

Andreas Hild, Faraneh Farnoudi

Modulationsmöglichkeiten der Gebäudeaußenhaut mittels wärme- sensitiver Aufnahmeverfahren

F 2891

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

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

2014

ISBN 978-3-8167-9195-9

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

Bitte beachten:

Fehlende Seiten sind **Leerseiten**,
die bei Erstellung
der PDF-Datei für den Download nicht
berücksichtigt wurden

Fraunhofer IRB Verlag

Abschlussbericht

Das in dem vorliegenden Endbericht dokumentierte Forschungsvorhaben wurde vom Auftraggeber, dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) in Abstimmung mit dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) mit folgender Aufgabenstellung initiiert: „**Modulationsmöglichkeiten der Gebäudeaußenhaut mittels wärmesensitiver Aufnahmeverfahren**“. Dieses Verfahren erarbeitet neue Vorgehensweisen zur Formulierung einer gestalterischen Aussage bei der Nutzung von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) im Bestand.

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

Aktenzeichen SF – 10.08.18.7-11.22 / II 3-F20-09-1-221

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor

Antragsteller Forschungsinitiative
Gebäudehüllenmodulationen
Andreas Hild
Faraneh Farnoudi

Lindwurmstraße 88
80337 München

T +49.89.38 37 71-18
F +49.89.38 37 71-27
M +49.177.492 76 38
farnoudi-forschung@hildundk.de

Berichtszeitraum 15.September 2011 – 12.September 2013

Förderzeitraum 16 Monate

Verfasser Andreas Hild
Faraneh Farnoudi

Datum München, September 2013

Für das Urteil sind viele ausgebildet, für das Machen wenige.
Deshalb muss die Meisterschaft geachtet werden.
(K.F. Schinkel)

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	5
1 Forschungsziel	6
2 Untersuchungsmethodik	8
2.1 Recherche und systematische Analyse	8
2.1.1 Energie und Klimaschutz	8
Klimaschutz – Ziele der Bundesregierung	9
Betrachtung des Gebäudebestandes	10
Wohnen und Wärme	12
2.1.2 Das Wärmedämm-Verbundsystem - WDVS	14
WDVS Entwicklungen bis heute	14
Bauordnungsrechtliche Grundlagen	16
Baugenehmigungspflicht	17
WDVS und der Markt in Zahlen	18
Systemaufbau	21
Materialeigenschaften der Dämmung	21
Wärmeschutz	22
Wärmeleitfähigkeit – λ	
Wärmedurchgangskoeffizient – U-Wert	23
2.1.3 Bewertung des WDVS	24
Qualität – Montage	24
Tauwasser und Algen	25
Brennbarkeit	27
Stabilität des Materials	28
Lebenszyklus	28
Nutzenbezogene Aspekte	29
Zusammenfassung und Fazit	30
2.2 Methodische Analyse	32
2.2.1 Problemstellung	32
Diskussion des WDVS unter dem Gesichtspunkt der Ästhetik	32

	„Denn das Material ist in jedem Fall unschuldig“	34
2.2.2	Ausgangssituation	36
2.2.3	Aufgabenstellung	40
	Beschreibung der zu lösenden Probleme	40
	Zusammenfassung	41
3	Dokumentation des Forschungsprozesses	43
3.1	Untersuchungsmethodik	44
3.1.1	Initialisierung / Analyse	44
3.1.2	Erhebung	45
	Gebäudeanalyse	46
	Thermische Analyse	47
	Thermografie (Infrarotphotografie)	47
	Wärmebrückensimulation	50
3.1.3	Methode und Entwurf	51
3.1.4	Umsetzung und Dokumentation	53
3.2	Ergebnisse	56
3.2.1	Initialisierung/ Analyse	56
3.2.2	Erhebung	56
	Bestandsanalyse	56
	Thermische Analyse	59
	Wärmebrückensimulation	59
3.2.3	Methode und Entwurf	65
	Verifikation der Dämmwirkung einer modulierten WDVS Fassade	67
	Gestaltungsvarianten	74
3.2.4	Umsetzung und Dokumentation	77
	Produktionsvorbereitung	78
	Produktion / Fertigungsversuche	81
	Fertigungsversuch Schichtmodell	83
	Fertigungsversuch Modell 1 - Schichtmodell	86
	Fertigungsversuch Modell 2 - vertikal	87
	Fertigungsversuch 45°	89

