berücksichtigt.

Obwohl auch die Belastungen mit Holz- und Flammenschutzmitteln in den Dachräumen sehr unterschiedlich sind und die Aufgabe besteht, den Arbeitsschutz auf die jeweiligen Baustellenbedingungen abzustimmen, werden in der Praxis für die Festlegung von kontaminierten Bereichen bisher keine Belastungsgrenzen diskutiert.¹⁴

Inwiefern kennen Eigentümer und Verantwortliche ihre Pflichten und Aufgaben? Hier zeigt sich vorerst ein ungenügender Informationsstand, wobei festzuhalten ist, dass nur ein Eindruck beschrieben werden kann. Diese Fragestellung wurde innerhalb des Projekts bisher nicht systematisch evaluiert.

Ein Hauptproblem scheint in der Unkenntnis über das mögliche Vorhandensein einer Kontamination zu liegen und nicht im bewussten Verstoß gegen Auflagen.

Für die überwiegende Zahl der untersuchten Objekte ist auch nicht bekannt, dass Sanierungsarbeiten projektiert sind, die ggf. zu einer Auseinandersetzung mit der Holzschutzmittelproblematik geführt hätten.¹⁵

Unabhängig von Sanierungsarbeiten, die in der Regel durch Firmen ausgeführt werden und deren Anleitung und Überwachung in das Aufgabengebiet der Berufsgenossenschaften gehört, rücken die eigenen Mitarbeiter oder die ehrenamtlichen und freiwilligen Helfer in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit und der Fürsorgepflicht des Arbeitgebers. Trotz aller Unterschiede in den Arbeitsverhältnissen¹⁶ hat ihr Schutz immer oberste Priorität. Grundlegend für diesen Schutz ist wiederum die Kenntnis über eine Kontamination.

Hinsichtlich des Arbeitsschutzes in kontaminierten Bereichen ergeben sich daher zwei Schlussfolgerungen.

Zum einen muss die Kenntnis des Eigentümers über eine mögliche Kontamination verbessert werden, d.h. Gebäude bzw. Dachräume sollten auch unabhängig von anstehenden Sanierungsarbeiten untersucht werden.

Bei einer festgestellten Kontamination müssen die Mitarbeiter über eine Belastung informiert werden und der Schutz ihrer Gesundheit muss gewährleistet werden, was oftmals schon durch einfache und kostengünstige Maßnahmen (Körper- und Atemschutz) erreicht werden kann.

¹³ Kommt es zu einer Auftragsvergabe geht die Verantwortung auf den Auftragnehmer über. Der Auftragnehmer muss die Informationen über die Kontaminierung an seine Mitarbeiter weiterleiten und die gesetzlichen und berufsgenossenschaftlichen Auflagen einhalten.

¹⁴ Nach BGR 128 sind kontaminierte Bereiche Standorte, bauliche Anlagen, Gegenstände, Boden, Wasser, Luft und dergleichen, die über eine gesundheitlich unbedenkliche Grundbelastung hinaus mit Gefahrstoffen oder biologischen Arbeitsstoffen verunreinigt sind. Zudem wird in der BGR 128 festgelegt, dass für ausreichende Lüftungsmaßnahmen sichergestellt sein muss (...) dass die gesundheitsgefährliche Konzentration giftiger Gase, Dämpfe oder Stäube, für die ein Arbeitsplatzgrenzwert vorliegt, $\leq 10\%$ dieses Wertes beträgt.

¹⁵ Bei der Kirchensanierung in Eutzsch, die 2009 bis 2010 im Projektverlauf stattfand, wurde der Arbeitsschutz vorbildlich beachtet.

¹⁶ Arbeitsgelegenheiten mit Mehraufwandsentschädigung (so genannte „Ein-Euro-Jobs“) begründen kein Arbeitsverhältnis im Sinne des Arbeitsrechts. Trotzdem werden die in diesen Arbeitsverhältnissen Eingesetzten wie Beschäftigte tätig und die Arbeitsschutzvorschriften sind zu beachten.

Vgl: Landesamt für Arbeitsschutz, Gesundheitsschutz und technische Sicherheit Berlin, Arbeitsschutz bei Zusatz-Jobs, 2005 <http://www.berlin.de/lagesi/themen/36185.html>

Damit erfüllt der Eigentümer im Grundsatz seine gesetzlichen Verpflichtungen; die Einhaltung der Arbeitsschutzgesetze im Allgemeinen¹⁷ und seine Erkundungs- und Informationspflicht im konkreten Bezug auf ein Gebäude, in welchem eine Kontamination nicht ausgeschlossen werden kann.¹⁸

Detaillierte Kenntnisse, die die Auswahl und die Auflagen für ausführende Firmen beschreiben, sollten durch Information der für diese Maßnahmen zuständigen Mitarbeiter (Baupfleger etc.) vermittelt werden.¹⁹

Gefährdungssituation: kontaminierte Innenraumluft

Nicht so klar geregelt und eindeutig zeigt sich der notwendige Handlungsablauf, wenn die Innenraumluft eines Gebäudes kontaminiert ist.

In den meisten der im Projekt untersuchten Gebäude wurden Gefahrstoffe nachgewiesen, für die bislang keine Grenzwerte festgelegt wurden.²⁰ Eine Ausnahme bildet das Pentachlorphenol (PCP). In der PCP-Richtlinie²¹ wurden Richtwerte festgelegt, die sich auf die Untersuchung der Innenraumluft beziehen. Ihre Rechtsverbindlichkeit erlangen diese Richtwerte dadurch, dass die PCP-Richtlinie in den meisten Bundesländern in das geltende Baurecht aufgenommen wurde.

Die PCP-Richtlinie und das sogenannte Basisschema der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumluftthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und der Arbeitsgemeinschaft der Leitenden Medizinalbeamtinnen und –beamten der Länder (AGLMB)²² bilden die Richtschnur für eine Bewertung.

Es sind zwei Innenraumluftwerte, die hier zum Tragen kommen: Richtwert I und Richtwert II, auch als Sanierungsleitwert und Eingreifwert bezeichnet.

Bei Erreichen bzw. Überschreiten des Richtwerts II besteht unverzüglicher Handlungsbedarf, z.B. im Hinblick auf Sanierungsentscheidungen zur Verringerung der Exposition. Eine Schließung der Räume kann daher notwendig sein.²³ Der Handlungsbedarf ist dadurch besonders hervorgehoben, dass er unverzüglich zu erfolgen hat.

Auch im Konzentrationsbereich zwischen RW I und RW II besteht ein Handlungsbedarf aus Vorsorgegründen.²⁴ Auch in diesem Fall sind eventuell bauliche Maßnahmen angezeigt, da eine über einen längeren Zeitraum (mehr als 12 Monate) erhöhte Belastung aus Gründen der Vorsorge nicht akzeptabel ist.

Soweit keine Richtwerte der nationalen Ad-hoc-Arbeitsgruppe vorliegen, geben Institutionen einzelner Bundesländer Empfehlungen oder leiten unter Bezug auf das Basisschema für weitere Substanzen entsprechende Richtwerte ab.²⁵

Im Umfeld des Sozialministeriums Mecklenburg-Vorpommern wurde ein vereinfachtes Verfahren zur vorläufigen Bewertung von DDT (Dichlordiphenyltrichlorethan) und Lindan (γ-HCH) in der Raumluft entwickelt, das sich auf die von der Weltgesundheitsorganisation

¹⁷ Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit.

¹⁸ BGR 128

¹⁹ Innerhalb des Projekts sind entsprechende Informationsbroschüren geplant.

²⁰ Rechtlich ist zwischen Grenzwerten, die in gesetzlichen Regelungen festgelegt wurden und Richtwerten, die keine rechtliche Bindung haben, zu unterscheiden. Vgl.: Dr. Birger Heinzow, Landesamt für Gesundheit und Arbeitssicherheit Schleswig-Holstein, Bewertung von Schadstoffbelastungen, Fachtagung Bayer. Landesamt für Umwelt (Veranst.) Chemikalien in der Umwelt – Vorkommen, Belastungspfade, Regelungen, Augsburg 18.10.2006, S. 25

²¹ Richtlinie für die Bewertung und Sanierung Pentachlorphenol (PCP)-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden – Fassung Oktober 1996-

²² Heute Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG), Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema (1996), Bundesgesetzblatt 11, S. 422-426

²³ Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten, Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden, in: Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 7, 2007, S.995

²⁴ Ebenda

²⁵ Z. B. Sozialministerium Mecklenburg-Vorpommern (2005) und Bayerisches Landesamt für Umwelt (2008)

(WHO) und der Nahrungsmittel- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) vorgeschlagenen ADI/TDI Werte (acceptable/tolerable daily intake) bezieht.²⁶ Hieraus resultiert, dass DDT etwa ein Drittel der Toxizität von PCP aufweist.²⁷ In der Regel wird eine Anlehnung an die Systematik und die Richtwerte der PCP-Richtlinie empfohlen, d.h. im Jahresmittel zu erwartende Raumluftbelastungen über $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erfordern unverzügliche Sanierungsmaßnahmen. Für Aufenthaltsräume mit einer Belastung, die kleiner als $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist, gibt es keine Sanierungsnotwendigkeit.^{28,29}

Einen wichtigen Aspekt der Gefährdungsbeurteilung bildet die Zeit, über die der Nutzer einer Belastung der Innenraumluft ausgesetzt ist. Folglich wäre zwischen einer Gefährdung durch einen kurzfristigen Aufenthalt und einer längeren Aufenthaltszeit zu unterscheiden. Auch hier ist eine einheitliche wissenschaftliche Haltung nicht klar zu erkennen. Das Umweltbundesamt schreibt dazu, dass sich eine Umrechnung der Richtwertkonzentration II unter Berücksichtigung einer gegenüber 24 Stunden verminderten Aufenthaltszeit für die überwiegende Anzahl von Innenräumen verbiete. Eine Berücksichtigung könne allenfalls für Räume in Betracht kommen, die wegen ihrer besonderen Funktion täglich nur zeitlich befristet genutzt würden. Dies gilt aber nur unter der Voraussetzung, dass die Erkenntnisse über die gesundheitliche Wirkungsweise des betrachteten Stoffes dies erlauben.³⁰

Auch ein Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)³¹ nach der neuen Gefahrstoffverordnung, der sich in der Regel auf eine achttündige Exposition an 5 Tagen pro Woche bezieht, wird für DDT und Lindan in der aktuellen TRGS 900 nicht mehr angegeben.³²

Ein zusätzlicher Unsicherheitsfaktor besteht darin, dass es sich bei den Gefährdungsbeurteilungen um Einzelstoffbetrachtungen handelt, d.h. die Wirkungen sich nur auf die einzelnen Biozide beziehen. Auch die nach dem Basisschema der Innenraumlufthygienekommission für Einzelstoffe abgeleiteten Richtwerte beinhalten keine Aussage über mögliche Kombinationswirkungen verschiedener Substanzen, für die es im übrigen keine anerkannten Verfahren für eine Risikobewertung gibt.³³

²⁶ Baudisch, Prösch (2000), DDT- und Lindanexpositionen nach Anwendung von Holzschutzmitteln (Hylotox 59), Umweltmed Forsch Prax 5 (3), S.161-166

²⁷ Sozialministerium Mecklenburg-Vorpommern (2005) Landesamt für Gesundheit und Soziales M-V, Außenstelle Schwerin Abteilung Gesundheit, Dezernat Umwelthygiene und Umweltmedizin: Richtwerte für die Innenraumluft in Mecklenburg-Vorpommern, S.3

²⁸ So empfiehlt das Bayerische Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit sich bei Innenraumbelastungen mit Lindan an diese Systematik anzulehnen und auch die beiden genannten Werte zu übernehmen. <http://www.lgl.bayern.de/gesundheit/umweltmedizin/lindan.htm>

²⁹ Für den Konzentrationsbereich zwischen $0,1 - 1,0 \mu\text{g} / \text{m}^3$ und für Räume in denen sich Personen regelmäßig mehr als 8 Stunden aufhalten wird in der PCP-Richtlinie empfohlen, zur Verfügung stehende Ergebnisse der Untersuchung von Blut und Urin heranzuziehen.

³⁰ Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten, Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygienekommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden, in: Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 7, 2007, S.995.

³¹ Der AGW wurde am 1. Januar 2005 mit der Neufassung der Gefahrstoffverordnung eingeführt und ersetzt damit die Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK) und die Technische Richtkonzentration (TRK).

³² Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 900, Ausgabe: Januar 2006 zuletzt geändert und ergänzt: GMBI Nr. 28 S. 605 (v. 2.7.2009)

Als Grund wird für DDT ein Neubewertungsprogramm des Ausschusses für Gefahrstoffe (AGS) für Luftgrenzwerte aus dem Ausland angegeben. Lindan wird von der DFG-Senatskommission (MAK-Kommission) als kranzerogen eingestuft. Vgl. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (BGIA):

http://www.dguv.de/bgia/de/gestis/wiss_begrundungen/index.jsp

³³ Beurteilung von Innenraumluftkontaminationen mittels Referenz- und Richtwerten, Handreichung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumlufthygienekommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden, in: Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 7, 2007, S.995.

Für eine erweiterte Fragestellung sei auch auf die unterschiedliche Bewertung der Auswirkungen von Niedrigdosisexpositionen in der Forschungsliteratur hingewiesen.³⁴ Durch unterschiedliche Definitionen des sogenannten „Beobachtungs-Endpunktes“ für die Diagnosesicherung kommen medizinische Studien zu Forderungen für Richtwerte, die für PCP um einen Faktor zehn geringer sind als die in der PCP-Richtlinie aufgestellten.³⁵

Für eine Bewertung der im Projekt erhobenen Innenraumluftwerte ist wiederum festzuhalten, dass es sich um einzelne, „schlaglichtartige“ Probennahmen handelt, aus denen keineswegs eine abschließende Bewertung abgeleitet werden kann.³⁶ Ein einzelnes Ergebnis einer Innenraumluftmessung kann nicht die Grundlage für Empfehlungen und bauliche Maßnahmen sein.

Dies unterstreicht die Notwendigkeit weiterer Messungen, um unterschiedliche Bedingungen zu analysieren und Bestandsaufnahmen zu verifizieren und insgesamt zu einer tragfähigen Datenbasis zu kommen.

Insofern wird ein einzelnes Messergebnis relativiert, was aber nicht bedeutet, dass es ignoriert werden darf. Die innerhalb des Projekts gewonnenen Ergebnisse öffnen die Sicht auf eine Problematik, der im Rahmen weiterer Untersuchungen nachzugehen sein wird.

Neben dem toxikologischen Gutachten, das im laufenden Forschungsprojekt eingeholt werden konnte, wird ergänzend eine juristische Stellungnahme notwendig sein. Zunächst aber müssen die Eigentümer und Verantwortlichen über die festgestellten Kontaminationen informiert und mit Handlungsanleitungen unterstützt werden.

Oftmals können einfache und kostengünstige Maßnahmen, z. B. eine Änderung des Lüftungs- und Reinigungsverhaltens oder eine partielle Nutzungsänderung zur Verminderung der Belastung beitragen. In anderen Fällen müssen komplexe Zusammenhänge erst analysiert werden, bevor Maßnahmeempfehlungen gegeben werden können. Oder eine Lösungsmöglichkeit kann aus wirtschaftlichen Gründen nicht gleich umgesetzt werden.

In jedem Fall muss das Risiko, die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Schädigung, kommuniziert werden. Information verursacht keine unnötigen Ängste und Panik, sondern eröffnet Handlungsmöglichkeiten.

11. Vorschläge für Grenzwerte

Erste Ansätze zur Senkung der Belastung aus Holzschutzmittel-Rückständen

Für Wirkstoffkombinationen gibt es bislang keine Richtwerte (s.o.).

Hinsichtlich der **Richtwerte für die Bewertung der Belastung der Raumluft** wurden in der Bearbeitergruppe folgende Untergrenzen diskutiert (analog Richtwert I):

PCP	< 50 ng/m ³
DDT	< 50 ng/m ³
Lindan	< 10 ng/ m ³ .

(Die Bestimmungsgrenze liegt laut Labor Friedle bei 1 ng/m³).

Festzuhalten ist, dass Lindan z.T. stark verunreinigt war. Bei der Synthese von Lindan entstehen zu 86 % Nebenprodukte, die die toxische Wirkung beeinflussen können. Lindan ist wesentlich gefährlicher einzustufen als DDT.

³⁴ Ina Wiederhold (2005): Auswirkungen einer Holzschutzmittelbelastung im Niedrigdosisbereich, Dissertation Lübeck, S.48f.

³⁵ Ebenda, S.49.

³⁶ So hat u. a. die Raumtemperatur einen erheblichen Einfluss auf die Lindan- und DDT-Raumluftkonzentration in kontaminierten Innenräumen.

Pansch, Baudisch, Prösch. (2004): Temperaturabhängigkeit von Lindan- und DDT-Belastungen in Innenräumen, Umweltmed Forsch Prax (4), S.211.

Die Bearbeitergruppe hat sich bei den Luftmessungen vorläufig an den in der PCP- Richtlinie festgelegten und von Institutionen einzelner Bundesländer empfohlenen Richtwerten orientiert (siehe 10.5).

PCP	Richtwert I/Sanierungszielwert	unter 100 ng/m ³
	Richtwert II/Eingriffswert	über 1000 ng/m ³
DDT	Richtwert I/Sanierungszielwert	unter 300 ng/m ³
	Richtwert II/Eingriffswert	über 3000 ng/m ³
Lindan	Richtwert I/Sanierungszielwert	unter 100 ng/m ³
	Richtwert II/Eingriffswert	über 1000 ng/m ³

Über Simulationsversuche im Labor an mit DDT und/oder Lindan und/oder PCP behandelten Hölzern bei unterschiedlichen Temperaturen könnte die Bandbreite der möglichen Messergebnisse erkundet werden wie auch die Gasbildung.

Bisher nicht untersucht ist, wie viel DDT staubgebunden vorliegt, wie viel gasförmig anfällt. Für künftige Luftmessungen wurde innerhalb der Gruppe der Bearbeiter ein vorgeschalteter Partikelfilter erörtert.

Als **Maßnahmen zur Senkung des DDT-Gehalts in der Raumluft** kommen die relativ einfach zu realisierende Bindung von Staub in Frage wie auch die Verhinderung der Bildung von Gasen, die schwer zu realisieren ist.

Vorläufig wird folgende Handlungsanweisung vorgeschlagen:

1. Information der Eigentümer über ihre Pflichten und Verantwortlichkeiten
2. Risikokommunikation: Weitergabe der Information an die Angestellten, ehrenamtlich tätige Helfer und im Falle von Baumaßnahmen an die Handwerksbetriebe durch den Eigentümer, jeweils bezogen auf die unterschiedlichen Gefährdungssituationen. (A: Arbeiten im kontaminiertem Bereich, B: kontaminierte Innenraumluft).

Der Untersuchungs-/Bewertungs- und Handlungsbedarf ist im Einzelfall zu formulieren.

Als mögliche Maßnahmen zur Senkung der Belastung der Raumluft kommen zunächst folgende Maßnahmen in Betracht:

1. Änderung des Lüftungs- und Reinigungsverhaltens
2. Entstaubung von Dachräumen oder/und Reduzierung des Staubs
3. Minderung der Staubneubildung durch Beschichtung der Holzoberflächen mit einem Staubbinder wie einer wässrigen Leinölzubereitung, was nur für verhältnismäßig robuste Bauteile und Ausstattungselemente in Frage kommt, nicht für gefasste Oberflächen.
4. Anwendung von Schadstoffumwandlern an Dachkonstruktionen. Für Ausstattungen fehlen bislang geeignete Präparate.

12. Weiteres Vorgehen

Hinsichtlich der teilweise festgestellten Belastung der Raumluft mit Bioziden wird ein spezielles Verfahren zum „Risk Assessment“ für Baudenkmäler zu entwickeln sein, das einerseits die Gefährdung für die Nutzer des jeweiligen Objekts unter den jeweiligen Expositionsbedingungen in den Blick nimmt, andererseits den Aufwand und Nutzen von Möglichkeiten der Gefahrenbeseitigung oder –minderung.

Damit verbunden ist die Frage, woher im Einzelfall die Biozide kommen (aus dem Dach/ aus der Ausstattung). Es ist nach im Einzelfall geeigneten Möglichkeiten der Minderung der Gefahren zu suchen wie auch nach kurativen Möglichkeiten, um die toxischen Stoffe unschädlich zu machen. Diese Fragen sollen Gegenstand eines Anschlussprojektes sein: Gesundheits-/Personenschutz – Risk Assessment – kurative Maßnahmen zur möglichst umfassenden Materialerhaltung.

In jedem Fall sind die Momentaufnahmen der Luftmessungen zu überprüfen.

Diskutiert wurde, Passivsammler für DDT und Lindan an Kirchen zu verschicken, die nach 2 Wochen auszuwerten wären (Kosten pro Sammler ca. Euro 100,-), um Vergleichswerte zu den Ergebnissen der Luftmessungen zu erhalten. Bei den Luftmessungen (ca. Euro 750 pro Objekt) könnte ein vorgeschalteter Filter die partikelgebundenen Biozide von den gasförmigen trennen.

Das Problem der Mazeration erfordert einerseits weitere Forschungen und Versuche bezüglich der Behandlung akuter Schadensbilder. In den vergangenen Jahren „sanierte“ Objekte sind nachzuuntersuchen. Zum anderen muss es um die Vermeidung neuer Schäden gehen, wobei die „schlummernden“ Mazerationenfälle im Zentrum der Bemühungen stehen müssen, also die (zahlreichen) Objekte, die mit Feuerschutzsalzen behandelt wurden, aber noch keine oder nur geringe Mazerationsschäden aufweisen.

