

HAWK-Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst und
Rostower Staatliche Bauuniversität

Fakultät Management, Soziale Arbeit, Bauen und Immobilienmanagement

Studiengang Immobilienwirtschaft und –management in Holzminden

Master-Thesis

Auswertung von Bauschäden in Deutschland und in Russland sowie Empfehlungen zur nachhaltigen Sanierung und Vermeidung

Vorname, Name: Anastasia, Minenko

Adresse: 352080 Russische Föderation, Krasnodar Region, stanitsa
Krylovskaya, Pervomajskaja Str., 36

Matrikelnummer: 540120

Eingereicht bei: 1. Prüfer: Prof. Wolf Rüdiger Metje

2. Prüfer: Prof. Svetlana Scheina

Abgabedatum: 01.06.2011

INHALTVERZEICHNIS

Vorwort	- 3 -
Abbildungsverzeichnis	- 4 -
Tabellenverzeichnis	- 7 -
Abkürzungsverzeichnis	- 8 -
Symbolverzeichnis	- 9 -
Eidesstattliche Erklärung	- 10 -
1 Einleitung	- 1 -
1.1 Problemstellung und Zielsetzung	- 1 -
2 Auswertung der Literatur	- 2 -
2.1 Ausblick auf typische Baumängel und Bauschäden im Baubereich. Tendenz in Deutschland und in Russland	- 2 -
2.2 Übersicht über gesetzlichen Anforderungen im Bereich von wärmebrücken-und feuchtebedingten Bauschäden	- 6 -
2.3 Definitionen von Wärmebrücken	- 8 -
2.3.1 Erscheinungsformen von Wärmebrücken	- 9 -
2.3.2 Berücksichtigung von Wärmebrücken	- 10 -
2.4 Bauphysikalische Grundlagen der Feuchtigkeitsschäden	- 11 -
3 Problematik von Bauschäden infolge Wärmebrücken und Feuchtigkeit	- 14 -
3.1 Ausblick auf Besonderheiten der historisch geprägten Gebäudetypen in Russland und in Deutschland	- 14 -
3.2 Wärmebrücken Planübersicht	- 20 -
3.4 Berechnung von Wärmebrücken	- 24 -
4 Auswertung von feuchtebedingten Bauschäden in Deutschland und in Russland	- 26 -
4.1. Bauschäden infolge Salztransports	- 26 -
4.2 Feuchteschäden: Schimmelpilz und Algebildung	- 27 -
4.3 Setzungsrisse infolge Grundwasser	- 29 -
4. 4 Tauwasserbildung	- 33 -
5 Entwicklung eines Simultationsprogramms zur Vermeidung von Bauschäden	- 34 -

6 Entwicklung von Konzepten und Handlungsanweisungen zur Vermeidung von Bauschäden.....	- 41 -
6.1 Vermeidung und Beseitigung von salztransportbedingten Bauschäden.....	- 41 -
6.2 Vermeidung und Beseitigung von Schimmelpilzbildung.....	- 43 -
6.4 Vermeidung und Beseitigung von Tauwasserbildungsschäden	- 45 -
Zusammenfassung	- 48 -
Anhang A.....	- 50 -
Anhang B.....	- 56 -
Anhang C	- 60 -
Anhang D	- 68 -
Anhang E.....	- 71 -
Literaturverzeichnis.....	- 74 -

Vorwort

Bauschäden, insbesondere infolge Feuchtigkeit und Wärmebrücken, gewinnen mehr an Bedeutung und haben in letzter Zeit von sich reden gemacht. Im Vordergrund sind dabei nicht nur erhebliche Beseitigungs- bzw. Vermeidungskosten, sondern die Gesundheit von Bewohnern beim Schimmelpilzbefall und sogar Leben hunderter Menschen bei den Bauwerkseinstürzen. Im Rahmen der Master-Arbeit wurden Folgeschäden der Feuchtigkeit und Wärmebrücken wie Salzsäuren, Setzungsrisse infolge Grundwasser, Kondenswasserbildung, Frostschäden und Schimmelpilz sowie Korrosionsschäden betrachtet. Es werden typische Gebäude und ihre wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften betrachtet. Für die Bestimmung von Wärmebrücken sind Anschlüsse der Bauteile aufgezeigt, wo voraussichtlich Wärmebrücken auftreten können. Anhand des Wärmebrückenberechnungsprogramms AnTherm wurden einige Anschlüsse ausführlich berechnet und Berichte, wie Temperaturfelder, Grenzfeuchte, psi-Wert usw. zusammengefasst und im Text aufgezeigt. Nach der Begründung von Wärmebrückenaufreten werden erforderliche Handlungsempfehlungen zur Vermeidung und nachhaltiger Sanierung erarbeitet. Als Beitrag zur Vermeidung von feuchtebedingten Schäden wurde ein Simulationsprogramm auf der Basis von „1 C Programmierungskomplex“ entwickelt. Das erarbeitete Simulationsprogramm berechnet Tauwasser- und Schimmelpilzbildung. So können jederzeit notwendige Angaben eingegeben werden um sicherzustellen, ob Tauwasser oder Schimmelpilzbildungsgefahr vorliegt. Insgesamt wurden Konzepte zur Vermeidung und Beseitigung von Salztransportsschäden, Tauwasser und Schimmelpilz entwickelt. Die Ergebnisse der vorgestellten Master-Arbeit kann zur Auswertung von feuchtebedingten Bauschäden und Entwicklung von Sanierungsmaßnahmen in jedem konkreten Einzelfall genutzt werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Mangelhäufigkeit im Prüfzeitraum von 2003 bis 2007	- 3 -
Abbildung 2: Bauschädenursachen in verschiedenen Phasen des Gebäudelebenszyklen	- 4 -
Abbildung 3: Bauschadenverteilung in Abhängigkeit von Bauarbeiten	- 5 -
Abbildung 4 Zusammenstellung von Bauschaden während der Bauausführung in Deutschland und in Russland	- 6 -
Abbildung 5: Stoffbedingte Wärmebrücken	- 9 -
Abbildung 6: Geometriebedingten Wärmebrücke	- 9 -
Abbildung 7: Linien-sowie punktförmige Wärmebrücken	- 10 -
Abbildung 8: Historische Gebäude vor 1917	- 15 -
Abbildung 9: Gebäudetyp 1918 1956 "Stalinka"	- 16 -
Abbildung 10: Gebäude in Plattenbauweise	- 16 -
Abbildung 11: Geschosswohnungsbau	- 17 -
Abbildung 12: Fachwerkhaus	- 18 -
Abbildung 13: Das Bauhaus	- 19 -
Abbildung 14: Das Fünfzigerjahre– Siedlungshaus	- 19 -
Abbildung 15: Sechzigerjahre– Reihenhaus	- 20 -
Abbildung 16: Das Fünfzigjahre Siedlungshaus: Grundriss Kellergeschoss	- 22 -
Abbildung 17: Das Fünfzigjahre–Siedlungshaus: Grundriss Erdgeschoss	- 22 -
Abbildung 18: Gebäude in Plattenbauweise der 60–er XX: Grundrisse eines Kellergeschosses	- 23 -
Abbildung 19: Gebäude in Plattenbauweise der 60-en XX: Grundriss eines Erdgeschoss	- 23 -
Abbildung 20: Gebäude in Plattenbauweise der 60-en XX: Grundriss eines Obergeschosses	- 24 -
Abbildung 21: Anschlussdarstellung: Bodenplatte und Kellerwand in einem Siedlungshaus	- 24 -
Abbildung 22: Temperaturfelddarstellung	- 25 -
Abbildung 23 :Bauschäden infolge Salztransport: links- Objekt 1, rechts-Objekt 2..	- 27 -
Abbildung 24: Schimmelpilzbefall auf der Geschossdecke eines Badezimmers in der Wohngemeinschaft in Russland	- 28 -
Abbildung 25: Ungewünschte Begleiter der Fassaden in Rostov-am-Don: Algen und Moos	- 28 -
Abbildung 26: Fassade des begutachteten Bauwerks: Bauwerke vor 1917	- 29 -

Abbildung 27: Risse auf den Außenwänden infolge überschüssiger Feuchte in Kellerbereich, Temernitskaya Str., 89, Rostow-on-Don.....	- 29 -
Abbildung 28:Geologische Bedingungen in Rostow-am-Don	- 31 -
Abbildung 29 :Hydro-geologische Bedingungen in Rostow-am-Don	- 32 -
Abbildung 30 :Hydro-geologische Bedingungen in Rostow-am-Don	- 32 -
Abbildung 31: Tauwassererscheinungen an der Innenwand	- 33 -
Abbildung 32: Eingabefenster für Tauwasserberechnung	- 35 -
Abbildung 33: Materialdatenbank.....	- 35 -
Abbildung 34: Wärmedurchlasswiderstandermittlung.....	- 36 -
Abbildung 36: Oberflächentemperaturermittlung und Tauwasservorhersage	- 37 -
Abbildung 35: U-Wertberechnung.....	- 37 -
Abbildung 37: Schimmelpilzbildungsprüfung.....	- 39 -
Abbildung 38: Daten über Pilzarten, Gefährdungsklassen und Auswirkungen	- 39 -
Abbildung 39: Vorgehensweise zur Beseitigung von Schimmelpilzbildung	- 43 -
Abbildung 40: Anschluss Kellerdecke und Innenwand im Wohnzimmer.....	- 46 -
Abbildung 41: Anschluss: Bodenplatte und Kelleraußenwand für Siedlungshaus ...	- 50 -
Abbildung 42: Anschluss: Kellerdecke und Innenwand für Siedlungshaus.....	- 50 -
Abbildung 43: Anschluss: Kellerdecke und Außenwand für Siedlungshaus	- 51 -
Abbildung 44: Anschluss Innenwand/Außenwand für Siedlungshaus	- 51 -
Abbildung 45: Anschluss: Fenster und Außenwand für Siedlungshaus.....	- 52 -
Abbildung 46: Anschluss: Innenwand und Schrägdach für Siedlungshaus	- 52 -
Abbildung 47: Anschluss: Bodenplatte und Kelleraußenwand für Gebäude in Plattenbauweise	- 52 -
Abbildung 48: Anschluss Kellerdecke und Innenwand für Gebäude in Plattenbauweise	- 53 -
Abbildung 49: Anschluss: Kellerdecke und Außenwand für Gebäude in Plattenbauweise	- 53 -
Abbildung 50: Anschluss: Innenwand/Außenwand für Gebäude in Plattenbauweise	- 54 -
-	
Abbildung 51 :Anschluss: Fenster und Außenwand für Gebäude in Plattenbauweise	- 54 -
Abbildung 52 : Anschluss: Innenwand und Schrägdach für Gebäude in Plattenbauweise	- 55 -
Abbildung 53: Randbedingungen, resultierte Oberflächentemperaturen und Grenzfeuchten für den Anschluss Bodenplatte/Kellerwand	- 57 -
Abbildung 54: Berechnung des thermischen Leitwertes für den Anschluss Bodenplatte/Kellerwand	- 57 -

Abbildung 55 : 3-D Vorstellung des Anschlusses: Kellerwand/Bodenplatt.....	- 58 -
Abbildung 56: U-Wert Berechnung: Stelle: Room 0 und BackLeft für den Anschluss: Bodenplatte/Kellerwand	- 58 -
Abbildung 57: U-Wert Berechnung: Stelle: Room 0 und Room 1, BackRight für den Anschluss: Bodenplatte/Kellerwand	- 59 -
Abbildung 58: psi-Wert Berechnung für den Anschluss: Bodenplatte/Kellerwand ...	- 59 -
Abbildung 59: Risse auf den Außenwänden, Moskovskaya Str. 72, Rostow-on-Don	- 61 -
-	
Abbildung 60: Hauptfassade des Bauwerks, Objekt 3: Temernitskaya Str. 68	- 63 -
Abbildung 61: Risse auf den Außenwänden, Temernitskaya Str. 68, Rostow-on-Don ...	- 63 -
-	
Abbildung 62: Hauptfassade des Bauwerks, Objekt 4: Moskovskaya Str. 76	- 64 -
Abbildung 63: Außenwandrisse auf dem Objekt 4.....	- 64 -
Abbildung 64: Hauptfassade des Bauwerks, Objekt 5: Donskaya Str. 5.....	- 66 -
Abbildung 65: Risse auf den Außenwänden, Donskaya Str. 5, Rostow-on-Don.....	- 66 -
Abbildung 67: Temperaturdarstellung für das Objekt 1 vor Sanierung	- 73 -
Abbildung 66: Temperaturdarstellung für das Objekt 1 vor Sanierung	- 73 -
Schema 1 : Algorithmus der Tauwasserbildungsvorhersage.....	78
Schema 2: Algorithmus zur Schimmelpilzuntersuchung.....	80

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 –Unterteilung von Wohngebäudebestand Rostows in verschiedenen Gebäudetypen	- 14 -
Tabelle 2 –Ergebnisse der Wärmebrückenberechnung für den Anschluss: Innenwand und Kellerdecke	- 25 -
Tabelle 3-Ausgangsdaten zur Schimmelpilzuntersuchung	- 38 -
Tabelle 4: Ergebnisse der Berechnung von Anschluss: Innenwand/Kellerdecke	- 46 -
Tabelle 5– Ergebnisse der Anschluss: Innenwand/Kellerdeckenachberechnung nach der Sanierung	- 47 -
Tabelle 6– Ausgangsdaten für das Siedlungshaus	- 56 -
Tabelle 7– Gebäudedaten :Objekt 1:Temernitskaya Str., 89, Rostow-on-Don	- 60 -
Tabelle 8 –Gebäudedaten: Objekt 2: Moskovskaya Str. 72, Rostow-on-Don	- 62 -
Tabelle 9– Gebäudedaten: Objekt 3: Temernitskaya Str. 68, Rostow-on-Don	- 63 -
Tabelle 10 –Gebäudedaten: Objekt 4: Moskovskaya Str. 76, Rostow-on-Don	- 65 -
Tabelle 11– Gebäudedaten: Objekt 5: Donskaya Str. 5, Rostow-on-Don	- 67 -
Tabelle 12 –Ausgangswerte zur Prüfberechnung der Tauwasserbildung	- 69 -
Tabelle 13– Pilzarten an Innenputz	- 71 -
Tabelle 14 –Ausgangswerten zur Berechnung von Tauwasser im Anschlussbereich: Innenwand und Kellerdecke	- 72 -

Abkürzungsverzeichnis

VOB	Verdingungsordnung
DIN	Deutsche Industrienormen
LGA	Landesgesundheitsamt

Symbolverzeichnis

Größe	Zeichen	Einheit
Außenlufttemperatur	θ_e	°C
Innenlufttemperatur	θ_i	°C
Tauwasserpunkt	θ_{TWB}	°C
Fläche	A	m ²
längenbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient	Ψ	W/mK
punktförmiger Wärmebrückenverlustkoeffizient	χ	W/mK
raumseitige Oberflächentemperatur	θ_{si}	°C
Temperaturfaktor	f	
Transmissionswärmeverlustkoeffizient	H_T	W/K
Wärmebrückenzuschlagskoeffizient	U_{WB}	W/m ² K
Wärmedurchgangskoeffizient	U	W/m ² K
Wärmedurchgangswiderstand	R_T	m ² K/W
Wärmedurchlasswiderstand	R	m ² K/W
Relative Luftfeuchte	φ	%
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/mK
Wärmeübergangswiderstand außen	R_{se}	W/m ² K
Wärmeübergangswiderstand innen	R_{si}	W/m ² K

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass die Master-Arbeit und zugehörigen Berechnungen von mir selbständig angefertigt wurden.

Befragten Personen, Umfragen und/oder Übernahmen sind entsprechend gekennzeichnet und in einem Quellenverzeichnis am Ende dieser Master-Arbeit aufgeführt.

Rostov-am-Don, den 31.05.2011

Minenko Anastasia

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Schon seit langem schenkt man Bauschäden große Aufmerksamkeit. Leider zeigen uns statistische Aufgaben, dass die Situation in diesem Bereich sowohl in Deutschland als auch in Russland nicht besser sondern noch schlechter geworden ist.

Im Rahmen der Master-Arbeit ist zu erkennen, dass Bauschäden insbesondere infolge Feuchtigkeit und Wärmebrücken erhebliche volkswirtschaftliche Verluste verursachen. Es stellt sich somit den Ingenieuren, Bauherren und Eigentümern die Aufgabe, das frühzeitige Erkennen von Baumängel und Bauschäden durchzuführen und so mehr eine Sicherheit im Umgang mit nachhaltigem Bau und nachhaltiger Sanierung, die im Wesentlichen ein Bestandteil des gesamten Bruttoinlandproduktes sind, zu schaffen. Mit dieser Zielsetzung haben wir folgende Aufgaben, die in dieser Master-Arbeit gelöst werden sollen, vorgenommen:

1. Erlernen typische Bauschäden insbesondere infolge Feuchtigkeit und Wärmebrücken in Russland und in Deutschland;
2. Beurteilung von typischen Bauschäden;
3. Entwicklung eines Simulationsprogramms zur Vermeidung von Bauschäden, dessen Hauptaufgabe das Erkennen und Vermeidung von Bauschäden infolge Feuchtigkeit und Wärmebrücken sein sollte;
4. Erarbeitung von konkreten Konzepten und Handlungsempfehlungen auf der Grundlage von Detailzeichnungen zur Vermeidung und Beseitigung von Bauschäden.

Zuerst wird eine Analyse von auftretenden Bauschäden mit dem Primat wärmebrücken-und feuchtigkeitsbedingte Bauschäden durchgeführt. Danach wird eine bauphysikalische Grundlage von feuchte-und wärmebrückenbedingten Bauschäden gegeben. Nächster Schritt ist eine Vorstellung von Wärmebrückenberechnungsprogramm „AnTherm“, auf deren Grundlage Beurteilung von Wärmebrücken durchgeführt wird. Nach der Beurteilung von ausgewählten Beispielen wird ein Simulationsprogramm entwickelt, die zu einem frühzeitigen Erkennen sowie Vermeidung von Bauschäden beitragen sollte. Zum Schluss werden konkrete Handlungsempfehlungen sowie Konzepte zu jeweiligem Beispiel vorgestellt.

2 Auswertung der Literatur

Um die oben beschriebene Zielsetzung zu erreichen, soll ein Überblick über den aktuellen Kenntnisstand im Bereich von feuchte- und wärmebedingten Bauschäden verschafft werden. In diesem Kapitel werden nicht nur wichtige Begriffe, sondern auch physikalische Zusammenhänge gegeben, um nachvollziehbar das Schadensbild darzustellen.

2.1 Ausblick auf typische Baumängel und Bauschäden im Baubereich. Tendenz in Deutschland und in Russland

Die vorgestellte Master-Arbeit wird der Vermeidung von Bauschäden infolge der Wärmebrücken und Feuchtigkeit gewidmet. Mit dieser Zielsetzung wurden Bauschäden in zwei Ländern: in Deutschland und in Russland untersucht. Unterschiedliche Mentalitäten, Klimabedingungen und natürlich Bautraditionen bieten eines der umfangreichsten Felder zur fundamentalen Bauschädenuntersuchungen.

Aktualität des ausgewählten Themas für die Master-Arbeit könnte kaum unterschätzt werden. Es ist offensichtlich geworden, dass die Mängel zu erheblichen Aufwendungen führen. Deshalb ist ein Bündel von Maßnahmen wie Untersuchung, Analyse und Entwicklung von Handlungsempfehlungen zur Vermeidung von Bauschäden nicht nur empfehlenswert, sondern notwendig.

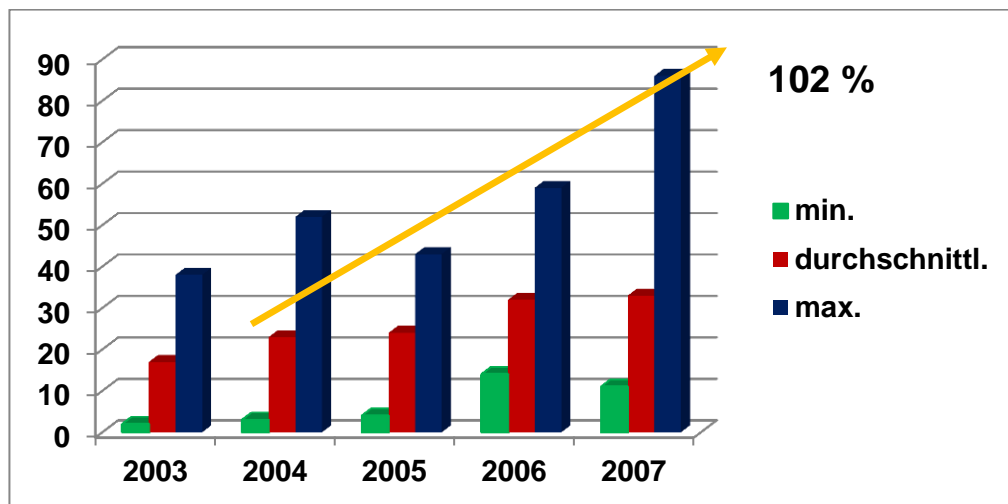
Zunächst wird eine deutliche Erklärung gegeben, was unter Begriffen „Baumängel“ und „Bauschäden“ allgemein zu verstehen sind. Baumängel liegen vor, soweit das Bauwerk oder ein Teil davon nicht die vereinbarte Beschaffenheit hat oder nicht die anerkannten Regeln der Technik entspricht.¹ Das sind beispielweise: Verwendung ungeeigneter Baustoffe, fehlende/unzureichende Wärmedämmung, horizontale oder vertikale Dichtungen, Abweichung von in einem Projekt festgelegten Lösungen.

Dem Begriff „Bauschäden“ legt im Vergleich zu Baumängeln keine rechtliche Bestimmung zugrunde. Es handelt sich somit um fehlenden technischen beziehungsweise funktionalen Eigenschaften der Bauteile. Als Beispiele dafür gelten: Alterung, Mangelfolgeschäden, Mangelhafte Instandsetzung und Instandhaltung, falsche Nutzung der Räume.

Eine sorgfältige Betrachtung der in Deutschland auftretenden Bauschädenanzahl weist auf eine Tendenz der Steigerung. Im Bewertungszeitraum von 2003 bis 2005 wurden

¹ Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB), in der Fassung der Bekanntmachung vom 04.09. 2006, Teil B, §13, 1. Satz

durchschnittlich 21 Mängel pro Projekt festgestellt. Im Durchschnitt betragen die Kosten zur unmittelbaren Mangelbeseitigung rund 9.000 € inklusive 19 % Mehrwertsteuer (brutto). Das Risiko aus dieser Mängeln-zum Beispiel Mangelfolgekosten und Prozesskosten betrug pro Wohngebäude bis zu 27.000 €². Das ist ein deutliches Zeichen, dass die Qualität der Bauleistungen auf deutschen Baustellen schlechter geworden ist. In der Abbildung 1 wird eine Mangelhäufigkeit im Zeitraum von 2003 bis 2007 gezeigt.



Quelle: Erster DEKRA-Bericht zu Baumängeln an Wohngebäuden, 2007

Abbildung 1: Mangelhäufigkeit im Prüfzeitraum von 2003 bis 2007

Aus der oben dargestellten Grafik kann man merken, dass die durchschnittliche Anzahl festgestellter Mängel von 2003 bis 2007 um 102% zugenommen hat. Aufgrund des bestehenden Zusammenhanges zwischen Baumängel und Bauschädenanzahl kann es vermutet werden, dass Bauschäden demnächst noch steigen.

Im Gegensatz zu Deutschland beschäftigt sich Bundesministerium für Bau und Architektur Russlands mit der Analyse, Bearbeitung und Systematisierung von Baumängeln und Bauschäden nicht. Diese Aufgaben erfüllen einzelne zertifizierte Sachverständigenbüros, deren Berichte nicht öffentlich herausgegeben werden. Manche Bauunternehmen führen Bauschädenberichte, die auch nicht zugänglich sind. Diese Situation beschreibt eine nicht transparente Tätigkeit im Baubereich. Das wies darauf hin, dass jede einzelne Baufirma strebt nach der Unterschlagung der Leistungsergebnisse infolge minderwertiger Bauarbeitenausführung.