Fertigungsversuch Horizontal	90
Fertigungsversuch Polygon	90
Montage / Verarbeitungsversuche	92
Verarbeitungsversuch Schichtmodell 1 mit Spritzputz	92
Verarbeitungsversuch vertikal, manuell verputzt	94
Verarbeitungsversuch Polygon, manuell verputzt	99
4 Fazit und Ausblick	107
4.1 Zusammenfassung und Fazit	107
4.2 Neue Erkenntnisse im Projektverlauf	109
Monitoring	109
BAU 2013	110
4.3 Ausblick	111
Abbildungsverzeichnis	113
Literaturverzeichnis	121

VORWORT

WDVS ist ein umstrittenes Material.

Befürworter und Gegner werfen sich wechselseitig vor mit falschen Zahlen und Daten zu operieren. Fakt ist, dass es ein sehr häufig eingesetztes, ja in Deutschland sogar das vermutlich am häufigsten eingesetzte Fassadenmaterial ist. Die Befürworter – häufig auf der Seite der Ingenieure – reklamieren, dass WDVS der günstigste Baustoff ist, um relevante Energieeinsparungen zu erreichen. Die Gegner – sehr oft unter den Architekten zu finden – postulieren unter anderem, dass dessen häufige Anwendung zu einer ästhetischen Zerstörung unserer Städte führt.

Die vorliegende Untersuchung möchte in diesem Streit nicht entscheiden. Die Verfasser denken jedoch, dass ein Material, welches derart flächendeckend zum Einsatz kommt, auch einer Aufmerksamkeit bedarf, die sich mit den stadtgestalterischen Folgen beschäftigt.

Es ist durchaus nicht ungewöhnlich, dass neue Materialien oder Materialkombinationen am Anfang ihrer Verbreitung auf eine gewisse Ablehnung besonders unter den Gestaltern ihrer Zeit stoßen. Auch das Gusseisen beispielsweise wurde von den Architekten zunächst, konnte es doch jede Form annehmen und verschleierte sein Tragverhalten, weil es in, für die damalige Zeit, ungewöhnlich minimierten Dimensionen eingesetzt werden konnte.

In diesem Sinne versucht die vorliegende Arbeit WDVS als ein neues Material zu interpretieren, nach dessen formalen Eigenschaften und Möglichkeiten noch zu suchen ist. Ihr Ziel ist es, eine Gestaltung zu finden, die auf die Eigenheiten des Baustoffes eingeht und so eine dem WDVS gemäße Form entwickelt. Dabei spielen, vorerst noch am Rande, auch Fragen der Ressourcenschonung eine Rolle.

Somit sollen die hier vorzustellenden Ergebnisse dieser Arbeit den ästhetischen Vorbehalten der Gegner des Systems zumindest eine neue Möglichkeit der gestalterischen Anwendung gegenüberstellen, die sich aus den Gegebenheiten des WDVS entwickelt und sich nicht nur in einem Mimikry von Putzbauten erschöpft.

FORSCHUNGSZIEL

Das Dämmen von Fassaden ist eine unbestreitbare Notwendigkeit und vor allem im Gebäudebestand gehören Wärmedämm-Verbundsysteme zu den bestimmenden Baumaterialien unserer Zeit. Doch die gestalterischen Möglichkeiten dieser Systeme werden in Planung und Ausführung nicht ausgeschöpft. An dieser Erkenntnis setzt das Forschungsprojekt „Modulationsmöglichkeiten der Gebäudeaußenhaut mittels wärmesensitiver Aufnahmeverfahren“ an. Konkret geht es darum, durch eine dreidimensionale Modulation der Dämmschicht sowohl die Fassadengestaltung zu individualisieren als auch die Leistung des Systems zu verbessern.