Anhang

Standardarbeitsanleitung

Holzprobennahme

Die Holzkonstruktionen zahlreicher historischer und bedeutender Gebäude wurden zum Zweck der Werterhaltung mit Schutzmitteln gegen Schädlings- und Brandgefahr vorbeugend mit Holz- und/oder Feuerschutzmitteln behandelt, teilweise erfolgten diese Maßnahmen mehrfach. Die seinerzeit verwendeten Schutzmittel sind allerdings nicht nebenwirkungsfrei und können sich unter Umständen auf die Nutzer der Gebäude und das behandelte Holz selbst (z.B. Mazeration) negativ auswirken, so daß Untersuchungsbedarf bestehen kann.

Anwendungsbereich: Entnahme von Holzproben zur Ermittlung des Gehaltes an Wirkstoffen aus Holz- und/oder Feuerschutzmitteln mit dem Ziel, mögliche gesundheits- und umweltbezogenen Risiken bewerten und ggf. erforderlichenfalls Abwehrmaßnahmen einleiten zu können.

Diese Anleitung ist für die Bewertung des Schutzzumfanges (vorbeugender und bekämpfender Holzschutz, vorbeugender Feuerschutz) **nicht** geeignet.

Erläuterung: Für die Bewertung einer Belastung durch Holzschutz-Biozide und/oder Feuerschutzkomponenten ist insbesondere der oberflächennahe Bereich der gegenständlichen Hölzer von Interesse, da die Abgabe von kritischen Stoffen an die Umgebungsluft oder über kontaminierte Stäube nur von der Oberfläche aus erfolgen kann.

Durchführung: Pro Objekt sollten 10 – 20 Einzelproben entnommen werden, die zu einer Mischprobe zu vereinigen sind. Zweckmäßigerweise sind die Proben mit einem Stechbeitel in Form von 1 bis (max!) 3 mm starken Spänen von der Holzoberfläche zu entnehmen.

Bei umfangreichen Objekten sind die Proben abschnittsweise zu entnehmen. Liegen Bauteile aus verschiedenen Bau- oder Umbaupochen vor, empfiehlt sich eine getrennte Probenahme.

Verpackung: Jede Mischprobe ist in Alufolie einzuwickeln und dauerhaft zu kennzeichnen. 2,5 bis 5,0 g Spanmaterial sind in der Regel ausreichend. Sind auch Bestandteile von Flammenschutzmitteln quantitativ zu bestimmen, ist es sinnvoll, 5 – 10 g Späne bereitzustellen.

Dokumentation:	Zu jeder Mischprobe ist ein Probenahmeprotokoll anzufertigen (Formblatt) ggf. ergänzt durch Fotografien der Probenahmepunkte, soweit möglich sind die Entnahmestellen am Objekt zu markieren, Planskizzen und Aufrißzeichnungen erleichtern die Wiederauffindbarkeit der Entnahmestellen.
Anmerkungen:	Die Entnahme der Holzproben erfordert Erfahrungen und Kenntnisse auf dem Gebiet des Holz- und Feuerschutzes ebenso wie aus dem Bereich des Bauwesens und der Bauhistorie. Die aus den Untersuchungsergebnissen herleitbaren Erkenntnisse sind von maßgeblicher Bedeutung für die • Gebäudenutzung/Gebäudesanierung • Arbeitshygiene bei Arbeiten am Objekt • Entsorgung ausgebauter/ausgewechselter Bauteile • Auswirkung auf das Inventar (z.B. Bibliotheken etc.) • Wertbestimmung des Objektes • Maßnahmen bei Störfällen (z.B. Brandereignisse) • Planung und Organisation von Dekontaminationsmaßnahmen
Parameter:	Umfang A: PCP, DDT, γ-HCH, deren Isomere und relevante Verunreinigungen quantitativ Umfang B: Phosphat und Fluorid qualitativ Umfang C: PCP, DDT, γ-HCH analog A, zusätzlich Phosphat und Fluorid quantitativ Umfang D: Gewünschte Parameter einzeln aufführen
Impressum/Copyright:	

Probenahmeprotokoll

Auftraggeber/Objekt

Kurzbeschreibung

Probennehmer

Datum

Parameter

Umfang



Einzelparameter

Kennzeichnung

Bemerkungen/begleitende Dokumente

Anleitung zur Entnahme von Staubproben

Hintergrund: Mittels der Untersuchungen von Staubproben lassen sich Belastungen durch Feuer- und Flammenschutzmittel sowie weiterer Stoffe z.B. Holzschutzmittel erkennen und ein möglicher weiterer Untersuchungsbedarf abschätzen.

Anwendungsbereich: Dieses Verfahren dient im Wesentlichen der Situationsbeurteilung in historischen und öffentlichen Baulichkeiten wie Kirchen, Schlössern, Museen und vergleichbarer Einrichtungen.

Methodengrundlage: Stäube organischer und anorganischer Natur haben aufgrund der hohen spezifischen Oberfläche die Eigenschaft, Fremdstoffe aller Art anzulagern und anzureichern. Stäube stellen deshalb ein probates Ausgangsmaterial für die Beurteilung von Belastungen verschiedenster Art dar. Die Ergebnisse geben mindestens eine sog. ja/nein Information wieder, maximal ein semiquantitatives Resultat zur groben Abschätzung der Situation.

Probenentnahme: Die Probenentnahme orientiert sich an den örtlichen Gegebenheiten.

A Dachstühle

Auf Dachstühlen gestaltet sich die Probenahme in der Regel relativ einfach, an 10 – 20 verschiedenen Stellen werden die Staubproben gesammelt, vom Boden, von Balken, in Ecken und Winkeln.

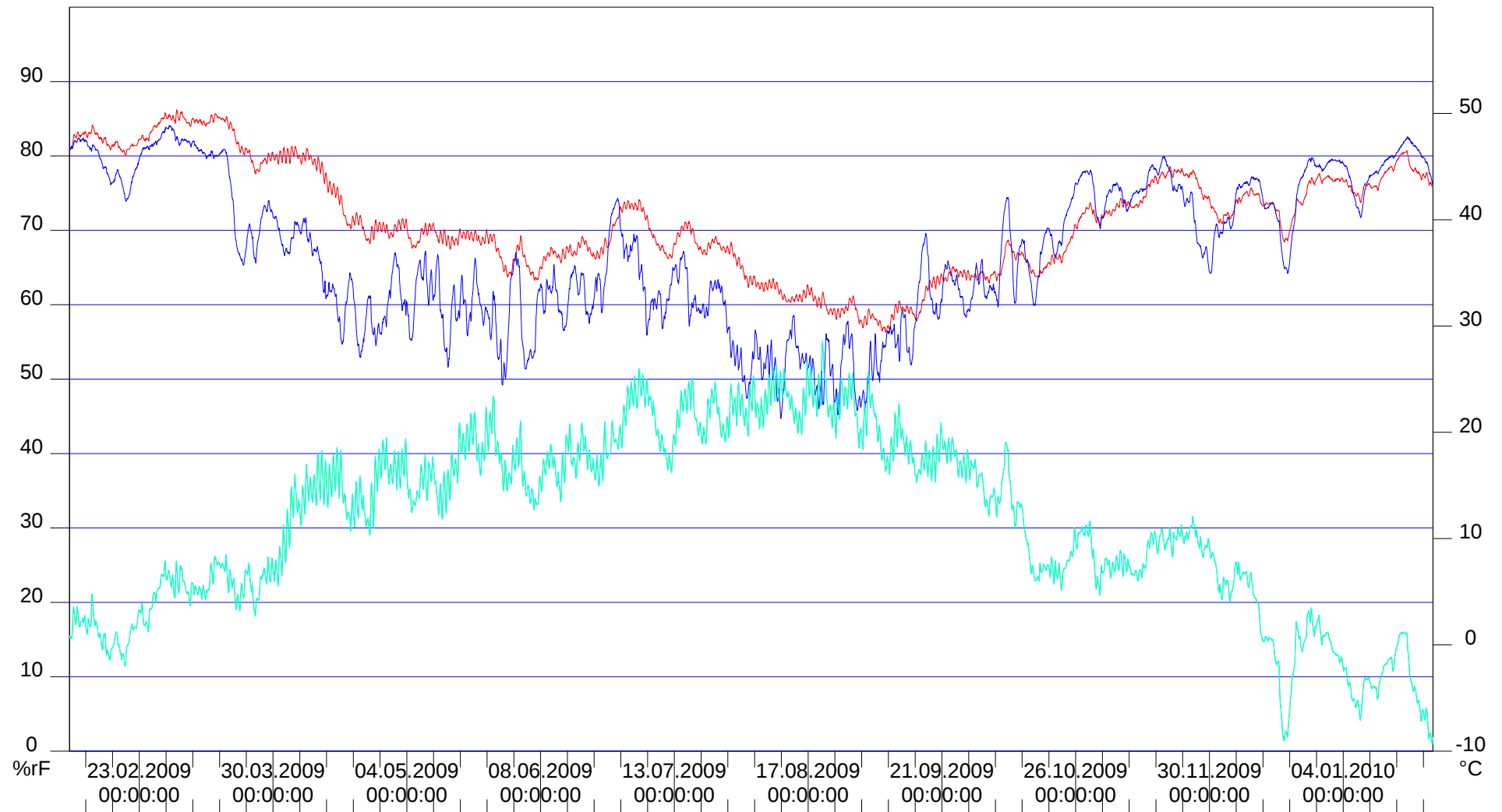
B Andere Räumlichkeiten

In Räumen, die einer fallweisen oder regelmäßigen Reinigung (Entstauben) etc. unterliegen, eignen sich Proben von schwer zugänglichen Stellen sowie Proben von Kehrgut und aus Staubsaugerbeuteln.

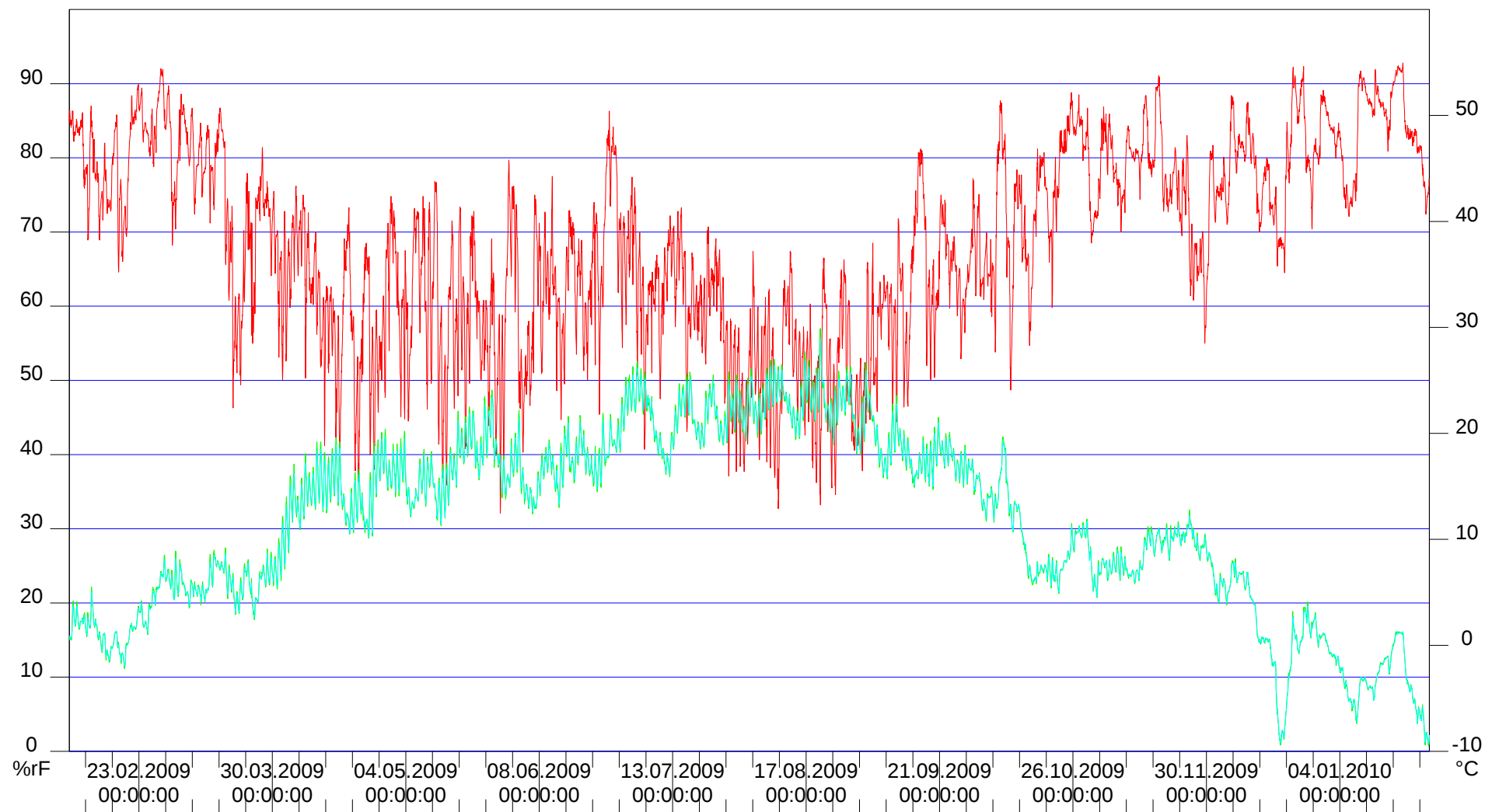
Grundsätzlich gilt: je mehr Entnahmestellen, je mehr Material und je älter der Staub, desto zuverlässiger ist die Ergebnislage.

Staubuntersuchung:	Die Proben werden im Labor homogenisiert und im Falle von organischen Stoffen extrahiert und per GC/MS oder LC/MS auf ein weites Spektrum von Bioziden und artfremden Verbindungen abgerastert. Anorganische Stoffe werden nach dem Verfahren der AAS und ggf. nach klassischen Methoden bestimmt.
Die Probe:	Minimal sollten 2 – 3 g Staub, optimal 10 – 20 g entnommen werden. Ein Pinsel zum Sammeln und eine geeignete (inerte) Verpackung sowie ein Probenbegleitschein können angefordert werden (siehe unten).
Kontaktanschriften:	Zur Anforderung der Spezialbehältnisse etc. Udo Tostmann M.A. Arbeits- und Sicherheitsplanung Fregestr. 27 A 12161 Berlin Die Proben sind zuzusenden an: SVB Hans-Norbert Marx Türkenlouisstr. 5 77815 Bühl-Vimbuch
Zeichnungen/Skizzen:	Es ist sehr hilfreich, wenn bei der Probenahme eine grobe Handskizze vom Objekt und den Entnahmestellen angefertigt wird.
Stand Dezember 2009 Seite 2 von 2	
Forschungsgruppe MATE	

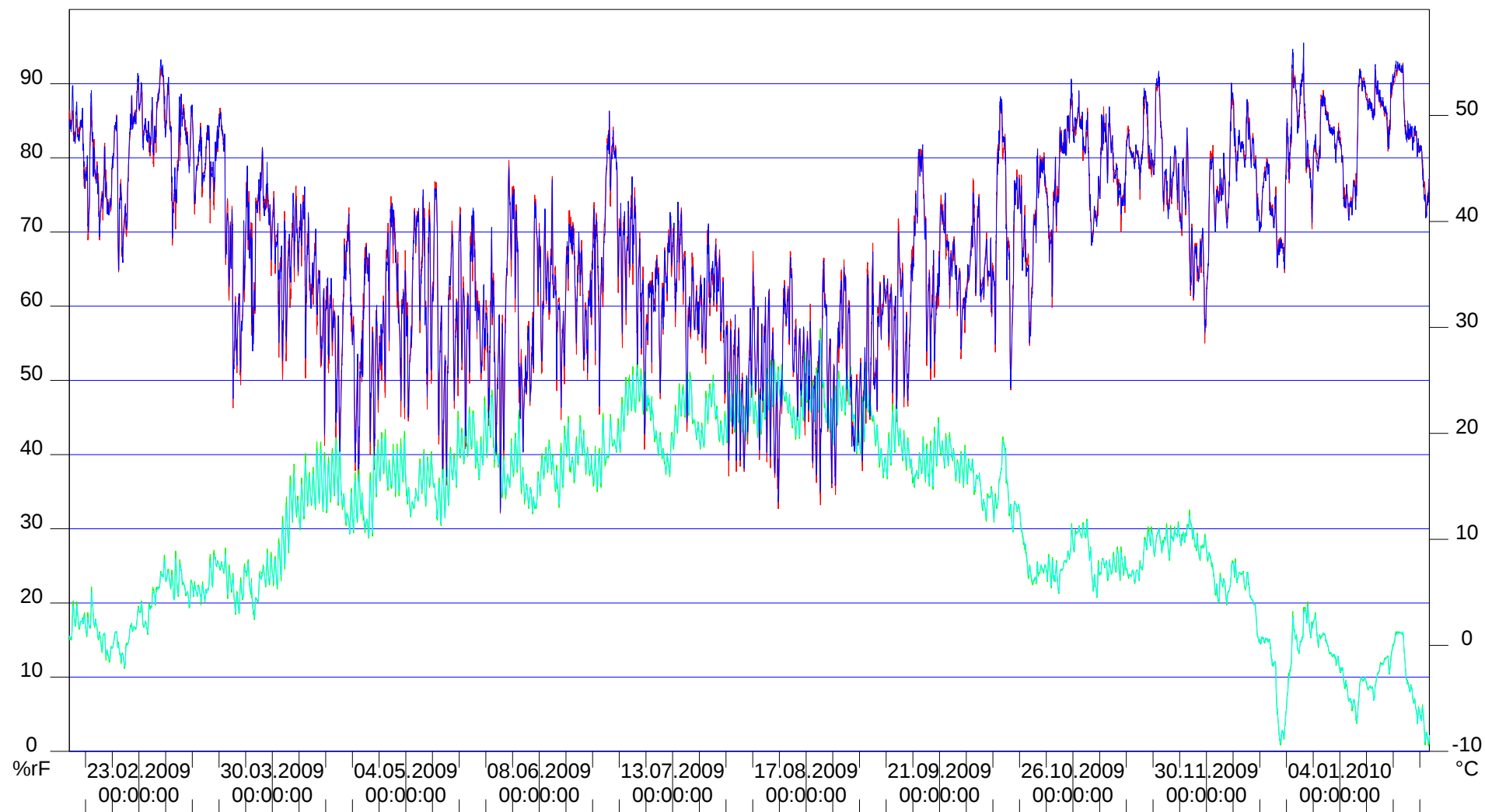
Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 1			K:1 [%rF] rel. F. im...	56.30	86.20	71.42
Halle Dom Dachstuhl			K:2 [°C] Temp. im ...	-9.30	28.50	11.74
Logger Gj41			K:3 [%rF] rel. F. au...	44.70	84.10	66.92
Anschl. 1 Gj 4.2.1 Ausgleichsfeuchte im Holz rel. F. = rot; Temp. = grün			K:4 [°C] Temp. auf ...	-9.40	28.60	11.76
Anschl. 2 F/T 6.2 Ausgleichsfeuchte auf dem Holz rel. F. = dunkelblau; Temp. = hellblau						



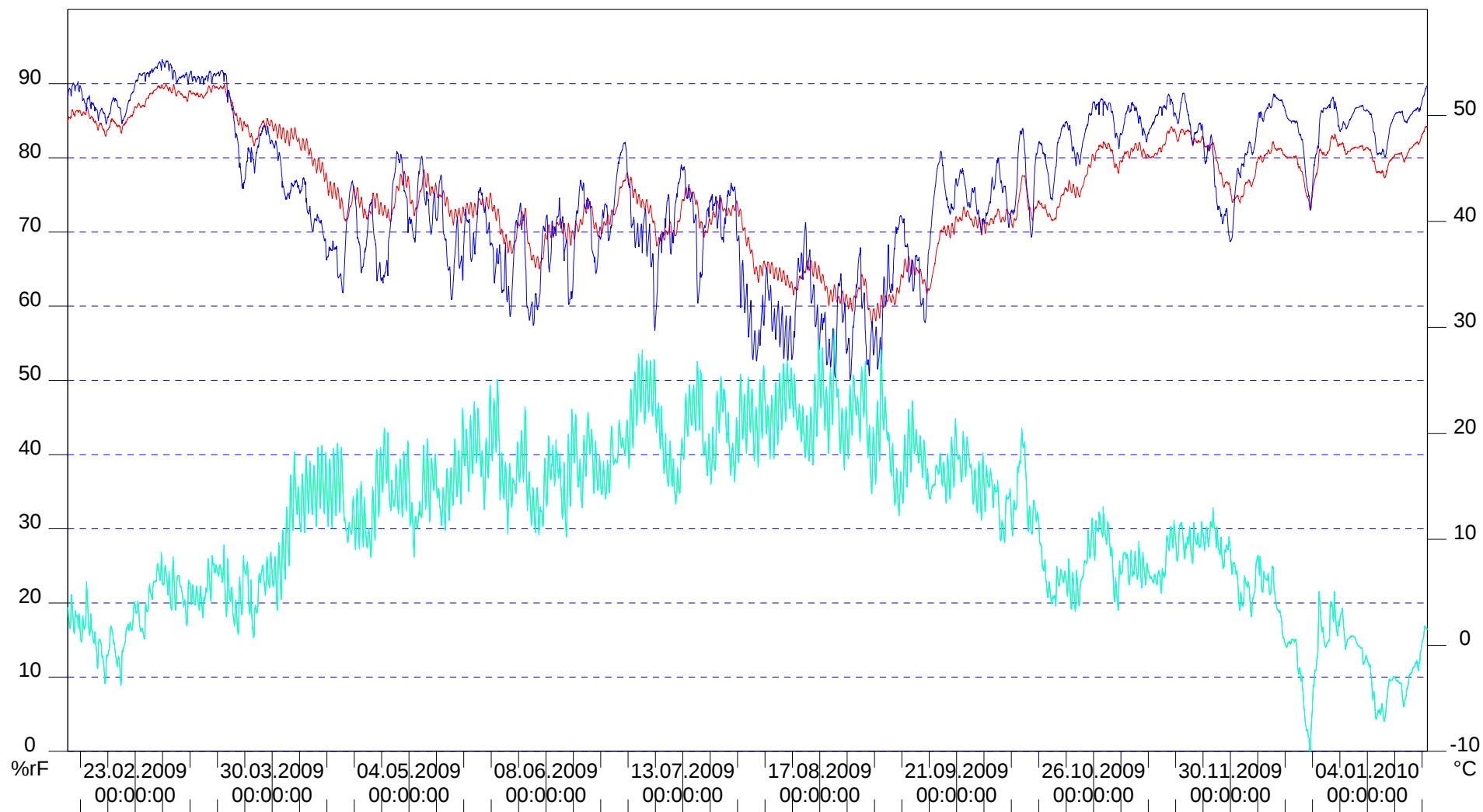
Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 1.1			K:1 [%rF] Channel 1	32.10	92.80	68.51
Halle Dom Dachstuhl			K:2 [°C] Channel 2	-9.50	29.90	11.77
Logger 11.5 Raumklima rel. F. = rot; Temp. = grün			K:3 [°C] Channel 4	-9.30	28.90	11.75
T11.5 Oberflächentemp Holz = hellblau						



