

Masterthesis

Kurzfassung

HAWK

Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst

Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen

Fakultät Erhaltung von Kulturgut

Fachrichtung Schriftgut, Buch und Graphik

Johanna Kraemer

Mat.-Nr. 549163

Hildesheim

Thema

Bauphysikalische Raumluftparameter in Magazinräumen
– Entwicklung eines Messverfahrens am Beispiel des
Landesarchivs Nordrhein-Westfalen

SS 2012

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer
 2. Prüfer: Prof. Dipl.-Rest., Dipl.-Ing. Ulrike Hähner
- Fachliche Betreuung: Rest. Matthias Frankenstein

Zusammenfassung

Die Masterthesis ist in Kooperation mit der Fakultät Bauwesen der HAWK Hildesheim, der Studienrichtung Schriftgut, Buch und Graphik und dem Landesarchiv Nordrhein-Westfalen, Abteilung Ostwestfalen-Lippe in Detmold entstanden.

Das interdisziplinäre Ziel der Masterthesis war die Entwicklung eines exemplarischen Messverfahrens bauphysikalischer Raumluftparameter in Magazinräumen, um auf diese Weise Herangehensweisen der präventiven Konservierung mit bauphysikalischen Methoden zu verknüpfen.

Im theoretischen Teil der Arbeit werden der Einfluss des Außenklimas und relevante Wärme- und Feuchtetransportmechanismen innerhalb des Gebäudes sowie mikrobiologische Bedingungen für Schimmelpilzwachstum erläutert. Einen Schwerpunkt bilden unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten des Mollier-h,x-Diagramms. Es folgt eine Darstellung der allgemeinen Funktionsweise von Klimaanlageanlagen und relevanten Messgeräten. Ein Überblick zu den wichtigsten klimainduzierten chemischen und physikalischen Degradationsprozessen am Material Papier auf der Basis aktueller Forschungsergebnisse soll die Frage klären, ob aus restauratorischer Sicht auch größere klimatische Toleranzen als in der DIN ISO 11799 empfohlen für das Archivgut akzeptabel wären. Im Anschluss werden bauphysikalische, mikrobiologische und konservatorische Randbedingungen festgelegt, welche Eingang in ein Auswertungsschema für Klimamesswerte finden. Klimatechnische Randbedingungen können aufgrund der Komplexität nicht in das Schema einbezogen werden.

Der praktische Teil der Arbeit besteht aus der Situationsanalyse eines Altbaumagazingebäudes der 1960er Jahre. Hier bestehen trotz einer nachträglich eingebauten Vollklimaanlage Klimaprobleme bis hin zum mikrobiellen Befall von Archivgut, obwohl die Klimatisierung auf Grundlage der in der DIN ISO 11799 empfohlenen Klimagrenzwerte erfolgt. Die Probleme lassen sich einerseits auf eine unzureichend gedämmte Gebäudesubstanz und andererseits auf eine möglicherweise zu kleine Auslegung der Klimaanlage zurückführen.

Anhand von Messwerten aus durchgängig durchgeführten Klimamessungen mit Datenloggern erfolgt eine Übertragung des Auswertungsschemas in die Praxis. In einem exemplarischen Messverfahren werden Messpunkte definiert, mit welchen sich ein Raumklima für die Praxis ausreichend genau beschreiben lässt. Darüber hinaus erfolgen weitere messwertbasierte Luftzustandsvergleiche, welche unter anderem Schlüsse auf die Wirkungsweise der Klimaanlage vor Ort zulassen.

Abstract

This Master Thesis was developed in cooperation with the Faculty of Architecture, Engineering and Management, the Faculty of Preservation of Cultural Heritage and the State Archive in North Rhine-Westphalia, East Westphalia Lippe Department, in Detmold. The interdisciplinary purpose of this Master Thesis is to develop an exemplary measurement process of building physical air parameters in rooms in order to connect approaches of building physics and preventive conservation.

In the theoretical part, the influence of outside air conditions and relevant heat and humidity transport mechanisms inside a building as well as microbiological conditions for mould growth are explained. One of the main features is to show different possible applications of the Mollier-h,x-diagram. General functionality of air conditioning and relevant measuring instruments are described. A summary of the most important climate-induced chemical and physical degradation processes in paper, based on the latest research results, aims to clarify whether from the conservators' perspective climate tolerances in stacks larger than those recommended in DIN ISO 11799 would be acceptable. Subsequently, building physical, microbiological and preservative boundary conditions are determined, which are entered into a tabular evaluation scheme. Boundary conditions of air conditioning are too complex to be included.

The practical part of this Thesis is primarily concerned with a situation analysis of a stack building from the 1960s. Climate problems and even microbial infestation of archive materials persist in this building, although the air-conditioning is based on the limit-value-recommendations of DIN ISO 11799. The problems can be traced on the one hand to a poorly heat-insulated building and on the other hand to a possibly undersized air conditioning system.

By reference to measured data of consistent climate measurements with data loggers, a transfer of the tabular evaluation scheme in practice takes place. Measurement points, which describe a room climate in practice adequately, are defined. On the basis of further room air condition equations, conclusions can be drawn among other things concerning the effects of the air conditioning system.

Einleitung

Viele Archive und Bibliotheken der 1960er Jahre weisen schlechte bauliche Randbedingungen auf, die zum Teil durch eine bereits zum damaligen Zeitpunkt etablierte Klimatechnik ausgeglichen werden sollten. Seit der Einführung der DIN ISO 11799 im Jahr 2003 wird zunehmend deutlich, dass vorhandene Klimatechnik oft nicht die gewünschten, für das gelagerte Archivgut als sicher angesehenen engen Grenzwerte der Norm erreichen kann. Bis in die heutige Zeit wird vielfach auf die Vollklimatisierung als Lösung aller klimatischen Probleme vertraut, ohne die Randbedingungen des Gebäudes vor der oft nachträglichen Anlageninstallation bzw. bei der Revision einer bestehenden Anlage einer mittlerweile standardisierten bauphysikalischen Untersuchung zu unterziehen. Eine solche Vorgehensweise führt neben einer immensen Steigerung der Energiekosten zu Problemen bei der Einhaltung der gewünschten normgemäßen Klimagrenzen.

Restauratoren sind in diesem Problemfeld der präventiven Konservierung besonders gefragt. Sie werden aufgrund ihrer naturwissenschaftlichen Kenntnisse häufig mit der Klimakontrolle in Archiven, Bibliotheken und Museen beauftragt.