Ausgangspunkt der Überlegungen ist der unterschiedliche Wärmedurchgang verschiedener Bauteile einer Bestandsfassade.

Wird die Dimensionierung des Dämmstoffs den ungleichen Wärmedurchgangskoeffizienten angepasst, entsteht eine Neuordnung der Oberfläche, die sich aus den unterschiedlichen thermischen Zuständen der Bauteile ableitet. Mittels einer Digitalisierung der Wärmedurchgänge soll ein computergestütztes Entwurfsverfahren entwickelt werden, das variantenreiche Entwurfsmöglichkeiten und zugleich individuelle Fertigung der Dämmelemente ermöglicht. Mit diesem Verfahren wird direkt aus dem Wärmedurchgang eine Gestalt abgeleitet, die mit einer definierten Entwurfsmethodik auf unterschiedliche Gebäude angewendet werden kann. Darüber hinaus werden Vorgehensweisen und Hilfsmittel in der praktischen Anwendung erforscht und beschrieben, die den Aufbau weiterer innovativer Entwurfsverfahren ermöglichen.

Dieser neue Ansatz vermag nicht nur für ein völlig neues Erscheinungsbild von Fassaden zu sorgen, sondern zugleich Ressourcen zu sparen, da stets nur so viel Dämmung eingesetzt wird, wie es an der jeweiligen Stelle nötig ist. So nimmt die Funktion des Wärmedämm-Verbundsystems eine äußere Gestalt an und eine authentische Form des Materialeinsatzes ist gewährleistet. Wenn auch für Dämmstoffe gilt, „form follows function“, werden vereinheitlichende Sanierungen von Bestandgebäuden vermieden, wird die Energieeffizienz von Dämmsystemen gesteigert und werden – vor allem – neue planerische Gestaltungsmöglichkeiten

erschlossen. Der Energiesparfunktion der gedämmten Fassaden wird ein authentischer Ausdruck verliehen.

Die systematische Analyse erfasst die aktuelle Faktenlage zu den Themengebieten Klimaschutz und Wärmedämmung. Diese diktiert letztendlich auch die übergeordnete Ausgangssituation des Forschungsprojektes. Denn die von Politik und Wirtschaft beeinflusste Marktentwicklung, die Dimensionierung des eingesetzten Dämmstoffes wie auch die Fähigkeit der Industrie auf Mängel des Materials zu reagieren werden auch in den nächsten Jahren den Umfang des WDVS Einsatzes und damit auch dessen Auswirkung auf unsere gebaute Umgebung bestimmen.

Die methodische Analyse erläutert Problemstellung, Hintergrund und Zielrichtung des Forschungsprojektes. Weiterhin werden bereits umgesetzte Projekte, die einem gestalterischen Einsatz des WDVS folgen, vorgestellt. Auf dieser Basis wird abschließend die konkrete Aufgabenstellung zusammengefasst.

2.1

RECHERCHE UND SYSTEMATISCHE ANALYSE

2.1.1 ENERGIE UND KLIMASCHUTZ

„Energie“ ist eines der großen Themen unserer Zeit. In den letzten Jahrzehnten hat das Umweltbewusstsein der Gesellschaft diesbezüglich stark zugenommen. Hauptgründe sind unter anderem die Verknappung fossiler Energieträger und die globale Erwärmung, deren Ursache vor allem in den von den Menschen verursachten Treibhausgasen gesehen wird. Kohlenstoffdioxid ist in diesem Zusammenhang der mengenmäßig größte Faktor und zudem aufgrund seiner extrem langfristigen Effekte bei einer atmosphärischen Verweilzeit von ca. 120 Jahren von besonderer Bedeutung.