² DEKRA REAL ESTATE EXPERTISE : Erster DEKRA-Bericht zu Baumängeln an Wohngebäuden, <http://www.bauwissen-online.de/PDF/Dekra.pdf> , Abrufdatum: 12.03.2011

Als Grundlage zur Analyse der Bauschädensituation in Russland gelten Berichte über Bauschädenuntersuchungen, die von dem Forschungslaboratorium der Rostover Staatlichen Bauuniversität im Zeitraum von 1999 bis 2011 durchgeführt werden. Unter sind eine Verteilung von auftretenden Bauschäden in Abhängigkeit von der Bauleistungen vorgestellt.

Weil unsere nächste Bauschädenanalyse mit dem Gebäudelebenszyklen gebunden ist, scheint es sinnvoll Gebäudelebenszyklusphasen darzustellen. Der Gebäudelebenszyklus beschreibt die gesamte Betrachtungsweise eines Bauwerks von seiner Planung bis zu dessen Rückbau.³ Der Zyklus fängt mit der Projektentwicklungsphase an. Nach dieser Phase kommen Planungsphase und eine sehr komplexe Phase-Erstellung eines Gebäudes in Betracht. Danach tritt die meist längere Nutzungsphase. Das „Leben“ eines Gebäudes endet mit dem Rückbau oder Abbruch.

In der Abbildung 2 wird eine Verteilung auf Ursachen der Bauschäden während der Gebäudelebenszyklusphasen dargestellt.

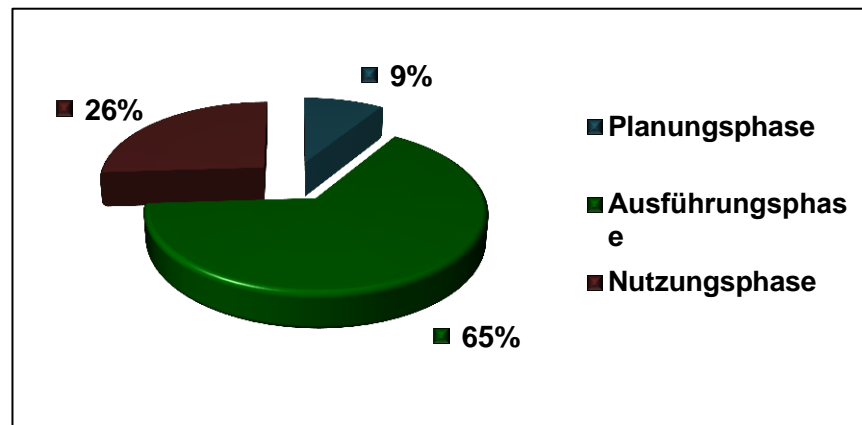


Abbildung 2: Bauschädenursachen in verschiedenen Phasen des Gebäudelebenszyklen

Untersuchung der Bauschäden, die in verschiedenen Phasen der Gebäudelebenszyklen verursacht werden, wies darauf hin, dass mehr Bauschäden während der Ausführungsphase oder Bauphase auftreten. Das entspricht 65% aller auftretenden Bauschäden. Wichtige Gründe dafür sind:

1. Abweichung von Projekt-,Baunormenanforderungen;
2. Verwendung ungeeigneter Baustoffe;

³ Gessmann, Robin: Ein internetbasiertes Gebäudedatenrepositorium als lebenszyklusorientierte Integrationsplattform, unveränderte Auflage, Universitätsverlag Karlsruhe 2008

3. Qualitätskontrollefehlen;
4. Unqualifizierte Arbeiter auf der Baustelle;
5. Organisation der Bauarbeiten auf der Baustelle.

Anteil der Bauschäden in der Nutzungsphase beträgt 26 %. Probleme auf der Nutzungsphase sind schon herkömmlich gewesen. Folgende Ursachen können zu Bauschäden führen:

1. Nicht zeitgemäße Durchführung von Instandsetzungs-, und Instandhaltungsmaßnahmen;
2. Nichteinhaltung von Baunormen während Instandhaltungsmaßnahmen;
3. Praktischer Diagnostikfehlen für Gebäuderestlaufzeitermittlung;
4. Schäden an Rohrleitung des Wasserversorgungs-und Abwassersystems usw.

In nachstehenden Abbildung werden Anteile von Bauschäden in Abhängigkeit von durchgeführten Bauleistungen infolge der Nichteinhaltung von Projekt-,und Baunormenanforderungen aufgezeigt.

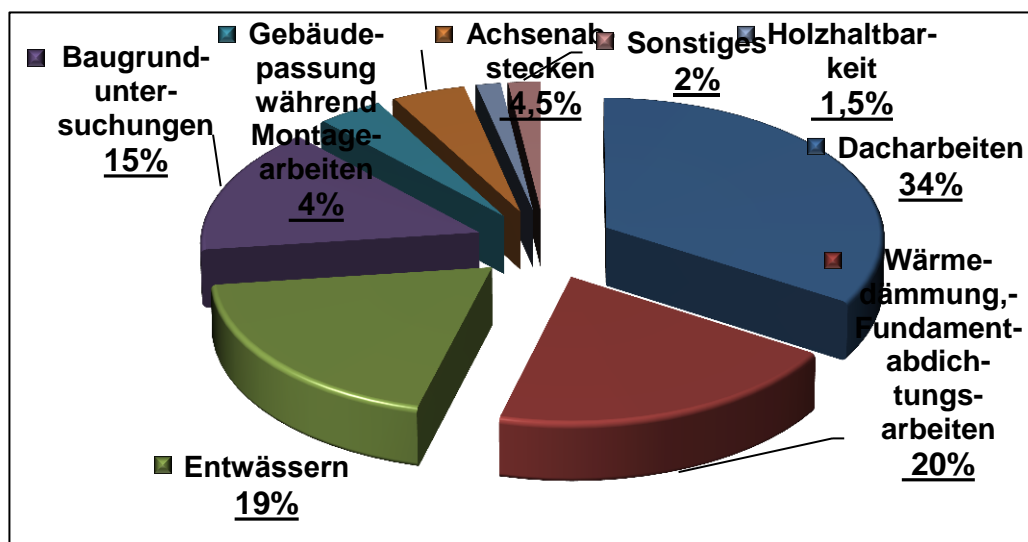
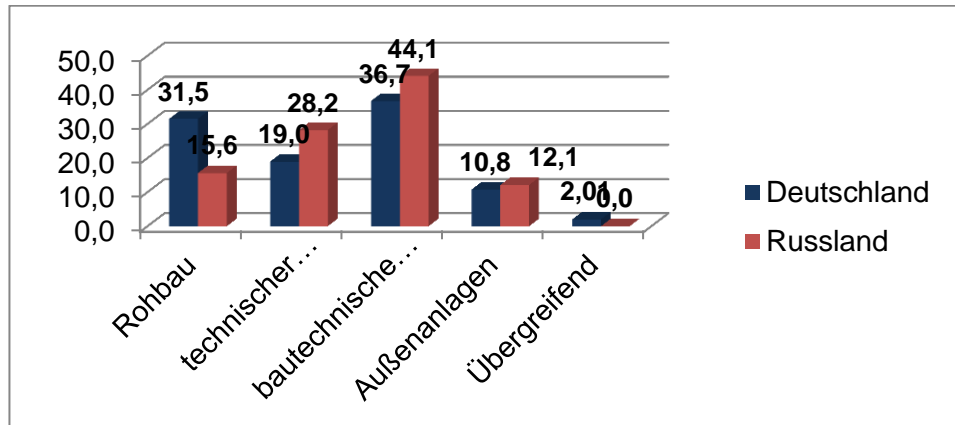


Abbildung 3: Bauschadenverteilung in Abhängigkeit von Bauarbeiten

Es ist aus der Tabelle ersichtlich, dass Nichtbefolgung von Baunormenanforderungen bei Dacharbeiten (34%), Entwässern(19%) und Wärmeeämmung,-Wasserdampf-und Fundamentabdichtungsarbeiten(20%) und Baugrunduntersuchungen (15%) maximal sind. Tendenziell weniger Bauschäden bringen Gebäudepassungsarbeiten während Montagearbeiten, Achsenabstecken und Holzhaltbarkeit.

Eine Zusammenstellung von in Deutschland und in Russland verbreiteten Bauschäden während der Bauausführung erfolgt in der Abbildung 4.



Quelle: Zweiter DEKRA-Bericht zu Baumängeln an Wohngebäuden, 2008

Abbildung 4 Zusammenstellung von Bauschäden während der Bauausführung in Deutschland und in Russland

Aus der Tabelle erfolgt, dass die Häufigkeit des Bauschädens auftreten in der Ausführungsphase in Russland höher als in Deutschland ist. Eine Ausnahme bildet dagegen Rohbau. Dort treten Bauschäden in Russland fast doppelt selten als in Deutschland.

Während der Analyse von Bauschäden ist es zu betonen, dass 20% aller Schadensfälle auf Wärmedämmungs-, Fundamentabdichtungsarbeiten zurückzuführen sind. (siehe Abbildung 3). Unzureichende und fehlerhafte Durchsetzung von Wärmedämmungsarbeiten, Entwässern und Abdichtungsarbeiten verursachen Wassereindringung in Dämmung, Undichtheiten und Überfeuchtung von Konstruktionen.

2.2 Übersicht über gesetzlichen Anforderungen im Bereich von wärmebrücken- und feuchtebedingten Bauschäden

Zur Vermeidung von Tauwasserbildung gelten in Russland zwei wichtige Baunormen: Wärmeschutzverordnung 23-02-2003 vom 10.01.2003 und Bauregeln 23-101-2004 vom 06.01.2004.

Wärmeschutzverordnung 23-03-2003 dient dem Wärmeschutz von Wohngebäuden mit dem Ziel der Einhaltung von hygienischen Anforderung und der Schaffung von gesundem Wohnklima sowie der Haltbarkeit von Tragkonstruktionen eines Gebäudes und der Energieeinsparung⁴.

⁴ Übersetzung: Wärmeschutzverordnung 2003 in der Fassung der Bekanntmachung vom 23.02. 2003, Teil 1, Anwendungsbereich;

Bauregeln 23-1010-2004 sollen den Anforderungen von Wärmeschutzverordnung nicht widersprechen. Sie umfasst verschiedene Verfahren zur Planung von wärmeschutztechnischen Eigenschaften von Bauteilen sowie Leitfaden, die den Anforderungen von Wärmeschutzverordnung einhalten. In beiden Normen gibt es keine Information über Wärmebrücken und Schimmelpilzbildung. Nach den russischen Vorschriften entspricht Taupunktberechnung den deutschen Vorschriften wie DIN 4108-Teil 3 "Klimabedingter Feuchteschutz"⁵.

Seit dem Jahr 2009 ist das erste in der Geschichte von Energieeinsparung Russlands Bundesgesetz über Energieeinsparung und energetische Effizienz von Gebäuden in Kraft getreten. Es beschreibt gesetzliche Anforderungen zur Durchführung von energetischer Sanierung im Bestand und bietet Energiekennwerte für neue und bestehende Bauwerke⁶.

In Deutschland dienen der Vermeidung von Feuchteschäden wie Tauwasser und Schimmelpilz übliche Regelwerke zu Wärme- und Feuchteschutz: DIN 4108, Energieeinsparverordnung, DIN 68800.

DIN 4108: „Wärmeschutz im Hochbau bietet eine Grundlage zur Vermeidung von Wärmebrücken, Schimmelpilz und Oberflächentauwasser“. Es besteht aus mehreren Teilen, die für uns wichtigste davon sind: Teil 2: Mindestanforderung an den Wärmeschutz und Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz. Neben Berechnungsverfahren wurden konkrete Maßnahmen vorgeschlagen, die der Vermeidung von Feuchteschäden dienen.

DIN 4108, Teil 2: „Mindestanforderung an den Wärmeschutz“. Diese Norm legt die Mindestanforderungen an die Wärmedämmung und zusätzlich an die Wärmebrücken fest, die oftmals in der Gebäudehülle auftreten⁷.

DIN 4108, Teil 3: „Klimabedingter Feuchteschutz“. Diese Norm ermöglicht die Berechnung von Oberflächentemperaturen im Regelquerschnitt. Nach der Tabelle A.4 kann die Ermittlung von Tauwasserpunkt durchgeführt werden. Allgemein legt sie

⁵ Übersetzung: Bauregeln 23-101-2004 in der Fassung der Bekanntmachung vom 06.01. 2004, Teil 1, Anwendungsbereich;

⁶ Übersetzung: Bundesgesetz zur Energieeinsparung und Erhöhung von energetischer Effizienz von Gebäuden № 216 in der Fassung der Bekanntmachung vom 23.11. 2009, Teil 1, Anwendungsbereich

⁷ DIN 4108-2: 2003-07: „Wärmeschutz im Hochbau, Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“, Ersatz für DIN 4108-2:2003-04;

Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise zum klimabedingten Feuchteschutz⁸.

DIN EN ISO 10211-1: „Wärmebrücken im Hochbau. Wärmeströme und Oberflächentemperaturen“ beinhaltet Anforderungen zur Berechnung von Oberflächentemperaturen und Wärmeströmen⁹.

Energieeinsparverordnung ist ein Teil des deutschen Baurechts. Diese Norm schrieb Standardanforderungen, die zur Erhöhung der Energieeffizienz von Gebäuden führen sollen. Seit der Auflösung von Wärmeschutzverordnung in 2002 wurde schon vier Fassungen in Kraft getreten. Heute gilt eine aktuelle Fassung von 2009. Sie reduziert um durchschnittlich 30 % die Obergrenze des Jahres-Primärenergiebedarfs. Darüber hinaus werden die Anforderungen zur Wärmedämmung von Neubauten um 15 % erhöht¹⁰.

DIN 68800: „Holzschutz“, schützt Holzbauteile vor tierischen und pflanzlichen Schädlingen – Insekten und Pilze – oder zu hoher Feuchte und beinhaltet Anforderungen an den vorbeugenden baulichen und chemischen Holzschutz¹¹.

Die oben beschriebenen Regelwerke bieten eine Grundlage zur Entwicklung dieser Master-Arbeit.

2.3 Definitionen von Wärmebrücken

Unterschiedliche Literaturquellen bieten eine Menge von Wärmebrückendefinitionen. Es wird eine davon gegeben.

Als Wärmebrücken werden örtlich begrenzte Stellen bezeichnet, die im Vergleich zu den angrenzenden Bauteilbereichen eine höhere Wärmestromdichte aufweisen. Ihr physikalisches Merkmal ist, dass die Wärmestromlinien an dieser Stelle nicht mehr eindimensional, also parallel zu einander verlaufen, sondern verzerrt, das heißt divergent oder konvergent sind. Diese örtlich erhöhte Wärmestromdichte verursacht nicht nur einen zusätzlichen Wärmeverlust im Vergleich zum ungestörten Bauteil, sondern reduziert auch in dem betreffenden Bereich die Oberflächentemperatur des

⁸ DIN 4108-3: 2001-07: „Wärmeschutz im Hochbau, Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung“, Ersatz für DIN 4108-3:1981-08;

⁹ DIN EN ISO 10211-1: „Wärmebrücken im Hochbau. Wärmeströme und Oberflächentemperaturen. Allgemeine Berechnungsverfahren“ in der deutschen Fassung EN ISO 10211-1:1995;

¹⁰ Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV 2009) in der Fassung von 01.10.2009;

¹¹ DIN 68800: „Holzschutz“, in der revidierten Fassung von 1992

Bauteiles.¹² Als wesentliche Merkmale von Wärmebrücken gelten vor allem erhöhte Wärmeverluste und niedrigere Oberflächentemperaturen in einem betreffenden Bereich.

2.3.1 Erscheinungsformen von Wärmebrücken

Wärmebrücken weisen eine breite Palette von Erscheinungsformen, deren Erwähnung im Rahmen von wärmebrückenbedingten Bauschäden sehr wichtig scheint zu sein. Es unterscheidet sich folgende Wärmebrückenformen:

1. Stoffbedingte Wärmebrücken: Es handelt sich um stoffbedingten Wärmebrücken, wenn zwischen den beiden Oberflächen eines ebenen, plattenförmigen Bauteils eine Temperaturdifferenz vorhanden ist. In nachstehenden Abbildungen werden stoffbedingte Wärmebrücken aufgezeigt.

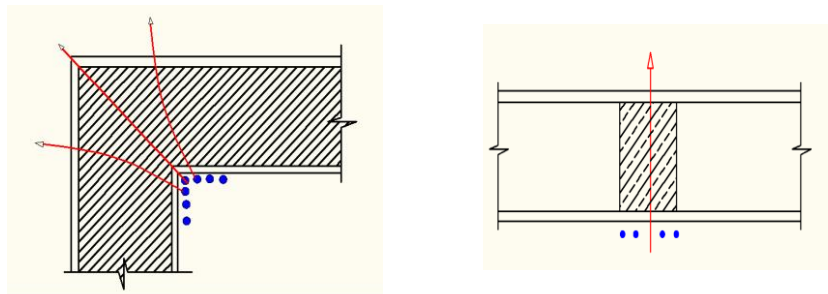


Abbildung 5: Stoffbedingte Wärmebrücken

2. Wenn es sich um homogenes Material handelt. Dies ist der Fall, wenn entweder Stoffe unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit nebeneinander angeordnet sind oder wenn die Bauteile von der Plattenform abweichen. In dem Fall sind das form-oder geometriebedingten Wärmebrücke. Abbildung 6 zeigt beispielhaft geometriebedingten Wärmebrücke¹³.

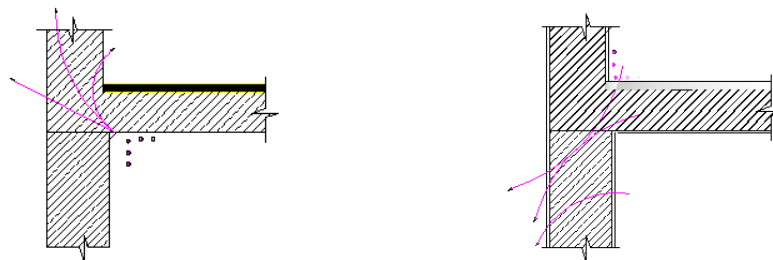


Abbildung 6: Geometriebedingte Wärmebrücke

¹² Richter, Ekkehard/Fischer, Heinz-Martin/Jenisch, Richard: Lehrbuch der Bauphysik: Schall-Wärme-Feuchte-Lichte-Brand-Klima, 6. Aufl., Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 2008;

¹³ Lutz, Peter: Lehrbuch der Bauphysik. Schall-Wärme-Feuchte-Licht-Brand-Klima, 5. Aufl., Teubner Verlag, Karlsruhe 2002

Linienförmige Wärmebrücken: Außenwandkanten, Deckenaufleger, Fensterleibungen, brüstungen, Balkonplatten;

Punktförmige Wärmebrücken: Befestigungselemente (Dübel in einer Außenwand) sowie Außenwandecken. Wärmeverluste durch punktförmige Wärmebrücken sind meist gering und werden daher vernachlässigt. Die nachstehende Abbildung 7 zeigt punkt- und linienförmige Wärmebrücken auf.

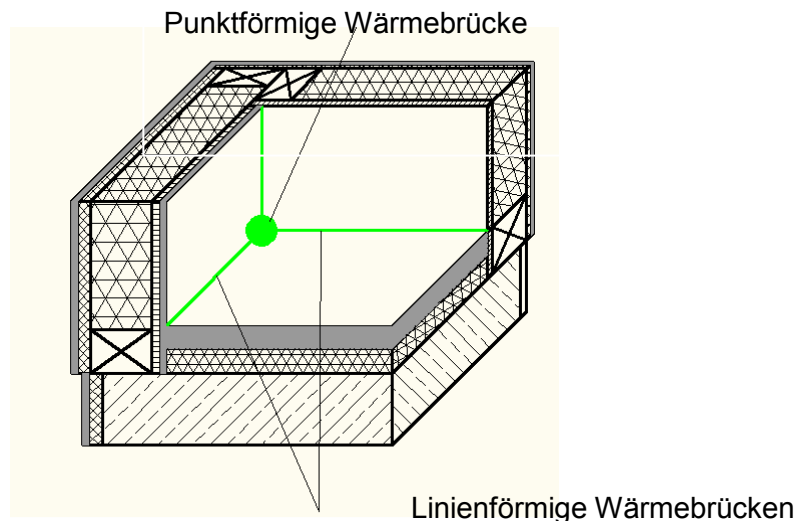


Abbildung 7: Linien-sowie punktförmige Wärmebrücken

Als wesentliche Merkmale von Wärmebrücken gelten erhöhte Transmissionswärmeverluste, niedrige Oberflächentemperaturen und Tauwasserproblematik.

2.3.2 Berücksichtigung von Wärmebrücken

In Deutschland werden Wärmebrückeneffekte zumindest in zwei Baunormen erwähnt: Energieeinsparverordnung und in deutschen Industrienormen: DIN 4108-Teil 2 sowie DIN EN ISO 10211-1.

In Russland gelten zwei Hauptbaunormen, die Wärmeschutz in Gebäuden regeln: Wärmeschutzverordnung 23-02-2003 und Bauregeln 23-101-2004 „Planung von wärmeschutztechnischen Maßnahmen“. Weder in baulichen Normen und Regeln noch in baulichen Regeln werden Wärmebrücken betrachtet und zumindest erwähnt. Deswegen werden weitere Überlegungen nur auf der Grundlage von DIN- und EnEV Anforderungen aufbauen.

Es gibt prinzipiell drei Möglichkeiten zur numerischen Berücksichtigung von spezifischen Transmissionswärmeverlusten infolge Wärmebrücken:

- Energieeinsparverordnung 2009 berücksichtigt Wärmeverluste infolge Wärmebrücken durch Erhöhung der Wärmedurchgangskoeffizienten um $\Delta U_{WB}=0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für die gesamte wärmeübertragende Umfassungsfläche;
- 1. Bei Anwendung von Planungsbeispielen nach DIN 4108 Beiblatt 2:2004-01: Berücksichtigung durch Erhöhung der Wärmedurchgangskoeffizienten um $\Delta U_{WB}=0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für die gesamte übertragende Umfassungsfläche;
- 2. Durch genaue Berechnung der Wärmebrücken nach DIN V 4108-06:2003-06 in Verbindung mit weiteren anerkannten Regeln der Technik;

Es ist zu erwähnen, dass sich die Genauigkeit jeweiliger Möglichkeit der Berücksichtigung von Transmissionswärmeverlusten unterscheidet. Größere Genauigkeit hat selbstverständlich die genaue Berücksichtigung von Wärmebrücken.

2.4 Bauphysikalische Grundlagen der Feuchtigkeitsschäden

Feuchtigkeitsschäden entstehen infolge Kondenswasserbildung, aufstehendes Wasser, freies Wasser, Kapillarwasser usw. Wenn der Raum nicht zweckmäßig oder fehlerhaft gelüftet wird, sättigt die Raumluft durch die Feuchtigkeitsabgabe der Bewohner mit Feuchtigkeit in Form von Wasserdampf. Sinkt die Temperatur der Luft bei gleich bleibendem Wasserdampfgehalt, so erhöht sich die relative Luftfeuchte. Bei der Erreichung von kritischer Taupunkttemperatur, fällt Tauwasser aus. Zum besseren Verständnis, wie Wasser Bauwerke beansprucht, werden verbreitete Feuchteerscheinungsformen hier betrachtet.

1. Brauchwasser: Unter Brauchwasser wird im Gebäudeinneren anfallendes aufbereitetes Wasser aus Leitungen, zum Beispiel zum Duschen, Baden etc. verstanden¹⁴.
2. Sickerwasser entsteht bei dem Eindringen ins Erdreich, was zum unmittelbaren Kontakt mit dem Gebäude hervorruft.
3. Freies Wasser: Unter dem freien Wasser wird frei fließendes Wasser, das beispielsweise als Regenwasser am Dach, am Gebäudesockel oder in der Installation bzw. Kanalisation auftritt.
4. Wasserdampf: Neben dem natürlichen Wasserdampfgehalt in der Luft, werden große Mengen des Wasserdampfgehaltes in Gebäuden vom Menschen

¹⁴ Bonk, Michael: Lufsky Bauwerksabdichtung, 7. Aufl., Vieweg und Teubner Verlag, Karlsruhe 2010

verursacht. Dies geschieht durch Atmen, Waschen und Kochen. Erhöhung von Wasserdampfgehalt ist eine Ursache von relativer Luftfeuchtigkeitsveränderung im Innenraum.