Für eine erfolgreiche interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Ingenieuren der Bauphysik und Klimatechnik sind das Wissen um bauphysikalisch relevante Parameter und der sichere Umgang mit bauphysikalischen und klimatechnischen Fachbegriffen notwendig. Nur so können Planungsprozesse frühzeitig von Restauratoren im Sinne der Materialien beeinflusst werden.

Das interdisziplinäre Ziel der Masterthesis ist es, für die restauratorische Praxis ein möglichst rationell durchführbares Messverfahren bauphysikalischer Raumluftparameter in Magazinräumen zu entwickeln, für dessen Anwendung weder teure Technik und Software noch zwingend einschlägig qualifiziertes Personal benötigt werden. Herangehensweisen der präventiven Konservierung werden dabei mit bauphysikalischen Methoden verknüpft.

Die Kurzfassung der Masterthesis konzentriert sich auf den praktischen Teil der Arbeit. In der Arbeit wurden wichtige bauphysikalische Grundlagen zusammengetragen. Zum Verständnis erforderliche Informationen werden daher an passender Stelle eingeflochten.

Auf ebenfalls wichtige Erkenntnisse zu den Inhalten der DIN ISO 11799, zum aktuellen Forschungsstand der klimainduzierten Papierdegradation und zu neuen Entwicklungen im Bereich der Standardisierung wird in der Schlussbetrachtung kurz eingegangen.

Entwicklung eines tabellarischen Auswertungsschemas

Resultierend aus der Zielstellung eines rationell durchführbaren Messverfahrens wurden die betrachteten Messzeiträume und Randbedingungen vereinfachend eingegrenzt.

Als Auswertungszeiträume dienen Wochen mit extremem Außenklima. Das Schema berücksichtigt bei der Bestimmung kritischer Messpunkte mikrobiologische, bauphysikalische und konservatorische Randbedingungen auf Basis der Raumluftparameter relative Feuchte und Temperatur. Klimatechnische Randbedingungen konnten aufgrund der Komplexität nicht bestimmt werden.

Die Randbedingungen wurden nach dem jeweils bestehenden Gefährdungsgrad für das Archivgut unterteilt. Demnach besteht beim Überschreiten mikrobiologischer Randbedingungen unmittelbare, bei der Aufbewahrung an ungünstigen Stellen im Raum mittelbare und bei der Über- oder Unterschreitung konservatorischer Randbedingungen langfristige Gefahr für das Archivgut.

Den einzelnen Randbedingungen, die sich zum Teil weiter untergliedern, wurden Risikostufen und Risikofaktoren zur Ermittlung eines bestehenden Gefährdungsgrades zugewiesen, welcher sich nach folgender Formel berechnen lässt:

$$\text{Gefährdungsgrad} = \text{Risikostufe} \times \text{Risikofaktor} \quad (\times \text{ ggf. Tageszahl mit Unter-/ Überschreitungen der Grenzwerte})$$

Ein wichtiges Kriterium war, eine Gleichgewichtung des von den drei Randbedingungen ausgehenden Gefährdungsgrades im jeweiligen Maximalfall zu ermöglichen. Bei 140 möglichen Punkten je Randbedingung ergeben sich maximal 420 Punkte für einen Messpunkt. Ein Messpunkt wird ab 100 Punkten als kritisch und damit für ein Messverfahren relevant eingestuft

Im Folgenden werden die einzelnen Randbedingungen samt Untergliederungen vorgestellt und das resultierende Auswertungsschema gezeigt.

Randbedingungen für den mikrobiologischen Bereich

Randbedingungen für den mikrobiologischen Bereich stammen aus einem Iso-plethensystem von Hofbauer et al., das notwendige Temperaturen zur vollständigen Sporenauskeimung in Abhängigkeit von Zeitraum und relativer Feuchte beinhaltet. Die Werte wurden gerundet abgelesen und in die Tabelle übertragen. Irrelevant für das wochenbezogene Auswertungsschema sind die Werte für 16 Tage und die geringstmögliche Isoplethe, welche ein Schimmelwachstum ermöglicht.

In die Tabelle wurden die zugehörigen Werte für vier Temperaturen eingetragen, da sich die Raumtemperatur in Magazinen erfahrungsgemäß meist zwischen diesen Werten bewegt.

Als Risikostufe ist 0 für keine und 1 für bestehende Gefährdung eingetragen, die mit dem höchsten Risikofaktor von 140 multipliziert wird. Messpunkte, deren Umgebung mikrobielle Aktivität begünstigt, überschreiten 100 Punkte somit automatisch und werden immer in ein Messverfahren aufgenommen.

Tage bis zur vollständigen Sporenauskeimung	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C
1	90 % rF	88 % rF	86 % rF	85 % rF
2	85 % rF	83 % rF	81 % rF	80 % rF
4	83 % rF	80 % rF	78 % rF	78 % rF
8	80 % rF	77 %	76 % rF	74 % rF
16	77 % rF	75 % rF	73 % rF	72 % rF
LIM (Lowest Isopleth for Mould)	75 % rF	72 % rF	71 % rF	70 % rF
Risikostufe	0/1	0/1	0/1	0/1
Risikofaktor	140	140	140	140

Ausgewählte Temperaturen zur vollständigen Sporenauskeimung in Abhängigkeit von Zeitraum und relativer Feuchte; gerundete Werte. Die Werte für 16 Tage und die LIM sind für das wochenbezogene Auswertungsschema irrelevant. (Hofbauer et al. 2006: 216f.)

1 x 140 = 140
 → Einschlusskriterium

Randbedingungen für den bauphysikalischen Bereich

Die Randbedingungen für den bauphysikalischen Bereich untergliedern sich in die verschiedenen möglichen Aufbewahrungsorte des Archivguts innerhalb eines Raumes. An ungedämmten Außenwänden und Fenstern besteht die höchste Gefährdung, da hier große Temperaturunterschiede zwischen Bauteiloberflächen und Raumluft bestehen können. Innengedämmte Außenwände sind gefährlich, weil hier Kondensatbildung zwischen der Dämmschicht und der Außenwand droht. Messpunkte in den zuvor genannten Bereichen gelten automatisch als kritisch, während außengedämmte Außenwände, Innenwände oder Bereiche, die weitgehend unbeeinflusst von Raumbegrenzungsflächen sind, nicht zwingend in ein Messverfahren aufgenommen werden müssen.