Obwohl zahlreiche Länder weltweit Alternativen und Kompromisse hinsichtlich des energetischen Haushaltes suchen und somit eine Reduktion der Treibhausgase anstreben, steigen die CO₂-Emissionen auch heute noch deutlich an. Der angestrebte Wandel der Energiewirtschaft beeinflusst längst maßgeblich das Tagesgeschäft in Politik und Wirtschaft, mit nationalen und internationalen Klimakonferenzen, Bekenntnissen und Absichtserklärungen zum energiebewussten Handeln.

Schon auf dem Weltgipfel in Rio 1992 wurde im Rahmen der

Klimakonvention vereinbart, die Treibhausgasemissionen weltweit zu stabilisieren. 1997 wurden im Protokoll von Kyoto diesbezüglich rechtsverbindliche Zusagen der Industriestaaten festgehalten.

2010 wurde mit dem „2-Grad-Ziel“ erstmals ein messbares Limit für das Ausmaß einer maximal zulässigen Klimaveränderung international anerkannt. Der Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur muss demnach auf höchstens 2 Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau beschränkt bleiben.

Deutschland hat sich im Rahmen der EU-Lastenteilung zum Kyoto-Protokoll verpflichtet, im Zeitraum 2008 – 2012 insgesamt 21 Prozent weniger klimaschädliche Gase zu produzieren als 1990. Darüber hinaus hat Deutschland zugesagt, seine Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 sogar um 40 Prozent gegenüber 1990 zu senken – und dies unabhängig von den notwendigen Anstrengungen anderer Staaten.

KLIMASCHUTZ – ZIELE DER BUNDESREGIERUNG

Um die ehrgeizigen deutschen Klimaschutzziele umzusetzen, hat die Bundesregierung ein umfassendes, integriertes Energie- und Klimaprogramm entwickelt. Es soll eine hochmoderne, sichere und klimaverträgliche Energieversorgung in Deutschland umsetzen und umfasst Maßnahmen zugunsten von mehr Energieeffizienz und mehr erneuerbaren Energien.

Mit zusätzlichen Haushaltsmitteln aus dem Emissionshandel hat das Bundesumweltministerium im Jahr 2008 eine umfassende Klimaschutzinitiative gestartet. Sie soll vorhandene Potenziale zur Emissionsminderung kostengünstig erschließen helfen und innovative Modellprojekte für den Klimaschutz voranbringen. Konkret fördert das Bundesumweltministerium Klimaschutzmaßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien.

<http://www.bmu.de> (18.12.2012)

Dabei übernimmt Deutschland eine Vorreiterrolle in den Bereichen der nachhaltigen Energiewirtschaft. Seit dem Jahr 1990 ist es in Deutschland gelungen, die Treibhausgas-Emissionen um 26,5 Prozent zu senken. Und dies sind keineswegs nur so genannte "Wall-Fall-Profits": Tatsächlich wurde die Energieproduktivität um 38,6 Prozent und die Rohstoffproduktivität sogar um 46,8 Prozent gesteigert. Kern



Litfaßsäulen mit Mützen, „Häuser sollen energieeffizienter werden“
Quelle: dapd 2008

der ökologischen Modernisierung Deutschlands ist die Energiewende. Die entsprechenden Beschlüssen für das Jahr 2050 lauten: 80 bis 95 Prozent weniger Treibhausgase und mindestens 80 Prozent erneuerbare Energien bei der Stromerzeugung. <http://www.bmu.de> (18.12.2012)

Zu diesem Ziel beitragen soll einerseits die Suche nach alternativer Energiegewinnung, andererseits das Vermeiden von Energieverschwendung. „Es kommt darauf an, Ökonomie und Ökologie systematisch und nachhaltig miteinander zu verbinden und auf das Erreichte aufzubauen“. <http://www.bmu.de> (18.12.2012)

„In den nächsten beiden Jahren wird Deutschland die Klimaschutzhilfen um insgesamt 800 Millionen Euro aufstocken. Mit den Geldern sollen die Länder Baumaßnahmen finanzieren, mit denen sie sich vor den Folgen des Klimawandels schützen oder bereits eingetretene Schäden bezahlen können.“ Vgl. <http://www.bundesregierung.de> (05.12.2012)

BETRACHTUNG DES GEBÄUDEBESTANDES

Bei der Betrachtung der Möglichkeiten eines effizienteren Umgangs mit Energiereserven rücken, neben anderen großen Themen, besonders Gebäude in den Fokus energetischer Überlegungen.