5. Kapillarwasser: Es befindet sich in kleinen Rissen und Hohlräumen in Holz, Stein, Beton oder Putz, die Wasser aufnehmen. Dieses Kapillarwasser ist z. B. die Ursache für die aufsteigende Feuchtigkeit in Kellerwänden.
6. Gebundenes Wasser: Beim Gebäudebau wird viel Wasser z. B. bei der Betonherstellung eingesetzt. Nach der Fertigstellung ist dies Wasser teilweise noch gebunden. Durch Trocknung oder chemische Veränderungen können die Baustoffe das Wasser jedoch wieder an die Innenräume abgeben.

Unter Tauwasser versteht man den Feuchteniederschlag an Oberflächen. Das entsteht zuallererst im Bereich von Wärmebrücken, weil dort im Vergleich zu ihrer Umgebung niedrigere innere Oberflächentemperaturen auftreten.

DIN 4108, Teil 3 gibt eine Voraussetzung, unter der Kondenswasserbildung auftritt.

$$\theta_{si} < \theta_{TWB}, \text{ mit}$$

θ_{si} -die Oberflächentemperatur, die nach der Formel A.2 DIN 4108-3 „Klimabedingter Feuchteschutz“ für mehrschichtige Bauteile ermittelt wird.

$$\theta_{si} = \theta_i - U \cdot R_i \cdot (\theta_i - \theta_e), \text{ hierbei} \quad (\text{Gl.1})$$

θ_{si} -Temperatur der Bauteiloberfläche in °C;

U- der Maß für den Wärmedurchgang durch einen Bauteil und wird in W/(m²K) angegeben;

R_i -Wärmedurchlasswiderstand jeweiliger Schicht, der in m²K/W ausgedrückt wird;

θ_e -durchschnittliche Außentemperatur.

θ_{TWB} ist Taupunkttemperatur in °C, die in Abhängigkeit von relativer Feuchtigkeit im Innenraum und innerer Temperatur nach Tabelle A.4 von DIN 4108-3 „Klimabedingter Feuchteschutz“ ermittelt wird.

Um Schimmelpilzbildungsrisiko zu vermeiden, sollen Anforderungen nach DIN 4108-2 eingehalten werden. Das heißt, dass die folgende Bedingung eingehalten werden soll:

Temperaturfaktor an der ungünstigsten Stelle: $f_{Rsi} \geq 0,70$,

$$f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e), \text{ mit} \quad (\text{Gl.2})$$

θ_{si} -Raumseitige Oberflächentemperatur;

θ_i -Innenlufttemperatur;

θ_e - Außenlufttemperatur.

Zur Verhinderung oder Behebung bereits aufgetretener Feuchteschäden muss die innere Oberflächentemperatur von Außenbauteilen möglichst angehoben werden, dem Schimmel muss sein Nährboden entzogen und der Feuchtegehalt der Raumluft begrenzt werden.

3 Problematik von Bauschäden infolge Wärmebrücken und Feuchtigkeit

3.1 Ausblick auf Besonderheiten der historisch geprägten Gebäudetypen in Russland und in Deutschland

Untersuchung von verschiedenen Bauwerken, die zu den jeweiligen architektonischen Stilen zugeordnet werden können lassen uns gesellschaftliche Vorstellungen über Wohnkomfort in ganz unterschiedlichen Zeitepochen verstehen. Darüber hinaus ermöglicht uns eine sorgfältige Analyse wärme-und feuchteschutztechnische Besonderheiten von den zu untersuchenden Gebäudetypen herauszufinden und entsprechende Berechnungen durchzuführen um ein anschauliches Bild über häufig auftretenden Bauschäden infolge Wärmebrücken und Feuchtigkeit zu bekommen. Lassen uns durch verschiedene Epochen in der Geschichte von Rostow-am-Don gehen und typische Gebäudetypen bestimmen.

Alle in Rostow-am-Don liegende Bauwerke lassen sich in folgende Gebäudetypen nach Baujahr unterteilen. In der Tabelle 1 werden einzelne Gebäudetypen und die Anzahl zur jeweiligen Gruppe zugehörten Wohngebäude aufgezeigt.

Tabelle 1 –Unterteilung von Wohngebäudebestand Rostows in verschiedenen Gebäudetypen

Gebäudetyp	Vor 1917	1918-1956	1957-1980	1981-2000	Seit 2000
Anzahl von Wohngebäuden	3301	1499	1462	3895	120

Aus der Tabelle 1 ist es zu sehen, dass der Wohnbestand aus ca. 10. 277 Gebäuden besteht. 32% davon betragen alte Gebäude.

Es ist zu betonen, dass es im Rahmen dieser Arbeit nur die verbreitete Gebäudetypen vorgestellt sind, weil der Wohnungsbestand so vielfältig und komplex ist, dass nicht alle Gebäudearten hier betrachtet werden können.

1. Gebäudetyp „Vor 1917“: In der zweiten Hälfte des XIX. Jahrhunderts waren die damals errichteten Wohngebäude, Verwaltungsgebäude, Museen usw. einerseits durch byzantinischen Revival andererseits durch eklektisches Anfang stark geprägt. In der Abbildung 8 wird ein gutes Beispiel des Gebäudes vorgestellt. Bauwerke haben eine originelle Ausstattung von Fassaden, die durch vertikales Anwachsen von Dekorintensität ausgeprägt sind. Üblicherweise haben Erd- und erste Obergeschosse verschiedenen Fensterformen. Traditionell wurden Fensterstütze in Form von einem Gewölbe errichtet.



Abbildung 8: Historische Gebäude vor 1917

2. Gebäudetyp „1918-1956“: Zeitraum von 1918 bis 1956 war an großer Zahl von Wohn- und Industriegebäuden reich. Als Beispiel typisches Gebäude jener Zeit wird das Bauwerk (Baujahr 1939) in der Abbildung 9 dargestellt. Architektonisch besteht der Hauptunterschied in der Zimmerzahl und der Grundrissgestaltung. Das Bauwerk stellt ein Rechteck im Grundriss. Gebäude solcher Art waren hauptsächlich aus Ziegel gebaut. Sie zeichnet sich durch eine regelmäßige rechteckige Form aus. Fassaden werden durch unterschiedliche Schmuckelemente wie Ähren garben und Symbol von Sowjet Union verziert, die

zur Stalinepocheverherrlichung dienten.

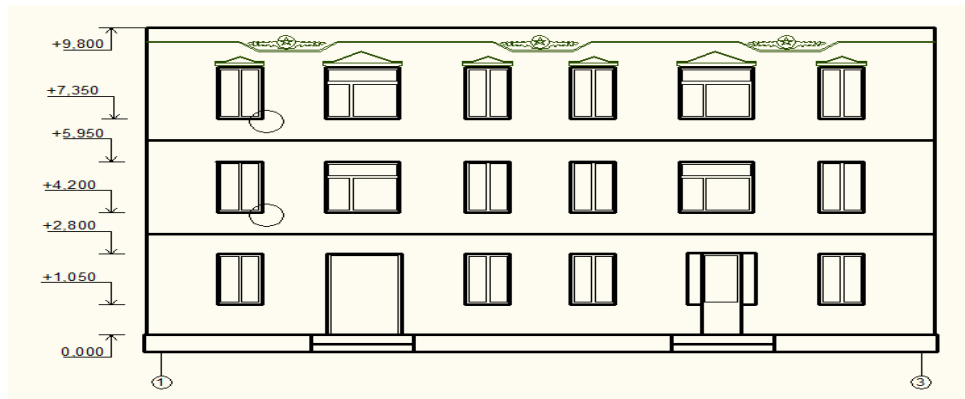


Abbildung 9: Gebäudetyp 1918 1956 "Stalinka"

3. Gebäudetyp „1957-1980“: Den ausgewählten Zeitraum ist durch Plattenbauten stark geprägt. Nach den Zerstörungen der Kriegsjahre bestand ein ausgeprägter Wohnungsmangel in Nachkriegsowjet Union. Mit dem staatlichen Wohnungsbauprogramm von 1958 wurde der Plattenbau zum wichtigen Nebautyp erhoben. Wohngebäude in Plattenbauweise wurden aus in spezialisierten Fabriken vorgefertigten Betonplatten zusammengefügt. Die Tragkonstruktion wurde aus Ortbeton auch als Skelettkonstruktion in Fertigteilen hergestellt. Vorteilhafte wetterunabhängige Durchführung von Arbeitsschritten in Fabrikgebäuden sowie schnelle Montage förderten eine schnelle Verbreitung von diesen Gebäuden. In nachstehender Abbildung wird dieses Gebäude vorgestellt.

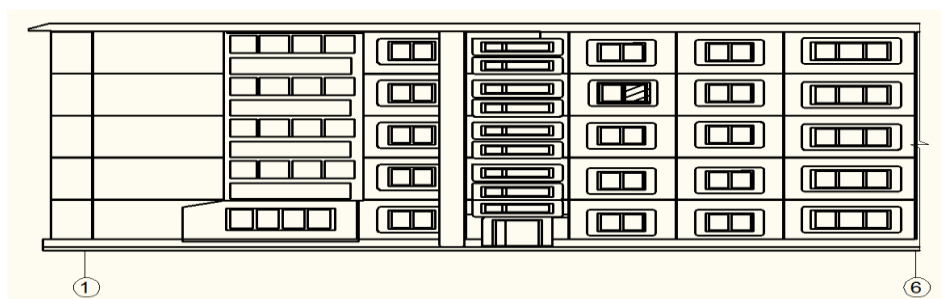


Abbildung 10: Gebäude in Plattenbauweise

4. Gebäudetyp „1981-2000“: Im Zeitraum von 1981 bis 2000 verbreitet sich schnell Geschosswohnungsbau, bei dem es sich um die Errichtung von Wohngebäuden in mehrgeschossiger Bauweise handelt. Sie werden aus Beton und Stahlbeton, Betonplatten, Ziegel und Betonblöcken errichtet. Wesentlicher Vorteil der Geschosswohnungen ist eine verdichtete Bauweise, die eine höhere

Ausnutzung des Grund und Bodens der Stadt ermöglicht. Der Gebäudetyp wird in der Abbildung 11 aufgezeigt.

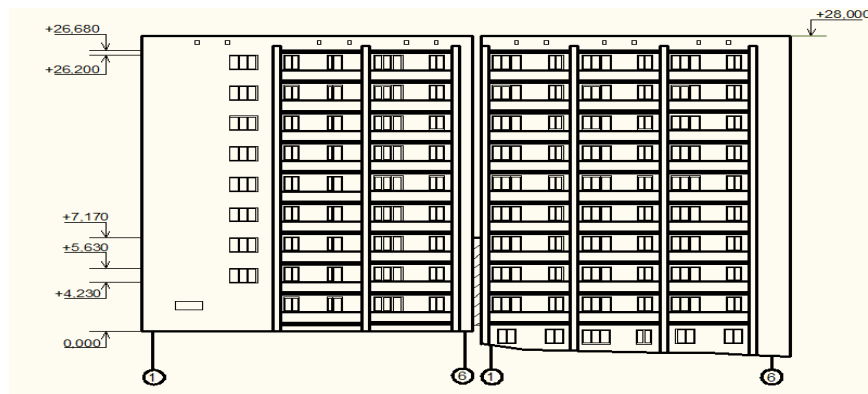


Abbildung 11: Geschosswohnungsbau

5. Gebäudetyp „Seit 2001“: Moderne Gebäude zeichnen sich durch eine Vielfalt von interessanten architektonischen Lösungen, angewandten Baustoffen usw. In Rostow sind monolithische Bauwerke sehr verbreitet. Entwicklung von Bautechnik der Betonerzeugung- und Bewegung zu jeweiligem Geschoss auf der Baustelle ermöglicht Bauwerke mit 15-20 und mehr Etagen. Von der Außenseite errichtet man einen aufgehängten Wärmeschutz mit einer Luftschicht und äußerliche Verkleidung. Der Wärmeschutz kann auch innerhalb des Gebäudes ausgeführt werden. Als Verkleidung für Bauwerk gelten Rot-oder Weißziegel, Fliesen, Glas usw.

In Deutschland wurden fünfzehn primär Gebäudetypen unterschieden:

1. Fachwerkhäuser: Für Ausländer sind Fachwerkhäuser ein lebendiges Zeichen Deutschlands. Obwohl nicht nur Deutschland sondern auch in Frankreich und England Bauwerke solcher Bauweise verbreitet sind, kennzeichnen meist deutsche Fachwerkhäuser durch eine breite Farbenpalette und einen unvergleichbaren Keilschnitt. Es ist leicht zu erkennen, es besteht nur aus hausförmigem Skelett aus Holzbalken, der das gesamte Gebäudegewicht trägt. Die Ausfachungen der Wände, die Füllungen, tragen keine Last. Die kräftigsten Balken eines Fachwerkhäuses sind die so genannten Ständer, die senkrecht stehenden Pfosten aus Eichen-oder Fichtenholz, die das Haus tragen. In der Abbildung 12 wird ein Fachwerkhaus aufgezeigt¹⁵.

¹⁵ Köthe, Rainer/ Kolb, Arno: Architektur, Bd.23: Was ist was, Tessloff Verlag, Nürnberg 2006

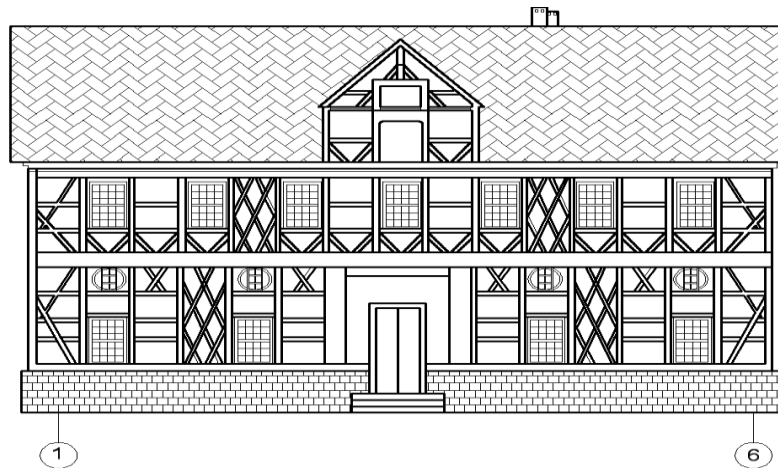


Abbildung 12: Fachwerkhaus

2. Bauten bis 1950: Im ersten Viertel des letzten Jahrhunderts begann, aufgrund der schlechten Wohnverhältnisse in den Großstädten, der Bau von sogenannten Gartenstädten. Bei den Bauten aus dieser Zeit handelt es sich um Massivbauten mit Wänden aus Sandstein oder Ziegelmauerwerk, sowie Holzdecken zu den meist unbeheizten und ungedämmten Dachgeschossen. Im Originalzustand sind nur einfach verglaste Fenster vorhanden. Sogenannte Stadthäuser zeichnen sich ebenfalls durch eine schlechte Wärmedämmung aus. Hinzu kommen hohe Räume, die zur Erwärmung ebenfalls einen höheren Energieeinsatz erfordern. Eine Außenwanddämmung ist aufgrund der oft vorhandenen Verzierungen (Ornamente, Erker) ebenfalls nicht immer angeraten.¹⁶

3. Bauhaus: Bei der Bezeichnung „Bauhaus“ handelt es sich nicht nur um einen besonderen Haustyp, sondern um einen Begriff, der einen Kunststil der Zwanziger- und Dreißigerjahre. Die wenigen der noch erhaltenen Bauten aus dieser Epoche lassen einige Mängel erkennen, mit denen man heute nicht leben wollte: Die Fenster sind so angebracht, dass das Gesamtobjekt äußerlich ästhetisch wirkt, und nicht dort, wo es für die jeweilige Raumnutzung wünschenswert wäre. Der damals noch selten anzutreffende Heizkörper ist als „Wandschmuck“ unterhalb der Decken angebracht. Türen sind zu schmal und niedrig. Diese Häuser genügen auch nicht mehr den heutigen Ansprüchen an niedrigen Energieverbrauch. In nachstehender Abbildung wird ein Bauhaus aufgezeigt.

¹⁶ Engivo.de: <http://www.engivo.de/wissen/artikel.php?id=33;>

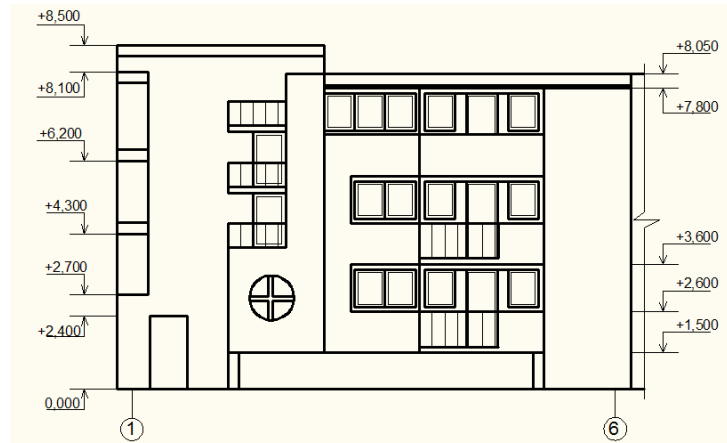


Abbildung 13: Das Bauhaus

4. Fünfzigerjahre-Siedlungshäuser: Bauten aus den Fünfzigerjahren betragen einen Großteil des gesamten Wohnungsbestandes in Deutschland. Bauwerke dieser Jahre verfügen in der Regel nur über dünnwandige Mauerwerke aus Ziegel- oder Hohlblocksteinen mit geringer Wärmedämmung. Im Originalzustand haben sie einfach verglaste Fenster und nicht isolierte Dächer. Die Wohnungen in Mehrfamilienhäuser entsprechen, aufgrund ihrer vergleichsweise kleinen Wohnfläche, nicht mehr den heutigen Vorstellungen über Wohnkomfort. Das typische Fünfzigerjahre-Siedlungshaus wird in der Abbildung 14 vorgestellt.

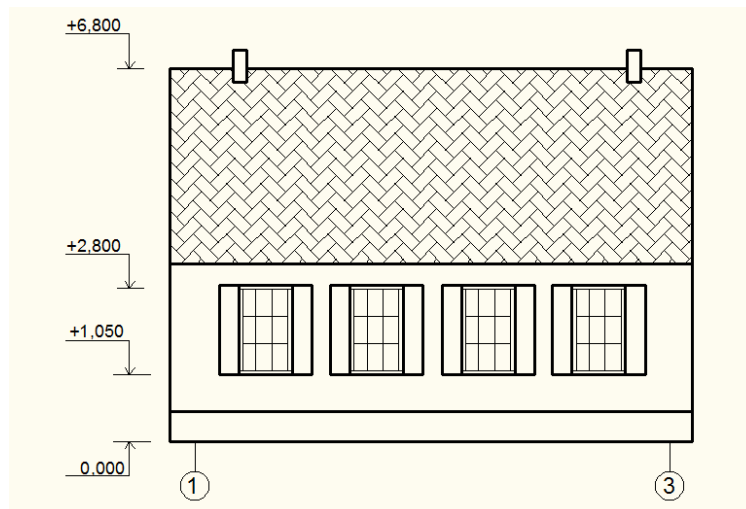


Abbildung 14: Das Fünfzigerjahre- Siedlungshaus

5. Sechzigerjahre-Reihenhäuser: Im Gegensatz zu den Bauten aus den Fünfzigerjahren, kennzeichnen diese Häuser durch eine größere Wohnfläche. Die Bausubstanz ist tendenziell besser als die der fünfziger Jahre. Die Wärmdämmeigenschaften sind trotzdem schlecht. In nachstehender Abbildung wird das Sechzigerjahre-Reihenhaus aufgezeigt.

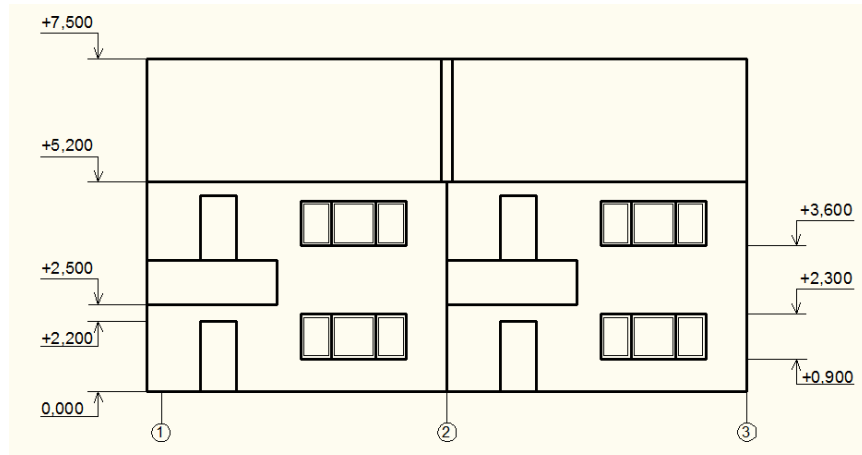


Abbildung 15: Sechzigerjahre– Reihenhaus

6. Bauwerke seit der ersten Wärmeschutzverordnung 1977 unterscheiden sich eher durch bessere wärmeschutztechnische Eigenschaften.

3.2 Wärmebrücken Planübersicht

Um wärmebrückenspezifische Bauschäden zu vermeiden ist es festzustellen, ob sich an den voraussichtlichen Stellen Wärmebrücken tatsächlich vorliegen. Um das zu begründen wurden vermutliche „Schwachstellen“ angewiesen. In der Wärmebrücken Planübersicht auf der nachfolgenden Seite sind Grundrisse von Kellergeschoss, Erdgeschoss und letzten Obergeschoss von unterschiedlichen Gebäuden aus den oberbeschriebenen Gebäudetypen dargestellt.

In der Abbildung 16 ist ein Kellergeschoss mit markierten Wärmebrücken aufgezeigt. Die dazugehörigen Anschlüsse sind im Anhang A in den Abbildungen von 41 bis 46 aufgeführt.

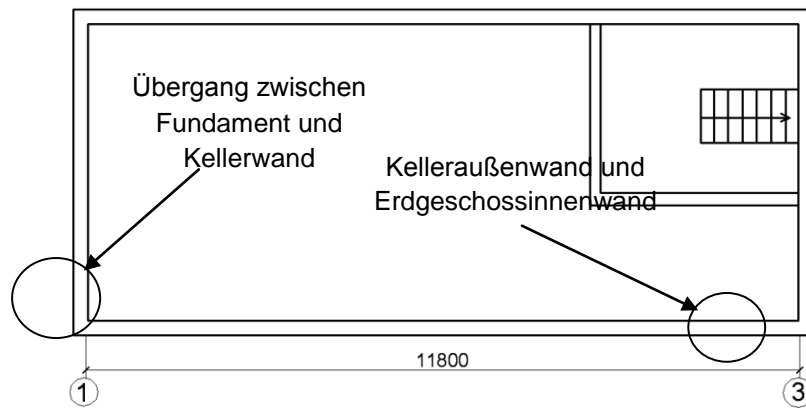


Abbildung 16: Das Fünfzigjahre Siedlungshaus: Grundriss Kellergeschoss

In nachstehender Abbildung wird den Grundriss Erdgeschoss vorgestellt.