Randbedingung	Abkürzung	Risikostufe	Risikofaktor
ungedämmte Außenwand	AW	7	20
Außenwand mit Außendämmung	AW (AD)	4	20
Außenwand mit Innendämmung	AW (ID)	6	20
Fensterfläche	FE	7	20
Innenwand	IW	1	20
Raubereich ohne nennenswerten Einfluss durch Raumbegrenzungsflächen	RM	0	20

Einschlusskriterien

$7 \times 20 = 140$

Risikostufen und Risikofaktoren für bauphysikalische Randbedingungen mit im tabellarischen Auswertungsschema verwendeten Abkürzungen.

Zusätzlich findet die Messpunktfestlegung in unterschiedlichen Raumhöhen Beachtung, indem für einen Messpunkt in oberer Raumhöhe 0, in mittlerer 5 und in unterer Raumhöhe 10 Punkte hinzuaddiert werden. In unterer Raumhöhe sind die kritischsten Luftzustände anzutreffen, da die relative Feuchte aufgrund der niedrigeren Temperatur am höchsten ist.

Vertikale Messpunktfestlegung	Risikobewertung
obere Raumhöhe	0
mittlere Raumhöhe	+5
untere Raumhöhe	+10

Zusätzliche Risikobewertung einer vertikalen Messpunktfestlegung in unterschiedlichen Raumhöhen.

Randbedingungen für den konservatorischen Bereich

Die Randbedingungen für den konservatorischen Bereich basieren auf einem Kompromiss der Klimaempfehlungen der DIN ISO 11799 für die Mischlagerung cellulosehaltiger und proteinischer Materialien in Archiv- und Bibliotheksmagazinen. Sie wurden herangezogen, weil die Grenzwert- und Schwankungsbreitenempfehlungen der Norm momentan die Grundlage der meisten Klimatisierungsbestrebungen in Archiven und Bibliotheken bilden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass mittlerweile andere Standardisierungen entwickelt wurden, die weniger starre Empfehlungen geben und sich für ein jahreszeitlich gleitendes Klima aussprechen.

Die maximale Punktzahl der konservatorischen Randbedingungen besteht, wenn an allen Tagen der Woche sowohl die Temperatur- und Feuchtegrenzwerte als auch deren empfohlene Schwankungsbreiten unter- oder überschritten werden. Dieser Fall ist im Berechnungsbeispiel zu sehen. Den Feuchtegrenzwerten und

-schwankungsbreiten wurde ein höherer Risikofaktor zugeteilt als denjenigen der Temperatur, weil sie das Archivgut akuter gefährden können.

Material	Temperatur [°C]	Tägliche Schwankungen innerhalb der Grenzwerte	Relative Feuchte [%]	Tägliche Schwankungen innerhalb der Grenzwerte
Archivgut, laufend benutzt	14-18 °C	+ -1 °C	35-50 %	+ - 3 %
Leder, Pergament	2-18 °C	+ -1 °C	50-60 %	+ - 3 %
Mischlagerung (Kompromiss)	14-18 °C	+ -1 °C	45-55 %	+ - 3 %
Risikostufe	1	1	1	1
Risikofaktor x Tagesanzahl/ Woche	2	4	6	8

Maximale Punktzahl: 1 x 2 x 7 Tage + 1 x 4 x 7 Tage + 1 x 6 x 7 Tage + 1 x 8 x 7 Tage = 140
 KEINE Einschlusskriterien!

Empfehlungen der DIN ISO 11799 und resultierender Kompromiss für die Mischlagerung in Archiv- und Bibliotheksmagazinen (rot gekennzeichnet) mit Risikostufen und -faktoren. (DIN ISO 11799, Anhang B)

Resultierendes tabellarisches Auswertungsschema

Das tabellarisches Auswertungsschema zeigt zwei Spalten: Eine Spalte für die Zwischensumme konservatorischer Randbedingungen und eine Spalte für die Endsumme aller Randbedingungen. Die Zwischensummenspalte wurde eingeführt, weil die Einstufung eines Messpunktes als kritisch oder unkritisch über die Endsumme auf diese Weise bis zu einem gewissen Grad relativiert werden kann. So kommt es beispielsweise vor, dass sich an einer innengedämmten Außenwand oder in Fensternähe ein unerwartet konstanter Klimaverlauf zeigt und ein solcher Messpunkt nicht unbedingt dauerhaft überwacht werden muss.

Randbedingungen (RB)/ Luftzustandsvergleiche	Mikrobiologische Randbedingungen	Bauphysikalische Randbedingungen	Konservatorische Randbedingungen nach DIN ISO 11799				Summen (Referenzwerte rot gekennzeichnet)	
			Einhaltung (RS 0)/ Nichteinhaltung (RS 1) der Schwankungsbreite von + -1 °C bzw. + -3 % rF innerhalb der Toleranz pro Tag eines Wochenzeitraums		Einhaltung (RS 0)/ Nichteinhaltung (RS 1) der Richtwerte mit Toleranz von 14-18 °C bzw. 45-55 % rF pro Tag eines Wochenzeitraums		Summe der konservatorischen RB	Gesamtsumme
Risikostufe (RS)	Vorhandensein (RS 1)/Fehlen (RS 0) wachstumsfördernder Bedingungen innerhalb eines Wochenzeitraums	AW RS 7 AW (AD) RS 4 AW (ID) RS 6 FE RS 7 IW RS 1 RM RS 0	T * RF 4	rF * RF 8	T * RF 2	rF * RF 6		
Risikofaktor (RF)	* RF 140	* RF 20 Zusätzliche Bewertung der vertikalen Messpunktlage: oben: 0 Mitte: + 5 unten: +10						
Referenzmesspunkt, z. B. in Raummitte								
Vergleichsmesspunkte (Tabellenzeilen je nach Anzahl)								