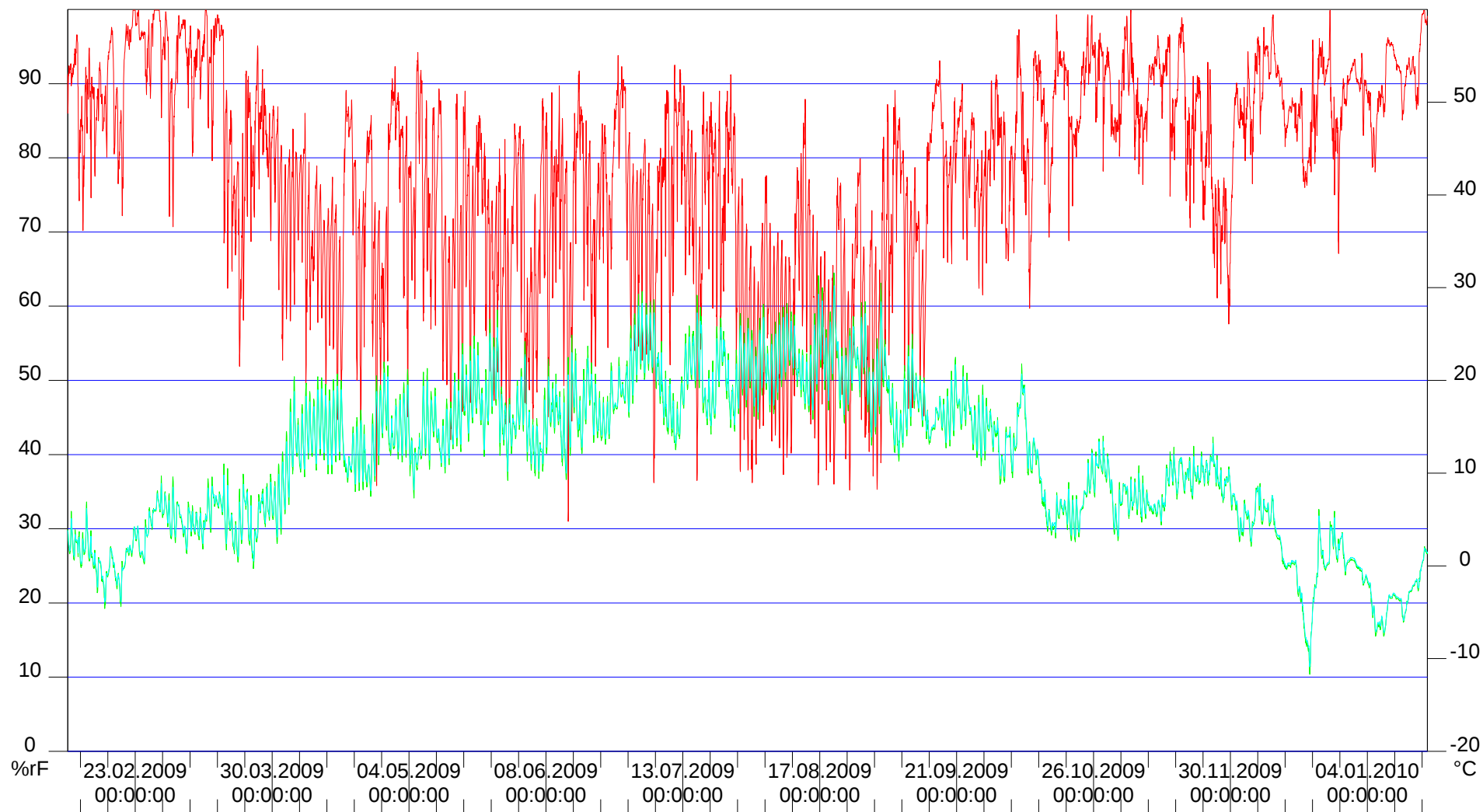
Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 1.2			K:1 [%rF] Channel 1	32.10	92.80	68.51
Halle Dom Dachstuhl			K:2 [°C] Channel 2	-9.50	29.90	11.77
Logger 11.5 Raumklima rel. F. = rot; Temp. = grün			K:3 [°C] Channel 4	-9.30	28.90	11.75
T11.5 Oberflächentemp Holz = hellblau			K:6 [%rF] %rF	32.29	95.50	68.56
rel. Feuchte im Kontaktbereich der Raumluft zum Holz = dunkelblau						



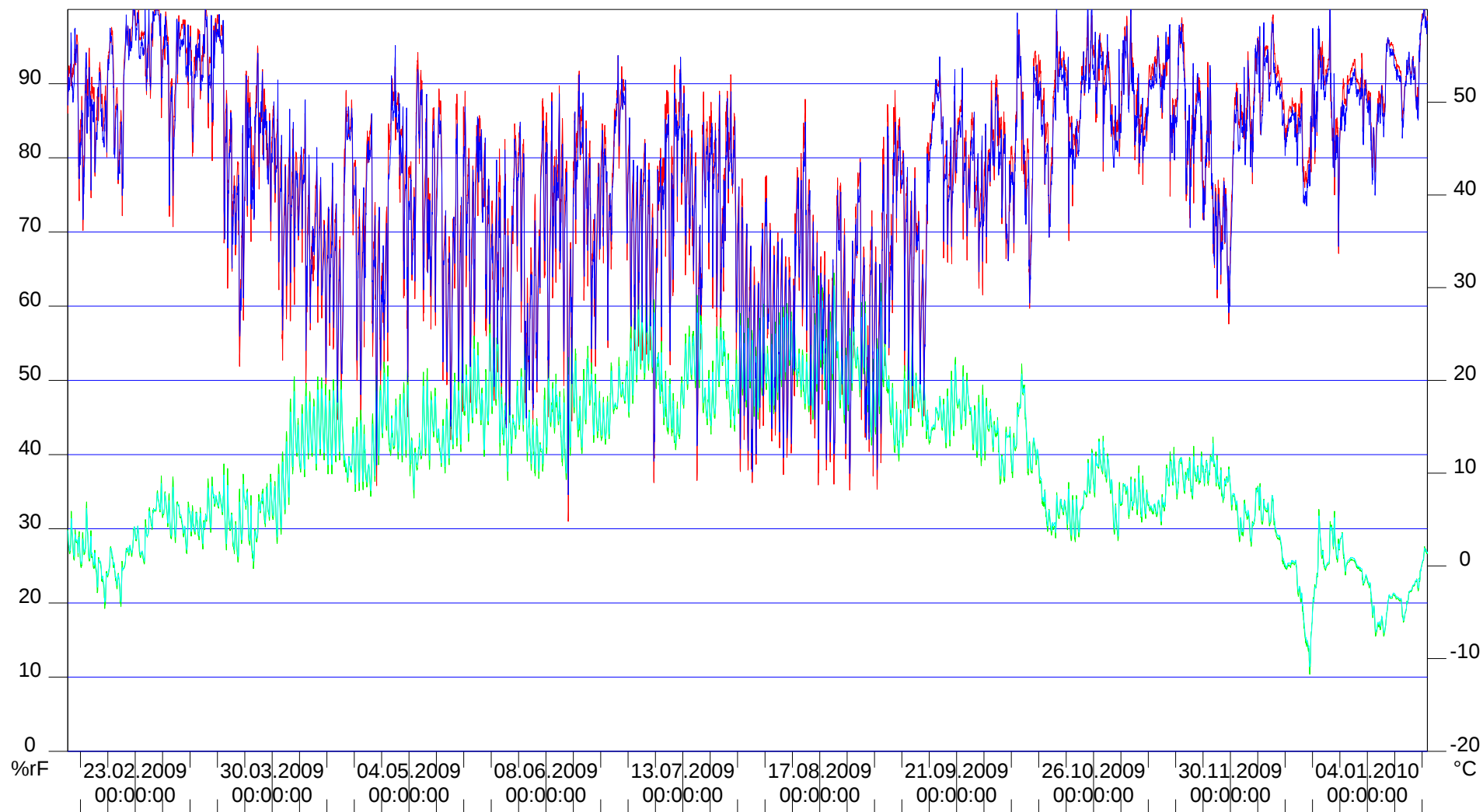
Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 2			K:1 [%rF] rel. F. im...	57.50	89.90	75.67
Naumburg Dom Dachstuhl			K:2 [°C] Temp. im ...	-10.50	29.50	11.49
Logger 2.5			K:3 [%rF] rel. F. au...	50.10	93.30	75.94
Anschl. 1 F 5.1.1 Ausgleichsfeuchte im Holz rel. F. = rot; Temp. = grün			K:4 [°C] Temp. auf ...	-10.60	29.80	11.52
Anschl. 2 F 4.5.1 Ausgleichsfeuchte auf dem Holz rel. F. dunkelblau; Temp. = hellblau						



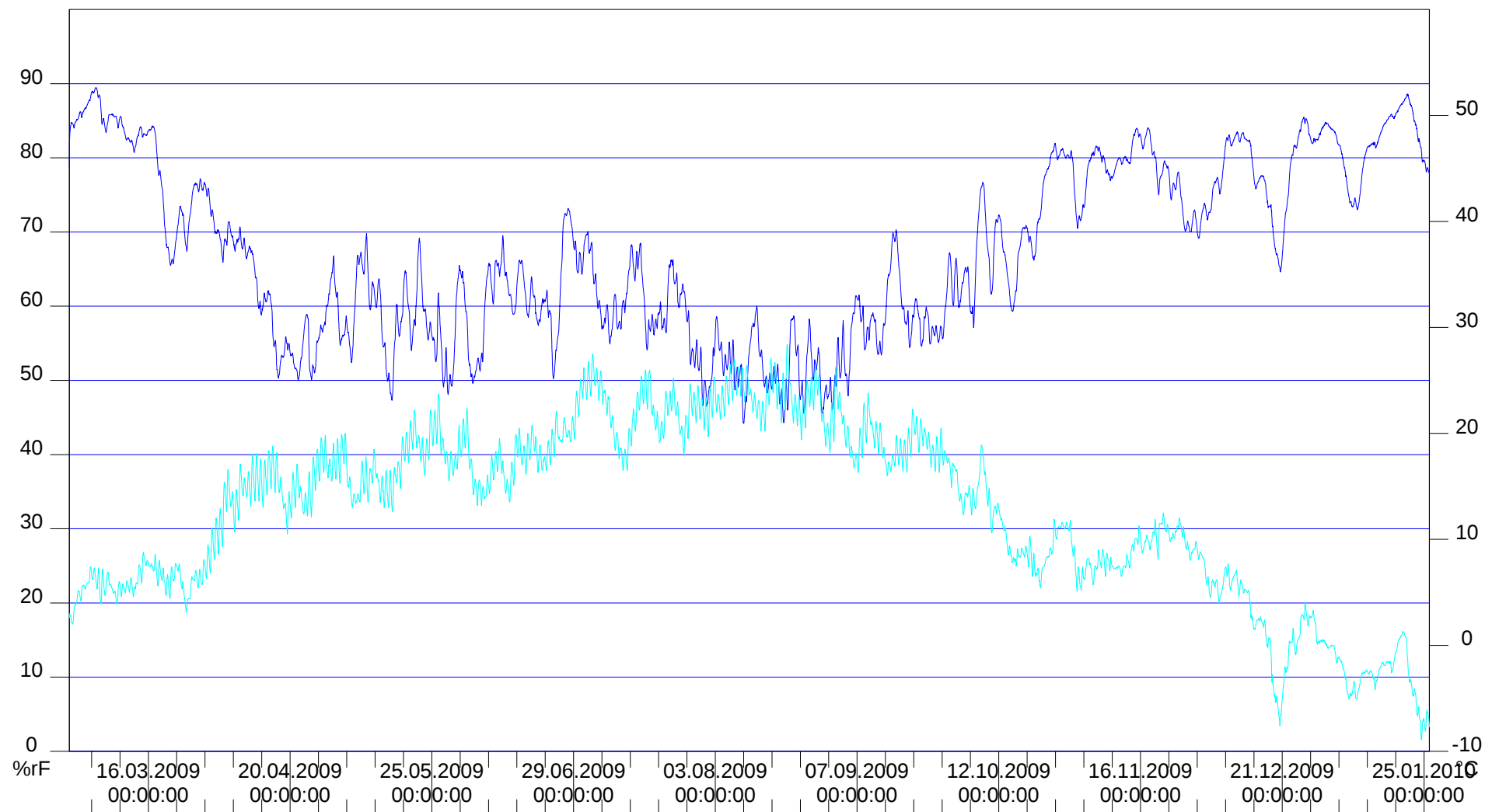
Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 2.1			K:1 [%rF] Channel 1	31.00	99.90	78.43
Naumburg Dom Dachstuhl			K:2 [°C] Channel 2	-11.70	31.60	11.39
Logger 11.3 Raumklima rel. F. = rot; Temp. = grün			K:3 [°C] Channel 4	-10.90	30.20	11.50
T11.3 Oberflächentemp. Holz = hellblau						



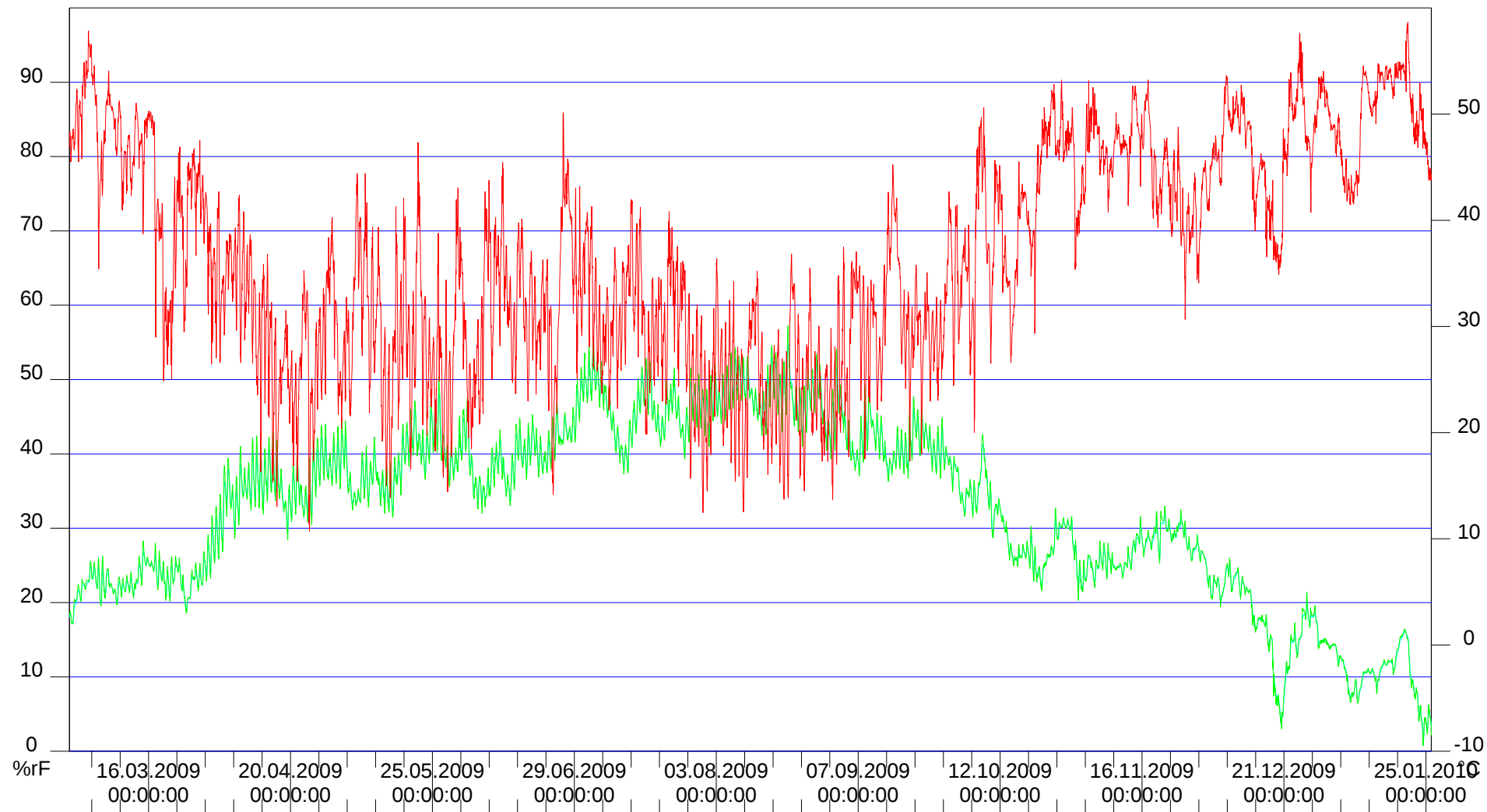
Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 2.2			K:1 [%rF] Channel 1	31.00	99.90	78.43
Naumburg Dom Dachstuhl			K:2 [°C] Channel 2	-11.70	31.60	11.39
Logger 11.3 Raumklima rel. F. = rot; Temp. = grün			K:3 [°C] Channel 4	-10.90	30.20	11.50
T11.3 Oberflächentemp. Holz = hellblau			K:6 [%rF] %rF	34.59	104.11	77.70
rel. Feuchte im Kontaktbereich der Raumluft zum Holz = dunkelblau						



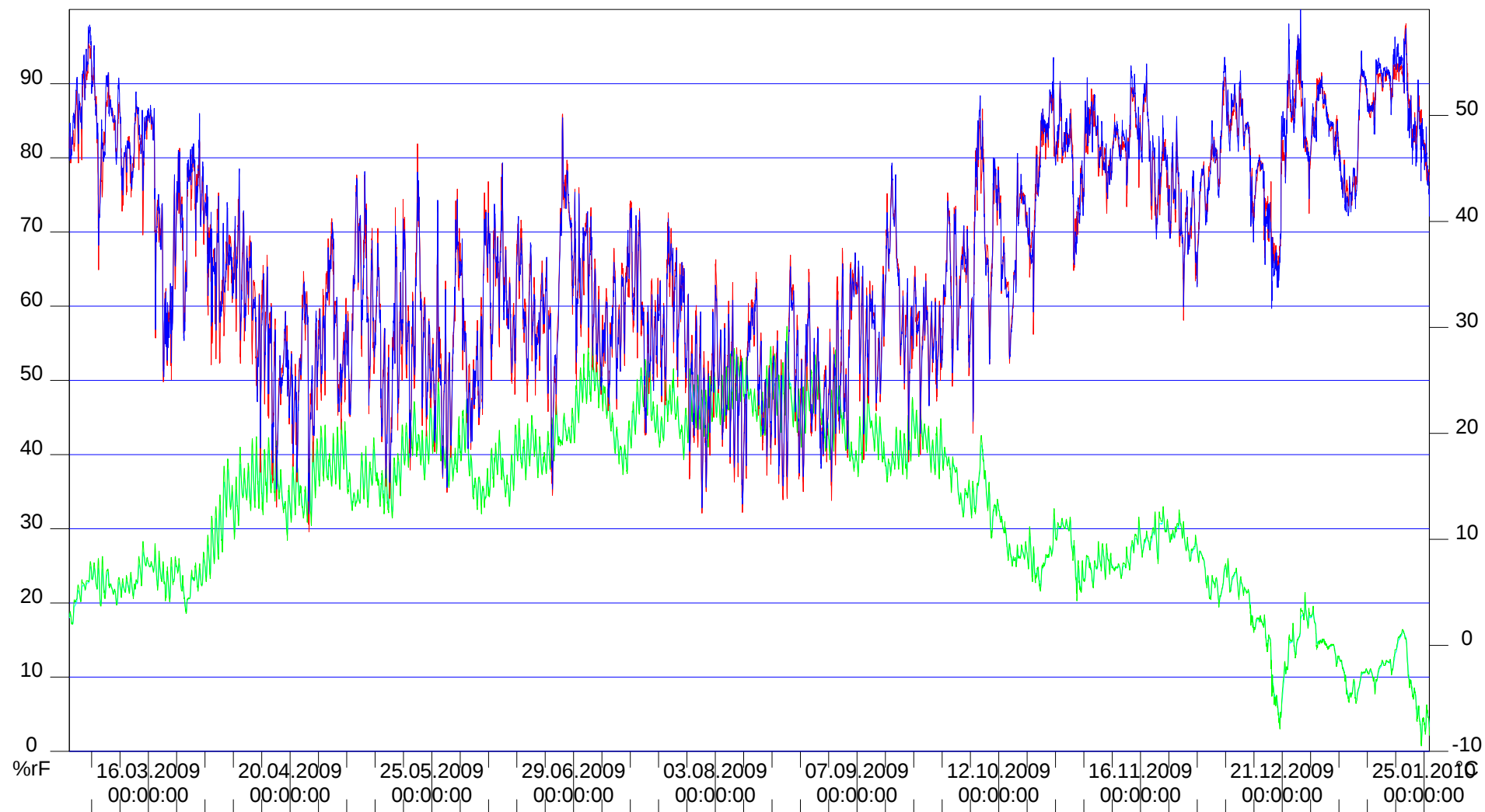
Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 3			K:1 [%rF] rel. F. au...	44.20	89.50	67.11
Magdeburger Dom Dachstuhl			K:2 [°C] Temp. auf ...	-8.90	28.40	12.91
Logger 5						
Anschl. 1: F6.1 Ausgleichsfeuchte auf dem Holz rel. F. = dunkelblau; Temp. = hellblau						