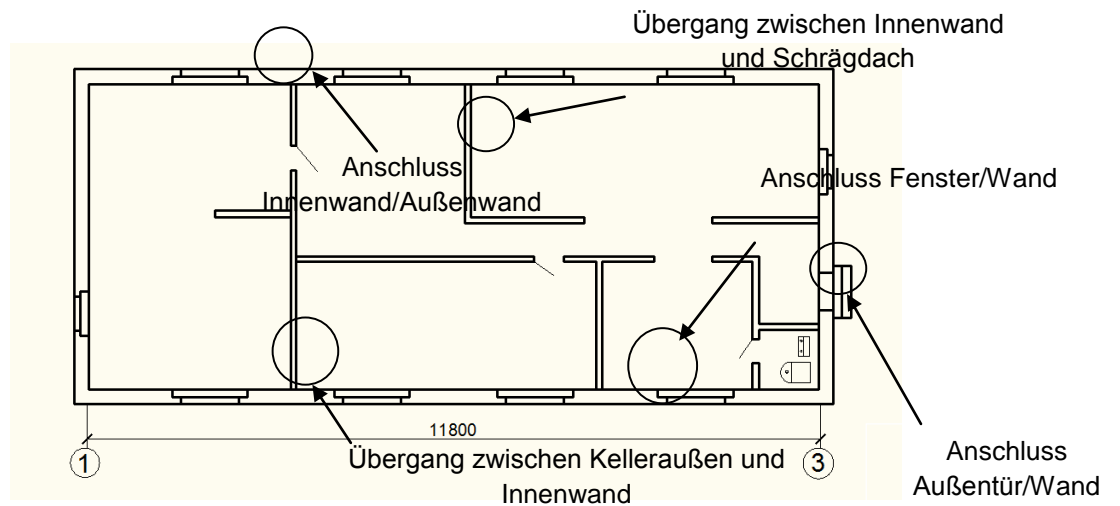


Abbildung 17: Das Fünfzigjahre–Siedlungshaus: Grundriss Erdgeschoss

Unter in den Abbildungen 18, 19 und 20 sind Grundrisse von russischen Plattenbauten mit bereits markierten Wärmebrücken vorgestellt. Anschlüsse sowie Übergänge von Gebäude in Plattenbauweise, wo Wärmebrücken entstehen können, sind fortlaufend im Anhang A in den Abbildungen von 47 bis 52 aufgezeigt.

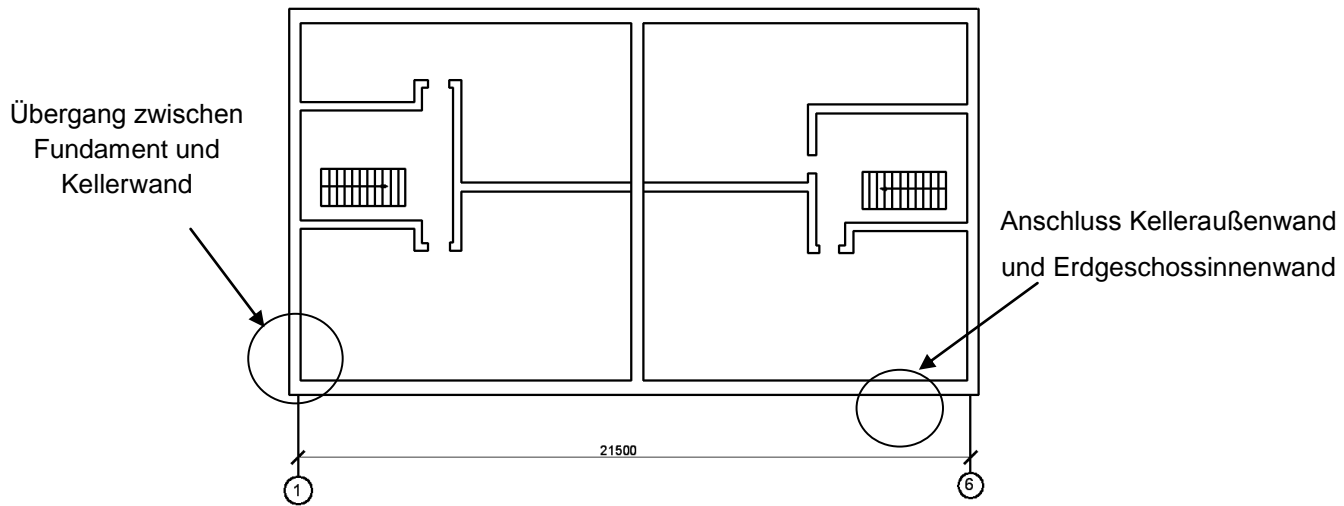


Abbildung 18: Gebäude in Plattenbauweise der 60-er XX: Grundrisse eines Kellergeschosses

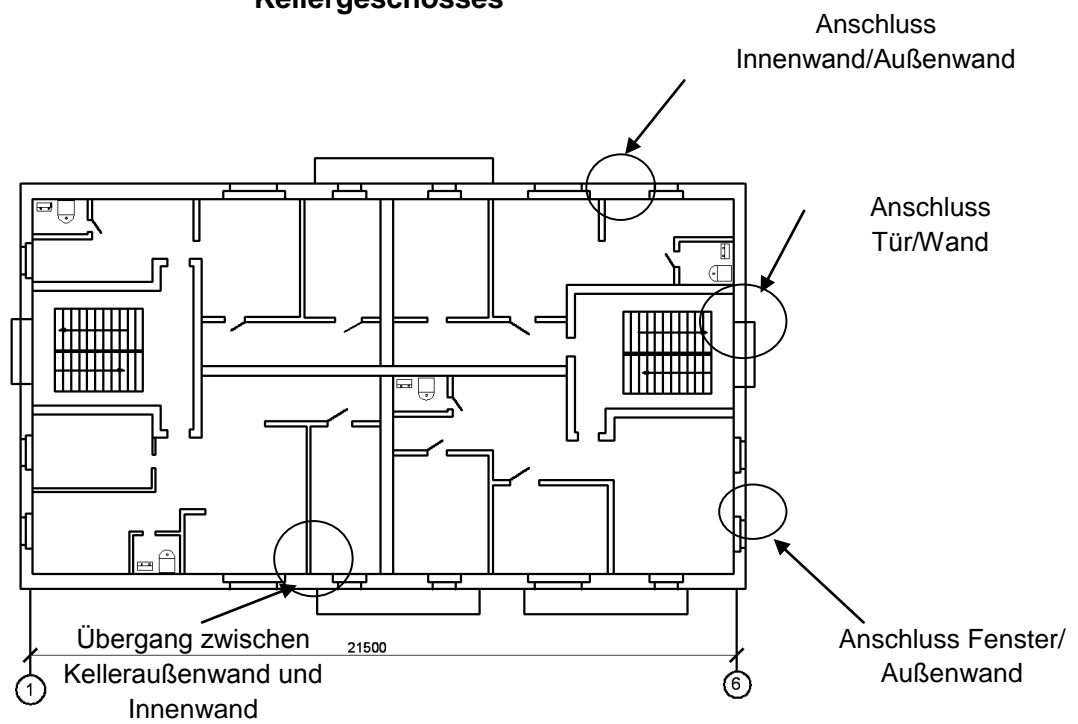


Abbildung 19: Gebäude in Plattenbauweise der 60-en XX: Grundriss eines Erdgeschoss

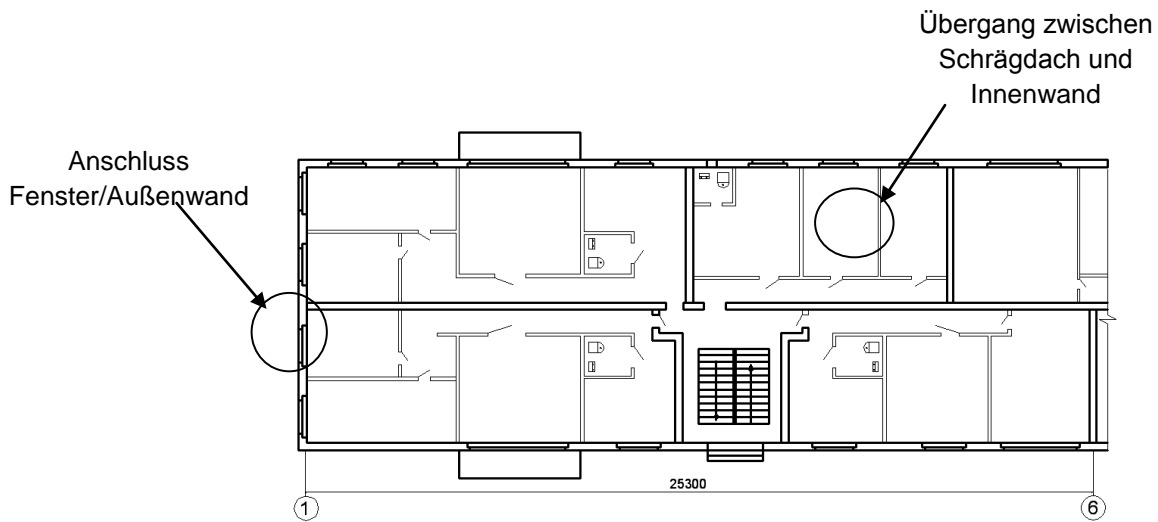
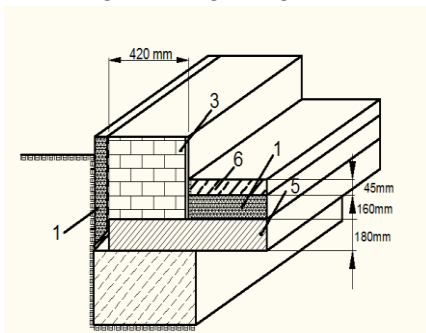


Abbildung 20: Gebäude in Plattenbauweise der 60-en XX: Grundriss eines Obergeschosses

Die oberschriebenen Detailzeichnungen von möglichen Wärmebrücken sind eine Grundlage der konkreten Wärmebrückenberechnung, die eine Bestätigung von Wärmebrückenaufreten geben sollte.

3.4 Berechnung von Wärmebrücken

Berechnung von Wärmebrücken erfolgte anhand Berechnungsprogramms AnTherm. AnTherm ist ein leistungsfähiges Programm zur "Analyse des Thermischen Verhaltens von Bauteilen mit Wärmebrücken und Dampfdiffusionsbrücken". Die Software ist geeignet zur Berechnung von Temperaturverteilungen, Wärmeströmen und Wasserdampf-Diffusionsströmen in Baukonstruktionen beliebiger Formen und beliebiger Materialzusammensetzungen.¹⁷ Es wird einen Anschluss untersucht: Bodenplatte und Kellerwand in einem Siedlungshaus. Detailzeichnungen sind in der Abbildung 21 aufgezeigt.



- 1. Wärmedämmung;
- 3. Kellerwand aus Ziegel;
- 5. Geschossdecke; 6. Estrich.

Abbildung 21: Anschlussdarstellung: Bodenplatte und Kellerwand in einem Siedlungshaus

¹⁷ Kornicki, Tomasz: Dienstleistung in EDV und IT, Wien, Österreich, <http://www.kornicki.com/antherm/>

Ausgangsdaten werden im Anhang B, Tabelle 6 angegeben. Thermischer Leitwert ist im Anhang B, Abbildung 54 aufgeführt. U-Wertberechnungen sind in den Abbildungen 56-57 aufgeführt. Dreidimensionale Bauteilvorstellung sowie Daten über minimalen und maximalen Temperatur auf der Bauteiloberfläche werden auch im Anhang B in den Abbildungen 55 und 53 dementsprechend gegeben. In der Abbildung 22 wird ein Temperaturfeld dargestellt.

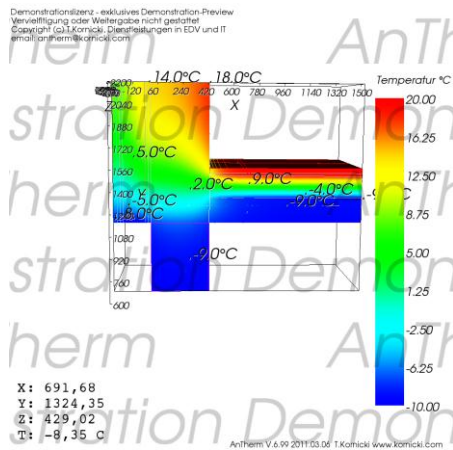


Abbildung 22: Temperaturfelddarstellung

Ergebnisse der Wärmebrückenmodellierung sind in der Tabelle 2 aufgeführt.

**Tabelle 2 –Ergebnisse der Wärmebrückenberechnung für den Anschluss:
Innenwand und Kellerdecke**

Thermischer Leitwert, W/mK	0,801300
Minimale Temperatur der Bauteiloberfläche,°C	13,48
Maximale Temperatur der Bauteiloberfläche,°C	19,33
U-Wert an der betrachteten Stelle, W/m²K	0,1730
Psi-Wert, W/mK	-0,307

Weil die relative Feuchtigkeit im Raum 50% beträgt, ergibt sich der Taupunkt von 9,3°C, das bedeutet, dass die minimale Oberflächentemperatur 13,48 >9,3. Das bedeutet, dass Kondenswasserbildung nicht auftritt.

Zum Schluss kommen wir zur psi-Wertberechnung. In unserem Fall ist psi-Wert gleich -0,307, was feststellt, dass den Anschluss sehr gut gedämmt ist.

Die oben vorgestellten Ergebnisse zeigen darüber hinaus, dass je besser ein Gebäude wärme-und feuchtegedämmt ist, desto niedriger ein Risiko der Wärmebrückenerscheinung ist.

4 Auswertung von feuchtebedingten Bauschäden in Deutschland und in Russland

Überschüssige Feuchte in Gebäuden ist häufig eine Ursache von zahlreichen Bauschäden. Feuchteschäden sind heute ein wesentlicher Anteil von betreffenden Bauschäden in Gebäuden verschiedener Bauweise. Sie werden durch einen Bündel von Ursachen provoziert.

Zu den feuchte-und wärmebrückenbedingten Feuchtigkeitsschäden gehören:

- Verfärbungen infolge Salztransport in Innenräumen durch Wasseraufnahme, Kapillarwasser;
- Schimmelpilz- und Algebildung in Innenräumen;
- Frostschäden, Baustoffzersetzung;
- Tauwasserbildung;
- Korrosion;
- Außenwandsetzungsrissebildung infolge Grundwasser im Fundament bzw. Kellerräume.

Im Rahmen der Master-Arbeit werden nur Bauschäden infolge Salztransports, Schimmelpilz und Algebildung sowie Setzungsrissebildung infolge Grundwasser und Tauwasserschäden ausführlich beurteilt.

4.1. Bauschäden infolge Salztransports

Verfärbungen durch Salzausscheidungen erfolgen immer wenn die Fugen zwischen Baukonstruktionen nicht wasserdicht sind. In solchen Fällen geht Wasser von den befallenen Flächen in die Ausgleichs-oder Gefälleschicht. Wird das Wasser an der Stelle nicht gezielt und vollständig abgeführt, durchfeuchtet es die Mörtelschichten bis zu Sättigung. Dort kann es verdunsten, die darin enthaltenden Salze kristallisieren unter und auf der Bauteiloberfläche, insbesondere auf der Mauerwerkoberfläche, und verursachen fleckige und dunkle Verfärbungen. In nachstehender Abbildung 23 werden Verfärbungen aufgezeigt. Es handelt sich somit um zwei verschiedene Gebäude:



Abbildung 23 :Bauschäden infolge Salztransport: links- Objekt 1, rechts-Objekt 2

Objekt 1: Freistehendes 2-geschossiges Gebäude, dessen Mauerwerk aus Ziegel aufgebaut war. Fassenden waren nicht geputzt. Auf der Außenwandoberfläche wurden lockere wattförmige Ausblühungen und kompakte Salzhäufchen entdeckt.

Objekt 2: Freistehendes 3-geschossiges Gebäude, dessen Mauerwerk aus Ziegel aufgebaut war. Fassenden waren geputzt. Durchschnittliche Dicke der Außenputzbelegung beträgt 20 mm. Auf der Außenwandoberfläche wurden dunkle, feucht aussehende Flecken und Putzausblühungen sowie Putzverwittern entdeckt.

Die an Objekt 1 entdeckte Salzhäufchen und Ausblühungen können über den hydrostatischen Kristallisationsdruck, der in Form von Volumenvergrößerung von gesättigter Salzlösung auf dem Bauteil legt. Die Fugenvergrößerung kann somit durch Wachstumsdruck verursacht werden. Die an Objekt 2 festgestellte Putzverwittern und Putzausblühungen können durch Sättigung von Kapillarwasser entstehen.

Um derartige Bauschäden zu vermeiden, müssen alle Fugen, durch die Salzwassertransport durchgeht einwandfrei entwässert sein.

4.2 Feuchteschäden: Schimmelpilz und Algebildung

Besondere Aufmerksamkeit soll Schimmelpilzbildung geschenkt werden. Für die Schimmelpilzbildung sind folgende Randbedingungen wichtig: Feuchtigkeit, Temperatur, Nahrung und Zeit. Doch die Bandbreite der Randbedingungen selbst zeigt, dass die Wahrscheinlichkeit der Schimmelpilzbildung in jedem Gebäude sehr hoch ist. In der Abbildung 24 werden befallene Schimmelpilzräume aufgezeigt.



Abbildung 24: Schimmelpilzbefall auf der Geschosdecke eines Badezimmers in der Wohngemeinschaft in Russland

Als Grundlage der Schimmelpilzbildungsbeurteilung dienen folgende Annahmen:

- Schimmelpilzbefall tritt meist auf, wenn bauliche Mängel und akuter Schäden vorliegen (einschließlich Neubau-Restfeuchte);
- Das Raumklima hat sich aufgrund einer Sanierungsmaßnahme entscheidend verändert;
- Das Wohnverhalten ist dem technischen Zustand des Gebäudes nicht angepasst.

In nachstehender Abbildung 25 werden Moos- und Algebildung vorgestellt. In den Fassaden treten oftmals unerwartete und unerwünschte Begleiterscheinungen wie Moos, Pilze und Algen. Diese Entwicklung korrespondiert unmittelbar mit der Abnahme des SO₂-Gehalts der Luft. Deshalb sind Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Verminderung des Algenwachstums vorzusehen¹⁸.



Abbildung 25: Ungewünschte Begleiter der Fassaden in Rostov-am-Don: Algen und Moos

¹⁸Kürzel, Helmut: Algebildung auf hochgedämmten Fassaden, <http://www.baufachinformation.de/zeitschriftenartikel.jsp?z=2002069000451>, Abrufdatum: 03.04.2011

Zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung in Gebäuden muss eine Verhinderungsstrategie entwickelt werden, die von den Schimmelpilzwachstumsvoraussetzungen ausgeht und komplexe bauphysikalische Zusammenhänge in einem Gebäude berücksichtigt.

4.3 Setzungsrisse infolge Grundwasser

Risse auf den Außenwänden können auf Grund von ständiger Überfeuchtung von Kellern und Fundamenten entstehen. Das Risiko der statischen Beeinträchtigung des gesamten Gebäudes ist demzufolge sehr groß.

Bei den zu begutachtenden Gebäuden handelt es sich um Bauwerke, die ständig im Keller- und Fundamentbereich befeuchtet wurden. Sie gehören zu einem Gebäudetyp „Bauwerke vor 1917“, „1918-1957“, „Bauwerke 1958-1980“ und „Gebäude seit 2001“. In den Abbildungen 26 und 27 wird das erste Objekt vorgestellt. Gebäudedaten zum Objekt sowie Abbildungen und Daten für andere untersuchten Gebäude werden im Anhang C in Tabellen von 7 bis 11 und in den Abbildungen von 59 bis 65 aufgeführt.



Abbildung 26: Fassade des begutachteten Bauwerks: Bauwerke vor 1917



Abbildung 27: Risse auf den Außenwänden infolge überschüssiger Feuchte in Kellerbereich, Temernitskaya Str., 89, Rostow-on-Don

Analyse von vorhandenen Bauschäden in den vorgestellten Objekten lassen uns vermuten, dass derartige Rissebildungen außer Objekt 5 durch Fundamentsetzung entstehen. Aus unmittelbarer Befragung von Bewohnern erfolgt, dass die Feuchtesituation im Kellerbereich noch schlechter geworden ist. Nach den langwierigen Regen versammelt sich Wasser direkt im Kellerbereich. Manchmal betrug Wasserstand eine Höhe von 1,5 m! Darüber hinaus hat Rostow sehr ungünstige Baugrundverhältnisse, weil das Territorium Rostows fast 100 % von Löß gebildet wurde. Anhand der Software „IAS-Geologische Bedingungen“ wurde eine Gefährdungsklasse von Baugrund sowie eine Grundwassertiefe ermittelt, die in den Abbildungen 28, 29 und 30 aufgezeigt sind.

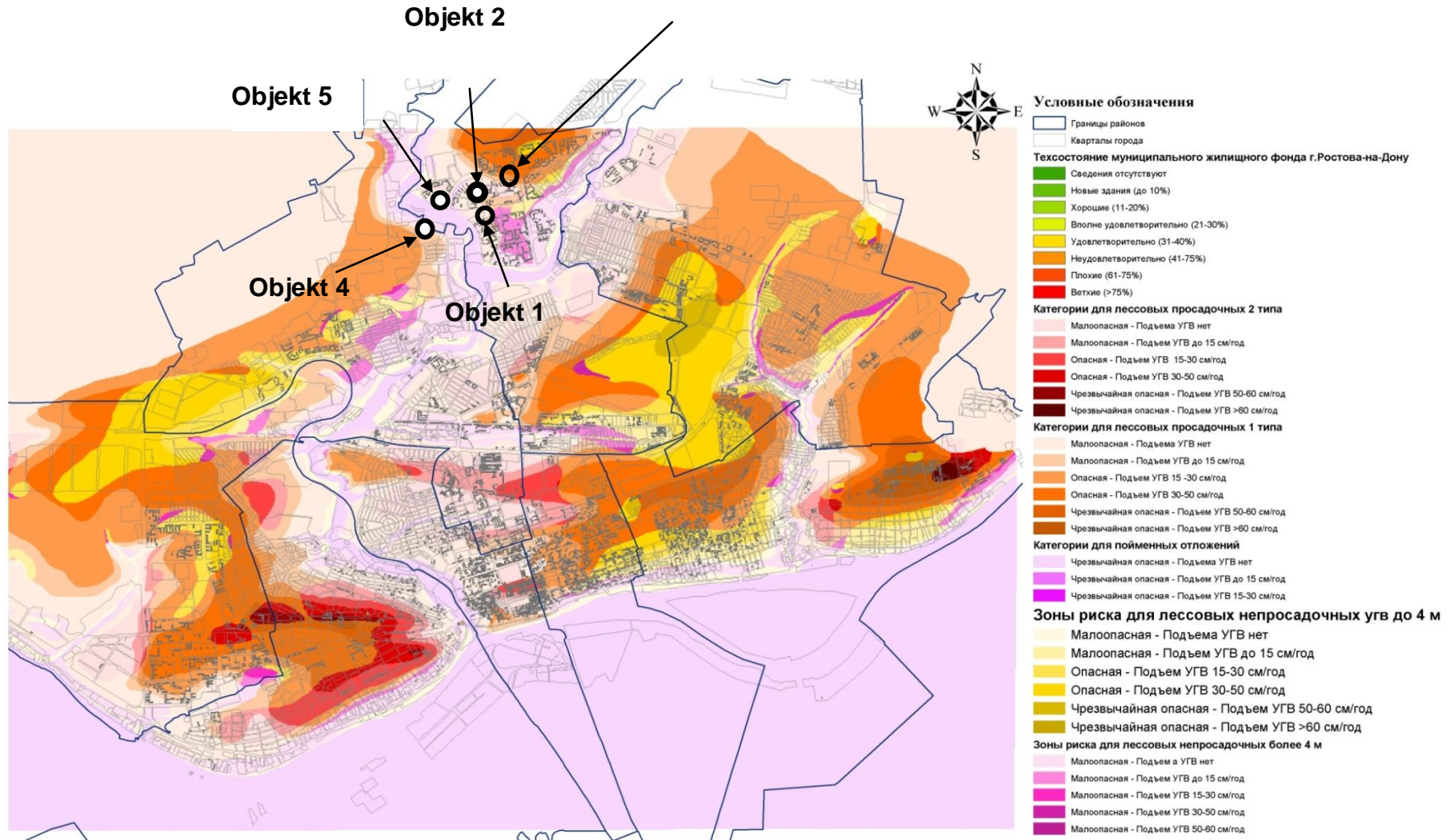
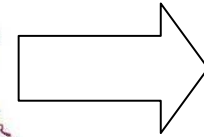


Abbildung 28: Geologische Bedingungen in Rostow-am-Don



Объект 5 Объект 3

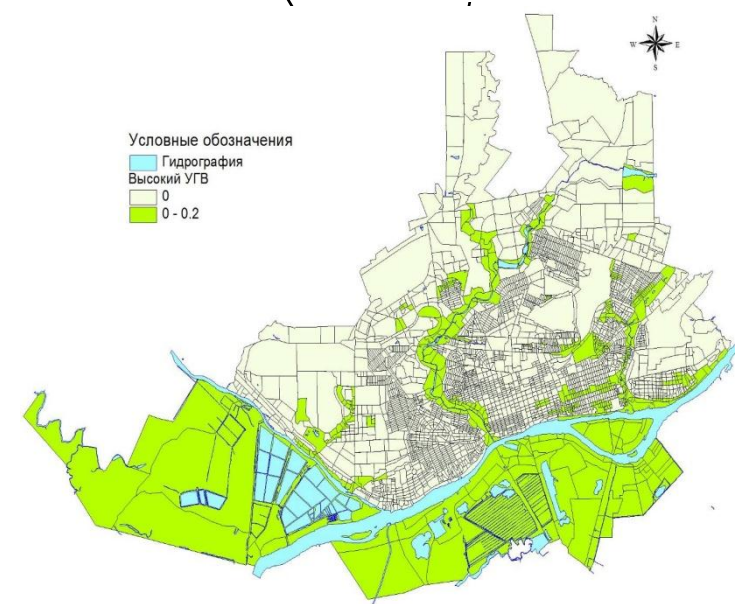


Abbildung 29 :Hydro-geologische Bedingungen in Rostow-am-Don

Abbildung 30 :Hydro-geologische Bedingungen in Rostow-am-Don

Aus den Abbildungen 28, 29 und 30 erfolgt, dass Wassertiefe für zu begutachteten Gebäude beträgt von 2,1 bis 4 m beträgt. Das bedeutet, dass das Risiko der Erhöhung von Wasserstand zum Erdreich sehr hoch ist. Geologische Bedingungen sind auch ungünstig: Klasse der Gefährdung ist hoch. Die durchgeführten Untersuchungen zeigten, dass die Überschwemmungen im Kellerbereich wahrscheinlich die Hauptursache der Fundamentsetzung sind, was direkt zur Wandrissbildung führt.