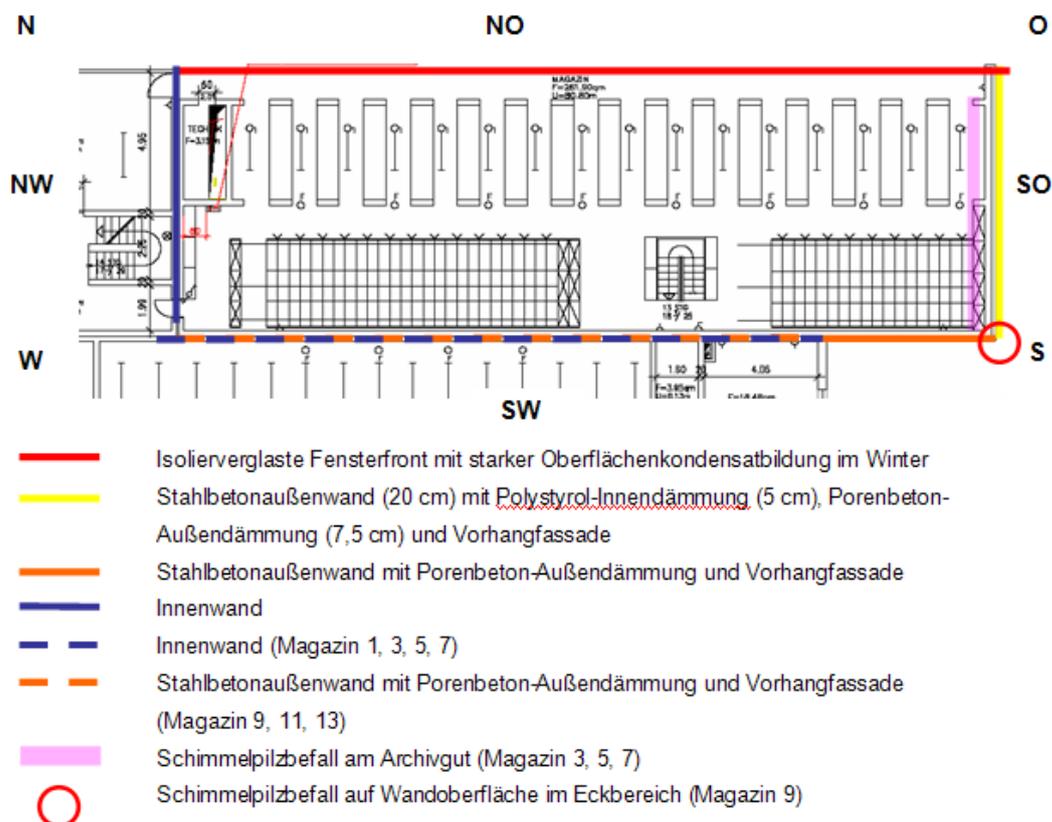
Resultierendes Auswertungsschema zur Bestimmung kritischer Messpunkte im Raum.

Situationsanalyse zur Klimaproblematik am Archivstandort Detmold

Der Gebäudekomplex des Landesarchivs NRW am Standort Detmold, Abteilung Ostwestfalen-Lippe ist unterteilt in einen siebengeschossigen, langgestreckten Magazinbau mit niedrigerem Büroanbau der 1960er Jahre und einen Neubau, der in dieser Arbeit keine Rolle spielt. Der Magazinbau beinhaltet, jeweils übereinanderliegend, sieben nach Südosten und sieben nach Nordwesten weisende Magazine. Da im östlichen Gebäudeteil im Winter 2011/2012 Probleme wie die Bildung von Oberflächenkondensat an Fensterflächen und Schimmelpilzwachstum an Archivgut und Wandoberflächen bestanden, wurde dieser Gebäudeteil für Klimamessungen mit Thermohygrometern in Form von Mini-Datenloggern und die daraus folgende Entwicklung eines Messverfahrens ausgewählt.

Der Stahlbetonbau ist auf der Nordost-Seite mit einer durchgängig isolierverglasten Fensterfront versehen, die mit Betonwabenfertigteilen verschattet ist. Der Bau ist mit Porenbeton isoliert, die Stärke der Isolierung ist mit 7,5 cm als gering zu bewerten. Außen ist die Fassade mit Muschelkalkelementen verkleidet, innen ist der raue Sichtbeton mit weißer Wandfarbe gestrichen.

Auf der Abbildung sind die Randbedingungen für den östlichen Gebäudeteil in den Magazinen außer für das in kleinere Räume unterteilte Kellergeschoss verzeichnet.



Gebäuderandbedingungen des östlichen Gebäudeteils und auftretende Probleme in Form von Oberflächenkondensat und Schimmelpilzwachstum.

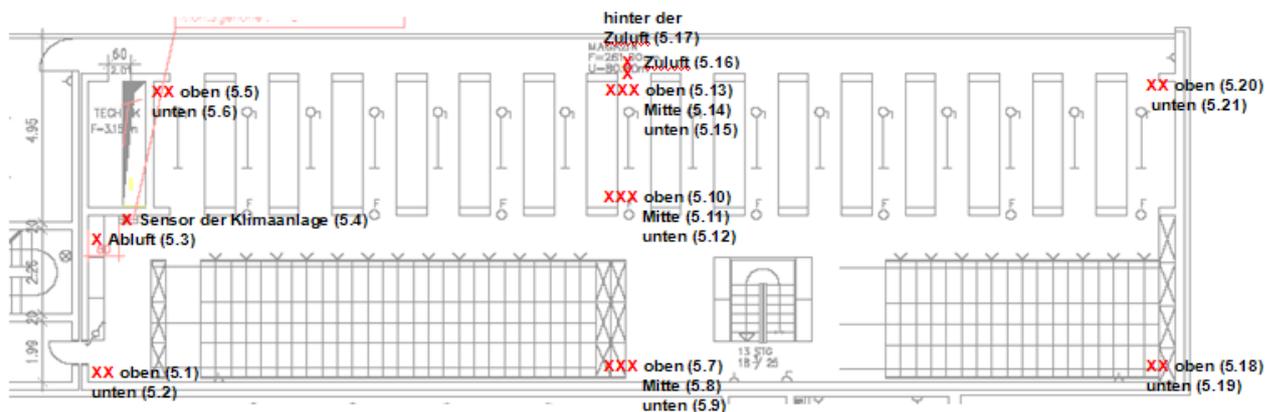
Das Baumaterial Beton weist verhältnismäßig schlechte Wärme- und Feuchtespeicherfähigkeiten auf, Ziegelwände zeigen zum Vergleich eine 20-fach höhere Kapillarität als Beton und wesentlich bessere Wärme- und Feuchtespeicherfähigkeiten. Der U-Wert fasst als Maß für Wärmeverluste die am Wärmedurchgang durch ein Bauteil beteiligten Wärmetransportarten zusammen, zu denen Wärmedurchlass in Form von Wärmeleitung durch verschiedene Materialschichten und Wärmeübergang infolge Wärmestrahlung, Konvektion (Wärmeströmung) und Wärmeleitung an den Grenzflächen Bauteiloberfläche/ Luft gehören. Je kleiner der U-Wert, desto besser sind die Wärmedämmungseigenschaften eines Baustoffes.