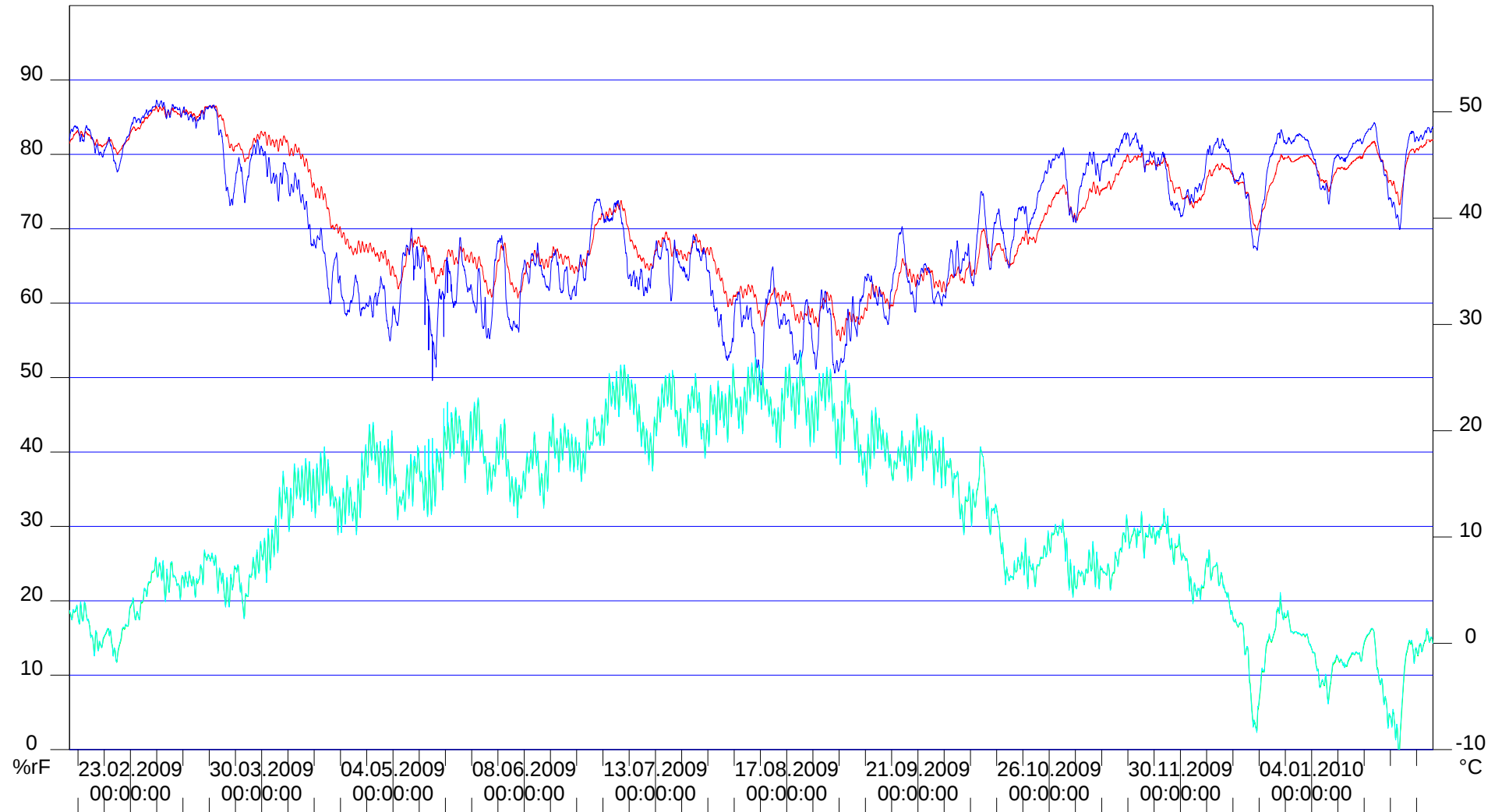
Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 3.1			K:2 [°C] Temp. auf ...	-8.90	28.40	12.91
Magdeburger Dom Dachstuhl			K:4 [°C] Temp. Da...	-9.50	30.10	12.98
Logger 5 Raumklima im Dachstuhl re. F. = rot, Temp. = grün			K:3 [%rF] rel. F. D...	29.60	98.10	66.59
Oberflächentemperatur Holz = hellblau						



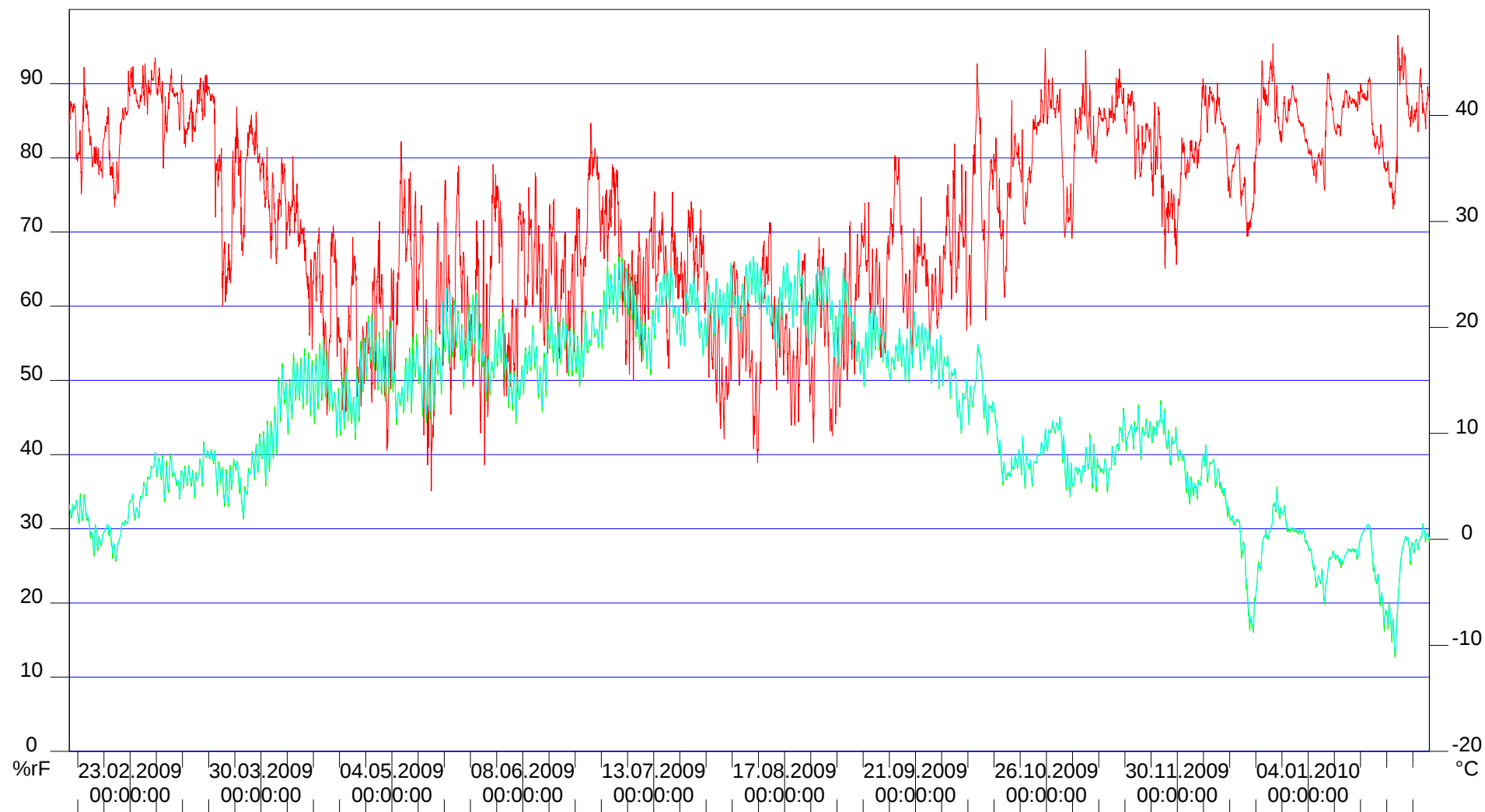
Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 3.2			K:2 [°C] Temp. auf ...	-8.90	28.40	12.91
Magdeburger Dom Dachstuhl			K:4 [°C] Temp. Da...	-9.50	30.10	12.98
Logger 5 Raumklima im Dachstuhl re. F. = rot, Temp. = grün			K:3 [%rF] rel. F. D...	29.60	98.10	66.59
Oberflächentemperatur Holz = hellblau			K:7 [%rF] %rF	32.02	101.50	66.84
rel.Feuchte im Kontaktbereich der Raumluft zum Holz = dunkelblau						



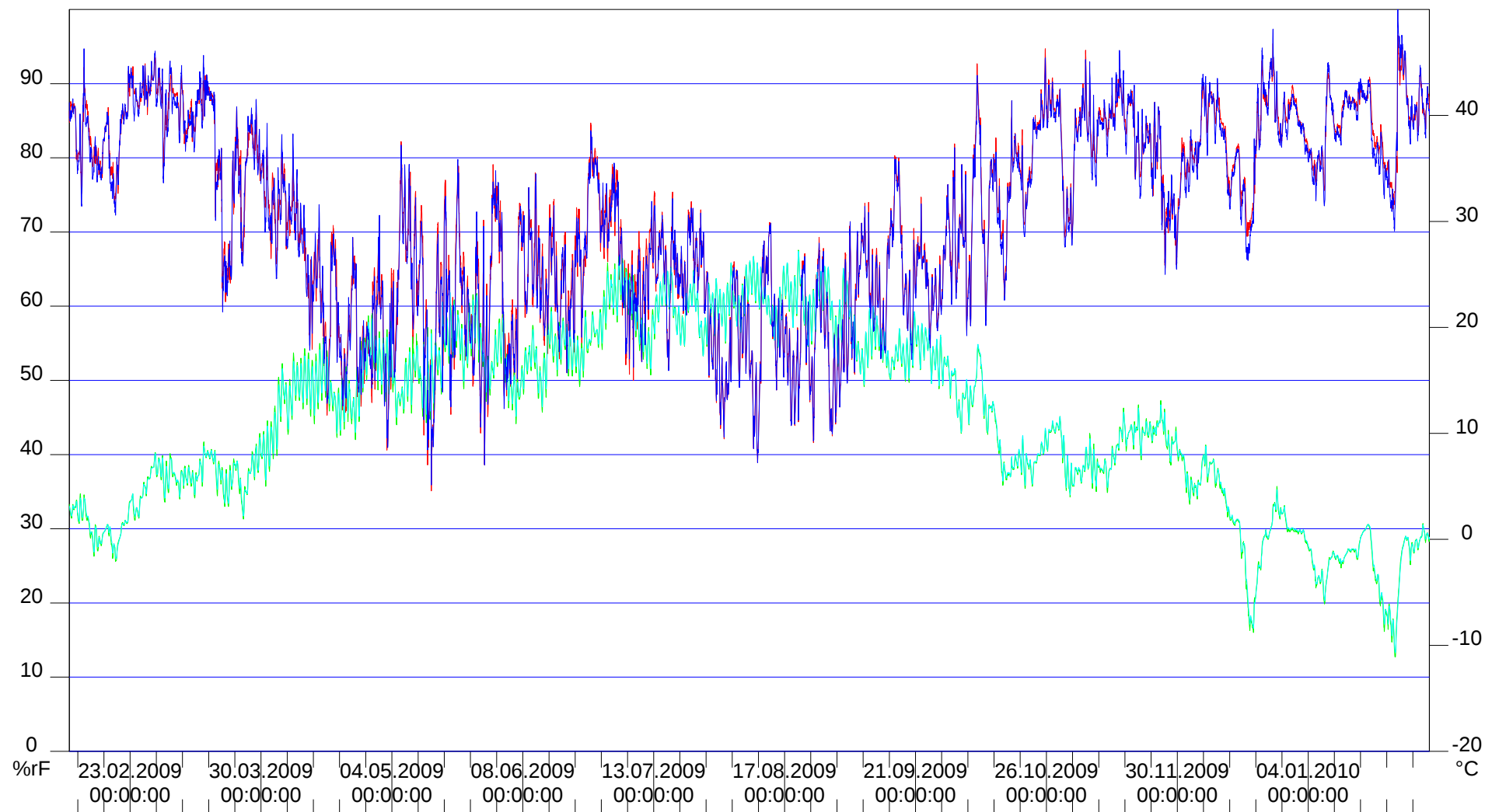
Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 4			K:1 [%rF] rel. F. im...	54.90	86.60	71.59
Wittenberg Stadtkirche			K:2 [°C] Temp. im ...	-10.50	26.80	11.67
Logger 2.6			K:3 [%rF] rel.F. auf...	49.00	87.30	70.63
Anschl. 1 F 1.2 Ausgleichsfeuchte im Holz rel. F. = rot; Temp. = grün			K:4 [°C] Temp. auf ...	-10.60	27.40	11.71
Anschl. 2 F/T2.1 Ausgleichfeuchte auf dem Holz rel. F. =dunkelblau; Temp. hellblau						



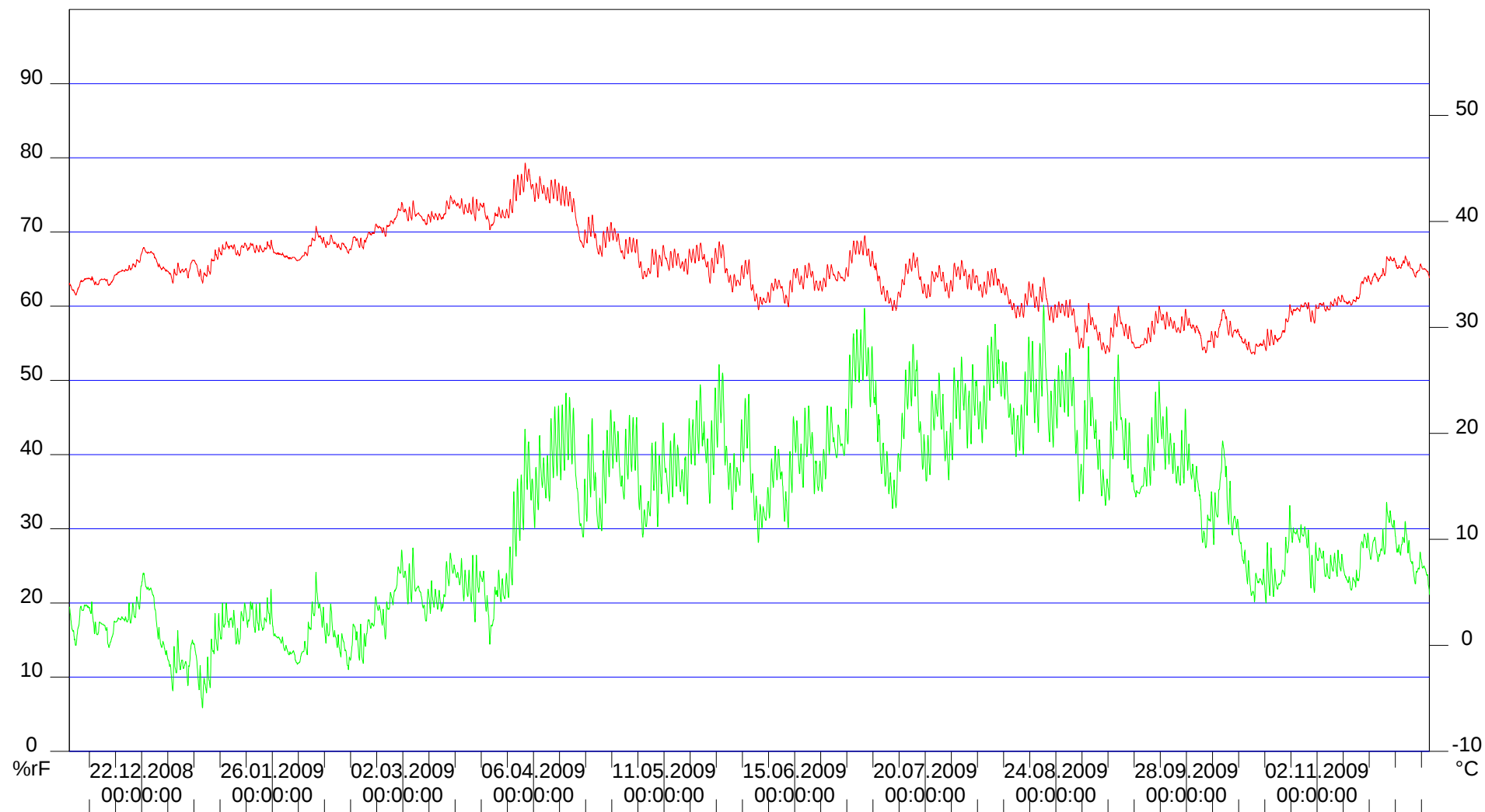
Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 4.1			K:1 [%rF] Channel 1	35.10	96.50	72.12
Wittenberg Stadtkirche Dachstuhl			K:2 [°C] Channel 2	-11.10	27.30	11.54
Logger 10.5 Raumklima rel. F. = rot; Temp. = grün			K:3 [°C] Channel 4	-10.70	27.20	11.63
Anschl. T10.5 Oberfl.-temp. Holz = hellblau						



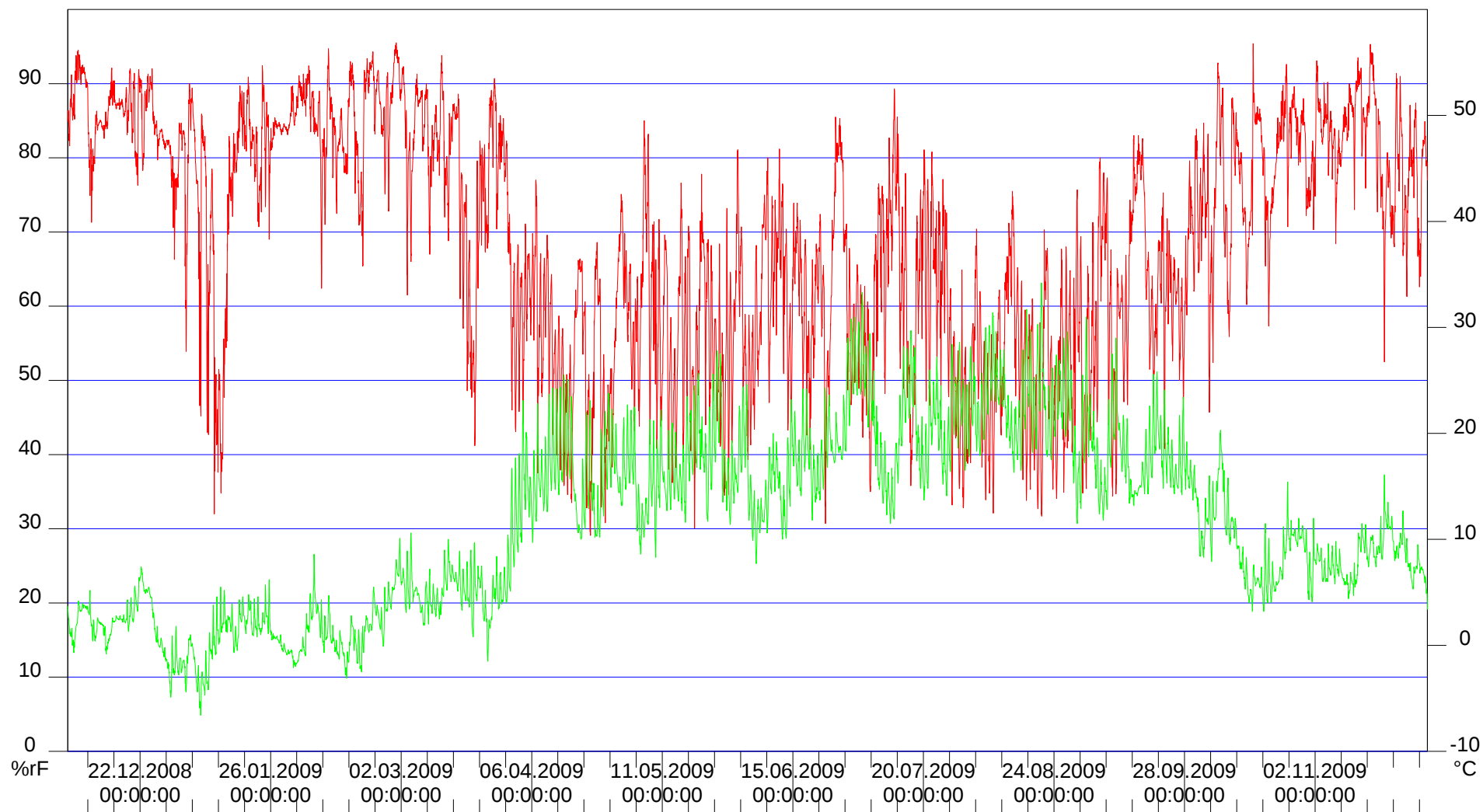
Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 4.2			K:1 [%rF] Channel 1	35.10	96.50	72.12
Wittenberg Stadtkirche Dachstuhl			K:2 [°C] Channel 2	-11.10	27.30	11.54
Logger 10.5 Raumklima rel. F. = rot; Temp. = grün			K:3 [°C] Channel 4	-10.70	27.20	11.63
T10.5 Oberfl.-temp. Holz = hellblau			K:6 [%rF] %rF	35.90	100.39	71.71
rel. Feuchte im Kontaktbereich der Raumluft zum Holz = dunkelblau						