4. 4 Tauwasserbildung

Entscheidend für das Entstehen von Tauwasser sind die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit. In seiner ursprünglichen Form ist es als Wasserdampf in der Luft enthalten. Je wärmer die Luft ist, desto mehr Wasser kann sie binden. Sinkt die Temperatur, nimmt auch die Wasseraufnahmefähigkeit der Luft bis zu einer Grenze ab, bei der die Feuchtigkeit nicht mehr als Dampf von der Luft gehalten werden kann und zu Tauwassererscheinungen wird.

In der Abbildung 31 werden Tauwassererscheinungen aufgezeigt.



Abbildung 31: Tauwassererscheinungen an der Innenwand

Es ist zu betonen, dass die Bildung von Tauwasser in Wohnräumen verstärkt in den kühleren Jahreszeiten auf tritt: Je niedriger die Außentemperaturen sind, desto größer ist die Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Außenluft und umso stärker fließt Wärme durch Außenwände und Fenster ab. Tauwasserbildung ruft weiter zu Feuchtigkeitsschäden, die durch Stockflecken und Schimmelpilzbildung an inneren Oberflächen von Bauteile ersichtlich sind.

5 Entwicklung eines Simulationsprogramms zur Vermeidung von Bauschäden

Im Rahmen dieser Master-Arbeit ein Simulationsprogramm zur Vorhersage und Vermeidung von Schimmelpilz- und Tauwasserbildung zu entwickeln.

Die Erarbeitung des Simulationsprogramms erfolgte auf der Grundlage des „1C Unternehmen, Version 7.7/8.0 Systemprogrammierung“ Programmkomplexes. „1C Systemprogrammierung“ ermöglicht es, eigenen 1C Programmkomplexbezogenen Informationssystem zu entwickeln. Zu den unbestreitbaren Vorteilen des 1C Systemprogrammierung gehört eben leicht verständige Programmierung eigener Informationssysteme.

Das entwickelte Simulationsprogramm hat folgende Nutzungsmöglichkeiten:

- Festlegung von Bedingungen, die zur Tauwasserbildung führen können;
- Berechnung von Temperaturen in jeder Schicht, falls mehrschalige Konstruktion vorliegt;
- Automatische Berechnung von Wärmeübergangswiderständen der Konstruktionen;
- Leichte automatische Verbindung mit einer Baustoffdatenbank;
- Feststellung von Tauwasserbildungsrisiken;
- Mehrstufige Prüfung von Schimmelpilzbildungsbezogenen Bedingungen;
- Erhaltung von Information, ob Schimmelpilzbildungsrisiko tatsächlich besteht;
- Erstellung von Berichten über vorhandene Pilzarten, ihre Gefährdungsklasse und Folgen.

Als Grundlage der Überlegungen über Tauwasser- und Schimmelpilzproblematik wurde Anforderungen von DIN 4108, Teil 3 „Klimabedingter Feuchteschutz“ eingenommen. Im Anhang D auf dem Schema 1 wird ein Algorithmus für Tauwasservorhersage dargestellt. Als Beispiel für die Prüfberechnung gilt die Aufgabe, deren Ausgangsdaten in der Tabelle 12, die im Anhang D vorgestellt ist.

Der erste Algorithmus beschreibt eine Analyse der Tauwasserbildung. Zuerst stellt das Programm spezifische Felder auszufüllen vor. Diese Felder sind:

- θ_i -Innentemperatur, °C, die aus den vorgestellten Werten ausgewählt werden soll;
- θ_e -Außentemperatur, °C, die selbständig eingegeben werden soll;
- φ ,%-relative Luftfeuchte im Raum, die man auch auswählen soll. In der Abbildung 32 wird ein Eingabefenster vorgestellt.

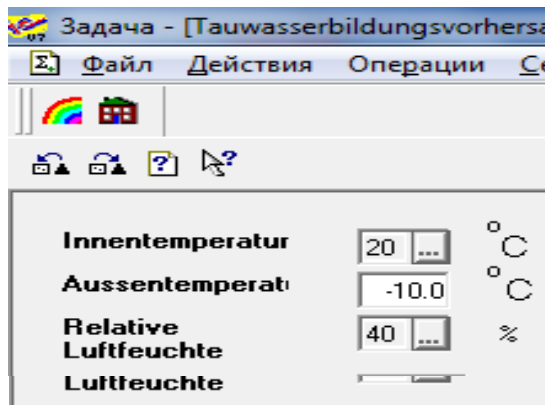


Abbildung 32: Eingabefenster für Tauwasserberechnung

Nach der Eingabe von oberschriebenen Einheiten wird eine Taupunkttemperatur θ_{TWB} in Abhängigkeit von Innentemperatur und relativer Luftfeuchte ermittelt.

Nächster Schritt ist Eingabe von Daten, die zu jeweiligen Schichten der begutachteten Konstruktion gehören. Diese Daten sind Material jeweiliger Schicht und ihre Dicke. Bei dem Anklicken auf das Feld: Material der Schicht kommt eine Verbindung mit einer Materialdatenbank, die Wärmeleitfähigkeit von ausgewählten Baustoffen automatisch bestimmt. Der Datenbankaufbau erfolgte auf der Grundlage der DIN XELLA. Datenbank wird in der Abbildung 33 aufgezeigt.

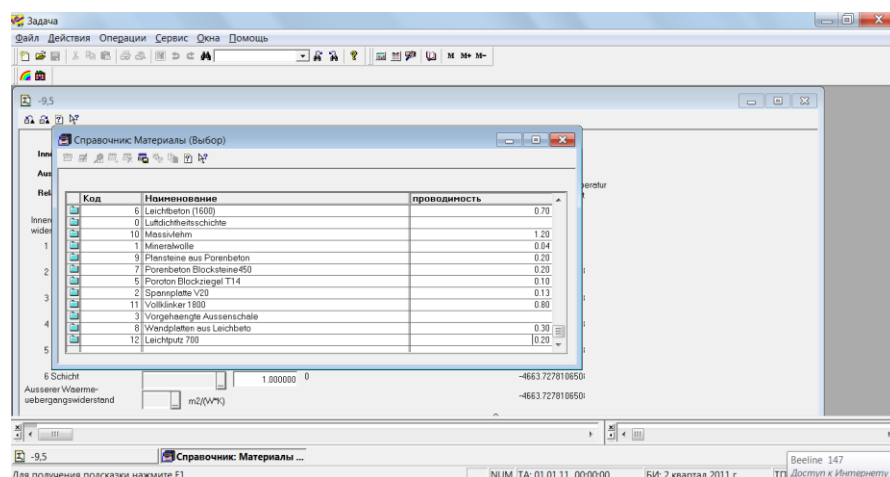


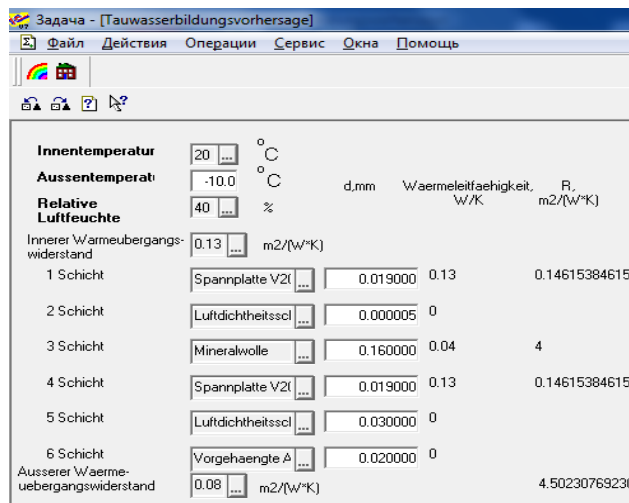
Abbildung 33: Materialdatenbank

Es ist zu beachten, dass eine Nummerierung von Schicht von innen nach außen erfolgt. Kennwerte Wärmeübergang innen (R_{si}) und außen (R_{se}) werden nach DIN EN ISO 6946 ermittelt.

Nächster Schritt ist die Ermittlung der Wärmedurchlasswiderstände jeder Schicht bei mehrschichtiger Konstruktion. Bei homogenen Schichten und Luftschicht im Bauteil wird der Wärmedurchlasswiderstand nach DIN EN ISO 6946:1996-11, 5.1 und 5.3 berechnet. Er wird anhand folgender Formel berechnet:

$$R_i = d / \lambda, \text{ in } m^2 \text{ K/W} \quad (\text{Gl. 3})$$

Die ausführliche Berechnung wurde in der Abbildung 34 vorgestellt.



	d, mm	Wärmeleitfähigkeit, W/K	R_i , m²/(W·K)
Innentemperatur	20		
Aussentemperatur	-10.0		
Relative Luftfeuchte	40		
Innerer Wärmeübergangswiderstand	0.13		
1 Schicht	Spannplatte V2l	0.019000	0.13
2 Schicht	Luftdichtheitsscl	0.000005	0
3 Schicht	Mineralwolle	0.160000	0.04
4 Schicht	Spannplatte V2l	0.019000	0.13
5 Schicht	Luftdichtheitsscl	0.030000	0
6 Schicht	Vorgehaengte Δ	0.020000	0
Ausserer Wärmeübergangswiderstand	0.08		
			4.50230769230

Abbildung 34: Wärmedurchlasswiderstandermittlung

Danach wird eine Summe von Wärmedurchlasswiderständen einschließlich von inneren und äußeren Wärmeübergangswiderständen festgestellt. Schließlich wird automatisch den U-Wert (früher k-Wert), also ein Maß für den Wärmedurchgang durch einen Bauteil berechnet und in $W/(m^2K)$ angegeben. Die einfache Formel ist unter dargestellt:

$$U\text{-Wert} = 1 / \sum R \quad (\text{Gl. 4})$$

Mit dem U-Wert wird also ausgedrückt, welche Leistung pro m^2 des Bauteils auf einer Seite benötigt wird, um eine Temperaturdifferenz von 1 Kelvin aufrecht zu erhalten. Die U-Wertermittlung wird in der Abbildung 35 aufgezeigt.

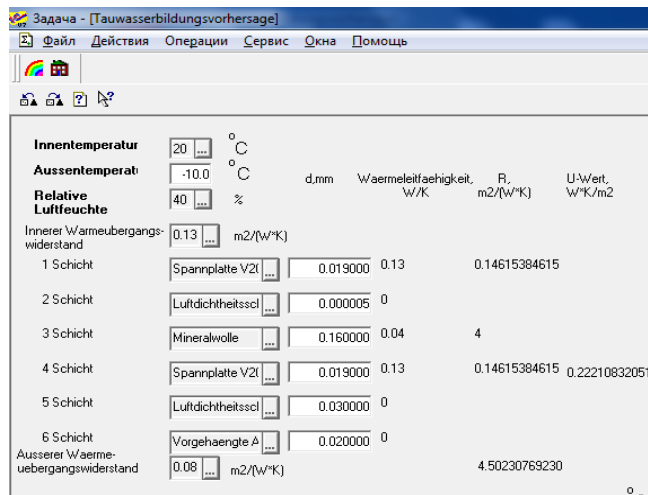


Abbildung 35: U-Wertberechnung

Auf der Grundlage von oben berechneten Kennwerten wird zum Schluss Temperatur jeder Schicht der Konstruktion festgestellt. Die Oberflächentemperatur der Schicht bestimmt sich nach die Formel, die nach DIN 4108-Teil 3: „Klimabedingter Feuchteschutz“ ermittelt werden:

Nach der Feststellung von Oberflächentemperaturen jeder Schicht der Konstruktion erfolgt automatisch ein Vergleich von θ_{TWB} und allen Oberflächentemperaturen. Die Temperaturberechnung sowie der Vergleich von berechneten Ergebnissen erfolgt in nachstehender Abbildung.

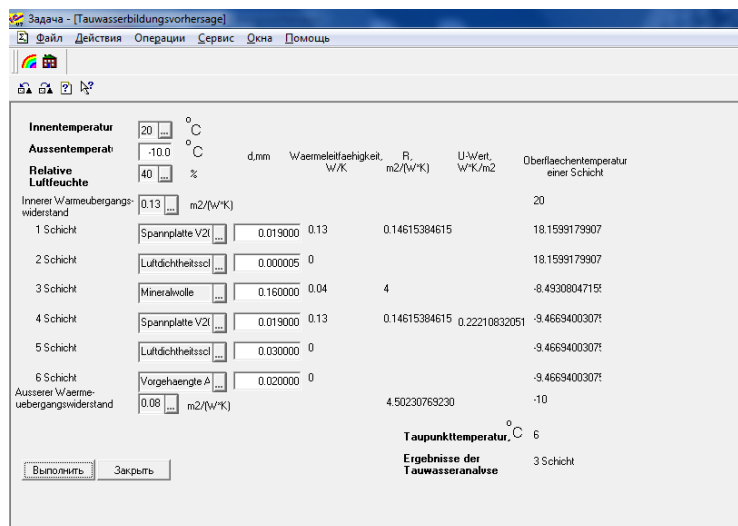


Abbildung 36: Oberflächentemperaturermittlung und Tauwasservorhersage

In unserem Fall tritt das Tauwasser an der Grenze zwischen dritten und vierten Schichten.

Zur Schimmelpilzbildungsuntersuchung ist ein Algorithmus, der im Anhang D auf dem Schema 2 dargestellt wird.

Im Rahmen der Schimmelpilzuntersuchung wird eine Aufgabe berechnet. Ausgangsdaten werden in der Tabelle 3 vorgestellt.

Tabelle 3-Ausgangsdaten zur Schimmelpilzuntersuchung

Namen der Kenngrößen	Wert
θ_i -Innentemperatur, °C	22
pH-Wert	5,5
Substrat	Innenputz
φ , %-relative Luftfeuchte	70

Schadenanalyse erfolgt in folgenden Schritten:

Schritt 1: Erforderliche Daten sollen in Pflichtfelder eingegeben werden:

- θ_i -Innentemperatur, °C, die eingegeben werden soll;
- pH-Wert, der auch eingegeben werden soll;
- Substrat-Art des Materials, das untersucht werden soll, wird aus den angegebenen Felder gewählt;
- φ , %-relative Luftfeuchte im Raum, die auch auswählen werden soll.

Schritt 2: Nach der Eingabe von gefragten Werten erfolgt dreistufige Berechnung von Risiko der Schimmelpilzbildung;

Zur Schimmelpilzbildung gelten folgende Voraussetzungen:

- Wenn die nach Formel berechnete Temperatur innerhalb der Randbedingungen [-8;60] liegt→Risiko der Schimmelpilzbildung;
- Wenn die relative Feuchte innerhalb der Randbedingungen [70;100] liegt→Risiko der Schimmelpilzbildung;
- Wenn pH-Wert innerhalb der Randbedingungen [2;11] liegt→Risiko der Schimmelpilzbildung¹⁹;

In der Abbildung 37 wird das Ergebnis der mehrstufigen Berechnung aufgezeigt.

¹⁹ Bieberstein, Horst: Schimmelpilze in Wohnräumen– was ist zu tun?, Alpha & Omega-Verlag, Stuttgart 1995

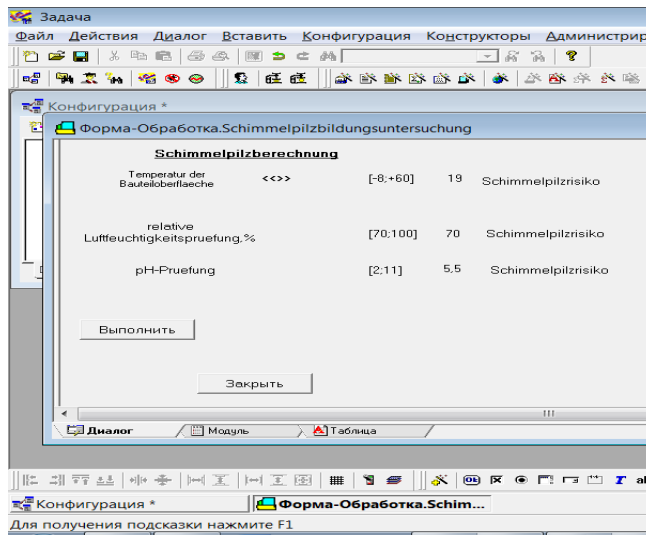


Abbildung 37: Schimmelpilzbildungsprüfung

Schritt 3: Falls Berechnungen sagen, dass das Risiko der Schimmelpilzbildung besteht, wird ein Bericht anhand der Integration mit Schimmelpilzdatenbank erstellt. Er gibt eine Ausführliche Information über Schimmelpilzarten, ihre Gefährdungsklasse nach LGA Stuttgart und mögliche negative Auswirkungen. In der Abbildung 38 wird der Bericht über Pilzarten, ihre Gefährdungsklassen²⁰ und möglichen Auswirkungen gegeben²¹.

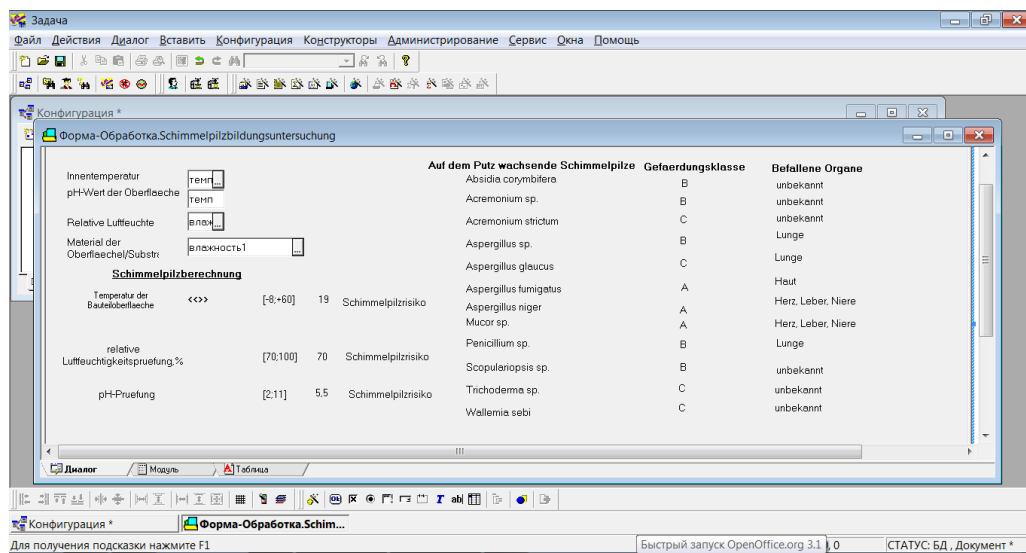


Abbildung 38: Daten über Pilzarten, Gefährdungsklassen und Auswirkungen

Aus der Abbildung 38 erfolgt, dass folgende Pilzarten auf dem Innenputz wachsen: Absidia corymbifera (B), Acremonium sp.(B), Acremonium strictum (C), Aspergillus sp.

²⁰ Landesgesundheitsamt (LGA) Stuttgart: Probenaufarbeitung und Nachweisverfahren von Schimmelpilzen und deren Stoffwechselprodukten im Innenraum, 2001;

²¹ Senkpiel, K.laus; Ohgke, Helge.: Beurteilung der „Schimmelpilz“-Sporenkonzentration in der Innenraumluft und ihre gesundheitlichen Auswirkungen, gi. Gesundheits-Ingenieur 1992

(B), *Aspergillus glaucus* (C), *Aspergillus fumigatus* (A), *Aspergillus niger* (A), *Mucor* sp. (A), *Penicillium* sp. (B), *Scopulariopsis* sp. (B), *Trichoderma* sp. (C), *Wallemia sebi* (C).

Gefährdungsklasse wird nach Landesgesundheitsamt Stuttgart auf folgende Weise beurteilt:

A-Pilz ist toxisch und darf in einem Wohnraum nicht auftreten;

B-Pilz ist bei langer Expositionszeit gesundheitsgefährdend, allergisierend oder pathogen;

C-Pilz ist nicht gesundheitsgefährdend, führt aber zu wirtschaftlichem Schaden.

Die durchgeführten Berechnungen von vorgeschlagenen Beispielen zeigten, dass das Simulationsprogramm allen oberschriebene Nutzungsmöglichkeiten entsprechen. Anwendung dieses Programm kann Tauwasser-und Schimmelpilzbildung leicht vermeiden.

6 Entwicklung von Konzepten und Handlungsanweisungen zur Vermeidung von Bauschäden

6.1 Vermeidung und Beseitigung von salztransportbedingten Bauschäden

Im Kapitel 4.1 wurden zwei beispielhafte Bauschäden infolge Salzwassertransports beschrieben.

Die schädigende Wirkung der Salze ist prinzipiell bei allen Salzarten die gleiche. Die im Wasser gelösten Salze werden durch Kapillarkräfte in eine Kristallisationsebene transportiert, in der das Wasser verdunstet und die Salze auskristallisieren, wobei sie ihr Volumen teilweise erheblich vergrößern. Da durch die Größe der Kapillaren die Volumenzunahme begrenzt wird, entsteht in den Baustoffen ein derart hoher Druck der so stark ansteigen kann, dass er die Festigkeit des Baustoffs überschreitet und somit den Baustoff zerstören kann²².

Egal ob Vermeidung oder Beseitigung von salztransportbedingten Bauschäden erfolgt, soll eine umfassende Analyse von vorliegenden Bauschäden durchgeführt werden. Das heißt, es muss eine einwandfreie Schadensanalyse vorliegen, bevor mit den Arbeiten begonnen wird. Diese Schadensanalyse muss folgende Detailpunkte enthalten:

1. Art und Umfang der Schäden sowie auslösenden Feuchtigkeitsquellen und bereits erfolgte Sanierungen.
2. Ermittlung von Feuchtigkeitsmessungen sowie Art und Gehalt der Salze im Untergrund;
3. Beurteilung des Baugrundes und der Grundwasserverhältnisse.

Danach teilen sich alle Maßnahmen auf Vermeidung und Beseitigung. Folgende Maßnahmen sind bei der Beseitigung von Salzschäden durchzuführen:

Beseitigung der Feuchtigkeitsquellen: Zur Beseitigung von Feuchtigkeitsquellen muss selbstverständlich eine umfassende Analyse mit der Zielsetzung Feuchtigkeitsursachen festzustellen. Nicht nur technische Aspekte von Bedeutung sind, sondern auch wirtschaftliche und nutzungsspezifische betrachtet werden müssen. Nach der Feuchtigkeitsursachefeststellung erfolgt eine Wahl geeigneter Beseitigungsmaßnahmen. Wenn die kapillar aufstehende Feuchtigkeit als Ursache gegeben hat, sind horizontale Abdichtungsmaßnahmen in Anwendung kommen.