Eine beispielhafte U-Wert-Berechnung der Außenwand mit den Schichten Stahlbeton (20 cm), Porenbeton (7,5 cm) und hinterlüfteter Vorhangfassade hat einen U-Wert von 1,52 W/m²K ergeben, der als verhältnismäßig hoch einzuschätzen ist. Die Berechnung beruht auf Annahmen, da unklar ist, um welche Art Porenbeton es sich handelt und ob die Vorhangfassade tatsächlich hinterlüftet ist. Die EnEV 2009 sieht zum Vergleich Werte von 0,24 und 0,36 W/m²K vor.

Das Magazinegebäude ist vollklimatisiert. Als Richtschnur der MSR-Technik dienen die Werte der DIN ISO 11799, welche jedoch nicht immer eingehalten werden können. Die thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen Kühlen und Entfeuchten werden zentral geregelt, während das Befeuchten und Nacherhitzen in den einzelnen Etagen erfolgt, bevor die Luft in die Magazine einströmt. Die Vollklimaanlage läuft seit etwa Mitte 2011 im Umluftbetrieb, d. h. es wird keine Außenluft zugeführt. Mikroskopische Analysen von Proben der Schimmelpilze an Archivgut und Wandoberflächen konnten für das Archivgut einen höchstwahrscheinlich aktiven Befall mit *Aspergillus glaucus*, einem celluloseverwertenden Pilz nachweisen. An einer befallenen Wandoberfläche wurde der Schimmelpilz *Cladosporium*, ebenfalls mit hoher Wahrscheinlichkeit aktiv, nachgewiesen.

Messpunktfestlegung

Die Positionierung der Messpunkte erfolgte so, dass der kritischste Messraum mit einer größeren Anzahl der zur Verfügung stehenden Datenlogger ausgestattet wurde. Die übrigen Magazine wurden an insgesamt drei Messpunkten (Abluft, Raummitte und südliche Außenwanddecke) in Relation zum Hauptmessraum gesetzt. Der Messzeitraum erstreckte sich über knapp vier Monate von Februar bis Mai 2012. In den Außenwanddecken wurden vergleichende Messungen lediglich im Monat April durchgeführt.



Messpunktfestlegung im Hauptmessraum, Messzeitraum Februar bis Mai 2012.

Datenauswertung

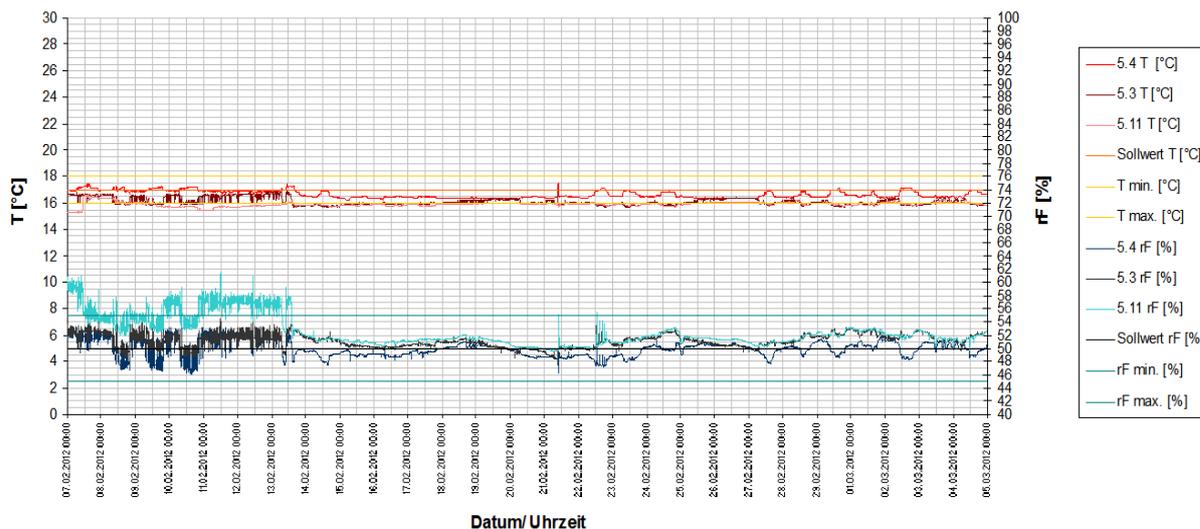
Die Messdaten wurden in zweierlei Hinsicht ausgewertet: Es wurden grundlegende und für das zu entwickelnde Messverfahren relevante Luftzustandsvergleiche durchgeführt. Mittels grundlegender Luftzustandsvergleiche konnten Unterschiede zwischen Innen- und Außenklima und Einflüsse physikalischer und klimatechnischer Art auf den Raumluftzustand und auf das Archivgut verdeutlicht und anlageneigene Messdaten kontrolliert werden. Die Kontrollmessungen sollten klären, ob eine technische Fehlfunktion der Klimaanlage Sensoren besteht und ob eine Fehlfunktion der Klimaanlage möglicherweise aus einer bauphysikalisch falschen Positionierung der Sensoren resultiert.

Die Luftzustandsvergleiche zur Ermittlung kritischer Messpunkte wurden mittels des zuvor entwickelten tabellarischen Auswertungsschemas ausgewertet. Auf dieser Basis konnten Empfehlungen für beizubehaltende Messpunkte in einem dauerhaft durchzuführenden Messverfahren am Archivstandort Detmold gegeben werden.

Beispiel zu grundlegenden Luftzustandsvergleichen: Kontrolle anlageneigener Klimamessungen

Das Diagramm zeigt den horizontalen Vergleich des Luftzustands am Sensor der Klimaanlage mit den Luftzuständen in der Abluft und in Raummitte im Februar 2012. Zu beobachten ist, dass die Temperatur am Sensor der Klimaanlage im Vergleich zum mittleren Raumluft- und Abluftzustand leicht erhöht ist.

Möglicherweise verursacht die Installation des Klimasensors an einer warmen Innenwand, hinter der sich der Technikraum der Klimaanlage mit Heizregister und Befeuchter befindet, eine bauphysikalisch bedingte Messwertbeeinflussung durch Wärmeleitung und -abstrahlung der Wand zum Sensor und damit eine Fehlfunktion der Klimaanlage.