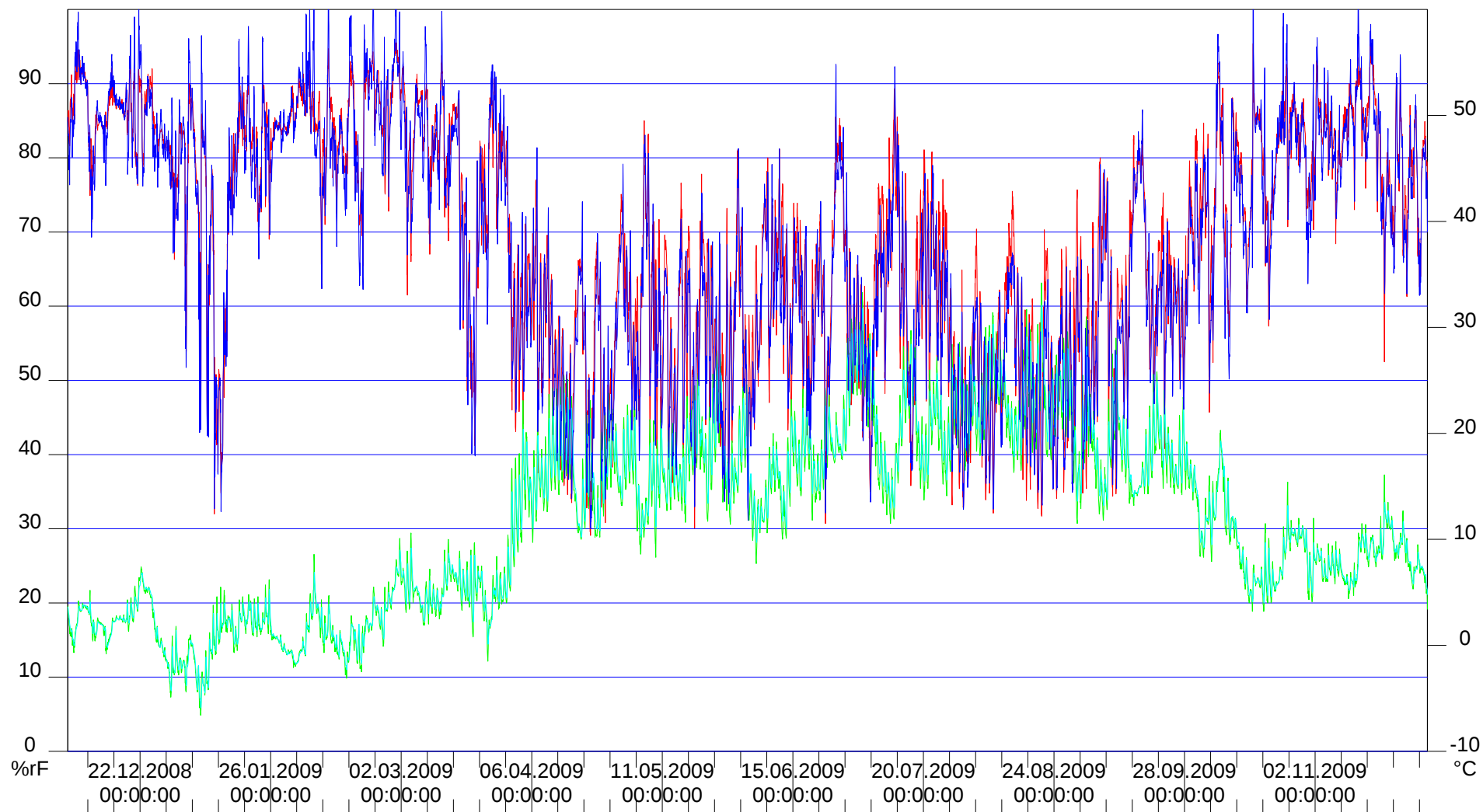
Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 5			K:3 %rF	53.50	79.30	64.65
Blankenburg Schloss, Dachstuhl über Theatersaal			K:4 °C	-5.90	32.10	11.91
Logger 6.2						
Anschl. 2 FNr. F 6.2.2 Ausgleichsfeuchte im Holz rel.F. = rot; Temp. = grün						
Zeitraum. 02.12.2008 bis 02.12.2010						



Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 5.1			K:1 %rF	29.10	95.50	69.32
Blankenburg Schloss, Dachstuhl über Theatersaal			K:2 °C	-6.60	34.20	11.65
Logger 6.2						
Anschl. 1 FNr. F 6.2.1 Raumklima rel.F. = rot; Temp. = grün						
Zeitraum. 02.12.2008 bis 02.12.2010						



Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 5.2			K:1 %rF	29.10	95.50	69.32
Blankenburg Schloss, Dachstuhl über Theatersaal Logger 6.2			K:2 °C	-6.60	34.20	11.65
Anschl. 1 FNr. F 6.2.1 Raumklima rel.F. = rot; Temp. = grün			K:4 °C	-5.90	32.10	11.91
Anschl. 2 FNr. F 6.2.2 Holztemperatur Temp. = grün			K:7 %rF	30.03	108.07	68.29
rel. Feuchte im Kontaktbereich der Raumluft zum Holz = dunkelblau						
Zeitraum. 02.12.2008 bis 02.12.2010						



Dorfstr. 35
29485 Lemgow

Gesundheitliche Stellungnahme im Rahmen des Forschungsprojekts
„Mazeration historischer Dachkonstruktionen
Erhebung und Klassifizierung des Schadensumfangs in Sachsen-Anhalt
Entwicklung und Erprobung eines Schnellverfahrens (MATE)“

Inhalt

- 1. Vorbemerkung**
- 2. Grundlagen für die gutachtliche Stellungnahme**
- 3. Kurze Darstellung der Toxikologie der im Vorhaben untersuchten Wirkstoffe in Holzschutzmitteln**
 - 3.1 DDT¹**
 - 3.2 Lindan²**
 - 3.3 PCP³**
 - 3.4 Fluoride**
- 4. Grenzkonzentrationen- und Grenzwerte**
 - 4.1 DDT**
 - 4.2 Lindan**
 - 4.3 PCP**
 - 4.4 Fluoride**
- 5. Bewertung der Messdaten und Empfehlungen von Richtwerten und Maßnahmen**
 - 5.1 DDT**
 - 5.2 Lindan**
 - 5.3 PCP**
 - 5.4 Fluoride**
- 6. Weitere Empfehlungen**

¹ DDT = Dichlordiphenyltrichlorethan

² Lindan = gamma-Hexachlorcyclohexan

³ PCP = Pentachlorphenol

1. Vorbemerkung

In der Vergangenheit besonders in den Jahren vor und während des zweiten Weltkrieges wurden in historisch wertvollen Gebäuden, an historischen Dachstühlen und anderen Holzkonstruktionen wie hölzernen Decken umfangreiche Behandlungen mit Flammenschutzmitteln vorgenommen. Nach dem zweiten Weltkrieg wurden an den gleichen Objekten vielfach chemische Holzschutzmaßnahmen durchgeführt. In den 90er Jahren wurden in Sachsen-Anhalt wie auch in Brandenburg und Thüringen wiederholt Fälle von Holzkorrosion oder Mazeration an historischen Dachstühlen beobachtet. Diese Schäden sind der Anlass zu Untersuchungen und Forschungsvorhaben zur Ermittlung wieweit umfassendere Schäden an den historischen Bauten möglich sind und wieweit – bedingt durch die breite Anwendung von Holzschutzmitteln – gesundheitliche- und Arbeitsschutzprobleme abgeschätzt werden können.

2. Grundlagen für die gutachtliche Stellungnahme

Die hier vorgelegte gesundheitliche Stellungnahme im Rahmen des Projekts „Mazeration historischer Dachkonstruktionen Erhebung und Klassifizierung des Schadensumfangs in Sachsen-Anhalt Entwicklung und Erprobung eines Schnellverfahrens (MATE)“ wird auf der Basis der in diesem Vorhaben gewonnenen Daten und Messwerten vorgenommen. In Anlage 1 sind die Ergebnisse der Laboruntersuchungen an Holzproben aus den Dachkonstruktionen von insgesamt 38 Gebäuden aufgelistet. Es wurde auf die Wirkstoffe DDT, PCP und Lindan in Holzschutzmitteln und auf Fluorid und Phosphat als Nachweis für die Behandlung der Objekte mit Flammenschutzmitteln untersucht. In Anlage 2 sind die Ergebnisse der Luftmessungen zusammengefasst. Für insgesamt 37 Innenräume (Dachstühle, Kirchenräume) wurden Messungen auf DDT, PCP und Lindan vorgenommen. Die Messergebnisse sind als Einzelwerte von Luftmessungen ausgewiesen, so dass von der Darstellung einer repräsentativen Belastungssituation gegenwärtig noch nicht ausgegangen werden kann. Für eine gesundheitliche Bewertung der Belastungssituation wird dies zu berücksichtigen sein.

3. Kurze Darstellung der Toxikologie der im Vorhaben untersuchten Wirkstoffe in Holzschutzmitteln

3.1 DDT

DDT war eine der am intensivsten verwendeten Chemikalien zur Insektenbekämpfung in landwirtschaftlichen Kulturen, zur Malariabekämpfung und auch im chemischen Holzschutz. Holzschutzmittel mit insektenbekämpfender und -vorbeugender Wirkung wie Anobiotol, Bianobia, Duotex wurden in der DDR nach 1949 hergestellt. Seit 1959 wurde Hylotox mit den Wirkstoffen DDT und Lindan hergestellt, Restbestände durften nach dem Holzschutzmittelverzeichnis von 1990 noch bis Ende Juni 1991 verbraucht werden.

Technisches DDT ist ein aus weißen, geruchlosen Kristallen bestehendes Gemisch, welches aus drei isomeren Hauptbestandteilen (p,p'-DDT, o,p'-DDT und o,o'-DDT) sowie weiteren gering konzentrierten Verbindungen wie DDE⁴ und DDD⁵ zusam-

⁴ DDE = chem. Dichlordiphenyldichlorethylen

mengesetzt ist. Obwohl DDT in der Luft relativ instabil ist, wird es besonders im Boden nur sehr langsam abgebaut, so dass sich z. B. unter mitteleuropäischen Verhältnissen Halbwertszeiten für den Abbau von bis zu 20 Jahren ergeben können. Die Ausbringung von DDT in den 50er und 60er Jahren hat aufgrund der hohen Bioakkumulation zu einer Kontamination des Bodens und des Wassers geführt. DDT und seine ebenfalls beständigen Metaboliten wurden auch in der Nahrungskette angereichert und haben zu einer besonders auffälligen Schädigung von Vögeln geführt. DDT wurde für die Verringerung der Schalendicke und einer damit verbundenen Beeinträchtigung der Fortpflanzung, insbesondere von Greifvogelarten, verantwortlich gemacht. Darüber hinaus ist DDT bereits in sehr geringen Konzentrationen fischtoxisch.

In vielen Ländern der Erde wurde der DDT-Einsatz Anfang der 1970er Jahre massiv eingeschränkt oder verboten und die erlaubten Rückstandsmengen in Lebensmitteln stark begrenzt. Nach dem auf internationaler Ebene wirksam gewordenen Verbot von DDT konnte ein deutlicher Rückgang der in der Umwelt sowie bei Mensch und Tier gemessenen Konzentrationen von DDT und seiner Metaboliten festgestellt werden.

Toxikologische Bewertung von DDT

DDT und verwandte Verbindungen werden vor allem über den Magen-Darmtrakt, aber auch über die Haut mit einer hohen Absorptionsrate aufgenommen. Die Resorption nach oraler Aufnahme erfolgt rasch und komplett. Sie wird durch das Vorhandensein von Nahrungsfetten unterstützt. Aus dem Blutkreislauf wird DDT über ein dynamisches Gleichgewicht überwiegend in Fettdepots des Säugerorganismus verteilt. Obwohl DDT und verwandte Stoffe in den Fettdepots wirkungslos bleiben, erfolgt z. B. bei Hungerzuständen eine rasche Mobilisierung und Umverteilung aus den dabei abgebauten Fettgeweben. DDT wird zum einen über DDD zu DDA metabolisiert, zum anderen zu DDE. Der quantitative Anteil dieser Metaboliten ist speziespezifisch. Während DDA und das Zwischenprodukt DDD vor allem renal ausgeschieden werden, persistieren DDT und DDE im Organismus. Generell muss mit einer langen Halbwertszeit von bis zu einem Jahr gerechnet werden, wobei mit zunehmender Verweildauer im Organismus der DDE-Anteil ansteigt. Eine besondere Rolle für die Toxizität gegenüber Neugeborenen, die eine noch relativ gering entwickelte Fähigkeit zur Umsetzung von DDT besitzen, spielt die Anreicherung von DDT in der Muttermilch. Seit den DDT-Verboten konnte damit weltweit auch ein deutlicher Rückgang der DDT-Belastung in der Milch festgestellt werden.

Die akute Toxizität von DDT ist mit einer oralen LD₅₀ bei der Ratte von ca. 250 mg/kg KG⁶ als gering einzuschätzen. Die toxische Wirkung im Tierversuch ist aber in hohem Maße vom Lösungsmittel abhängig. So tragen ölige Lösungen zu einer höheren Toxizität bei als wässrige Zubereitungen.

Die Vergiftungserscheinungen werden von einer Übererregung und Lähmung vor allem der motorischen und z.T. sensorischen Nerven bestimmt. Als Vergiftungssymptome werden im Tierversuch zentralnervöse Wirkungen wie Hypersensibilität, Tremor, Konvulsionen sowie verstärkte Salivation und Lakrimation beobachtet, die häufig von Erbrechen, Koma, Kreislaufversagen und Atemstillstand begleitet werden.

⁵ DDD = chem. Dichlordiphenyldichlorethan

⁶ KG = Körpergewicht

Für den Menschen gelten 15~300 mg/kg KG als letale Dosis. Erste Symptome treten ab einer Dosis von 10 mg/kg KG auf. Als Vergiftungszeichen beim Menschen wurden Kopfschmerzen, Parästhesien, Tremor, Konvulsionen und Erbrechen beschrieben, wobei das Auftreten akut toxischer Effekte beim Menschen sehr selten beobachtet worden ist. Aus den Beobachtungen am Menschen wurde ein Gesamt-NOAEL⁷ von 0,25 mg/kg KG pro Tag abgeleitet.

In subchronischen und chronischen Toxizitätsstudien an Ratten wurde die Leber als Zielorgan bestimmt. Es wurde eine Hepatomegalie, entzündliche Infiltrationen und fokale Nekrosen der Leber in Dosierungen von 24 mg/kg KG pro Tag beobachtet. Außerdem wurde gezeigt, dass DDT, DDE und DDD eine starke Induktion mikrosomaler Leberenzyme hervorrufen können, die bei weiblichen Ratten starker ausgebildet wird.

DDT wird insgesamt als nicht gentoxisch angesehen, obwohl in einzelnen In-vitro-Tests besonders an Säugerzellen Mitosehemmungen und Chromosomenaberrationen auftraten. Eine gentoxische Wirkung beim Menschen konnte nicht eindeutig nachgewiesen werden. In einigen Studien wurden bei beruflich exponierten Personen Chromosomenaberrationen festgestellt. Sie waren jedoch auch anderen Wirkstoffen ausgesetzt, so dass unklar bleibt, ob weitere Risikofaktoren ausreichend berücksichtigt wurden.

Bei Mäusen verschiedener Stämme wurden im Langzeitversuch erhöhte Inzidenzen von Leber- und Lungentumoren sowie von Lymphomen beobachtet. Die erhöhte Inzidenz von Lebertumoren bei Mäusen und eventuell auch bei Ratten wird zum einen mit einer möglicherweise tumorpromovierenden Wirkung der Substanz in Verbindung gebracht, zum anderen auf den Metaboliten DDE zurückgeführt. Dieser tritt bei der Maus zu einem besonders großen Anteil auf und führte - im Gegensatz zu DDT - auch in einer Langzeitstudie an Goldhamstern zu Lebertumoren. Bezüglich eines vermehrten Auftretens von Tumoren bei Affen, Ratten sowie Hamstern liegen aber insgesamt sehr widersprüchliche Ergebnisse vor.

Die zahlreichen epidemiologischen Studien und weitere spezielle Untersuchungen am Menschen, in denen mögliche Korrelationen zwischen dem Auftreten verschiedener Krebsarten und DDT- bzw. DEE-Rückständen im menschlichen Organismus untersucht wurden, zeigten keine eindeutigen Anhaltspunkte für einen Zusammenhang zwischen einer DDT-Exposition über die Umwelt oder Nahrung und einem dadurch erhöhten Krebsrisiko.

Endokrine Wirkungen der einzelnen DDT-Isomere, wie die Aktivierung von Östrogenrezeptoren durch o,p'-DDT und die Hemmung von Androgenrezeptoren durch p,p'-DDT und deren Metaboliten werden häufig in der Fachliteratur beschrieben.

Zur Reproduktionstoxizität bei Säugern gibt es widersprüchliche Ergebnisse. Ältere Multigenerationsversuche an Hunden und Schafen zeigten keine Effekte. An Ratten waren jedoch Hinweise auf eine Beeinträchtigung der Reproduktion während der Laktation mit erhöhter Mortalität unter den Nachkommen zu beobachten. Beim Kaninchen zeigte die Verabreichung von DDT veränderte Hormonspiegel und einen

⁷ NOAEL = No observed effect level

Einfluss auf die Ovulationsrate, jedoch ohne dass relevante Effekte auf die übrigen geprüften Reproduktionsparameter nachweisbar waren.

Teratogenitätsstudien erbrachten insgesamt keine Hinweise auf embryotoxische oder teratogene Wirkungen. Es konnte aber gezeigt werden, dass DDT und seine Metaboliten über die Plazenta den Fetus erreichen können.

3.2 Lindan

Der Wirkstoff ist ein Gemisch aus mindestens acht Hexachlorcyclohexan- (HCH) Isomeren, von denen das gamma-Isomer dessen Anteil bei der Produktion zwischen 10 und 18% schwankt, als einziges der sechs stabilen Isomeren eine relevante insektizide Aktivität aufweist. Im insektiziden Wirkstoff Lindan muss ein mehr als 99%iger Gehalt des gamma-Isomers eingehalten werden, um einerseits die Wirksamkeit zu garantieren und andererseits bedenkliche Wirkungen von anderen Isomeren auszuschließen. So besitzt das beta-Isomer ein sehr hohes Potenzial zur Anreicherung im Warmblüterorganismus und in Umweltmedien. Das alpha-Isomer, welches zu etwa 70% im synthetisierten Hexachlorcyclohexan enthalten ist, besitzt eine starke tumorigene Wirkung, so dass die hepatokarzinogene Wirkung des HCH bei Mäusen auf dieses Isomer mit hoher Wahrscheinlichkeit zurückgeführt werden kann. Während das gamma-Isomer die höchste akute Toxizität besitzt und einen stimulierenden Effekt auf das Nervensystem ausübt, haben das alpha-, beta- und delta-Isomer eine eher dämpfende Wirkung auf das zentrale Nervensystem.

Lindan wirkt sowohl als insektizides Fraß- als auch als Kontaktgift. Darüber hinaus besitzt es aufgrund des hohen Dampfdruckes eine Wirkung als Atemgift. Lindan hemmt vor allem die Natrium, Kalium-ATPase und somit den Kationentransport durch die Nervenmembran. Darüber hinaus tritt eine vorübergehende Verstärkung des Serotoninmetabolismus auf.

Toxikologische Bewertung von Lindan

Lindan wirkt vor allem schädigend auf Nerven und Leber. Bei Personen, die in der Produktion oder Anwendung tätig waren, traten unter anderem Missempfindungen an der Haut, Kopfschmerzen und Schwindel auf, zum Teil wurden Änderungen von Blutbild und Leberfunktionsparametern sowie Hinweise auf veränderte Aktivitäten fremdstoffmetabolisierender Leberenzyme festgestellt. Untersuchungen an Tieren zeigten besonders Veränderungen der Leber und Induktion von Leberenzymen, außerdem ergaben sich Hinweise, dass Lindan auf die Fortpflanzung, Entwicklung und das Immunsystem wirkt. Nephrotoxische Effekte, die bei männlichen Ratten beobachtet wurden, gelten als tierstammspezifisch und werden daher im Allgemeinen nicht berücksichtigt.