²² Terheiden, Kristina: Feuchte- und Salztransport Charakterisierung der Interaktion zwischen Porenfluid und porösem Bauwerkstoff, 1. Aufl., CUVILLIER Verlag, Göttingen 2007

Austrocknung des Bauwerks: Die Austrocknungszeit ist hierbei von Ausgangszustand der Durchfeuchtung, dem möglichen Luftwechsel und von der Größe der Verdunstungsfläche sowie den klimatischen Randbedingungen wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftbewegung abhängig. Mikrowellentrocknungsgeräte, die mit einer genehmigten Frequenz arbeiten müssen, erwärmen das im Bauwerk vorhandene Wasser. Die Trocknung über Verdunstung erfolgt hierbei von innen nach außen²³.

Maßnahmen gegen die schädigende Wirkung der bauschädlichen Sätze: Nach der Trockenlegung des Mauerwerks kann die eigentliche Sanierung des Mauerwerks erfolgen. Hierzu müssen die bauschädigenden Salze aus dem Mauerwerk entfernt werden. Unter sind praktisch alle Maßnahmen zur Beseitigung von salzschädigender Wirkung angewiesen.

1. Kompressen: Sie sind zerstörungsarm und auf Dauer einer effektiven Schadsalzreduzierung begrenzt. Dicke der Kompressen ist 2-5 cm. Bei der dauernassen Kompressenentsalzung wird den schadstoffbelasteten Untergrund eine Komresse aufgetragen;
2. Opferputze: Dabei handelt es sich um hydraulisch bzw. carbonatisch gebundene Putzmörtel, welche neben der Schadreduzierung auch eine gestalterische Funktion besitzt;
3. Materialaustausch: salzbelastete Materialien von Bauteilen werden ausgetauscht. Bei tragenden Bauteilen oder größeren Flächen sowie bei denkmalgeschützten Gebäuden kommt dieses Verfahren meist nicht in Betracht;
4. Sanierungsputzsystem: Es basiert auf der Schaffung eines großen Porenraums in der Verdunstungszone des Putzes, so dass einer Schädigung durch das Wechselspiel zwischen Lösen und Auskristallisieren;
5. Elektrophysikalisches Verfahren: es erfolgt durch Anlegen Gleichspannung wandern Anionen, zum Beispiel Cl^- , SO_4^{2-} zur Anode und Kationen wie Na^+ , Mg^{2+} zur Kathode. Nachteilig ist damit, dass Korrosion von Metallleitungen möglich ist.
6. Injektionskompressen: Die Wirkungsweise basiert auf Zuführung von Wasser über Bohrungen, Salzverdunstung in mit Packern befestigten Kompressen. Diese Methode findet ihre Anwendung bei Mauerwerken mit engem, regelmäßigem Fugensystem oder verputztem Mauerwerk.

²³ Bonk, Michael/Cziesielski, Erich: Lufsky Bauwerksabdichtung, 7. Aufl., Vieweg+Teubnerverlag, Wiesbaden 2007

Für das Objekt 2 kann unserer Ansicht nach ein Sanierungsputzsystem verwendet werden. Die Wirkungsweise der ein- und zweischichtigen Sanierputze beruht darauf, dass eine gewisse kapillare Saugfähigkeit im Putzsystem erhalten bleibt, um vorhandene Salze in das Putzsystem zu transportieren.

6.2 Vermeidung und Beseitigung von Schimmelpilzbildung

Feuchtigkeit ist die wesentliche Grundvoraussetzung für Schimmelpilzbefall. Für eine nachhaltige Sanierung ist es daher wesentlich die Ursache der Feuchtigkeit zu erkennen und zu beseitigen. Für das ausgewählte Beispiel im Punkt 4.2 tritt Schimmelpilzbefall auf der Ecke eines Wohnzimmers auf.

Im Kapitel 5 wird Schimmelpilzbildung untersucht. An Innenputz wachsen Pilzarten, die in der Tabelle 13 im Anhang E kurz vorgestellt sind.

Nehmen wir ein, dass *Aspergillus fumigatus* in unserem Beispiel festgelegt wurde. Sie Gefährdungsklasse ist „A“ und das heißt, dass Pilz toxisch und in einem Wohnraum nicht auftreten darf. Die Vorgehensweise zur Schimmelpilzbeseitigung soll folgende Schritte umfassen, die in der Abbildung 39 vorgestellt sind.

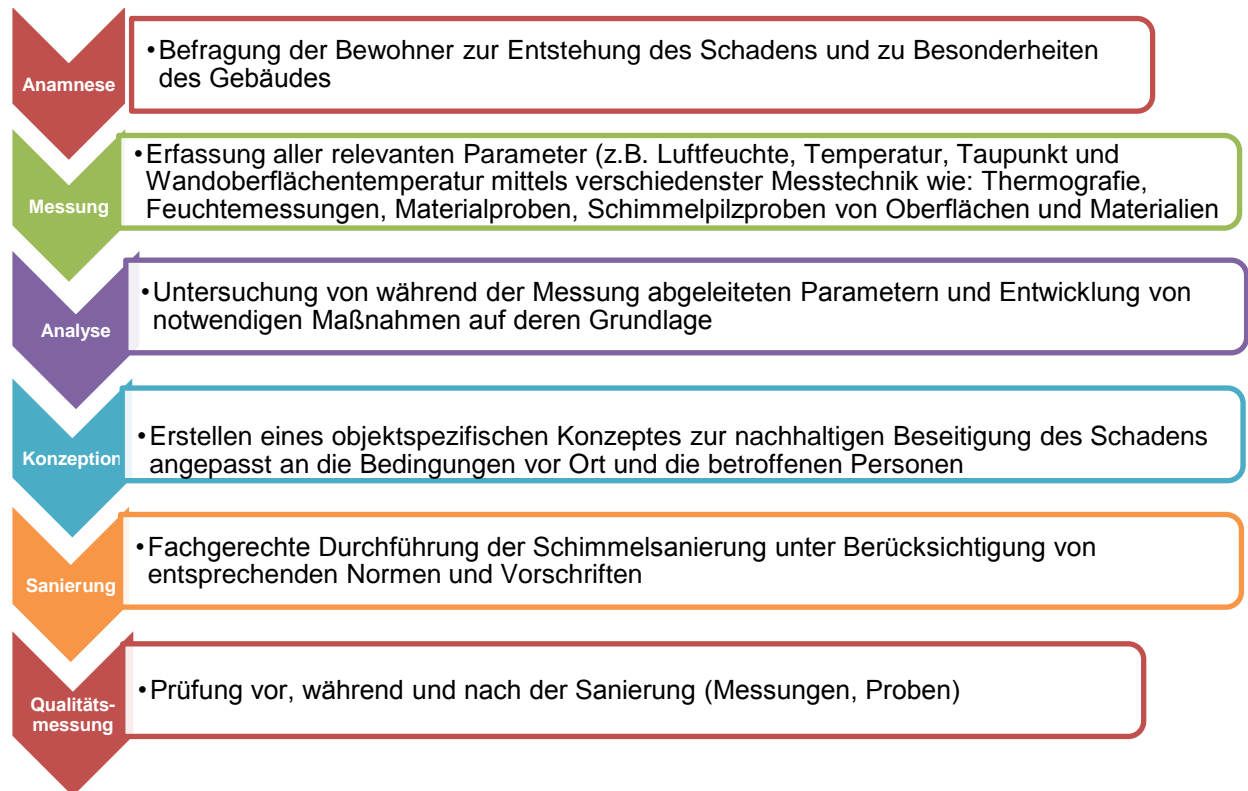


Abbildung 39: Vorgehensweise zur Beseitigung von Schimmelpilzbildung

Zuerst müssen alle Ursachen festgestellt und beseitigt werden. Die Prüfung der Befallstiefe kann z. B. durch mikroskopische Untersuchung einer Probe erfolgen.

Zur Schimmelpilz in unserem Beispiel gibt es folgende Ursachen:

- 1) **Hohe Raumlufffeuchtigkeit:** Maßnahmen zur Ursachenbeseitigung sind durchzuführen-Absenkung der relativen Luftfeuchtigkeit bis etwa 50%;
- 2) **Hohe Feuchtigkeitsproduktion:** Begrenzung des anhaftendes Wasser an der Duschwand durch regelmäßige Trocknung von Duschen;
- 3) **Wärmebrücken:** Durchführung von wärmeschutztechnischen Maßnahmen, die den hygrothermischen Verhältnissen des Bauwerks unter Einhaltung von Anforderungen von DIN 4108-2 anpassen.

Bevor die unmittelbare Beseitigung von Schimmelpilz angefangen wird, sollen Arbeitsschutzmaßnahmen durchgeführt werden. Arbeitsschutzmaßnahmen können sich auf technische, organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen aufteilen. Alle Arbeitsschutzmaßnahmen sollen unter Einhaltung von technischen

Regeln für biologische Arbeitsstoffe (TRBA 500 „Hygienemaßnahmen: Mindestanforderungen“ und TRBS 540 „Sensibilisierende Stoffe“) erfolgen.²⁴

Unmittelbare Sanierungsmaßnahmen müssen nach DIN 68 800-Teil 4 vorgenommen werden.

- 1) Oberflächenmycelien, Stränge entfernen.
- 2) Befallene Hölzer bis 1 m über den sichtbaren Befall hinaus als Sicherheitsabstand entfernen. Neues Holz chemisch schützen;
- 3) Putz vom Mauerwerk abnehmen und losen Mörtel entfernen;
- 4) Pilze im Mauerwerk chemisch behandeln;
- 5) Kleine Hohlräume untersuchen;
- 6) Durchwachsene Schüttungen mit einem Sicherheitsabstand von 1,5 zum Befall entfernen;
- 7) Angrenzende Räume untersuchen;

²⁴ Technische Regeln für biologische Arbeitsstoffe 500 (TRBA); „Allgemeine Hygienemaßnahmen: Mindestanforderungen“ in der Fassung von 29.03.2000;

- 8) Ursache der erhöhten Feuchtigkeit erforschen und beseitigen, Gebäude auch nach der Sanierung austrocknen;
- 9) Mauern mit Schwammsperrmittel streichen;
- 10) Fachgerechte Entsorgung des „befallenen“ Materials²⁵.

Es ist zu betonen, dass die nachhaltige Durchführung von Sanierungsmaßnahmen nur unter Berücksichtigung von Gefährdungsklasse auftretender Schimmelpilze möglich ist.

6.4 Vermeidung und Beseitigung von Tauwasserbildungsschäden

Um Tauwasser zu vermeiden bzw. beseitigen sind aus allen die für Tauwasser zuständigen Parametern auszugehen:

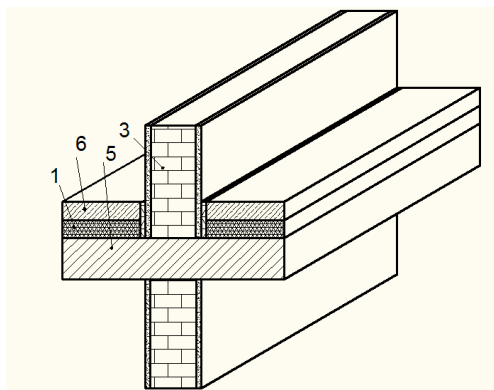
1. Temperatur: Erhöhung die Oberflächentemperatur durch Heizung von 20 bis 21°C;
2. Luftfeuchtigkeit: Lüften zur Erreichung von 30-50 % relative Luftfeuchtigkeit;
3. Wärmebrücken, die kältere Temperaturen und somit erhöhte Transmissionswärmeverluste verursachen: Vermeidung bzw. Beseitigung von Wärmebrücken.

Empfehlenswert ist Durchführung von Vermeidungs-und Beseitigungsmaßnahmen in folgender Reihenfolge zu machen.

- 1) Zuerst müssen alle Ursachen festgestellt und beseitigt werden. Verfärbungen von Bauteilen, aufstehendes Wasser im Innenputz oder Tapeten sowie Schimmel sind oftmals Folgen von Kondenswasser. Die Prüfung der Befallstiefe von Schimmelpilzen kann z. B. durch mikroskopische Untersuchung einer Probe erfolgen. Darüber hinaus ist es bei der Feststellung von möglichen Ursachen manchmal notwendig, Bewohner direkt zu fragen.
 - 2) Bevor die unmittelbare Beseitigung von Tauwasser angefangen wird, sollen beim Bedarf, zum Beispiel bei Schimmelpilzbildung Arbeitsschutzmaßnahmen durchgeführt werden.
 - 3) Danach erfolgt eine Analyse von Ursachen und Erarbeitung von konkreten individuellen Sanierungsmaßnahmen;
-

- 4) Nach der Analyse kommt fachgerechte Durchführung von Vermeidungs-bzw. Sanierungsmaßnahmen;
- 5) Nach der Beendigung von Sanierungs-oder Vermeidungsmaßnahmen ist es zu prüfen, ob alle Maßnahmen mit vorgesehener Qualität durchgesetzt sind.

Beim begutachteten Objekt handelt es sich um ein 3-geschossiges Wohngebäude (Baujahr 1967), in dem unmittelbar im Wohnzimmer im Erdgeschoss Tauwasser auftritt. Der Anschluss, in dem unserer Ansicht nach, Wärmebrücken auftreten können, ist in der Abbildung 40 aufgezeigt.



1. Wärmedämmung;
3. Innenwand;
5. Kellerdecke;
6. Estrich

Abbildung 40: Anschluss Kellerdecke und Innenwand im Wohnzimmer

Nach der sorgfältigen Untersuchung von möglichen Ursachen des Tauwasserauftretens wurden folgende Merkmale angewiesen: Bei der Innentemperatur von 20°C und relativer Luftfeuchtigkeit von 70 % entstehen an der Ecke der Innenwände im Anschlussbereich von Innenwand und Kellerdecke Tauwasserfolgen. Im Anhang E werden die Tabelle 15 Ausgangsdaten vorgestellt. Die berechnete Temperaturfelder vor und nach der Sanierung in den Abbildungen 68, 69 im Anhang E dementsprechend aufgeführt. Nach der Berechnung in AnTherm liegen folgende Ergebnisse vor, die in der Tabelle 4 aufgezeigt sind.

Tabelle 4: Ergebnisse der Berechnung von Anschluss: Innenwand/Kellerdecke

Parameter	Einheit	Wert
Berechnete relative Grenzfeuchtigkeit im Wohnzimmer	%	69,49
Minimale Oberflächentemperatur	°C	14,25
Maximale Oberflächentemperatur	°C	19,32
Taupunkttemperatur	°C	14,4

Beim Vergleich der minimalen Oberflächentemperatur und der Taupunkttemperatur ergibt sich folgendes Ergebnis: $14,25 < 14,4$, das heißt, dass im betrachteten Bereich tritt das Kondenswasser auf.

Um die Temperatur im Wohnraum zu erhöhen, werden Maßnahmen zur Verbesserung von Wärmeschutz einerseits und gleichzeitig Behebung von Wärmebrücken andererseits vorgenommen. Für die Verbesserung von wärmeschutztechnischen Eigenschaften des Raums wurde eine Dicke von Wärmedämmung von 160 mm bis 220 mm eingenommen und durch ein verbessertes Heizungssystem die durchschnittliche Innentemperatur von 20°C bis 22°C erreicht. Darüber hinaus wurde relative Luftfeuchte zum durchschnittlichen Wert von 50,3 % geführt. Nach der nachfolgender Berechnung in AnTherm liegen folgende Ergebnisse vor, die in der Tabelle 5 aufgezeigt sind.

Tabelle 5– Ergebnisse der Anschluss: Innenwand/Kellerdeckenachberechnung nach der Sanierung

Parameter	Einheit	Wert
Berechnete relative Grenzfeuchtigkeit im Wohnzimmer	%	68,19
Minimale Oberflächentemperatur	$^{\circ}\text{C}$	15,87
Maximale Oberflächentemperatur	$^{\circ}\text{C}$	21,28
Taupunkttemperatur	$^{\circ}\text{C}$	15,64

Beim Vergleich der minimalen Oberflächentemperatur und der Taupunkttemperatur ergibt sich folgendes Ergebnis: $15,87 > 15,64$, das heißt, dass im betrachteten Bereich tritt das Kondenswasser nicht auf.

Der Vergleich von anfänglichen Parametern mit denen, die sich nach der Vermeidung- bzw. Beseitigungsmaßnahmen ergeben, kann wie Qualitätsmessung gelten, obwohl Qualitätskontrolle nach jedem Schritt der Sanierung zu erfolgen ist.

Zusammenfassung

Bauschäden, insbesondere infolge Feuchtigkeit und Wärmebrücken, gewinnen mehr an Bedeutung und haben in letzter Zeit von sich reden gemacht. Im Vordergrund sind dabei nicht nur erhebliche Beseitigungs- bzw. Vermeidungskosten, sondern die Gesundheit von Bewohnern beim Schimmelpilzbefall und sogar Leben hunderter Menschen bei den Bauwerkseinstürzen. Solche tragische Fälle wie Einsturz von Basmanij Markt in Moskau (2006), Einsturz der Eislaufhalle in Bad Reichenhall (2006) und andere katastrophale Beispiele haben uns gezeigt, dass Bauschäden große Aufmerksamkeit brauchen. Deswegen sollte die Qualität der baulichen Arbeiten unter starke Kontrolle liegen um negative Auswirkungen zu vermeiden. Im Rahmen der Master-Arbeit wurden solche Folgeschäden wie Salzsäuren, Setzungsrisse infolge Grundwasser, Kondenswasserbildung, Frostschäden und Schimmelpilz sowie Korrosionsschäden betrachtet. Für die Tauwasserschäden, Schimmelpilz sowie Salzsäuren wurden objektspezifische Strategie zur nachhaltigen Sanierung und Vermeidung erarbeitet. Als wichtigstes Instrumentarium zur Vermeidung von Feuchteschäden gilt dazu entwickeltes Simulationsprogramm, dass auf der Grundlage von „1 C Programmierungskomplex“ programmiert wurde, dass eine Vorhersage von Schimmelpilz- und Tauwasserbildung abwickelt.

Die Betrachtung der Problematik von feuchtebedingten Bauschäden aus der russischen und deutschen wissenschaftlichen Sicht verleiht ein besonders Interesse der Arbeit. Trotz der großen Unterschiede von beiden Ländern ist es zu bemerken, dass feuchte- sowie wärmebrückenbedingter Schadensbilder in beiden Ländern ähnlich betrachtet werden. Wichtigste Formellen und Begriffe wie Wärmeleitfähigkeit, Wärmedurchlasswiderstand, Wärmebrücke usw. weisen auch eine geprägte Ähnlichkeit auf. Hauptunterschiede liegen bei den wärmeschutztechnischen Anforderungen, wie zum Beispiel die für energieeffiziente Bauten normierte Heizlast usw. Die Anwendung erneubarer Energiequellen wie Windkraft, geothermische Energie, Biogas sind schon in der Energieeinsparverordnung. In Russland ist das nicht gesetzlich geregelt.

Zur Vermeidung von Schimmelpilz- und Tauwasserschäden sowie anderen Feuchte- und wärmebrückenbedingten Schäden soll eine individuelle Verhinderungsstrategie entwickelt werden, die im Fall von Schimmelpilz von Wachstumsvoraussetzungen und konkreten bauphysikalischen Bedingungen ausgehen sollte. Bei Schimmelpilzuntersuchung haben folgende Voraussetzungen angewiesen: Temperatur, relative Feuchtigkeit und Substrat. Wenn das zu begutachtende Objekt

solche Temperatur-, Feuchtwerte aufwies, die im Intervall von Schimmelpilzwachstumsvoraussetzungen liegen, treten Schimmel auf. Diese Besonderheiten sollen zur Entwicklung von Sanierungsmaßnahmen zu Grunde gelegt werden.

Für Tauwasserbildungen hat es sich gezeigt, dass relative Luftfeuchtigkeit und Innentemperatur sowie Wärmeschutztechnische Eigenschaften von Baumaterialien und Oberflächentemperatur wichtigste Kenngröße, die geschickt verwaltet werden sollten um Kondenswasser zu vermeiden.

Die rechnerische Beurteilung, ob Wärmebrücken vorliegen oder nicht, erfolgte auf der Grundlage von Wärmebrückenberechnungsprogramm AnTherm, das eine ausführliche Information über wichtigsten bauphysikalischen Kenngrößen bereitstellt. Dafür werden Detailzeichnungen und notwendigen Vorberechnungen durchgeführt.

Um die Feuchteproblematik besser zu verstehen, werden typische Gebäude für Russland und Deutschland zusammen mit ihren wärme- und feuchteschutztechnischen Besonderheiten beschrieben und in den mehreren Abbildungen aufgezeigt.

Darüber hinaus werden Handlungsempfehlungen für Tauwasser-, Schimmelpilz- und Salzsäuren erarbeitet, die Schritt für Schritt notwendige Maßnahmen vorschlagen und ausführliche Information über ihre Durchführung bieten. Gerade diese einfachen und konkreten Maßnahmen lassen bei der Planung von Sanierungsmaßnahmen bauliche Fehler vermeiden und somit eine gute Voraussetzung von Feuchteschädenbehebung zu schaffen.

Anhang A

Voraussichtliche Wärmebrücken im Kellergeschoss für Siedlungshaus

1. Übergang zwischen Fundament und Kellerwand: Im Anschlussbereich sind einerseits unterschiedliche Konstruktionen und andererseits Bereich mit relativ niedrigeren Temperaturen. Die nachstehende Abbildung zeigt den beschriebenen Übergang.

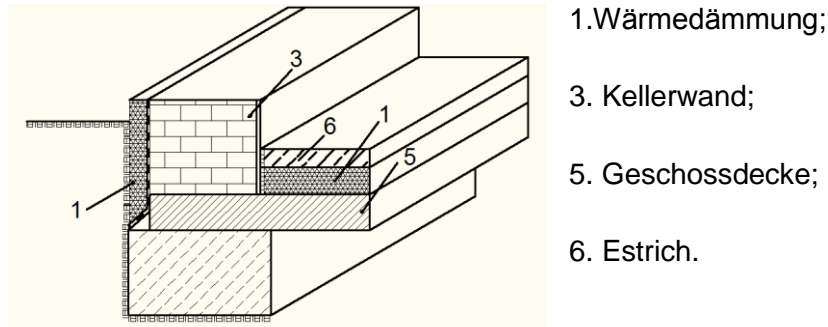


Abbildung 41: Anschluss: Bodenplatte und Kelleraußenwand für Siedlungshaus

2. Anschluss Kellerdecke und Innenwand: Bereich der geometriebedingte Wärmebrücken und falls Materiale der Innen- und Außenwandkonstruktionen sich unterscheiden-materialbedingte Wärmebrücken. Den Anschluss wird in der Abbildung 43 aufgezeigt.

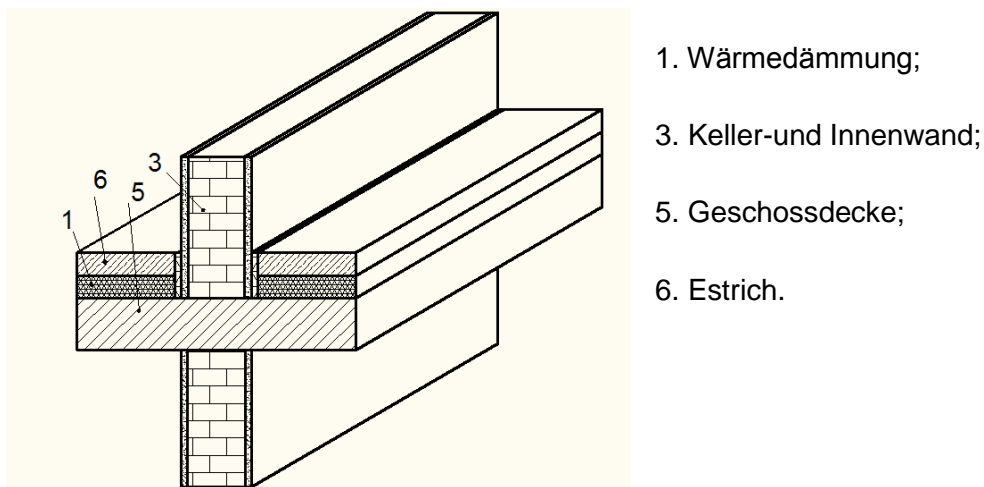
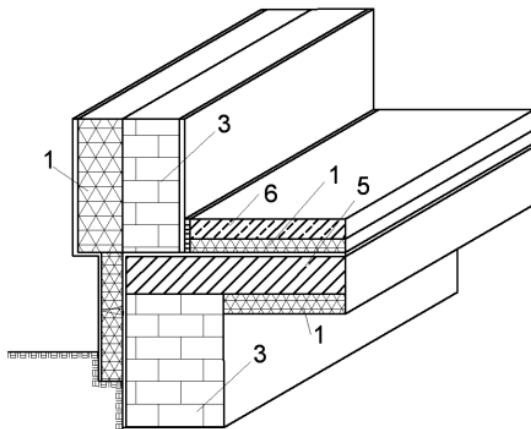


Abbildung 42: Anschluss: Kellerdecke und Innenwand für Siedlungshaus

Voraussichtliche Wärmebrücken im Erdgeschoss:

1. Übergang zwischen Kellerdecke und Außenwand: Der Übergang zwischen Kelleraußen und Innenwand kennzeichnet sich durch niedrigere Temperatur im

Anschlussbereich, insbesondere wenn Keller unbeheizt ist. Die Abbildung 44 zeigt den Übergang zwischen Kellerdecke und Außenwand.