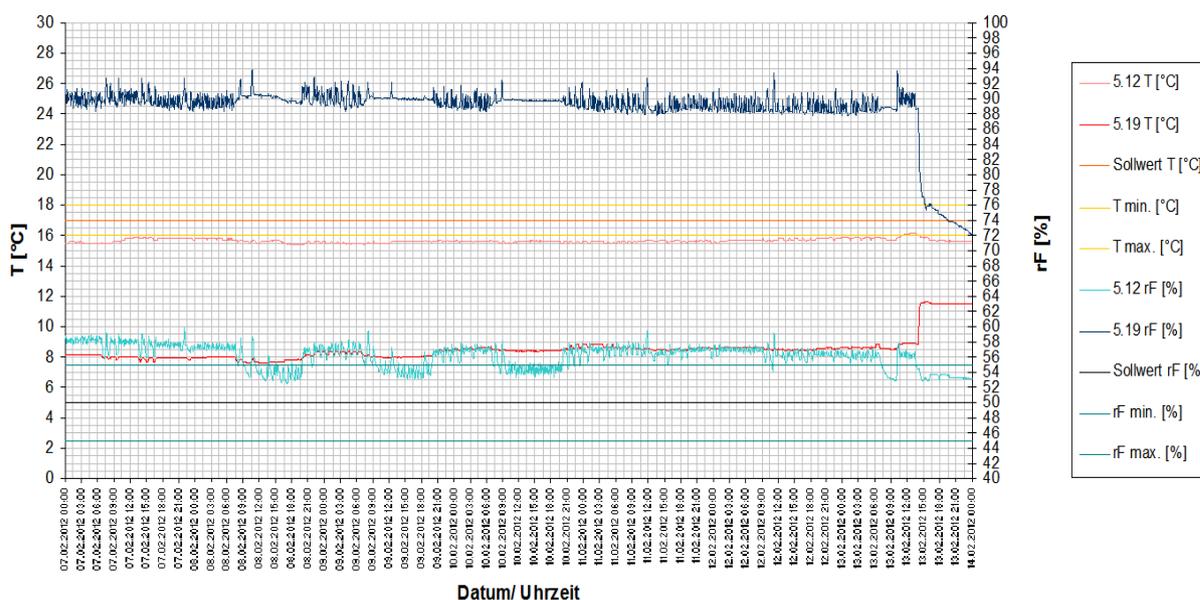
Horizontaler Vergleich des Luftzustands am Sensor der Klimaanlage (5.4) mit den Luftzuständen in der Abluft (5.3) und in Raummitte (5.11), Februar 2012.

Mittels weiterer vergleichender Kontrollmessungen konnte eine technische Fehlfunktion des Klimaanlageensors im Hauptmessraum nicht nachgewiesen werden.

Beispielhafte Luftzustandsvergleiche zur Ermittlung kritischer Messpunkte

Das Diagramm zeigt den Vergleich von Luftzuständen in Raummitte (5.12) mit der Außenwanddecke Süd (5.19), jeweils untere Raumhöhe, in der Woche vom 07.02.-13.02.2012 mit sehr kalter Witterung.

Die relative Luftfeuchtigkeit ist an der kalten Außenwand stark erhöht und liegt fast durchgängig zwischen 88 und 92 % rF.



Luftzustandsvergleich zwischen Raummitte (5.12) und Außenwanddecke Süd (5.19), untere Raumhöhe, 07.02.-13.02.2012.

Beispielhafte Anwendung des tabellarischen Auswertungsschemas zum vorangehenden Luftzustandsvergleich

Das tabellarische Auswertungsschema zeigt in diesem Zeitraum eine Einstufung vom Messpunkt 5.19 an der Außenwand als hochkritisch.

Die stark schwankende relative Feuchte in Raummitte und die Nichteinhaltung der Feuchtegrenzwerte führt dazu, dass auch der Messpunkt 5.12 mit 108 Punkten leicht oberhalb der kritischen Grenze liegt. Es ist wahrscheinlich, dass die Feuchteschwankungen durch die Klimaanlage hervorgerufen werden.

Zum Vergleich sei Messpunkt 5.9 angeführt der sich im mittleren Raumquerschnitt an der Innenwand befindetet. Er zählt mit 76 Punkten nicht zu den kritischen Messpunkten.

Die Zwischensummenspalte mit konservatorischen Randbedingungen zeigt zudem, dass das Klima an der Innenwand wesentlich konstanter verläuft als in Raummitte und in der Außenwanddecke.

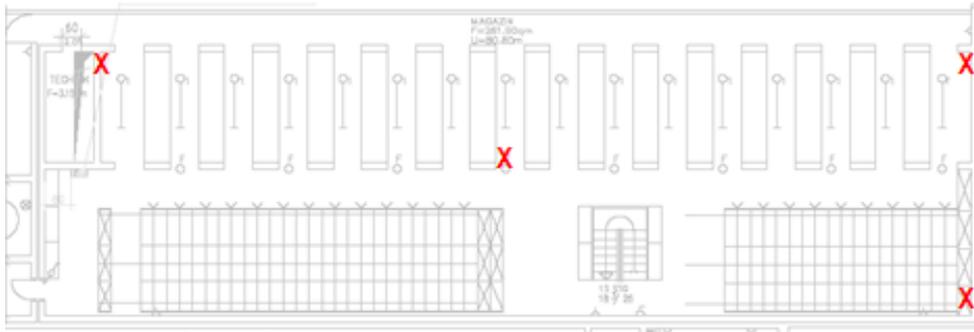
Randbedingungen (RB)/ Luftzustandsvergleiche	Mikrobiologische RB	Bauphysikalische RB	Konservatorische RB nach DIN ISO 11799 (Kompromiss für Mischlagerung)				Summen (Referenzwerte rot, Messpunkte ab 100 Punkten blau gekennzeichnet)	
			Einhaltung (RS 0)/ Nicht- einhaltung (RS 1) der Schwankungsbreite von $\pm 1^\circ\text{C}$ bzw. $\pm 3\%$ rF pro Tag eines Wochen- zeitraums		Einhaltung (RS 0)/ Nichteinhaltung (RS 1) der Richtwerte mit To- leranz von $14\text{--}18^\circ\text{C}$ pro Tag eines Wochenzeitraums		Summe konservatorische RB	Gesamtsumme
Risikostufe (RS)	Vorhandensein (RS 1)/ Fehlen (RS 0) wachstumsfördernder Bedingungen innerhalb eines Wochenzeitraums	AW RS 7 AW (ID) RS 8 FE RS 8* IW RS 1 RM RS 0 * wegen Entfernung von der Fensterfront durch den Gang Abzug einer Risikostufe	T * RF 4	rF * RF 8	T * RF 2	rF * RF 6		
Risikofaktor (RF)	* RF 140	* RF 20 zusätzliche Bewertung der vertikalen Messpunktlage: oben: 0 Mitte: + 5 unten: +10						
Horizontale Luftzustandsvergleiche in Magazin 5 mit 5.12 (untere Raumhöhe)								
5.12, Februar	0	RM: $0 \cdot 20 + 10 = 10$	0	$7 \cdot 8 = 56$	0	$7 \cdot 6 = 42$	98	108
5.9, Februar	0	IW: $1 \cdot 20 + 10 = 30$	0	$5 \cdot 8 = 40$	0	$1 \cdot 6 = 6$	46	76
5.19, Februar	140	AW: $7 \cdot 20 + 10 = 150$	$1 \cdot 4 = 4$	$7 \cdot 8 = 56$	$7 \cdot 2 = 14$	$7 \cdot 6 = 42$	116	406

Tabellarisches Auswertungsschema mit ausgewählten Auswertungsergebnissen von Messpunkten in unterer Raumhöhe.