Nach akuter und auch chronischer Verabreichung von Lindan an Versuchstiere (oral, dermal und inhalativ) werden ausdrückliche Wirkungen auf das zentrale Nervensystem wie Hyperaktivität, Ataxie, Krämpfe und Tremor bis hin zu Lähmungserscheinungen der hinteren Extremitäten beobachtet.

Aufgrund von Tierstudien besteht auch ein Verdacht auf eine krebserzeugende Wirkung und ist deswegen nach dem Gefahrstoffrecht als möglicherweise krebserzeugend für den Menschen eingestuft. Für Ratten und Hunde konnte eine kanzerogene

Wirkung nicht nachgewiesen werden; dagegen konnte bei bestimmten Mäusestämmen eine kanzerogene Wirkung auf die Leber (Adenome und Karzinome der Leber) beobachtet werden.

Für Lindan konnte eine genotoxische Wirkung sowohl in In-vitro-- als auch in In-vivo-Versuchen nicht eindeutig belegt werden – nur in zytotoxischen Dosierungen wurden marginale Wirkungen beobachtet. Da Lindan somit allenfalls eine schwache Genotoxizität aufweist (Tests auf Genmutationen negativ, auf DNA-Stabilität und Chromosomenveränderungen teilweise positiv), hat die MAK-Kommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) Lindan in Kanzerogenitätsgruppe 4⁸ eingestuft.

In einer epidemiologischen Studie konnte eine Assoziation zwischen Brustkrebs und der Exposition gegenüber chlororganischen Pestiziden nicht belegt werden.

Risikogruppen, die auf die toxischen Wirkungen von Lindan besonders empfindlich reagieren, könnten Kinder, Schwangere und Personen mit Nerven-, Leber- oder Nierenschädigungen sein. Dieser Punkt sollte in einer Risikobewertung Berücksichtigung finden.

3.3 PCP

PCP gehört zur Gruppe der Chlorphenole und damit zu den chlorierten Kohlenwasserstoffen. Aufgrund der leicht sauren phenolischen Hydroxylgruppe wurde auch das recht gut in Wasser lösliche Natriumsalz (PCP-Na) industriell verwendet.

Pentachlorphenol (PCP) wurde bis in die 80er Jahre wegen seiner bakterien- und pilzabtötenden Wirkung u.a. im Holz- und Bautenschutz und der Leder- und Textilimprägnierung eingesetzt. Bedingt durch den breiten Einsatz tritt PCP ubiquitär auf. Der breite großflächige Einsatz von PCP in Innenräumen führte in den 80er Jahren zu heftigen Diskussionen in der Öffentlichkeit, welche 1989 in ein Verbot von PCP mündeten. Infolge dieses Verbots ist die ubiquitäre Verbreitung von PCP in den Umweltmedien zurückgegangen und auch die PCP-Belastung im Blut der Allgemeinbevölkerung ist seitdem stark rückläufig. Der Referenzwert (oberer Hintergrundwert) hatte 1986 noch 70 µg/l Blutplasma betragen. Der von der Humanbiomonitoring-Kommission des Umweltbundesamtes veröffentlichte aktualisierte Referenzwert liegt bei 12 µg/l Blutplasma.

Trotz des umfassenden Verbots von Pentachlorphenol ist die PCP-Problematik weiterhin aktuell, auch wenn die Einträge von PCP in die Umwelt seit 1989 fast auf null zurückgegangen sind. Viele Probleme der Altlastensanierung und Probleme der gesundheitlichen Bewertung von PCP-Kontaminationen wird es auch noch in Zukunft zu lösen gelten. Nachfolgende Auflistung⁹ zeigt beispielhaft die weite Verbreitung von PCP in den verschiedensten Materialien:

- PCP-behandelte Kiefernholzer (USA) 1.400 - 10.400 mg/kg
- Textilien in PCP-haltiger Luft (Laborversuch) 4-11 mg/kg
- Polsterstoff 2,4-11,3 mg/kg

⁸ Stoffe, bei denen ein nicht-genotoxischer Wirkungsmechanismus im Vordergrund steht und genotoxische Effekte bei Einhaltung des MAK- und BAT-Wertes keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen, weshalb unter diesen Bedingungen kein nennenswerter Beitrag zum Krebsrisiko für den Menschen zu erwarten ist; DFG, 1998.

⁹ Aus: Rippen: Handbuch Umweltchemikalien 1990

- Vorhang 3,0-5,2 mg/kg
- Teppichboden aus Naturfasern (vermutlich imprägniert) 80-120 mg/kg
- Teppich (14 Jahre nach Verwendung von PCP-haltigen Holzschutzmittel) 10 mg/kg
- Hausstaub (Grundbelastung ohne Holzschutz) ca. 1-5 mg/kg
- Hausstaub (14 Jahre nach Verwendung von PCP-haltigem Holzschutzmittel) 28 mg/kg
- Putz 0,5-23 mg/kg
- Tapete 10-14 mg/kg
- Holzasche 2-5 µg/kg
- Asche von Müllverbrennungsanlage 12-90 µg/kg

Toxikologische Bewertung von PCP

Die Aufnahme von PCP findet im wesentlichen über die Haut oder über die Atemwege statt. Im Blut bindet es sich an Plasmaproteine und wird in hohen Konzentrationen in der Leber und Niere gefunden, gefolgt von Herz und Lunge. In den endokrinen Organen, Hoden, Samenblase, Schilddrüse, Hypophyse und Nebennieren sind ebenfalls beträchtliche Konzentrationen von PCP nachweisbar, geringere jedoch im Zentralnervensystem. Es gibt keine Hinweise für eine Kumulierung oder Speicherung in einem tiefen Kompartiment. Sowohl durch Metabolisierung zu Chinonen als auch durch Glukoronidierung wird PCP nierengängig und offenbar ohne tubuläre Rückresorption zu 80 % glomerulär filtriert. 20 % werden über den Darm ausgeschieden.

Die LD50 variiert zwischen reinem PCP, dem technischen Produkt und dem Grad der Verunreinigung mit Dioxinen. Für Na-PCP wird bei der Ratte eine LD50 nach oraler Gabe je nach Autor zwischen 100 und 200 mg/kg KG angegeben, für PCP mit Werten zwischen 27,3 und 280 mg/kg KG und nach dermalen Applikation zwischen 96 und 330 mg/kg KG. Die LC50-Dosis nach Inhalation von Na-PCP beträgt 11,7 mg/KG.

In Fütterungsversuchen mit Ratten über Zeiträume bis zu 90 Tagen wird eine Vergrößerung der Leber, meistens auch der Niere in Relation zum Körpergewicht beschrieben sowie eine verringerte Gewichtszunahme der Tiere. Bei Ratten, die mit technischem PCP gefüttert waren, wird eine leichte Erhöhung der Porphyrine, der Delta-Aminolävulinsäure im Harn beschrieben, d.h. Befunde wie sie auch bei der Porphyrurie beim Menschen bekannt sind.

Ein Effekt auf das erythropoetische System wird in der Literatur des öfteren beschrieben. Hämoglobingehalt und Hämatokrit steigen im Tierversuch in den ersten sechs Wochen der Verabreichung an, sinken aber nach 12 Wochen ab, was mit einer verminderten Lebensdauer der Erythrocyten erklärt werden kann. Kunde et al.¹⁰ zitieren eine Arbeit aus dem russischen Sprachbereich bei der Ratten und Kaninchen über 4 Monate täglich 4 Stunden lang Inhalationsbehandlungen von 3 bis 30 mg/m³ ausgesetzt worden sind. Da der Sättigungsdruck von PCP nur 216/m³ Luft beträgt und die Löslichkeit von PCP im wässrigen Milieu 12 mg/l, muss angenommen werden, dass diese Untersuchung mit Stäuben gemacht worden ist. Es zeigten sich nach 2 Monaten Vergiftungserscheinungen: die Tiere werden erst unruhig, dann apa-

¹⁰ Kunde M., Böhme, C.: Bundesgesundheitsblatt 21, 302-310 (1978)

thisch. Das Ansprechen der Muskulatur auf elektrische Nervenreizungen nehmen erst zu, dann ab. Es wurde auch eine Hemmung der Cholinesteraseaktivität festgestellt sowie eine Zunahme der Transaminasen und eine Leberzelldystrophie.

Obwohl einige epidemiologische Studien mögliche krebserzeugende Wirkungen von PCP aufzeigen, kann eine krebserzeugende Wirkung nicht mit Sicherheit angenommen werden, weil auch Studien mit negativen Befunden zu diskutieren sind. Hinzugefügt werden muss, dass die Tumorarten, die in den epidemiologischen Studien untersucht wurden, nicht mit denen übereinstimmen, die im Tierexperiment nachgewiesen werden konnten.

PCP mit seinen Verunreinigungen bewirkte Adenome und Karzinome der Leber, Phäochromozytome und Hämangiosarkome bei B6C3F1-Mäusen. In dieser Studie konnte ein No-Observed-Effect-Level (NOEL) nicht abgeleitet werden, weil auch in der niedrigsten Dosierung von 100 ppm PCP in der Diät (ca. 17,5 mg PCP/kg KG/Tag) eine erhöhte Tumorrates festgestellt wurde. Tumorigene Effekte konnten nicht mehr in Tierversuchen in Dosierungen unterhalb von 10 ppm PCP im Futter (ca. 1,75 mg PCP/kg KG /Tag) nachgewiesen werden. Wenn auch im technischen PCP Dioxine als Verunreinigung angenommen werden können, sind sie für eine mögliche kanzerogene Wirkung mit hoher Wahrscheinlichkeit nur von untergeordneter Bedeutung, weil nur Hexachlordibenzodioxin als ein wahrscheinlicher Promotor angenommen werden kann. Auf der Grundlage verschiedener Hinweise kann angenommen werden, dass chlorierte Hydrochinone und Chinone, die bei der Metabolisierung von PCP entstehen, den kanzerogenen Effekt in den Versuchen mit B6C3F1-Mäusen erklären könnten¹¹. Als Konsequenz bleibt festzuhalten: Konstatiert man für PCP einen krebserzeugenden Effekt, können theoretische Effektschwellen nicht angenommen werden und damit sollten Expositionen gegenüber PCP im Sinne der Vorsorge so niedrig wie möglich sein.

In kontaminierten Innenräumen wird PCP weitgehend über die Atemwege aufgenommen. Das seinerzeitige Bundesgesundheitsamt hat als Ergebnis einer Bewertung einen Leitwert von 1 µg PCP/m³ Innenraumluft abgeleitet. Unter der Annahme einer vollständigen Aufnahme von PCP über die Atemwege und einem Atemvolumen von 20 m³/Tag für einen 70 kg schweren Erwachsenen kann bei Einhaltung des o.g. Leitwertes eine tägliche Aufnahme von PCP von ca. 0,28 µg PCP/kg KG/Tag angenommen werden. Diese Berechnung führt zu einem Sicherheitsfaktor von ca. 6000, wenn man den no observed effect level (NOEL) von 1,75 mg/kg KG/Tag zugrunde legt. Dieser Wert bedeutet - mit Hinweis auf einen Sicherheitsfaktor von ca. 6000 -, dass weitere Maßnahmen zur Sanierung nicht erforderlich sind, wenn dieser Wert eingehalten werden kann.

Das klinische Bild der akuten Vergiftung mit PCP ist geprägt durch Fieber mit Tachykardie, profusem Schwitzen und Tachypnoe, Hyperkinese, abdominalem Schmerz und Polyurie.

Nach einer Verwendung von PCP in Innenräumen wurde in der Vergangenheit sehr gehäuft das Beschwerdebild des sogenannten Holzschutzmittelsyndroms vorgetra-

¹¹ DiMarini, D.M., Brooks, H.G. and Parkes, D.G. (1990). Induction of prophage lamda by chlorophenols 15, 1-19; Seiler, J.P. (1991). Pentachlorophenol. Mutat. Res. 257, 27 – 47; Clayson, D. B., Mehta, R. and Iverson, F. (1994). Oxidative DNA damage – The effects of certain genotoxic and operationally non genotoxic carcinogens. Mutat. Res., 25 – 42.

gen. Dieses Beschwerdebild ist überwiegend unspezifisch und stellt sich als chronisches Ermüdungs- und Erschöpfungssyndrom dar: Genannt werden erhöhte Infektanfälligkeit, Hautausschläge, Gleichgewichtsstörungen, Schlaflosigkeit, Nachtschweiß, Müdigkeit, leistungs- und Konzentrationsschwäche, Nervenschmerzen, motorische Schwäche mit Muskel- und Gelenkschmerzen, Appetitlosigkeit, Gewichtsabnahme, Übelkeit, Durchfall, Erbrechen, Unverträglichkeit von Kaffee und Alkohol, Haarausfall und Kopfschmerzen.

Bei beruflich exponierten Personen kommt es zur Aufnahme von PCP vorwiegend über die Haut und die Atemwege. Bei chronischer Exposition von Arbeitern in der Holzverarbeitenden Industrie, wurden Hepatomegalie mit Parenchymschäden festgestellt, weiterhin eine eingeschränkte Nierenfunktion sowie in einzelnen Fällen eine toxische Myocarditis bzw. Blutbildveränderungen bis hin zu einer aplastischen Anämie sowie eine Chlorakne. Es ist festzustellen, dass hier nicht nur das PCP die Vergiftungserscheinungen hervorruft, sondern vor allem die Verunreinigungen an chlorierten Dioxinen des technischen Stoffes als Erklärung herangezogen werden können, wobei betont werden muss, dass in den klinisch ausgerichteten Publikationen keine Hinweise auf Art und Menge der Verunreinigungen gegeben werden. Darüber hinaus wurde bei beruflich exponierten Personen häufig über Hautschädigungen berichtet. Wahrscheinlich sind auch diese auf Verunreinigungen durch chlorierte Dioxine oder Furane zurückzuführen. Langzeitwirkungen einer PCP-Belastung beim Menschen sind generell nur schwer zu ermitteln. Vorrangig unspezifische Beschwerden erschweren den kausalen Nachweis, weil sie auch andere Ursachen haben können; z.B. können nicht nur Verunreinigungen an Dioxinen und Furanen sondern auch Lösemittel für die beschriebenen unspezifischen Symptome verantwortlich sein.

Werte über 100 ng PCP/m³ Luft lassen mit großer Wahrscheinlichkeit auf die Verwendung von Holzschutzmitteln schließen. In belasteten Räumen wurden kurz nach Anwendung Werte von durchschnittlich 5000 ng PCP/m³ Luft gefunden. In unbelasteten Räumen liegen die Werte deutlich unter 100 ng/m³.

3.4 Fluoride

Im Vorhaben wurden Holzproben auf Fluoride untersucht. Fluoride wurden in Flammschutz- bzw. Kombinationsmitteln auf Fluorsalzbasis eingesetzt. Neben Ammoniumhydrogenfluorid kamen weitere fluorhaltige Wirkstoffe in Holzschutzmitteln zum Einsatz: Kaliumhydrogenfluorid, Fluorosilikate wie Zinkhexafluorosilikat und Magnesiumhexafluorosilikat und auch Natriumfluorid. Alle in das Holz eingebrachten wasserlöslichen Fluorsalze haben die Gemeinsamkeit, dass sie im Laufe der Zeit den Wirkstoff Fluor in Form von Fluorwasserstoff abgeben; hierbei treten bereits in den ersten Stunden Verluste bis zu 25 % ein. Zwischen den einzelnen Fluorsalzen bestehen Unterschiede in diesem Verhalten. Währenddessen z.B. bei Hydrogenfluoriden die Fluorabgabe anfangs stark ausgeprägt ist, im Laufe der Zeit aber beständig gering bleibt, ist sie bei Magnesiumhexafluorsilikat anfangs kleiner, dafür aber für längere Zeit stärker ausgeprägt. Hierzu wäre es von Bedeutung zu wissen, welche Fluorverbindungen seinerzeit eingesetzt wurden.

Da im Vorhaben keine Luft- oder Staubbmessungen vorgenommen wurden und damit die Darstellung von Expositionsszenarien nicht möglich ist, kann nur allgemein zur gesundheitlichen Problematik von Fluorverbindungen Stellung genommen werden.

Für eine differenziertere Stellungnahme sind Untersuchungen von Fluoridverbindungen in Staubproben erforderlich.

Toxikologische Bewertung von Fluoriden

Der Hauptaufnahmeweg für Fluorwasserstoff verläuft über die Atemwege und über die Haut. Aufgrund des ausgeprägten hygroskopischen Verhaltens dürfte es nur in Extremfällen zum Einatmen von gasförmigem Fluorwasserstoff kommen, bei der aber mit nahezu vollständiger Resorption in den oberen Atemwegen zu rechnen ist. Hauptgebiet des Schadens ist hier der obere Respirationstrakt. Die entzündende und korrosive Wirkung auf die Haut und die Schleimhäute der Atemwege äußert sich in Prickeln und Brennen der Haut, Brennen bzw. Stechen in Augen, Nase, Mund und Pharynx, Husten, Nasenlaufen, Heiserkeit und Entzündung der Konjunktiven. Cornea-, Nasen- und Mundschleimhaut weisen Hyperämie, zuweilen oberflächliche Erosionen und langsam heilende Ulcerationen auf. Da bei den hier zur Debatte stehenden Gebäuden bzw. bei den durchzuführenden Arbeiten nicht besonders hohe Fluoridkonzentrationen erwartet werden können, können die beschriebenen Vergiftungserscheinungen natürlich nicht auftreten; aber es gilt auch hier Reizerscheinungen der Atemwege durch strikte Einhaltung der Arbeitsschutzmaßnahmen zu vermeiden.

Fluor und die wasserlöslichen Fluoride werden im Magen-Darmtrakt rasch resorbiert. Viel häufiger tritt die Resorption von wässrigen Lösungen von Fluorwasserstoff (Fluorwasserstoffsäure oder Flusssäure) über die Haut auf. Die Haut stellt bei der Aufnahme kein Hindernis dar. Mit einer versehentlichen oralen Aufnahme ist aus physikalisch-chemischen Gründen und wegen des äußerst stechenden Geruches nicht zu rechnen. Wässrige Lösungen werden vollständig resorbiert. Der Vorgang kann durch eventuellen Mageninhalt verlangsamt werden.

Kontakt mit Fluorwasserstoff hat akut stark ätzende Wirkung auf Haut und Schleimhäute, insbesondere des Auges. Durch Aufnahme in den Organismus kommt es zur erheblichen Beeinflussung biochemischer Stoffwechselvorgänge vorrangig durch Enzymhemmung. Chronische Auswirkungen umfassen die Schädigung des Skeletts und der Haut, sowie Beeinträchtigung der Lungenfunktion.

Aus toxikologischer Sicht kann zusammengefasst werden:

- Flusssäure, Kieselfluorwasserstoff und die wasserlöslichen Fluoride führen zu lokalen Verätzungen der Haut und Schleimhäute.
- Fluor ist in der Lage, verschiedene Enzyme zu beeinträchtigen, wodurch beispielsweise die Glykolyse gehemmt wird. Auf diese Weise kommt es zu hyperglykämischen Zuständen mit entsprechenden Schädigungen des Herzmuskels, der Leber- und Nierenparenchyme und der Nervenzellen im zentralen Nervensystem.
- Bei der chronischen Vergiftung wird Fluor in Knochen und Zähnen eingelagert, wodurch das Knochengewebe zum weiteren Wachstum stimuliert wird. Die dabei entstehenden Knochenverdickungen und -auflagerungen führen zur Versteifung der Gelenke und auch der Wirbelsäule, wobei dann das Knochenmark zunehmend eingeengt werden kann. Dabei verliert der Knochen seine elastische Qualität und es treten vermehrt Knochenbrüche auf. Die Zähne werden ebenfalls brüchig, verfärben sich und weisen eine übertriebene

Abnützung auf. Dieses als Fluorose bekannte Krankheitsbild wurde vor allem bei beruflich hoch exponierten Menschen beobachtet.

4. Grenzkonzentrationen- und Grenzwerte

Zum Schutze der Gesundheit des Verbrauchers und des Arbeitnehmers wird weitgehend aus Ergebnissen von umfangreichen Tier- und In-vitro-Versuchen eine tolerierbare Aufnahmemenge von Schadstoffen abgeleitet. Damit sind Aufnahmemengen gemeint, die der Mensch täglich ohne erkennbaren Schaden für die Gesundheit aufnehmen kann, d. h. auch bei lebenslanger Aufnahme der angegebenen Tagesdosis eine gesundheitliche Beeinträchtigung nicht zu erwarten ist. Diese Werte sind keine unveränderlichen Größen, sondern bedürfen einer laufenden Überprüfung nach dem neuesten Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse. Die Festsetzung tolerierbarer Mengen beruht auf sehr vorsichtigen Annahmen hinsichtlich der Übertragbarkeit von Erkenntnissen aus Tierversuchen auf den Menschen, um Beeinträchtigungen der Gesundheit auch unter ungünstigen Bedingungen (hinsichtlich Alter, Verzehrsgewohnheiten, Rückstandsbelastung etc.) mit hoher Sicherheit auszuschließen. Aus diesem Grund hat eine kurzzeitige und geringfügige Überschreitung dieser Werte in aller Regel keinerlei nachteilige Folgen für die Gesundheit des Verbrauchers. Diese genannten Einschränkungen werden immer wieder ausdrücklich betont, dennoch werden in der Öffentlichkeit Grenzwerte häufig als absolute Werte fehlinterpretiert; so wird z.B. die Überschreitung von Höchstmengen in Lebensmitteln in der Regel keine Folgen für die Gesundheit des einzelnen Menschen haben, ebenso wenig wie gelegentliche oder sehr kurzfristige Überschreitungen von Raumkonzentrationen an flüchtigen Wirkstoffen in Holzschutzmitteln.