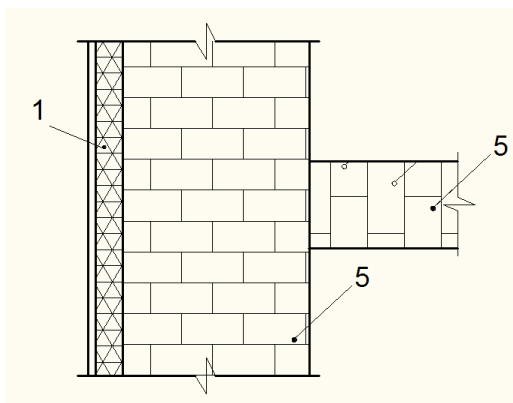


- 1. Wärmedämmung;
- 3. Außenwand;
- 5. Geschossdecke;
- 6. Estrich.

Abbildung 43: Anschluss: Kellerdecke und Außenwand für Siedlungshaus

2. Anschluss Innenwand/Außenwand: Es geht um sowohl eine materialbedingte Wärmebrücke als auch geometriebedingte Wärmebrücke, weil sich zwei Konstruktionen mit unterschiedlichen Dicken und innen Oberflächentemperaturen anschließen. In der Abbildung 45 wird den oberbeschriebenen Anschluss aufgezeigt.

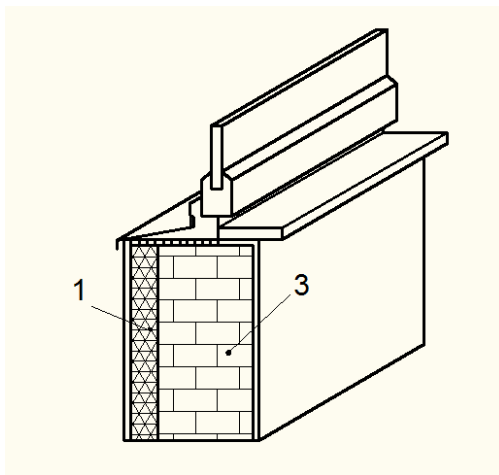
1. Wärmedämmung;



5. Mauerwerk.

Abbildung 44: Anschluss Innenwand/Außenwand für Siedlungshaus

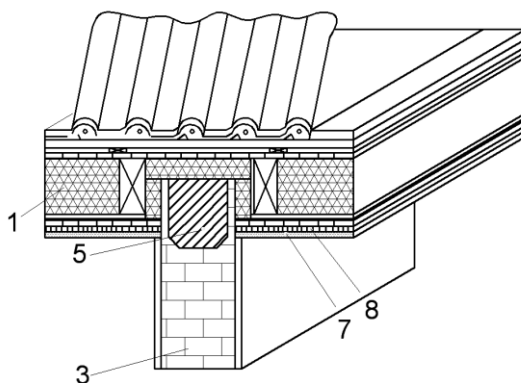
- 3. Anschluss Außentür und Wand. Er stellt somit eine klassische geometriebedingte Wärmebrücke.
- 4. Anschluss Fenster/Wand: Übliche Wärmebrücke, insbesondere wenn Fensteranschluss mit Wand nicht ausreichend wärme-und feuchtegedämmt ist. In nachstehender Abbildung wird den Anschluss Fenster und Wand vorgestellt.



- 1. Wärmedämmung;
- 3. Außenwand.

Abbildung 45: Anschluss: Fenster und Außenwand für Siedlungshaus

- 5. Übergänge zwischen Innenwand und Schrägdach: geometriebedingte Wärmebrücken. Abbildung 47 zeigt einen Übergang zwischen Innenwand und Schrägdach.

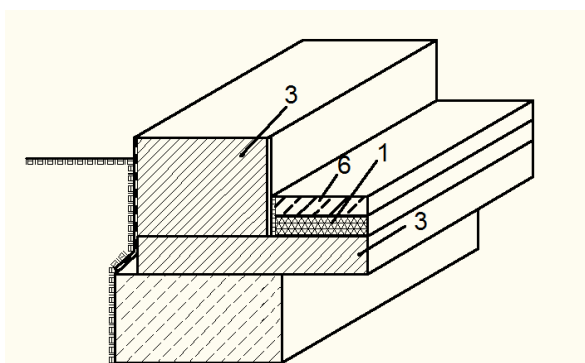


- 1. Wärmedämmung;
- 3. Innenwand;
- 5. Übergänge zwischen Innenwand und Schrägdach: geometriebedingte Wärmebrücken.
- 7. Decke;
- 8. Wasserdampfsperre.

Abbildung 46: Anschluss: Innenwand und Schrägdach für Siedlungshaus

Voraussichtliche Wärmebrücken im Kellergeschoss für Gebäude in Plattenbauweise:

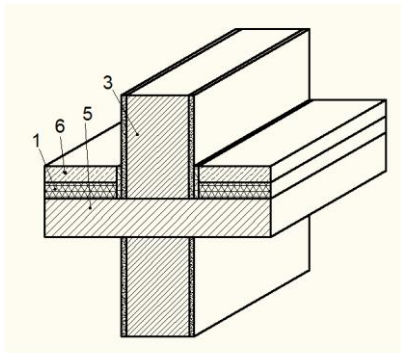
- 1. Übergang zwischen Fundament und Kellerwand: Im Anschlussbereich sind einerseits unterschiedliche Konstruktionen und andererseits Bereich mit relativ niedrigeren Temperaturen. In der nachstehenden Abbildung wird den Übergang aufgezeigt.



- 1. Wärmedämmung;
- 3. Betondach;
- 6. Estrich.

Abbildung 47: Anschluss: Bodenplatte und Kelleraußenwand für Gebäude in Plattenbauweise

2. Anschluss Kellerdecke und Innenwand: Bereich der geometriebedingten Wärmebrücken und falls Materiale der Innen- und Außenwandkonstruktionen sich unterscheiden-materialbedingte Wärmebrücken. Der Anschluss wird in der Abbildung 49 aufgezeigt.

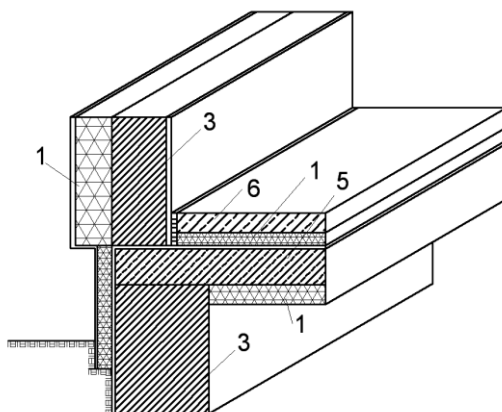


- 1. Wärmedämmung;
- 3. Betoninnenwand;
- 5. Kellerdecke;
- 6. Estrich.

Abbildung 48: Anschluss Kellerdecke und Innenwand für Gebäude in Plattenbauweise

Voraussichtliche Wärmebrücken im Erdgeschoss:

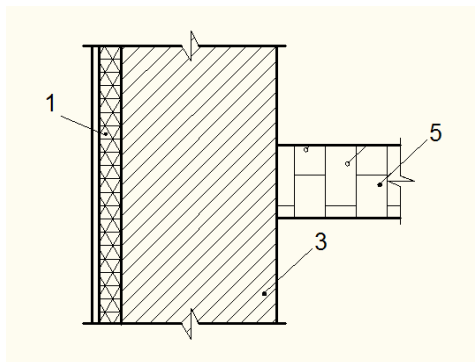
1. Übergang zwischen Kellerdecke und Außenwand: Der Übergang zwischen Kelleraußen und Innenwand kennzeichnet sich durch niedrigere Temperatur im Anschlussbereich, insbesondere wenn Keller unbeheizt ist. Die Abbildung 50 zeigt den Übergang zwischen Kellerdecke und Außenwand.



- 1. Wärmedämmung;
- 3. Betonaußenwand;
- 5. Kellerdecke;
- 6. Estrich.

Abbildung 49: Anschluss: Kellerdecke und Außenwand für Gebäude in Plattenbauweise

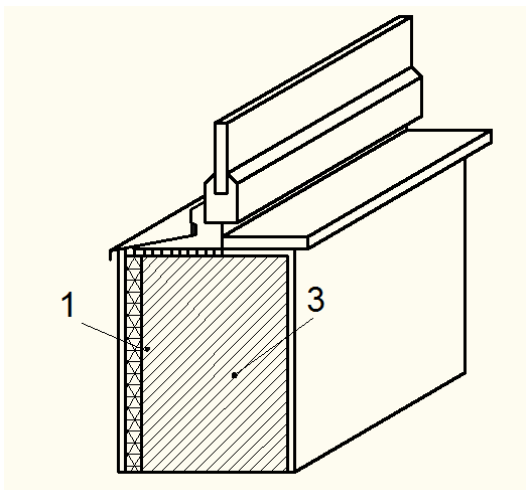
2. Anschluss Innenwand/Außenwand: Es geht um sowohl eine materialbedingte Wärmebrücke als auch geometriebedingte Wärmebrücke, weil sich zwei Konstruktionen mit unterschiedlichen Dicken und innen Oberflächentemperaturen anschließen. In der nachstehenden Abbildung wird den obergeschriebenen Anschluss aufgezeigt.



1. Wärmedämmung;
3. Beton Außenwand;
5. Innenwand.

Abbildung 50: Anschluss: Innenwand/Außenwand für Gebäude in Plattenbauweise

3. Anschluss Außentür/Wand. Er stellt somit eine klassische geometriebedingte Wärmebrücke.
4. Anschluss Fenster/Wand: Übliche Wärmebrücke, insbesondere wenn Fensteranschluss mit Wand nicht ausreichend wärme- und feuchtegedämmt ist. Die nachstehende Abbildung zeigt den Anschluss Fenster/Außenwand.



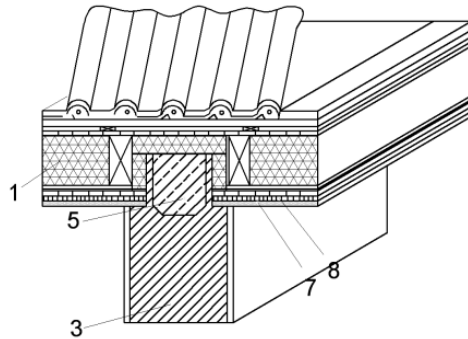
1. Wärmedämmung;
3. Betonaußenwand.

Abbildung 51 :Anschluss: Fenster und Außenwand für Gebäude in Plattenbauweise

Voraussichtliche Wärmebrücken im Obergeschoss:

1. Übergänge zwischen Außenwand und Innenwand im Obergeschoss;
2. Anschlüsse Fenster-Außenwand;

3. Übergang zwischen Innenwand und Schrägdach: Übergänge zwischen Innenwand und Schrägdach: geometriebedingte Wärmebrücken. Abbildung 53 zeigt einen Übergang zwischen Innenwand und Schrägdach.



1. Wärmedämmung;

3. Beton Außenwand;

7. Decke;

8. Wasserdampfsperre.

Abbildung 52 : Anschluss: Innenwand und Schrägdach für Gebäude in Plattenbauweise

Anhang B

Tabelle 6– Ausgangsdaten für das Siedlungshaus

№	Bauteil	Baustoff	d,m	λ,W/mK
1	Kellerwand	Vollziegel	0,42	0,96
2	Spannplatte	V100	0,02	0,13
3	Dampfbremse		0,02	0,2
4	Wärmedämmung	Polystyrol- Extruderschaum (WLG 040)	0,16	0,0400
5	Spannplatte	V100	0,02	0,13
7	Luftschicht ruhend/aufwärts d=0,020 m		0,02	0,125
8	Verblender		0,03	0,81
9	Wärmedämmung	Polystyrol- Extruderschaum (WLG 030)	0,16	
10	Kellerdecke	Normalbeton (2200)	0,18	1,6
11	Dampfbremse		0,02	0,2
11	Bodenplatte	Normalbeton (2400)	0,42	2,1
12	Estrich	Zement	0,035	1,4

Randbedingungen und resultierende Oberflächentemperaturen / Grenzfeuchten

	Raumtemperatur [°C]	min. Temperatur [°C]	max. Temperatur [°C]	Grenzfeuchte [%]
Room 0	-10,00	-9,82	-7,49	100,00 %
Room 1	20,00	13,79	19,32	67,46 %

Gewichte für den kältesten Oberflächenpunkt eines jeden Raumes

	Room 0	Room 1
g(Room 0)	0,993932	0,206836
g(Room 1)	0,006068	0,793164

Koordinaten (x,y,z) des kältesten Oberflächenpunktes eines jeden Raumes

	x [mm]	y [mm]	z [mm]	Temp.[°C]
Room 0	420,0000	695,0000		-9,82
Room 1	420,0000	1600,0000		13,79

Abbildung 53: Randbedingungen, resultierte Oberflächentemperaturen und Grenzfeuchten für den Anschluss Bodenplatte/Kellerwand

Es wird einen thermischen Leitwert berechnet. In der Abbildung 54 wird das Resultat der Berechnung aufgezeigt. Aus der Berechnung ist es zu sehen, dass der thermische Leitwert für den ausgewählten Anschluss 0,801300 W/mK für den innen Raum beträgt.

Thermische Leitwerte [W / m*K]

Raum/Raum	Room 0	Room 1
Room 0		0,801300
Room 1	0,803481	

Genauigkeitsangaben

Raum	Schließfehler [W / m*K]	Leitwert Summe [W / m*K]	Leitwertbezogener Schließfehler	
Room 0	2,18049e-003	0,803481	2,71381e-003	(**)
Room 1	-2,18049e-003	0,801300	-2,72120e-003	(**)

Abbildung 54: Berechnung des thermischen Leitwertes für den Anschluss Bodenplatte/Kellerwand

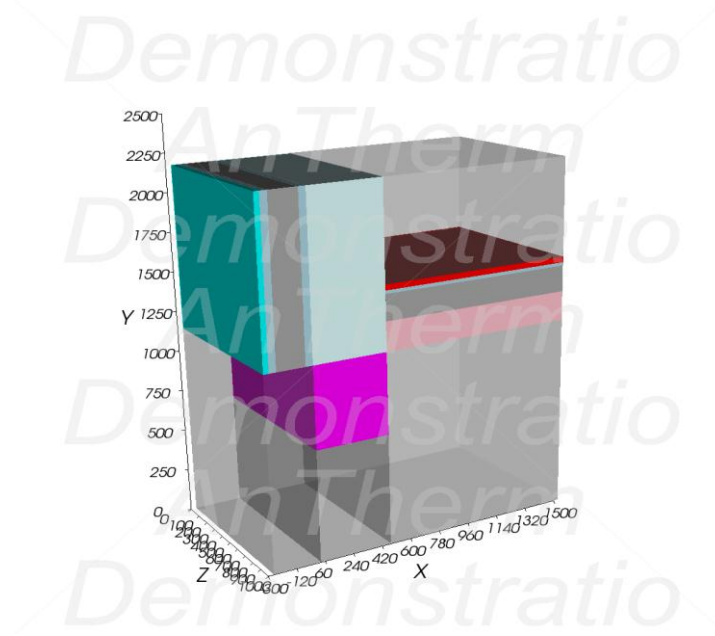


Abbildung 55 : 3-D Vorstellung des Anschlusses: Kellerwand/Bodenplatte

AnTherm - 2D - C:\Users\евгения\Desktop\Чертежи\AnTherm\111 - 1 Siedlungshaus - копия.antherm

File Bearbeiten Ergebnisse... Ansicht Fenster Werkzeuge Hilfe

Room 0 <-> @ BackLeft: (-270, 1200, 0) x (-270, 1897,5, 0)

Baustoff / Oberfläche	λ [W/mK]	d [mm]	R_s [m ² K/W]	α [W/m ² K]	R [m ² K/W]	Raum
Room 0/Ext. transfer coeff.			0.0800	12.5000	0.0800	Room 0
Verblender	0.8100	697.5000			0.8611	
NONAME			0.0000		0.0000	
		697.5000		U-Wert: 1.0626	[W/m²K]	

Room 0 <-> Room 1 @ BackRight: (1525, 1200, 0) x (1525, 1595, 0)

Baustoff / Oberfläche	λ [W/mK]	d [mm]	R_s [m ² K/W]	α [W/m ² K]	R [m ² K/W]	Raum
Room 0/Ext. transfer coeff.			0.0800	12.5000	0.0800	Room 0
Normalbeton (2200)	1.6000	180.0000			0.1125	
Polystyrol-Extruderschaum (WLG 030)	0.0300	160.0000			5.3333	
Dampfbremse PE (sd=10)	0.2000	20.0000			0.1000	
Zement-Estrich	1.4000	35.0000			0.0250	

Abbildung 56: U-Wert Berechnung: Stelle: Room 0 und BackLeft für den Anschluss: Bodenplatte/Kellerwand

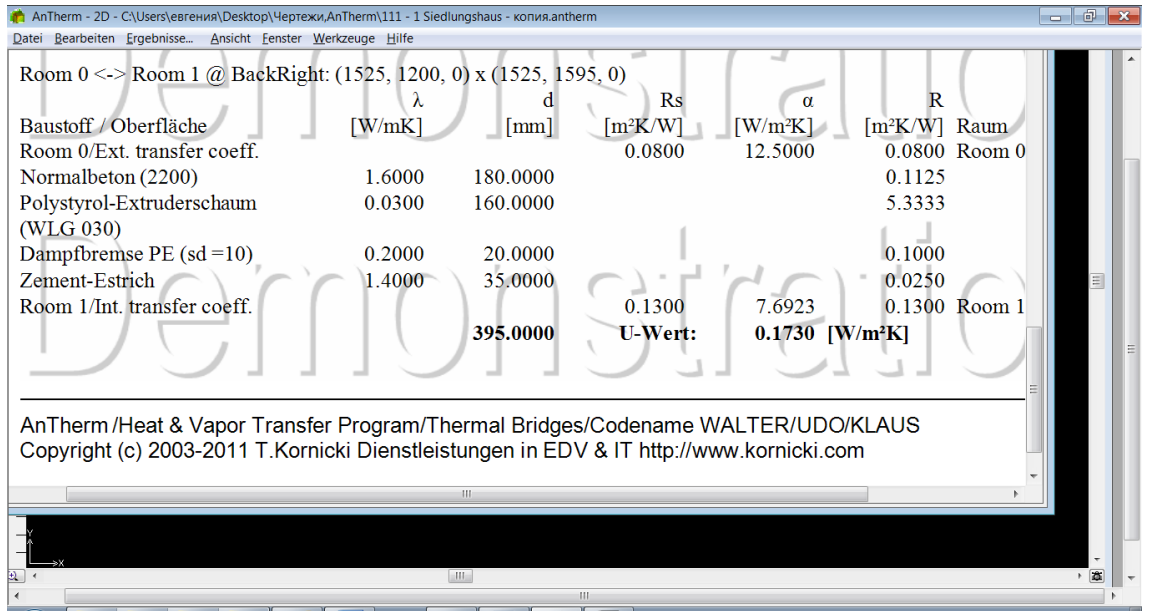


Abbildung 57: U-Wert Berechnung: Stelle: Room 0 und Room 1, BackRight für den Anschluss: Bodenplatte/Kellerwand

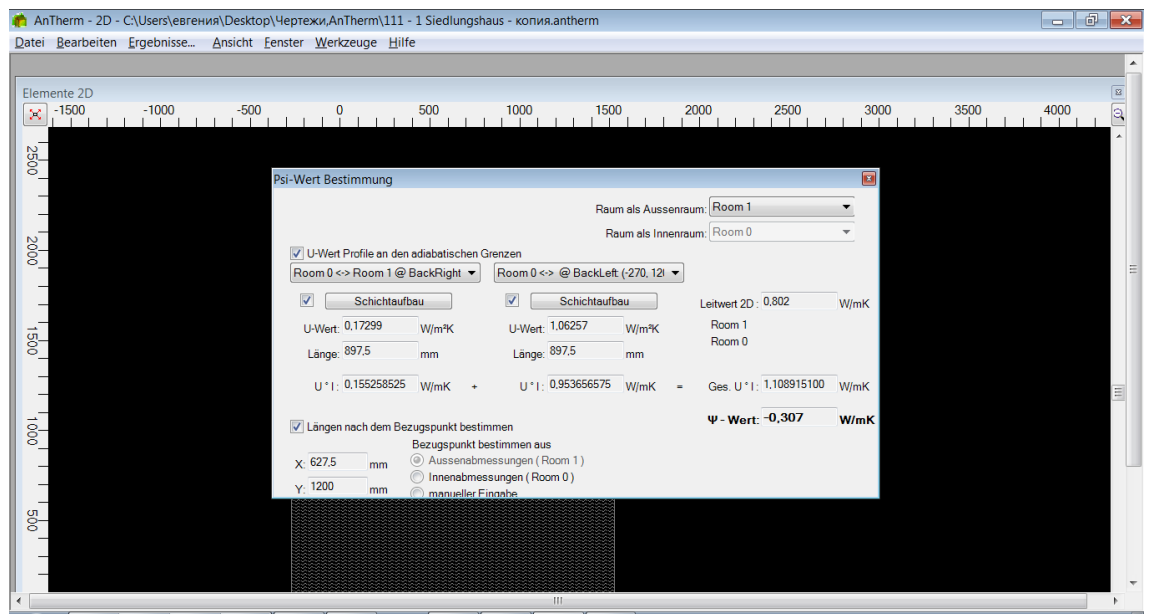


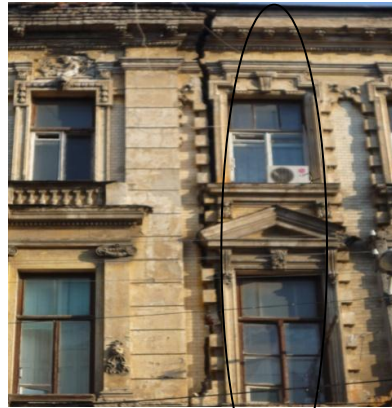
Abbildung 58: psi-Wert Berechnung für den Anschluss: Bodenplatte/Kellerwand

Anhang C

Tabelle 7– Gebäudedaten :Objekt 1:Temernitskaya Str., 89, Rostow-on-Don

Lage	Klimabedingungen/ geologische Bedingungen	Gebäudetyp	Baujahr	Material von Konstruktionen	Vorhandene Bauschäden
Rostov-on-Don, Temernitskaya Str,89	Durchschnittliche Außentemperatur:-22°C; Innentemperatur: 20°C; Baugrund: Lößboden; Tiefe der Grundwasserlagerung:	Bauwerke vor 1917,3-geschossiges Gebäude	1876	Außenwände: Rotziegel: 250:65:25; Dachkonstruktion: Sparrensystem, Holz, mit Schieferblättern bedeckt; Geschossdecken: Holz, Stroh; Fenster-und Türöffnungen: Holz; Fundament: Streifenfundament aus Bruchstein	Schiefe lange Außenwandriße mit einer Dicke von durchschnittlich 20 mm; Alterung von einzelnen Konstruktionen; Beschädigung von Sockel durch Rissen und Verwitterung, Senkung des Gebäudes; Gebäudeneigung von etwa 10° Periodisch tritt Wasser im Kellerbereich auf