Messverfahrensentwicklung

Empfohlen werden für ein dauerhaftes Messverfahren im Magazingebäudeteil Ost vier Messpunkte im Hauptmessraum in jeweils in unterer Raumhöhe sowie die Beibehaltung der Messpunkte in Raummitte und an der Außenwanddecke Süd in den

baugleichen Referenzmagazinen, jeweils in unterer Raumhöhe. Eine Kontrolle der Außenwand in Magazin 1 ist aufgrund der klimatischen Stabilität des Kellers vermutlich ausreichend.



Empfohlene dauerhafte Messpunkte im Hauptmessraum in unterer Raumhöhe.

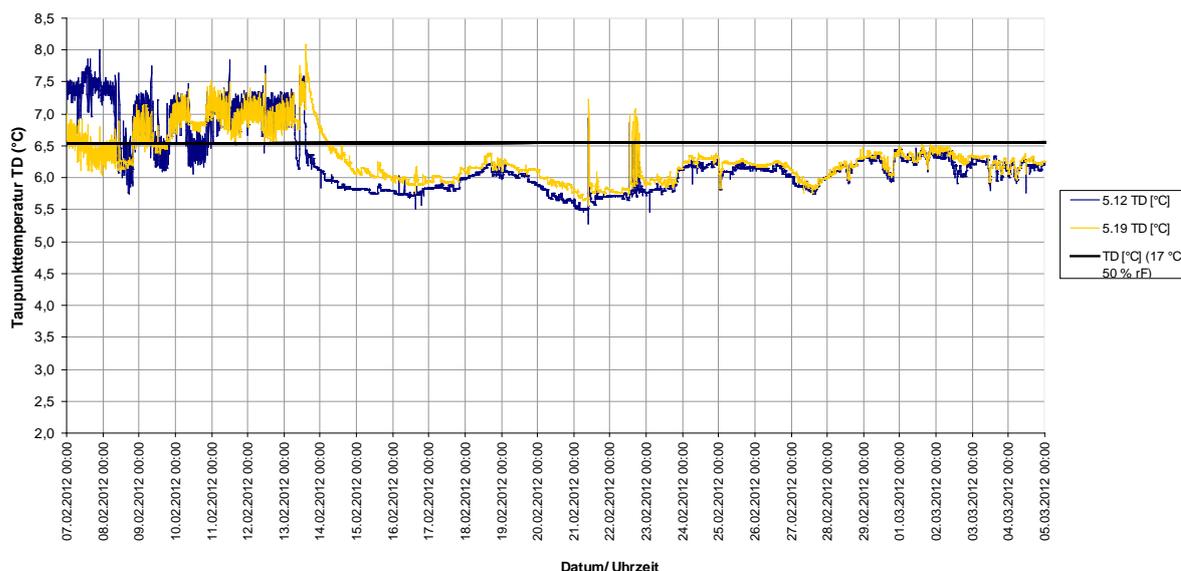
Eine mögliche Erweiterung des Messverfahrens besteht in der Ausstattung der anderen Etagen in Relation zum Hauptmessraum mit ebenfalls je vier anstatt zwei Messpunkten an den gleichen Stellen.

Bewertung des tabellarischen Auswertungsschemas

Das tabellarische Auswertungsschema ist praxistauglich. Eine Anpassung an andere konservatorische Randbedingungen als die Klimaempfehlungen der DIN ISO 11799 ist möglich. Bei einem unmittelbaren Risiko mikrobieller Aktivität und mittelbar gefährlichen bauphysikalischen Randbedingungen handelt es sich gemäß der Risikogewichtung automatisch um Einschlusskriterien. Eine hohe Anwendungssicherheit des Schemas bei der Bestimmung kritischer Messpunkte ist somit gegeben. Da keine klimatechnischen Randbedingungen in das Schema einfließen konnten, ist es umso wichtiger, sich der Funktionsweise von RLT-Anlagen und den Auswirkungen einer Klimatisierung bei schlechten Gebäuderandbedingungen bewusst zu sein. Die gesonderte Zwischensummenspalte für die konservatorischen Randbedingungen ermöglicht eine Relativierung der Klassifizierung von Messpunkten als kritisch. Die Notwendigkeit einer systematischen Vorgehens bei der Messpunktfestlegung und Datenauswertung konnte klar herausgestellt werden.

Vergleichende Taupunkttemperaturprofile der Raumluft

Zusätzlich zu den Luftzustandsvergleichen über die Raumluftparameter relative Feuchte und Temperatur wurden Vergleichende Taupunkttemperaturprofile der Raumluft an den verschiedenen Messpunkten erstellt.



Taupunkttemperaturprofile der Raumluf an den Messpunkten Raummitte (5.12) und Außenwanddecke Süd (5.19), untere Raumhöhe.

Das Diagramm zeigt Taupunkttemperaturprofile der Raumluf an den Messpunkten Raummitte und Außenwanddecke Süd, jeweils in unterer Raumhöhe.

Es zeigt sich, dass vergleichende Taupunkttemperaturprofile der Raumluf keine direkten Rückschlüsse auf den Gefährdungsgrad des Archivguts an verschiedenen Messpunkten ermöglichen. Ein Ansatz, Taupunkttemperaturprofile dennoch sinnvoll zur Erweiterung des Messverfahrens zu nutzen, wird im Folgenden kurz vorgestellt.