4.1 DDT

Aus den vorliegenden Untersuchungen wurde als niedrigste relevante Grenzkonzentration ohne schädliche Wirkungen (NOAEL) eine Dosierung von 1 mg DDT/kg KG pro Tag bestimmt, was einer Konzentration im Futter von 125 mg/kg Futter entspricht. Um die gesundheitlichen Wirkungen bei einer Exposition gegenüber DDT bewerten zu können, wurde von der WHO ein Expositionsgrenzwert (provisional tolerable daily intake for humans, PTDI) von 0,01 mg DDT/kg KG abgeleitet. Der Grenzwert wird von der WHO als „provisional“ ausgewiesen, weil für DDT ein Verdacht auf krebserzeugende Wirkung nicht ausgeschlossen werden kann. Es ist deshalb auch in der EU in Kategorie 2 der krebserzeugenden Stoffe eingestuft (R40 = Verdacht auf krebserzeugende Wirkung).

Vom Umweltbundesamt wurde eine tolerable Dosis von 1 µg DDT/kg Körpergewicht pro Tag vorgeschlagen.

Die amerikanische Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) legte für eine kurz- und mittelfristige Aufnahmedauer einen sogenannten MRL-Wert (minimal risk level) von 0,5 µg DDT/kg Körpergewicht pro Tag fest.

Die amerikanische Arbeitsschutzbehörde (OSHA)¹² hat einen Grenzwert für den Arbeitsplatz von 1 mg DDT/m³ Luft (Permissible Exposure Limit (PEL)) festgelegt, wobei eine Arbeitszeit von 40 Stunden/Woche angenommen wird. Der gleiche Wert

¹² OSHA = Occupational Safety and Health Administration

wurde auch als Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) nach TRGS 900: 1 mg DDT/m³ (Gesamtstaub in der Luft) entspricht 1 mg/m³ als Threshold Limit Value (TLV) festgelegt¹³.

Die Abschätzung einer kurzzeitigen Aufnahmemenge (international estimated short term intake, IESTI) wurde bisher nicht vorgenommen, weil die Ableitung einer ARfD aufgrund des toxikologischen Profils nicht als erforderlich angesehen wurde und damit eine Gefährdung des Menschen durch die Kurzzeitaufnahme von DDT nicht erwartet werden kann.

Eine maximale Raumlufkonzentration (MRK), d.h. ein Verbraucherschutzorientierter Grenzwert wurde bisher nicht festgelegt.

4.2 Lindan

Für Lindan liegt eine gesundheitliche Bewertung der Weltgesundheitsbehörde¹⁴ vor, die für eine Einschätzung von Lindanexpositionen hier herangezogen werden kann. Folgende Grenzwerte wurden abgeleitet:

- ADI¹⁵ (akzeptable Tagesdosis) : 0,005 mg Lindan/kg KG/Tag, wobei bei der Ableitung eine Langzeitstudie an der Ratte mit einem Sicherheitsfaktor von 100 herangezogen wurde.
- ARfD (Akute Referenzdosis): 0,06 mg Lindan/kg KG, wobei eine akut neurotoxische Studie an der Ratte - ebenfalls mit einem Sicherheitsfaktor von 100 - herangezogen wurde

Von der MAK-Kommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurde ein MAK-Wert nach TRGS 900: 0,5 mg Lindan/m³ (Gesamtstaub in der Luft) festgelegt.

Vom seinerzeitigen Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV) eine max. Raumlufkonzentration 0,001 mg Lindan/m³ Luft abgeleitet.

Einstufung des Bremer Umweltinstituts für Hausstaubbelastungen:

- Hausstaub mit Lindangehalten von 1 mg/kg = geringe Belastung
- Gehalte von 1-3 mg/kg weisen auf eine deutliche Belastung hin

4.3 PCP

Grundlage für die Ableitung einer tolerierbaren Dosis ist der aus Langzeitfütterungsversuchen an Labortieren ermittelte NOAEL-Wert (no observed adverse effect level). Der NOAEL-Wert liegt bei 3 mg PCP/kg Körpergewicht/Tag, bei geringerer Dosierung sind keine negativen Wirkungen feststellbar. Wegen fehlender Studien zur Inhalationstoxikologie wird dieser Wert durch einen hohen Sicherheitsfaktor von 1.000 geteilt, woraus sich dann ein ADI-Wert von 3 µg PCP/kg KG/Tag ergibt. Der recht

¹³ MAK: 1 mg/m³(Einatembare Fraktion); Hautresorption; Spitzenbegrenzung; Überschreitungsfaktor: II; (DFG 2005).

¹⁴ WHO (JMPR; Joint Meeting on Pesticide Residues), 2002: Pesticide residues in food – 2002 evaluations, Part II – Toxicology; Lindane, 117-164. World Health Organization, Geneva, Switzerland, WHOPCS/03.1, 2003

¹⁵ ADI = Acceptable daily intake

hohe Sicherheitsfaktor von 1000 wird dem Verdacht auf die krebserzeugenden Eigenschaften von PCP begründet.

Das seinerzeitige BGVV berechnete nun daraus über das Atemvolumen und eine angenommene 10%ige Ausschöpfung des ADI-Wertes durch Luftverunreinigungen in der Luft von dauergenutzten Innenräumen eine tolerierbare Raumluftkonzentration von $< 1 \mu\text{g PCP}/\text{m}^3$ Luft. Die Zielgröße sollte jedoch im Sinne der Vorsorge ein Wert von $0,1 \mu\text{g PCP}/\text{m}^3$ Luft sein. Es ist davon auszugehen, dass bei Einhaltung dieses als Richtwert I empfohlenen Wertes gesundheitliche Beeinträchtigungen auf jeden Fall auszuschließen sind und auch kein Bedarf für Sanierungsmaßnahmen besteht.

4.4 Fluoride

Für Fluoride sind nur wenige verbrauchernahe Toleranzwerte publiziert worden. Als eine tolerierbare orale Aufnahmemenge wurde von der amerikanischen ATSDR (Agency for toxic substances & and disease registry) eine tolerierbare Größe von 0,05 mg Fluoride/kg KG/Tag abgeleitet. Diese Ableitung zieht eine Langzeituntersuchung heran, bei der ein NOAEL (no observed adverse effect level) von 0,15 mg Fluorid / Kg KG/Tag ermittelt wurde, wobei als Kriterium eine erhöhte Brüchigkeit der Knochen ausgewiesen wurde. In Australien wurde von den Behörden ein ADI-Wert (acceptable daily intake) für das Fluorid-Ion von 0,0037 mg Fluorid-Ion/kg KG /Tag und eine akute Referenzdosis von 0.1117 mg Fluorid-Ion/kg KG/ Tag publiziert.

Als MAK-Werte (2009) wurden in Deutschland die hier interessierenden Werte für Fluoride festgelegt:

- Fluoride $1,0 \text{ mg Fluoride} / \text{m}^3$ Luft (als F berechnet; einatembarer Staub). Der Kurzzeitgrenzwert ist mit $4 \text{ mg Fluoride} / \text{m}^3$ Luft (ebenfalls einatembarer Staub; der Kurzzeitgrenzwert gilt für 4 X 15 Minuten pro Arbeitsschicht) festgelegt.
- Interessehalber soll hier der MAK-Wert für Fluorwasserstoff angegeben werden: Fluorwasserstoff $0,83 \text{ mg Fluorwasserstoff} / \text{m}^3$ Luft; der Kurzzeitgrenzwert ist mit $1,66 \text{ mg Fluorwasserstoff} / \text{m}^3$ Luft (der Kurzzeitgrenzwert gilt für 4 X 15 Minuten pro Arbeitsschicht festgelegt).

Die im Vorhaben nachgewiesenen Gehalte an Fluoriden lassen nicht erwarten, dass die MAK-Werte überschritten werden, wenn an oder mit den behandelten Hölzern gearbeitet wird. Die besonderen Hinweise zum Arbeitsschutz im Umgang mit fluorhaltigen Verbindungen sind dann zu berücksichtigen, wenn besonders hohe Konzentrationen an Fluorverbindungen in Stäuben oder im Holz nachgewiesen oder angenommen werden können.

Für vorübergehende Aufenthalte kann eine besondere Risikolage nicht angenommen werden; dennoch sollten in Zukunft dort Staubmessungen vorgenommen werden, wo höhere Gehalte an Fluoriden im Holz nachgewiesen wurden. Eine dezidierte gesundheitliche Bewertung kann jedoch erst nach Vorliegen von Messwerten von Staubproben vorgenommen werden.

5. Bewertung der Messdaten und Empfehlungen von Richtwerten und Maßnahmen

Bevor eine Bewertung der in dem Vorhaben gemessenen Belastungen vorgenommen werden soll und Empfehlungen zu Maßnahmen abgegeben werden, sind ein Paar Vorbemerkungen notwendig. Ermittelte oder abgeschätzte Gesundheitsrisiken werden für den Verbraucher oder den Arbeitnehmer unterschiedlich festgelegt, wobei für den Verbraucher ein besonders hohes Maß an Gesundheitsschutz beansprucht wird. Die sogenannten Restrisiken sind hier so klein wie möglich zu halten. Der Begriff des Restrisikos ist aber nicht eindeutig; dieser Begriff kann im gesundheitlichen Verbraucherschutz aufgefasst werden als das restliche Risiko, das verbleibt, wenn alle wissenschaftlichen Möglichkeiten zur Quantifizierung der Risiken ausgeschöpft sind und dem quantifizierbaren Risiko Rechnung getragen wurde. Geht es aber um Fragen der Ermittlung von Schäden an z.B. kulturhistorisch wertvollen Gebäuden und weiterhin hier in der Konsequenz um Maßnahmen einer möglicher Sanierung so verbleibt das sogenannte ALARA-Prinzip, das es umzusetzen gilt (ALARA: „as low as reasonably achievable“, verbleibendes Risiko nach Einsatz von allen sinnvollen Maßnahmen nach dem Stand der Technik); d.h. die resultierende Risikohöhe wäre unabhängig von einem akzeptablen oder tolerablen Risiko und wäre in einem zweiten Schritt nach gesundheitlichen Kriterien einzuordnen. Auch die U.S.-EPA verwendet den Begriff „residual risk“ in diesem Sinne: „risk remaining after control technology standards...have been promulgated and applied.“¹⁶. Kurz gefasst: Es gilt bei der Betrachtung von Schäden oder Schadstoffbelastungen an oder in kulturhistorisch wertvollen Gebäuden so zu handeln, dass nach dem Maßstab der ‚praktischen Vernunft‘ mit weiteren Schäden oder besonderen Gesundheitsrisiken nicht mehr zu rechnen ist.

Für die hier zu diskutierenden Stoffe besteht ein Verdacht auf krebserzeugende Wirkung, und sie sind nach den Regelungen der Gefahrstoff-Verordnung eingestuft. Risikoabschätzungen für derartige Stoffe enthalten grundsätzlich eine gewisse Ungenauigkeit und sind nicht selten Gegenstand von Kontroversen in der Öffentlichkeit. Diese Unsicherheiten können dazu führen, dass je nach Berechnungsverfahren jede Berechnung der Wahrscheinlichkeit der krebserzeugenden Wirkung eines Schadstoffes auf unsicheren Voraussetzungen beruht. Diese Unsicherheiten haben auch erhebliche Konsequenzen für die öffentliche Wahrnehmung Risikowahrnehmung.

Von weiterer praktischer Bedeutung für die gesundheitliche Bewertung ist hier, ob Holzschutzmittel großflächig in den Innenräumen eingesetzt wurden. In Übereinstimmung mit dem Deutschen Institut für Bautechnik wurde seinerzeit definiert, dass eine großflächige Anwendung dann vorliegt, wenn das Verhältnis der behandelten Fläche zum korrespondierenden Raumvolumen gleich oder größer als 0,2 ist. Den unteren Grenzwert von 0,2 entspricht dabei im konstruktiven Holzbau die abgewinkelte Fläche einer tragenden Holzbalkendecke in einem Zimmer. Weitere Unterscheidungsmomente bieten sich an in der Differenzierung zwischen Holzschutzmaßnahmen in Daueraufenthaltsräumen und in Räumen von vorübergehenden Aufenthalt oder danach, ob das Holz nach der Behandlung regelmäßig zum Innenraum abgedeckt wird oder freie Oberflächen bietet. Die genannten Differenzierungen – großflächige oder nur Balkenwerk betreffende Behandlungen und Daueraufenthaltsräume oder andere Räume wie z.B. Dachräume – gilt es bei der Überlegung von Sanierungsmaßnahmen zu beachten.

¹⁶ US - EPA, 1999

Die hier zu bewertenden Stoffe DDT, Lindan und PCP sind heute noch als ubiquitär anzusehen, d.h. dass durchschnittlich mit einem belasteten Umfeld zu rechnen ist. Bis zu den in den Tabellen 1- 3 angegebenen Belastungswerten für eine Sanierung können Hintergrundbelastungen verantwortlich gemacht werden. Geringere Konzentrationen führen erfahrungsgemäß noch nicht zu Beschwerden. Wenn die angegebenen Werte jedoch überschritten werden, sind bei chronischen Belastungen gesundheitliche Risiken nicht mehr mit hinreichender Sicherheit auszuschließen d.h. es besteht unmittelbarer Handlungsbedarf, weil auf Dauer mit gesundheitlichen Beschwerden zu rechnen ist. Bei einer möglicherweise erforderlichen Dekontaminierung oder Sanierung von Gebäuden oder Gebäudeteilen sollten die unten nach dem heutigen Kenntnisstand als unbedenklich einzustufenden Restschadstoffgehalte angestrebt werden.

In den Ergebnisdarstellungen des Vorhabens wurde im Sinne einer Ersteinschätzung ein „Risikoindex“ eingeführt. Dieser Index wird als die Summe eines Drittels der ermittelten DDT-Menge plus der Mengen an Lindan und PCP angegeben. Diese Art der Vorgehensweise kann toxikologisch nicht begründet werden. Grenzwerte gelten definitionsgemäß für die Exposition den reinen Stoffen gegenüber. Für die Beurteilung von Stoffgemischen in der Luft des Arbeitsbereiches und/oder von Materialien, sind z.B. MAK-Werte nur sehr bedingt geeignet. Grund für diese Einschränkung ist der Umstand, dass die toxikologische Beurteilung von Gemischen aus wissenschaftlicher Sicht noch zuwenig gesichert ist. Eine Addition von gemessenen Stoffkonzentrationen kann nach Auffassung der MAK-Kommission nur vorgenommen werden, wenn die Einzelstoffe auf die gleichen Zielorgane einwirken bzw. deren Komponenten sich in ihrer Wirkung gegenseitig verstärken. Das ist bei den hier untersuchten Stoffen nicht der Fall und auch toxikologisch nicht begründbar. Es ist auch nicht erforderlich; es ist vollkommen hinreichend, die gemessenen Einzelstoffe bzw. Belastungen mit ihren Grenzwerten zu vergleichen.

Zusammenfassend kann ausgeführt werden, dass die gemessenen Konzentrationen an DDT, Lindan und PCP in den untersuchten Gebäuden keine gesundheitlichen Beschwerden oder Schäden erwarten lassen. Selbst die worst-case-Annahmen einer Exposition den höchsten gemessenen Konzentrationen gegenüber zeigen, dass nur wenige Prozente der duldbaren Aufnahmemengen ausgeschöpft werden. Diese Aussage kann noch dadurch bestärkt werden, dass die untersuchten Gebäude nicht ständig bewohnt werden - also nur vorübergehende Aufenthalte oder gängige Arbeitszeiten angenommen werden können. Auf die Einschränkungen der einmalig vorgenommenen Messungen wurde bereits hingewiesen. Mit den dargelegten gesundheitlichen Bewertungen wird deutlich, dass Einschränkungen z.B. des Publikumsverkehrs oder besondere Arbeitsschutzmaßnahmen nicht erforderlich sind. Für den Arbeitsschutz sind die Vorgaben, die seinerzeit für die Sanierung PCP-belasteter Gebäude formuliert wurden, völlig ausreichend¹⁷.

DDT:

Wie aus der obigen Darstellung deutlich wird, schwanken die als tolerierbar für den Menschen ausgewiesenen Grenzwerte für DDT in einem großen Rahmen. Für die hier vorliegende gesundheitliche Bewertung wird der von der Weltgesundheitsorganisation abgeleitete provisional tolerable daily intake (PTDI) 0,01 mg DDT/ kg KG

¹⁷ Richtlinie für die Sanierung Pentachlorphenol(PCP)-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCP)-Richtlinie, Fassung Oktober 1996.

vorgeschlagen und es wird empfohlen, diesen Wert auch für zukünftige Bewertungen von DDT-Belastungen im Rahmen weiterer Forschungsvorhaben heranzuziehen. Der vorgeschlagene Grenzwert wird wie folgt begründet:

- In Untersuchungen an Ratten zu möglichen kanzerogenen Wirkungen wurden keine adversen Effekte unterhalb einer Dosierung von ca. 6.25 mg DDT/kg KG/Tag nachgewiesen. In entwicklungstoxikologischen wurde ein no adverse toxic effect level (NOAEL) von 1 mg DDT/kg KG/Tag ermittelt.
- In einer 7-Jahresstudie an Affen wurden bis zu 10 mg DDT/kg KG/Tag keine nachteiligen Befunde erhoben.
- Für den Menschen kann – über alle vorliegenden Untersuchungen gesehen – ein NOAEL von 0,25 mg DDT/kg KG/Tag zugrundegelegt werden.

Die Luftmessungen im vorliegenden Vorhaben ergaben Messwerte von nicht nachweisbar bis zu einer Höhe von 803 ng DDT/m³ Luft (Objekt Halberstadt – Liebfrauenkirche). Setzt man den bisher höchsten nachgewiesenen Messwert von 803 ng DDT/m³ Luft zu der oben vorgeschlagenen tolerierbaren Aufnahmemenge von 0,01 mg DDT/ kg KG/Tag in Beziehung, wird deutlich, dass unter der Annahme einer 100%igen Resorption sich nur eine Ausschöpfung von etwas mehr als 2 % der noch tolerierbaren Menge ergibt (zugrundegelegt ein Atemvolumen eines Erwachsenen von 20 m³/Tag und einem Körpergewicht von 70 kg). Für ein 10 kg schweres Kind mit einem Atemvolumen von 3 m³ am Tag ergibt sich bei dauerndem Aufenthalt z.B. in einer Wohnung und der Annahme einer vollständigen Resorption eine tägliche Aufnahme von ca. 0,25 µg DDT/kg Körpergewicht. Diese Größenordnung zeigt wiederum, dass die Aufnahme von DDT über die Atmung – selbst bei Annahme eines worst-case Szenarios wie in diesem Falle - gegenüber einer möglichen Aufnahme von DDT über die Nahrung vernachlässigt werden kann.

DDT und auch die Abbauprodukte DDE und DDD sind kaum flüchtig (Dampfdruck DDT = 23×10^{-6} Pa bei 20 °C), aber sie können an Schwebstaub gebunden besonders in der Raumluft von Gebäuden auftreten, die erhöhte Material- und Staubkonzentrationen aufweisen. Deshalb wird empfohlen in Zukunft auch Staubproben im Rahmen dieses Vorhabens zu untersuchen - zumindest für die Räumlichkeiten, die von Menschen regelmäßig benutzt oder betreten werden.

Für einen Staubwert von 100 mg DDT/kg Staub kann für ein einjähriges Kind mit einem Körpergewicht von 10 kg eine zusätzliche Belastung von 1 µg/kg KG pro Tag ab (Annahmen: tägliche Aufnahme von 100 mg Hausstaub, vollständiger Übergang in den Körper). Dadurch wird der oben genannte PDTI-Wert der WHO von 10 µg/kg KG zu 10 % ausgeschöpft. Aus Erwägungen der Vorsorge sollte jedoch für Räume, die dem ständigen Wohnaufenthalt dienen, eine Ermittlung der Quellen und eine Dekontamination vorgenommen werden. Bei einer erforderlichen Dekontamination oder Sanierung im Wohnbereich sollten die unten nach dem heutigen Kenntnisstand als unbedenklich einzustufenden Restschadstoffgehalte angestrebt werden:

Staub: unter 5 mg/kg Staub
Holz : unter 30 mg/kg Holz

Tab. 1 Empfohlene Grenzwerte und Maßnahmen für DDT (Überblick)

	Grenzwerte + Richtwerte	Maßnahmen
Tolerierbare Aufnahme von DDT	0,01 mg DDT/kg KG /Tag	
MAK-Wert	1,0 mg DDT/m³ Luft	Die Arbeitsschutzvorschriften zum Atem- und Hautschutz sind einzuhalten.
Vorsorgewert für den Wohnbereich	1,0 µg DDT/m³ Luft	Bei Überschreiten des Wertes im Jahresmittel: Sanierung von Aufenthaltsräumen, die ständig von Menschen bewohnt werden. <u>Vorläufige Maßnahmen bis zur Sanierung:</u> a. Erhöhung der Reinigungsintervalle (feucht) b. ausreichende regelmäßige Raumbelüftung c. Hautkontakt mit belasteten Oberflächen vermeiden
Staubwert (Wohnbereich)	> 100 mg DDT/ kg Staub	s.o.
Sanierungsleitwert	Staub: < 5 mg/kg Staub Holz : < 30 mg/kg Holz	Die angegebenen Zielwerte sollten mit einer Sanierung erreicht werden

Lindan:

Von der WHO wurde ein ADI-Wert von 0,005 mg Lindan/kg KG/Tag abgeleitet. Als Basis wurde ein Langzeitfütterungsversuch an Ratten herangezogen, der einen NO-AEL (no observed adverse effect level) von 0,47 mg Lindan/kg KG/Tag ergeben hatte (Wirkungen auf Leber und Milz, Todesfälle). Der eingesetzte Sicherheitsfaktor beträgt 100. Der gleiche ADI-Wert wird auch von der amerikanischen Umweltbehörde EPA verwendet.