Objekt 2: Moskovskaya Str.72, Rostow-on-Don



Wandrisse auf dem linken Teil
der Hauptfassade

Abbildung 59: Risse auf den Außenwänden, Moskovskaya Str. 72, Rostow-on-Don

Tabelle 8 –Gebäuedaten: Objekt 2: Moskovskaya Str. 72, Rostow-on-Don

Lage	Klimabedingungen/ geologische Bedingungen	Gebäudetyp	Baujahr	Material von Konstruktionen	Vorhandene Bauschäden
Rostov-on-Don, Moskovskaya Str. 72	Durchschnittliche Außentemperatur: -22°C; Innentemperatur: 20°C; Baugrund: Lößboden; Tiefe der Grundwasserlagerung:	Bauwerke vor 1917, 3-geschossiges Gebäude	Unbekannt, vor 1917	Außenwände: Rotziegel: 250:65:25; Dachkonstruktion: Sparrensistem, Holz, mit Schieferblättern bedeckt; Geschossdecken: Holz, Stroh; Fenster- und Türöffnungen: Holz; Fundament: Streifenfundament aus Bruchstein	Durchgehende lange Außenwandriße mit einer Dicke von durchschnittlich 90 mm im Dachbereich und 30 mm im zweiten Geschossbereich; Alterung von einzelnen Konstruktionen; Sockelbereich ist rissefrei, Senkung des Gebäudes; Gebäude ist visuell nicht geneigt; Wasser im Kellerbereich

Objekt 3: Temernitskaya Str. 68, Rostow-on-Don



Abbildung 60: Hauptfassade des Bauwerks, Objekt 3: Temernitskaya Str. 68



Schiefe Außenwandrisse auf der Hauptfassade

Abbildung 61: Risse auf den Außenwänden, Temernitskaya Str. 68, Rostow-on-Don

Tabelle 9– Gebäudedaten: Objekt 3: Temernitskaya Str. 68, Rostow-on-Don

Lage	Klimabedingungen/geologische Bedingungen	Gebäudetyp	Baujahr	Material von Konstruktionen	Vorhandene Bauschäden
Rostov-on-Don, Temernitskaya Str. 68	Durchschnittliche Außentemperatur:- 22°C; Innentemperatur: 20°C; Baugrund: Lößboden; Tiefe der Grundwasserlagerung:	Bauwerke von 1917 bis 1949, 3-geschossiges Gebäude	1922	Außenwände: Rotziegel: 250:65:25; Dachkonstruktion: Sparrensystem, Holz, mit Schieferblättern bedeckt; Geschossdecken: Holz; Fenster-und Türöffnungen: Holz; Fundament: Streifenfundament aus Bruchstein	Schiefe Außenwandriße mit einer Dicke von durchschnittlich 25 mm; Alterung von einzelnen Konstruktionen; Sockelbereich ist rissfrei; Gebäude ist visuell nicht geneigt;

Objekt 4: Moskovskaya Str. 76, Rostow-on-Don



Abbildung 62: Hauptfassade des Bauwerks, Objekt 4: Moskovskaya Str. 76



Außenwandriße auf dem ersten Obergeschoss

Abbildung 63: Außenwandrisse auf dem Objekt 4

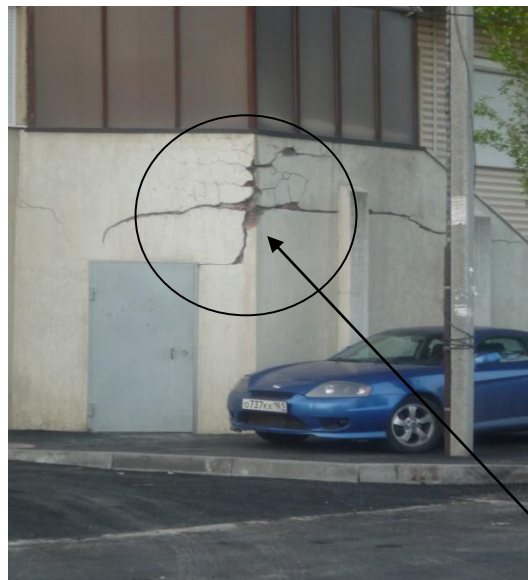
Tabelle 10 –Gebäudedaten: Objekt 4: Moskovskaya Str. 76, Rostow-on-Don

Lage	Klimabedingungen/geologische Bedingungen	Gebäudetyp	Baujahr	Material von Konstruktionen	Vorhandene Bauschäden
Rostov-on-Don, Moskovskaya Str. 76	Durchschnittliche Außentemperatur:-22°C; Innentemperatur: 20°C; Baugrund: Lößboden; Tiefe der Grundwasserlagerung:	Bauwerke von 1947 bis 1957,5- geschossige Gebäude	1959	Außenwände: Rotziegel: 250:65:25; Dachkonstruktion: Sparrensystem, Holz, mit Schieferblättern bedeckt; Geschossdecken: Beton; Fenster-und Türöffnungen: Holz; Fundament: Streifenfundament aus Bruchstein	Schiefe Außenwandriße mit einer Dicke von durchschnittlich 15 mm; Alterung von einzelnen Konstruktionen; Sockelbereich ist mit kleinen Rissen und Verwitterung von Putzbekleidung; Gebäude ist visuell nicht geneigt;

Objekt 5: Donskaya Str. 5, Rostow-on-Don



Abbildung 64: Hauptfassade des Bauwerks, Objekt 5: Donskaya Str. 5



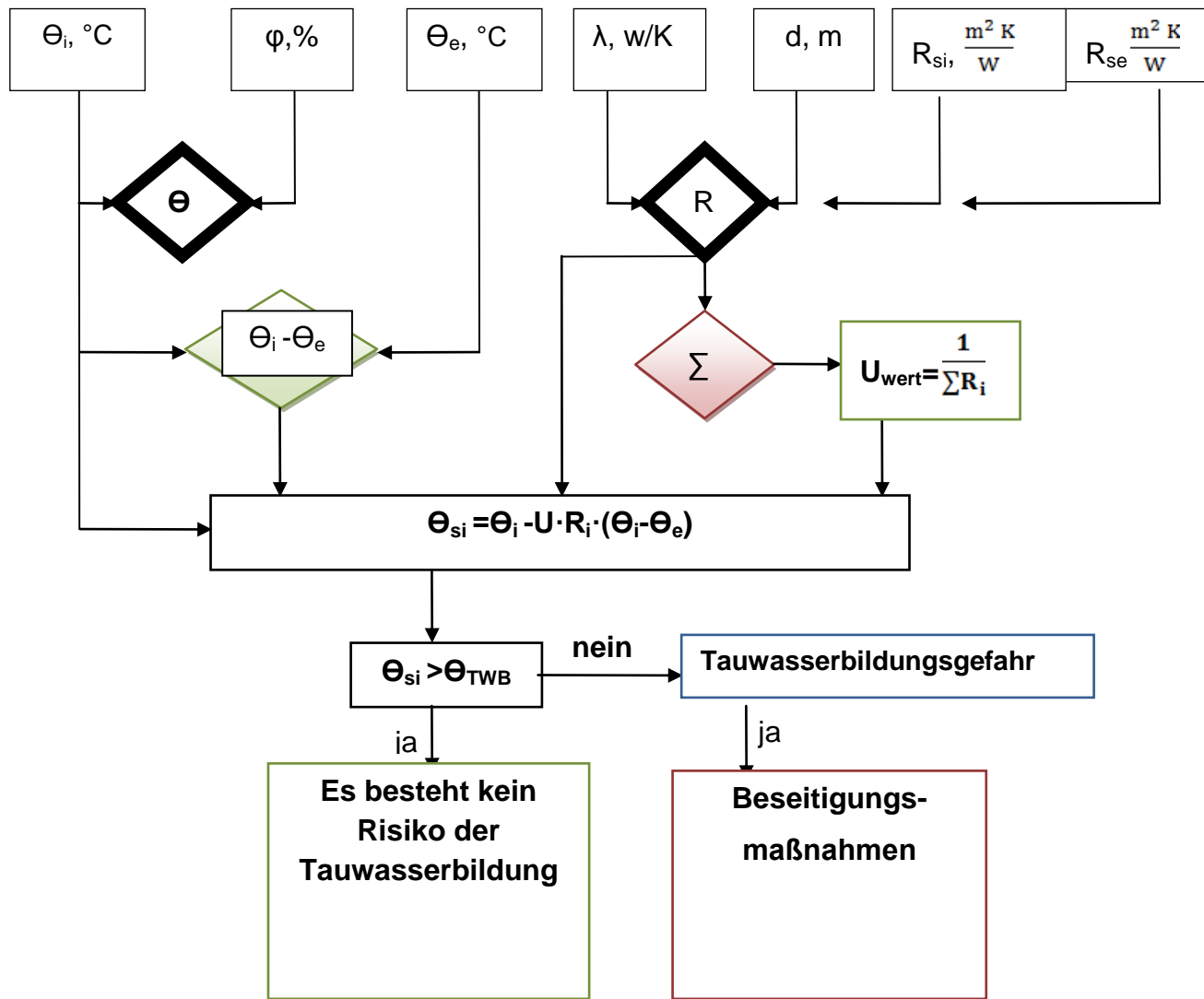
Auspressen von Außenwandbereich

Abbildung 65: Risse auf den Außenwänden, Donskaya Str. 5, Rostow-on-Don

Tabelle 11– Gebäudedaten: Objekt 5: Donskaya Str. 5, Rostow-on-Don

Lage	Klimabedingungen/ geologische Bedingungen	Gebäudetyp	Baujahr	Material von Konstruktionen	Vorhandene Bauschäden
Rostov-on-Don, Donskaya Str. 5	Durchschnittliche Außentemperatur:- 22°C; Innentemperatur: 20°C; Baugrund: Lößboden; Tiefe der Grundwasserlagerung:	Bauwerke von 2000,10- geschossiges Gebäude	1959	Außenwände: Rotziegel: 250:65:25; Dachkonstruktion: Sparrensystem, Holz, mit Schieferblättern bedeckt; Geschossdecken: Stahlbeton; Fenster-und Türöffnungen: Metall; Fundament: Pfahlfundament	Schiefe Außenwandriße mit einer Dicke von durchschnittlich 45 mm; Auspressen von Außenwand im Sockelbereich; Sockelbereich ist mit großen Rissen und Verwitterung von Putzbekleidung; Gebäude ist visuell nicht geneigt;

Anhang D

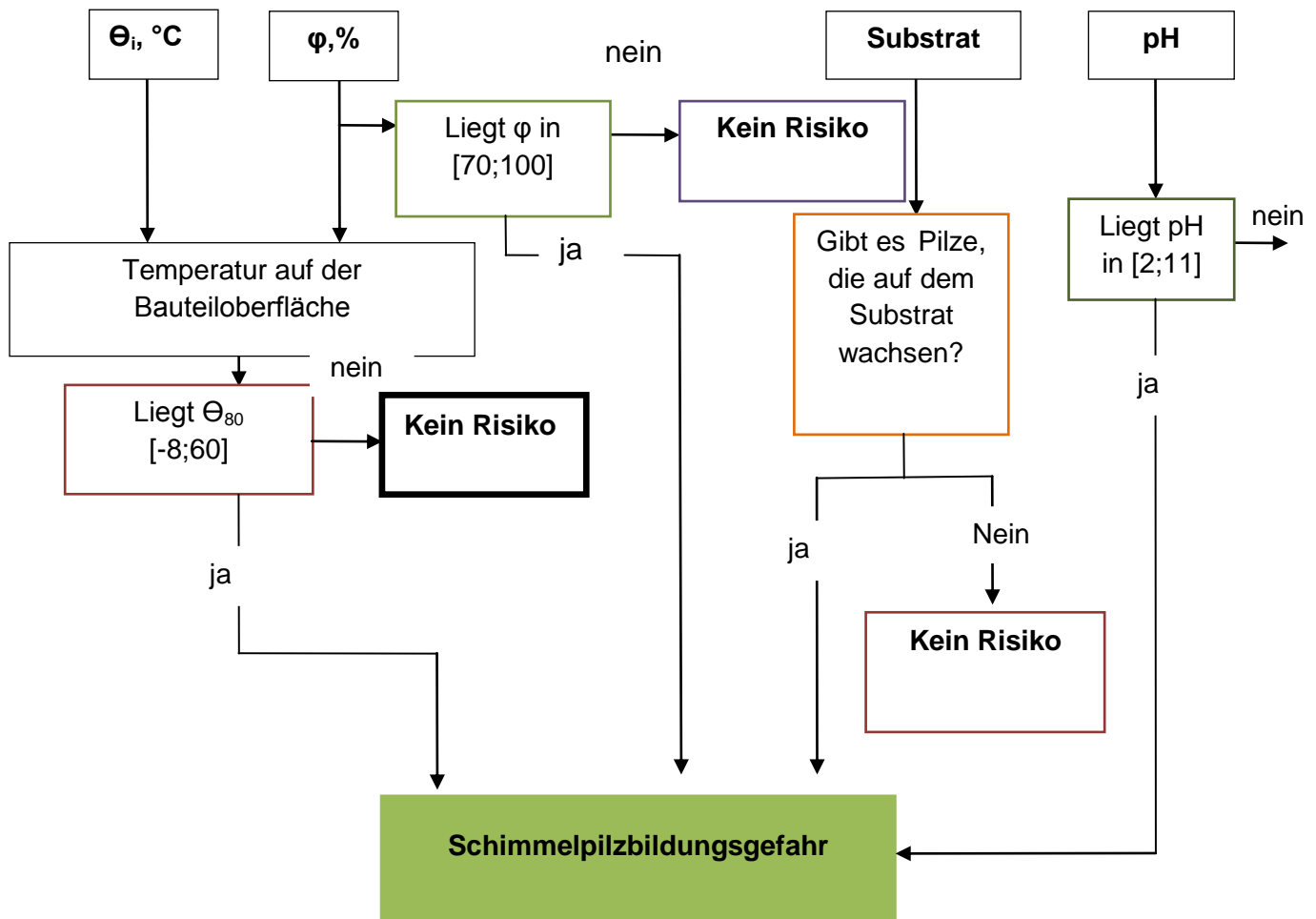


Schema 1 : Algorithmus der Tauwasserbildungsvorhersage

Tabelle 12 –Ausgangswerte zur Prüfberechnung der Tauwasserbildung

Name einer Schicht		λ , W/(mK)	d, mm
Innerer Wärmeübergangswiderstand, R_{si} , m^2K/W	0,13	-	-
Schicht 1-Spannplatte V20		0,13	0,019
Schicht 2-Diffusionschemmende Luftdichtheitsschicht		-	0,000005
Schicht 3-Minerallwolle		0,04	0,16
Schicht 4- Luftdichtheitsschicht		-	0,03
Schicht 5- Spannplatte		0,13	0,019
Schicht 6- Luftdichtheitsschicht		-	0,02
Wärmeübergang außen, R_{se} , m^2K/W	0,08	-	-

Unter wird der Algorithmus von Schimmelpilzuntersuchung aufgezeigt



Schema 2: Algorithmus zur Schimmelpilzuntersuchung

Anhang E

Tabelle 13– Pilzarten an Innenputz

Name von Pilzen	Gesundheitsgefährdung liegt vor. Ja/Nein	Bedeutung der Gefährdungsklassen
Absidia corymbifera	Ja	B
Acremonium sp.	Ja	B
Acremonium strictum	Nein	C
Aspergillus sp.	Ja	B
Aspergillus glaucus	Nein	C
Aspergillus fumigatus	Ja	A
Aspergillus niger	Ja	A
Aspergillus ochraceus	Ja	B
Aspergillus terreus	Ja	B
Aspergillus versicolor	Ja	A
Aureobasidium sp.	Ja	C
Chaetomium	Ja	A
Chrysonilia sp.	Ja	B
Chrysosporium fastidium	Nein	C
Cladosporium sp.	Ja	-
Cladosporium herbarum	Ja	-
Cladosporium sphaerosperum	Nein	C
Cladosporium tenuissimum	Nein	C
Eurotium herbariorum	Ja	B
Fusarium verticillioides	Ja	B
Fusarium oxysporum	Ja	B
Geomyces sp.	Nein	C
Geotrichum sp.	Nein	C
Monocillium sp.	Nein	C
Mucor sp.	Ja	A
Oidiodendron sp.	Nein	C

Paecilomyces sp.	Ja	B
Penicillium sp.	Ja	B
Penicillium brevicompactum	Ja	B
Penicillium chrysogenum	Ja	B
Scopulariopsis sp.	Ja	B
Stachybotrys sp.	Ja	B
Trichoderma sp.	nein	C
Tritirachium sp.	nein	C
Ulocladium sp.	nein	C
Wallemia sebi	Ja	C

A,B,C-Bedeutung von Gefährdungsklassen nach LGA Stuttgart:

A-Pilz ist toxisch und darf in einem Wohnraum nicht auftreten;

B-Pilz ist bei langer Expositionszeit gesundheitsgefährdend, allergisierend oder pathogen;

C-Pilz ist nicht gesundheitsgefährdend, führt aber zu wirtschaftlichem Schaden.

Tabelle 14 –Ausgangswerten zur Berechnung von Tauwasser im Anschlussbereich: Innenwand und Kellerdecke

Name der Schicht		λ , W/(mK)	d, mm
Innerer Wärmeübergangswiderstand, R_{si} , m^2K/W	0,13	-	-
Schicht 1-Vollziegel		0,96	0,42
Schicht 2-Gipskartonplatte		0,2100	0,015
Schicht 3-Normalbeton (2200)		1,6000	0,18
Schicht 4- Polystyrol-Extruderschaum		0,03	0,16
Schicht 5- Alu-Dampfsperre		0,2	0,005
Schicht 6- Zement-Estrich		1,4	0,015
Schicht 7- Bitumenabdichtung		0,05	0,17
Wärmeübergang außen, R_{se} , m^2K/W	0,08	-	-

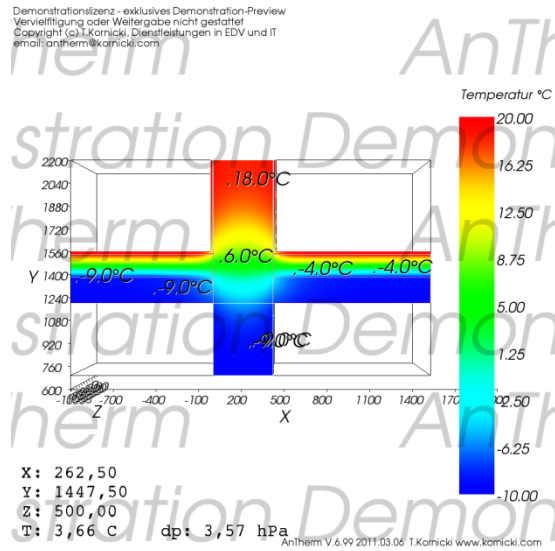


Abbildung 66: Temperaturdarstellung für das Objekt 1 vor Sanierung

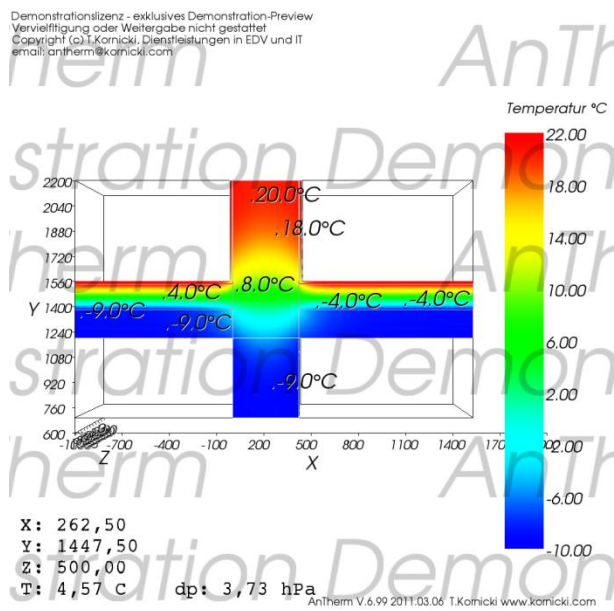


Abbildung 67: Temperaturdarstellung für das Objekt 1 vor Sanierung

Literaturverzeichnis

1. Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB), in der Fassung der Bekanntmachung vom 04.09. 2006, Teil B,§13, 1. Satz;
2. DEKRA REAL ESTATE EXPERTISE : Erster DEKRA-Bericht zu Baumängeln an Wohngebäuden, <http://www.bauwissen-online.de/PDF/Dekra.pdf> , Abrufdatum: 12.03.2011;
3. Gessmann, Robin: Ein internetbasiertes Gebäudedatenrepositorium als lebenszyklusorientierte Integrationsplattform, unveränderte Auflage, Universitätsverlag Karlsruhe 2008;
4. Wärmeschutzverordnung 2003 in der Fassung der Bekanntmachung vom 23.02. 2003, Teil 1,Anwendungsbereich;
5. Bauregeln 23-101-2004 in der Fassung der Bekanntmachung vom 06.01. 2004, Teil 1,Anwendungsbereich;
6. Bundesgesetz zur Energieeinsparung und Erhöhung von energetischer Effizienz von Gebäuden № 261 in der Fassung der Bekanntmachung vom 23.11. 2009, Teil 1,Anwendungsbereich;
7. DIN 4108-2: 2003-07: „Wärmeschutz im Hochbau, Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“, Ersatz für DIN 4108-2:2003-04;
8. DIN 4108-3: 2001-07:“ Wärmeschutz im Hochbau, Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung“, Ersatz für DIN 4108-3:1981-08;
9. DIN EN ISO 10211-1: „Wärmebrücken im Hochbau. Wärmeströme und Oberflächentemperaturen. Allgemeine Berechnungsverfahren“ in der deutschen Fassung EN ISO 10211-1:1995;
10. Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV 2009) in der Fassung von 01.10.2009;

11. DIN 68800: „Holzschutz“, in der revidierten Fassung von 1992;
12. Lutz, Peter: Lehrbuch der Bauphysik. Schall-Wärme-Feuchte-Licht-Brand-Klima, 5. Aufl., Teubner Verlag, Karlsruhe 2002;
13. Bonk, Michael: Lufsky Bauwerksabdichtung, 7. Aufl., Vieweg und Teubner Verlag, Karlsruhe 2010;
14. Köthe, Rainer/ Kolb, Arno: Architektur, Bd.23: Was ist was, Tessloff Verlag, Nürnberg 2006;
15. Engivo.de: <http://www.engiwo.de/wissen/artikel.php?id=33>;
16. Kornicki, Tomasz: Dienstleistung in EDV und IT, Wien, Österreich, <http://www.kornicki.com/antherm>;
17. Kürzel, Helmut: Algebildung auf hochgedämmten Fassaden, <http://www.baufachinformation.de/zeitschriftenartikel.jsp?z=2002069000451>, Abrufdatum: 03.04.2011;
18. Bieberstein, Horst: Schimmelpilze in Wohnräumen– was ist zu tun?, Alpha & Omega-Verlag, Stuttgart 1995;
19. Landesgesundheitsamt (LGA) Stuttgart: Probenaufarbeitung und Nachweisverfahren von Schimmelpilzen und deren Stoffwechselprodukten im Innenraum, 2001;
20. Senkpiel, Klaus; Ohgke, Helge.: Beurteilung der „Schimmelpilz“-Sporenkonzentration in der Innenraumluft und ihre gesundheitlichen Auswirkungen, gi. Gesundheits-Ingenieur 1992;
21. Terheiden, Kristina: Feuchte-und Salztransport Charakterisierung der Interaktion zwischen Porenfluid und porösem Bauwerkstoff, 1. Aufl., CUVILLIER Verlag, Göttingen 2007;
22. Bonk, Michael/Cziesielski, Erich: Lufsky Bauwerksabdichtung, 7. Aufl., Vieweg+Teubnerverlag, Wiesbaden 2007;

23. Technische Regeln für biologische Arbeitsstoffe 500 (TRBA) : „Allgemeine Hygienemaßnahmen: Mindestanforderungen“ in der Fassung von 29.03.2000.