Mögliche Einbindung von Taupunkttemperaturprofilen in ein Messverfahren

Um ein zusätzliches Warnsystem für kritisch zu bewertende Taupunkttemperaturen hinsichtlich eines möglichen mikrobiellen Befalls von Archivgut und Bauteiloberflächen zu erhalten, müsste die Taupunkt berechnung der Raumluf mit rechnerischen Herleitungen des Taupunkt abstandes und/ oder des indirekt ermittelten a_w -Wertes von Wand- bzw. Objekt oberflächen in Excel verknüpft werden. Voraussetzung ist, dass dauerhafte Messungen der Oberflächentemperaturen von Archivgut und/ oder Wänden mittels geeigneter Sensoren an den Messpunkten der bauphysikalischen Raumlufparameter durchgeführt werden. Sie sollten möglichst automatisch durch einen Rechner verarbeitet werden.

Beim Taupunkt abstand handelt es sich um einen Warnhinweis auf Oberflächen kondensat, bei dem die Temperaturdifferenz zwischen dem Taupunkt der Raumluf und einer Bauteil oberflächentemperatur nicht weniger als 3 K voneinander entfernt liegen sollten. Der indirekt ermittelte a_w -Wert zeigt an, ob sich die oberflächennahe relative Feuchte an einer Bauteil oberfläche in einem für mikrobiellen Befall anfälli-

gen Bereich befindet. Da es sich bei beiden Bewertungskriterien um Momentaufnahmen handelt, müssen die Messdaten fortlaufend erhoben werden.

Empfehlungen zur Verbesserung der Randbedingungen des Magazinaltbaus

Eine Außendämmung des Gebäudes ist dringend zu empfehlen. Zusätzlich sollte die Innendämmung aufgrund des bestehenden Kondensationsrisikos in der Bauteilkonstruktion entfernt werden. Fensterflächen sollten, wenn möglich, durch massive Wände ersetzt werden. Da Bücher in den Randbereichen anfällig für mikrobiellen Befall sind, sollten sie nach Möglichkeit verschachtelt aufbewahrt werden. Die große Pufferwirkung gegenüber Schwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit konnte analog zu den von Glück und Schönbohm dargestellten Untersuchungsergebnissen mittels Messungen bewiesen werden.

Vor Maßnahmen zur Verbesserung der Gebäuderandbedingungen sollte eine thermisch-energetische Gebäudesimulation durchgeführt werden, die zeigen kann, wie sich das mittlere Raumklima unter Einbeziehung verschiedener Wärmedämmverbundsysteme und verschiedener klimatechnischer Lösungen entwickeln würde.

Schlussbetrachtung

Eine Vollklimatisierung von Magazinen mit mangelhaften bauphysikalischen Randbedingungen birgt großes Gefährdungspotential für das Archivgut.

Neuere Forschungsergebnisse zur klimainduzierten Degradation von Papier erlauben noch keine Formulierung endgültiger Standards, weisen jedoch neue Wege. Die allgemeine Akzeptanz eines jahreszeitlich gleitenden Klimas in Archiv- und Bibliotheksmagazinen steigt. Als Beispiel aus dem Bereich der Standardisierung ist hier der ASHRAE-Standard aus dem Jahr 2007 zu nennen.

Die Empfehlungen zu Klimarandbedingungen der Norm DIN ISO 11799 sind daher möglicherweise überholt. Positiv hervorzuheben ist aus bauphysikalischer Sicht klare Benennung von Kontrollmesspunkten und zur Belüftung von Magazinräumen. Die Empfehlungen zur Klimakontrolle aus klimatechnischer und konservatorischer Fachliteratur sind hinsichtlich der Bewertung eines bauphysikalischen Gefahrenpotentials hingegen meist nicht zielführend, sodass es nicht verwunderlich ist, dass bezüglich einer sinnvollen Messpunktpositionierung viel Unwissen besteht.

Die entwickelte Herangehensweise stellt im Bereich der präventiven Konservierung eine Neuerung dar und ist auf vergleichbare Gebäude übertragbar. Übertragbare Empfehlungen für grundsätzlich zu installierende Messpunkte sollen an dieser Stelle jedoch nicht gegeben werden, da die eigenständige Ermittlung eine wichtige Rol-

le spielt. Nur mittels einer Klimabestandsaufnahme vor Ort mit einer größeren Anzahl an Messpunkten und der anschließend erfolgenden Reduktion auf notwendige Messpunkte können Besonderheiten des Klimas, die u. a. häufig aus dem Einfluss von RLT-Anlagen resultieren, offen gelegt werden.

Begriffsbestimmungen

MSR-Technik: Mess-, Steuer und Regelungstechnik

RLT-Anlage: Raumluftechnische Anlage

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

Quellenverzeichnis zur Kurzfassung

Bellmer, Jens : Das Luftfeuchte-Buch: Vom Luftfeuchte-Vergleich bis zur Kondensationsbewertung in Gebäuden, Detmold 2010.

DIN ISO 11799: Information und Dokumentation - Anforderungen an die Aufbewahrung von Archiv- und Bibliotheksgut (ISO 11799:2003), in: Hofmann, Rainer; Wiesner, Hans-Jörg: Bestandserhaltung in Archiven und Bibliotheken, DIN, Deutsches Institut für Normung (Hrsg.), 2., aktualisierte Aufl., Berlin [u.a.]: Beuth, 2009.

Giovannini, Andrea: De tutela librorum: la conservation des livres et des documents d'archives; die Erhaltung von Büchern und Archivalien, 4. überarb. und erw. Auflage, Baden: Hier + Jetzt, Verl. für Kultur und Geschichte, 2010.

Glück, Eva; Schönbohm, Dirk: Boxen für die Langzeitaufbewahrung von Archiv- und Bibliotheksgut, in: Banik, Gerhard (Hrsg.): Wege zur Konservierungswissenschaft, Projekte am Studiengang Restaurierung und Konservierung von Graphik, Archiv- und Bibliotheksgut, Staatliche Akademie der Bildenden Künste Stuttgart 2000-2008, München: Siegl 2010, S. 32-37.

EnEV 2009, aufgerufen über http://www.enev-online.org/enev_2009_volltext/index.htm am 24.07.2012

Hofbauer, W.; Fitz, C.; Krus, M.; Sedlbauer, K.; Breuer, K.: Prognoseverfahren zum biologischen Befall durch Algen, Pilze und Flechten ans Bauteiloberflächen auf Basis bauphysikalischer und mikrobieller Untersuchungen, Bauforschung für die Praxis Band 77, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2006.

Kittel, Erich; Wiersing, Kurt: Der Neubau des nordrhein-westfälischen Staatsarchivs Detmold, in: Archivalische Zeitschrift 60, 1964, S. 174.

Berechnung des U-Wertes über den Internetanbieter www.u-wert.net.