Die Luftmessungen im Vorhaben ergaben für Lindangehalte Messwerte von nicht nachweisbar bis zu einer Höhe von 460 ng Lindan/m³ Luft (Objekt Eutzsch Dorfkirche). Setzt man diesen Wert in Beziehung zum ADI-Wert von 0,005 mg Lindan/kg KG/ Tag kann nur eine Auslastung von ca. 2,5 % des ADI-Wertes konstatiert werden, wobei bemerkt werden muss, dass mit dieser einfachen Rechnung eine worst-case-Annahme vorgenommen wurde. Geht man von einem Richtwert für Lindan-Luftbelastungen im Wohnbereich von 1 µg Lindan/ m³ aus, wird deutlich, dass mit diesem Richtwert bezogen auf einen Erwachsenen (Körpergewicht 70 kg) sich eine Ausschöpfung des ADI-Werts von unter 10% ergibt. Dennoch sollte im Wohnbereich ein Richtwert von < 0,3 µg Lindan/m³ im Sinne der gesundheitlichen Vorsorge eingehalten werden, wenn eine mögliche größere Empfindlichkeit von Kindern gegenüber Lindan mit einem weiteren Sicherheitsfaktor von 3 einbezogen wird.

Von der MAK-Kommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft¹⁸ wird auf der Basis von Erfahrungen aus dem Arbeitsbereich und aus Ergebnissen von Tierversuchen 0,1 mg Lindan/m³ Luft als maximale Arbeitsplatzkonzentration abgeleitet. Ausgangspunkt für die Ableitung des MAK-Wertes war die Wirkung von Lindan auf die Induktion Cytochrom-P450-abhängiger Monooxygenasen; die Induktion dieser Monooxygenasen werden mit den tumorpromovierenden Effekten des Lindans in Verbindung gebracht.

Tab. 2 Empfohlene Grenzwerte und Maßnahmen für Lindan (Überblick)

	Grenzwerte + Richtwerte	Maßnahmen
Tolerierbare Aufnahme von Lindan	0,005 mg Lindan/kg Kg/Tag	
ARfD (Akute Referenzdosis)	0,06 mg Lindan/kg KG	
MAK-Wert	0,1 mg Lindan/m ³ Luft	Die Arbeitsschutzvorschriften zum Atem- und Hautschutz sind einzuhalten.
Vorsorgewert für den Wohnbereich	< 0,3 µg Lindan/m ³ Luft	
Sanierungsleitwert für den Wohnbereich	> 1.0 µg Lindan/m ³ Luft	Bei Überschreiten des Wertes im Jahresmittel: Sanierung von Aufenthaltsräumen, die ständig von Menschen bewohnt werden. <u>Vorläufige Maßnahmen bis zur Sanierung:</u> a. Erhöhung der Reinigungsintervalle (feucht) b. ausreichende regelmäßige Raumbelüftung c. Hautkontakt mit belasteten Oberflächen vermeiden
Belastung Staub (in bewohnten Innenräumen)	> 1 mg Lindan/kg Staub	Sanierungsbedarf ansonsten s.o.
Belastung Holz (in bewohnten Innenräumen)	> 20 mg Lindan/kg Holz	Sanierungsbedarf ansonsten s.o.
Sanierungsleitwert Innenraumluft Staub Holz	< 0,0005 mg Lindan/m ³ Luft < 3 mg Lindan/kg Staub < 30 mg Lindan/ kg Holz	Die angegebenen Zielwerte sollten mit einer Sanierung erreicht werden

PCP:

Das (ehemalige) Bundesgesundheitsamt hat 1993 einen Vorsorgewert für PCP in der Innenraumluft von weniger als 1 µg PCP/ m³ Luft empfohlen (Bundesgesundheitsamt 1993). Die Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes empfiehlt einen gleichen Wert. Eine Sanierung wird als angezeigt angesehen, wenn die Raum-

¹⁸ (DFG 2008)

Luftkonzentration im Jahresmittel über 1 µg PCP/ m³ liegt. Als Sanierungsziel werden Werte unterhalb von 0,1 Mikrogramm PCP pro Kubikmeter genannt.

Die Messwerte für PCP differieren von nicht nachweisbar bis 310 ng PCP/m³ Huysburg, Klosterkirche). Die hierzu korrespondierenden Holzmessungen ergeben keine Belastung an PCP. Der relativ hohe Wert der Raumluftmessung muss also anderen Quellen zugeordnet werden, so dass in diesem Falle eine Quellensuche angezeigt erscheint. Es sei darauf verwiesen, dass in der ehemaligen DDR bis 1988 eine Zulassung PCP-haltiger Grundierungen für Türen und Fenster bestand. Die übrigen Messwerte sind in der Größenordnung der erwartbaren Hintergrundbelastung. Es kann somit nicht angenommen werden, dass PCP in Holzschutzmitteln bei den im Vorhaben untersuchten Gebäuden eingesetzt wurde.

Tab. 3 Empfohlene Grenzwerte und Maßnahmen für PCP (Überblick)

	Grenzwerte + Richtwerte	Maßnahmen
Tolerierbare Aufnahme von PCP	0,003 mg Lindan/kg Kg/Tag	
MAK-Wert	0,05 mg PCP/m ³ Luft ¹⁹	Die Arbeitsschutzvorschriften zum Atem- und Hautschutz sind einzuhalten.
Vorsorgewert für den Wohnbereich	0,1 – 1,0 µg PCP/m ³ Luft	
Sanierungsleitwert für den Wohnbereich	> 1.0 µg PCP/m ³ Luft	Bei Überschreiten des Wertes im Jahresmittel: Sanierung von Aufenthaltsräumen, die ständig von Menschen bewohnt werden. <u>Vorläufige Maßnahmen bis zur Sanierung:</u> a. Erhöhung der Reinigungsintervalle (feucht) b. ausreichende regelmäßige Raumbelüftung c. Hautkontakt mit belasteten Oberflächen vermeiden
Sanierungsleitwert Innenraumluft in bewohnten Innenräumen	< 0,1 µg PCP/m ³ Luft	Die angegebenen Zielwerte sollten mit einer Sanierung erreicht werden

6. Weitere Empfehlungen

- Als Grundlage für eine gesundheitliche Bewertung dienen die Ergebnisse der Luftmessungen des Vorhabens „Mazeration historischer Dachkonstruktionen Erhebung und Klassifizierung des Schadensumfangs in Sachsen-Anhalt Ent-

¹⁹ einatembarer Staub

wicklung und Erprobung eines Schnellverfahrens (MATE)“ (siehe hierzu Anlage 2). Wie ersichtlich wurden die Luftmessungen einmalig vorgenommen. Damit ist nur eine begrenzte Basis für eine gesundheitliche Bewertung gegeben. In Zukunft sollte deshalb zumindest für höher belastete Gebäude ein repräsentativer Jahresmittelwert erhoben werden.

- Wie dem vorläufigen Abschlussbericht (Mai 2010) zu entnehmen, wurde DDT einschließlich der Isomeren gemessen. Die Isomeren sind jedoch nicht ausgewiesen; eine Ausweisung wäre sinnfällig. Für die Lindanmessungen sind die Messungen der Isomeren dann erforderlich, wenn das seinerzeit eingesetzte Lindan nicht dem von der WHO empfohlenen Reinheitsgrad von über 99,5 % entspricht.
- Sollten in der Zukunft weitere Messungen vorgenommen werden, wird empfohlen, Staubmessungen vorzunehmen. Mit Staubmessungen kann relativ leicht im Sinne eines Screening (z.B. mit Sammelproben) das Ausmaß einer Belastung von Innenräumen mit Schadstoffen bestimmt werden. Wird mit einer Staubmessung eine hohe Belastung festgestellt, sollten die anschließenden Luftmessungen die Fraktion des einatembaren Staubes mit berücksichtigen.

Mazeration historischer Dachkonstruktionen

Erhebung und Klassifizierung des Schadensumfangs in Sachsen-Anhalt

Entwicklung und Erprobung eines Schnelltestverfahrens (MATE)

I.C.Hennen¹, B. Hofestädt², U. Kalisch³, H.N. Marx⁴, H. Niewisch⁵, U. Tostmann⁶

Handlungsanleitung für Eigentümer, Verwalter und Bauherren

1. Ziele des Projekts, Untersuchungsprogramm

Seit Mitte der 1990er Jahre wurden in Sachsen-Anhalt wie auch in Brandenburg und Thüringen wiederholt Fälle von Holzkorrosion oder Mazeration an historischen Dachstühlen beobachtet. Betroffen sind zahlreiche Kirchen, Rathäuser, Schlösser und andere Bauten. Die Schäden sind wegen ihres Ausmaßes und der Möglichkeit des weiteren Fortschreitens der zerstörerischen Prozesse, die bis zum Verlust der kompletten Konstruktion führen können, sowohl wirtschaftlich als auch kulturhistorisch und im Blick auf den Arbeits- und Gesundheitsschutz relevant.

Als Mazeration oder Holzkorrosion werden Auffaserungserscheinungen im oberflächennahen Bereich der Hölzer bezeichnet. Dieses Schadensbild ist vor allem an Konstruktionen zu beobachten, die intensiv oder auch mehrfach mit Feuer- schutzmitteln behandelt wurden.



Foto1 (links) Starke Mazeration: Auffaserungen

Foto2 (rechts) Leichte Mazeration: samtige Oberfläche

Im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (bbr), vom Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt und der Evangelischen Kirche Mitteldeutschlands (EKM) finanzierten Forschungsprojekts wurden im Zeitraum von 2008 bis 2010 in Sachsen-Anhalt 43 Verdachtsfälle hinsichtlich der durch Mazeration hervorgerufenen Schäden, des Einflusses des Klimas in der Umgebung der Hölzer, der eingetragenen chemischen Substanzen und ihrer Flammschutz- und Holzschutzgeschichte untersucht. Es zeigte sich, dass bis auf sieben Fälle alle Objekte mit Flammschutz- und/oder Holzschutzmitteln behandelt worden waren, wodurch es bei etwa einem Drittel der untersuchten Fälle zu akuten und bei einem weiteren Drittel zu latenten Schäden gekommen ist. Nur gut ein Drittel der in das Projekt einbezogenen Dachwerke wies keine Schäden durch Mazeration auf.

¹ Dr. Insa Christiane Hennen, Bauforschung – Denkmalpflege, Wittenberg

² Dipl.-Math. Bernd Hofestädt, Institut für Diagnostik und Konservierung an Baudenkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V. (IDK), Halle a.d.S.

³ Dipl. Ing. Uwe Kalisch, IDK (wie Anm. 2)

⁴ Dipl. Ing. Hans-Norbert Marx, SVB Marx, Bühl-Vimbuch

⁵ Dipl. Ing. Holger Niewisch, Ing. Büro Niewisch, Berlin

⁶ Udo Tostmann M.A., Tostmann Arbeitsschutz, Berlin

2. Schadensentstehung

Als Feuerschutzmittel wurden ab den 1940er Jahren Salze wie Ammoniumphosphat, Fluoridverbindungen oder andere anorganische Salze mit mineralisierenden Eigenschaften eingesetzt. Die Schädigung beruht einerseits darauf, dass Salze hygroskopisch sind. Bei steigender Feuchtigkeit in der Umgebungsluft und auf der Holzoberfläche gehen die Salze in Lösung, bei sinkender Feuchtigkeit kristallisieren sie aus. Der Kristallisationsdruck schädigt und lockert die Holzstruktur.

Andererseits führt bei Salzverbindungen aus schwachen Basen und starken Säuren die Anlagerung eines Wassermoleküls zur Spaltung der chemischen Verbindung. Im Verlauf dieser Reaktion, der Hydrolyse, bildet sich beispielsweise aus Ammoniumsulfat (und Wasser aus der umgebenden Luft) Schwefelsäure, aus Ammoniumphosphat Phosphorsäure. Diese Säuren greifen das Holz langfristig an. Von Ammoniumfluorid gehen akute oder chronische Gesundheitsgefahren aus.

Der Substanzverlust an den Oberflächen von mazeriertem Holz ist im Bereich der dadurch geschwächten Holzverbindungen konstruktiv relevant.

3. Feuerschutzsalze und Biozide im Holz

Im Rahmen des Projekts MATE wurden die gewonnenen Holzproben auf Phosphat, Sulfat und Fluoride untersucht, außerdem auch auf den Gehalt an DDT, Lindan und PCP. An einigen Dachwerken wurden dabei erhebliche Konzentrationen von Pentachlorphenol (PCP), Lindan (γ -HCH) und DDT nachgewiesen, wobei für Holzschutzbehandlungen im Gebiet der ehemaligen DDR das DDT die entscheidende Rolle spielt.

4. Maßnahmeempfehlungen

4.1 Probenahme im Dachraum

Als ersten Schritt und Grundlage für alles weitere empfiehlt die MATE-Forscherguppe die Entnahme einer Holzmischprobe und deren Analyse auf DDT, Lindan, PCP, Fluorid, Phosphat und Sulfat gemäß der innerhalb des Projekts formulierten Arbeitsanleitung empfohlen (s. Anhang). Eine Laboranalyse gibt zuverlässig Auskunft über frühere chemische Behandlungen der jeweiligen Konstruktion.

Nach bisherigem Kenntnisstand können die Phosphat- bzw. Sulfatwerte als Leitwerte angesehen werden; dennoch sollten mit Blick auf den Gesamtsalzgehalt auch die Fluoridwerte ermittelt werden. Aus den vorliegenden Messergebnissen sollte bezüglich der Mazerationsgefahr folgende Kategorisierung abgeleitet werden:

Phosphat bzw. Sulfat

< 800 mg/kg Holz	keine Mazerationsgefahr
< 2000 mg/kg Holz	mittlere Gefahr: Beobachtung der Hölzer alle 5 Jahre erforderlich
> 2000 mg/kg Holz	höhere Gefahr der Mazeration: jährlich oder alle 2 Jahre Hölzer beobachten, Nutzungs- und Klimaänderungen beachten!

4.2 Arbeits- und Gesundheitsschutz

Eigentümer oder Besitzer eines Gebäudes, „in denen eine Kontamination nicht ausgeschlossen werden kann“, und das gilt nach den Ergebnissen des MATE – Forschungsprojekts für viele Dachkonstruktionen, unterliegen der Erkundungs- und der Informationspflicht.

Zuerst ist „eine Erkundung der vermuteten Gefahrstoffe und eine Abschätzung der von diesen im Sinne der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes möglicherweise ausgehenden Gefährdung vorzunehmen oder durchführen zu lassen.“⁷

Werden Schadstoffe festgestellt und soll im kontaminierten Bereich gearbeitet werden, was auch Instandhaltungsarbeiten einschließt, müssen die davon betroffenen Personen informiert werden. Die Ergebnisse der Schadstoffermittlungen müssen dokumentiert und vermittelt werden.

Der Arbeitgeber muss den Mitarbeitern den Sachverhalt erläutern und in einer Betriebsanweisung die Verhaltens- und Schutzmaßnahmen festlegen. Dabei kann oftmals ein kostengünstiger Haut- und Atemschutz ausreichen.

Die Freisetzung der Gefahrstoffe (Staubungsverhalten), d.h. die Gefährdung ist bei den einzelnen Arbeiten sehr unterschiedlich. Deshalb werden die Arbeitsschutzmaßnahmen durch eine tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung festgelegt. Die einzelnen Schutzmaßnahmen können also nur im Bezug auf die Arbeiten, die ausgeführt werden sollen, festgelegt werden.

Der Arbeitgeber ist auch verantwortlich für die arbeitsmedizinische und sicherheitstechnische Betreuung seiner Mitarbeiter, wobei er von den Berufsgenossenschaften unterstützt wird.

Sind Bauarbeiten geplant muss der Bauherr einen Arbeits- und Sicherheitsplan (A+S-Plan) erstellen oder von einem Sachkundigen erstellen lassen. Die Arbeits- und Sicherheitsplanung ist dabei das wichtigste Steuerungsinstrument des Bauherrn in Bezug auf den Umgang mit der Kontamination. Hier werden die Gefährdungen eingeschätzt und Auflagen festgelegt. Die Regelungen und Vorschriften zum Arbeits- und Gesundheitsschutz sind sehr umfangreich, da sie für eine Vielzahl verschiedenster Arbeiten und Tätigkeiten Anwendung finden.

Da in der A+S-Planung die Maßnahmen auf die besonderen Bedingungen der Baustelle abgestimmt werden sollen, ist es nötig und auch wirtschaftlich sinnvoll, die sich in den Vorschriften und technischen Regeln bietenden Ermessensspielräume anzuwenden.

Mit der Erkundung- und Informationspflicht hat der Eigentümer oder Verantwortliche seine Pflichten und Verantwortlichkeiten im Wesentlichen erfüllt.⁸

Zudem hat er als Bauherr oder Auftraggeber „die fachliche Eignung und Qualifikation der ausführenden Firmen sicherzustellen“, d.h. die Firmen müssen in der Lage sein, die gesetzlichen und berufsgenossenschaftlichen Auflagen zum Arbeitsschutz einzuhalten und umzusetzen. Auch die eigenen Mitarbeiter können/ müssen durch das Einhalten dieser Auflagen qualifiziert werden und eine fachliche Eignung für den Umgang mit der Kontamination erlangen. Dies gilt auch für die weitere Zusammenarbeit mit den vertrauten Betrieben.

4.3 Abtrennung der kontaminierten Bereiche

Um eine Übertragung von kontaminiertem Material auf unbelastete Bereiche zu verhindern, kann eine Abtrennung der Bereiche notwendig sein. Diese ist auch sinnvoll, wenn keine Arbeiten im kontaminierten Bereich geplant sind und ist in der Regel kostengünstig ausführbar.

4.4 Gefährdungssituation: kontaminierte Innenraumluft

Um festzustellen, ob die Innenraumluft eines Gebäudes kontaminiert ist, kann im ersten Schritt eine Staubprobe genommen werden (s. die Anleitung im Anhang).

⁷ Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, BGR 128, Kontaminierte Bereiche vom April 1997, aktualisierte Fassung Februar 2006, 8.1. In der neuen Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 524 (Neufassung 2010) wurden die Bestimmungen der BGR 128 und der bis dato gültigen TRGS 524 zusammengeführt.

⁸ Die Pflichten und Verantwortlichkeiten die für Auftraggeber und Auftragnehmer bei Arbeiten in kontaminierten Bereichen entstehen werden ausführlich dargestellt in der vom LAGetSi herausgegebene HSM- Handlungsanleitung, Umgang mit holzschutzmittelbelasteten Bauteilen, Gegenständen und Materialien, November 2007

Mittels der Untersuchungen von Staubproben lassen sich Belastungen durch Feuer- und Flammenschutzmittel sowie weiterer Stoffe z.B. Holzschutzmittel erkennen und ein möglicher weiterer Untersuchungsbedarf abschätzen.

Die toxikologische Bewertung der im MATE Projekt nachgewiesenen Innenraumluftkontaminationen signalisiert, dass in den untersuchten Fällen keine nicht tolerierbaren Risiken vorliegen.

Besondere Maßnahmen wie Beschränkungen der Aufenthaltsdauer für Besucher von Gottesdiensten oder Teilnehmer an touristischen Besichtigungen in Kirchen oder Schlössern sind bisher nicht erforderlich.

5. Sanierung von betroffenen Dachkonstruktionen

Aktuell gibt es noch kaum Erfahrungen zu Langzeitwirkungen von chemischen Sanierungsmethoden (Maskierung, Neutralisation). Die Nachuntersuchung und vergleichende Bewertung von v.a. ab den 1990er Jahren „sanierten“ Objekten steht noch aus. Aus diesem Grund empfiehlt die MATE-Forschergruppe Betroffenen einerseits zunächst die Grundlagen für weitere Schritte zu ermitteln (Laboruntersuchung von Holz- und Staubproben auf Flammschutz- und Holzschutzmittelbestandteile, Klimamessungen (Lufttemperatur und relative Luftfeuchte) im Dachraum über wenigstens ein Jahr, Recherchen zur Flammschutz- und Holzschutzgeschichte des Objekts) und sich darüber hinaus auf die Entfernung von Staub aus den Dachräumen und bei akuten Schadensfällen auf die Reinigung der Holzoberflächen von losen Fasern zu beschränken.

6. Kontaktadressen

Dr. Insa Christiane Hennen
Bauforschung - Denkmalpflege
Lutherstraße 33D
06886 Wittenberg
hennen.hennen@t-online.de

Institut für Diagnostik und Konservierung
an Baudenkmalen in Sachsen und Sachsen Anhalt (IDK)
Dipl. Ing. Uwe Kalisch
Domplatz 3
06108 Halle
kalisch@idk-info.de

Sachverständigenbüro
Dipl. Ing. Hans-Norbert Marx
Türkenlouisstr. 5
77815 Bühl-Vimbuch
SVB-Marx@t-online.de

Ingenieurbüro Niewisch
Holger Niewisch
Clausewitzstr. 5
10629 Berlin
Holger-Niewisch@versanet.de

Arbeitssicherheitsplanung
in kontaminierten Bereichen
Udo Tostmann M.A.
Fregestr. 27A
12161 Berlin
tostmann@holzentgiftung.de