Denn ein Großteil des Energiebedarfs in Deutschland entsteht durch den Energieverbrauch von Gebäuden. 30% der Endenergie wird in der heutigen Zeit noch für private Haushalte verwendet. Der Anteil der CO₂ Emissionen für Haushalte (ohne Energiewirtschaft) beläuft sich auf 23%. Diese Zahlen beziffern das große Potential energetischer Optimierung in diesem Sektor.

Die Richtlinie 2002/91/EG des europäischen Parlamentes und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden fordert eine jährliche Verbesserung der Energieeffizienz. Zur Umsetzung dieser Ziele sind baupolitische Maßnahmen für den Gesetzgeber unabdingbar.

Das Energiekonzept der Bundesrepublik Deutschland vom September 2011 sieht die energetische Ertüchtigung von Gebäuden als eine der wichtigsten Maßnahmen, um den zukünftigen Energieverbrauch der Haushalte zu sichern. Im Wesentlichen soll dabei die zukünftige Versorgungssicherheit des Landes gewährleistet werden. Um die Abhängigkeit von

10

Energieimporten zu minimieren, sollte deshalb der Verbrauch fossiler Brennstoffe sinken. Auch der Abbau risikobehafteter Energieversorgung durch Atomkraftwerke ist voranzubringen.

Der Wärmebedarf des Gebäudebestandes soll bis 2020 um 20% reduziert werden. Bis 2050 sollen Gebäude sogar klimaneutral sein und den Passivhausstandard erfüllen.

www.bundesregierung.de (2012-12-05)

Das Passivhaus ist ein Baukonzept, das sich in der Praxis aus energiepolitischer Sicht bereits bewährt. Es verbraucht 90% weniger Heizwärme als ein herkömmliches Gebäude im Bestand. Berechnet und qualifiziert wird das Passivhaus nach seinem Heizenergieverbrauch der mit dem Heizölgleichwert von 1,5 l pro Jahr und Quadratmeter Wohnfläche verglichen wird. Zudem wird die Lüftung über eine Anlage gesteuert, um so die effizienteste Luftwechselrate zu erreichen. <http://www.passiv.de> (18.12.2012)

Um ihre energiepolitischen Planungen umsetzen zu können, setzt sich die Bundesregierung das Ziel 90% der Bestandsgebäude bis 2050 zu sanieren. Dies soll mittels einer Sanierungsrate von 2 Prozent pro Jahr erreicht werden.

<http://www.bmu.de> (2012-12-05)

Rückblickend sind seit der Energiekrise der 1970er Jahre eine ganze Reihe von energie- und klimapolitischen Instrumenten in Deutschland erlassen worden, um Energieverschwendung einzudämmen. Beginnend mit der Wärmeschutzverordnung WSVO 1, 2 und 3 gefolgt von dem Energieeinsparungsgesetz (EnEG) 1976 / 1980 und der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2002 / 2004, 2007, 2009 sowie 2012 sind die Richtlinien im Laufe ihrer Entwicklung immer strenger und fordernder geworden.

Durch die EnEV 2009 wurde eine weiträumige Erarbeitung konkreter und objektbezogener Optimierungsmaßnahmen angestrebt. Aktuell werden mit Einführung der EnEV 2012 die energetischen Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden um 30% gegenüber der zuletzt gültigen EnEV 2009 erhöht. Im Vergleich zu 2007 bedeutet dies eine Halbierung der zulässigen Aufwendung für Energie und Warmwasser eines Gebäudes:

„Kritisch gesehen gilt die EnEV in Fachkreisen als Ende der Fahnenstange in Bezug auf Ökonomie, Baukonstruktion und Wirtschaftlichkeit im Bausektor.“ Prof. Dr.-Ing. Susanne Rexroth, WDVS - Alles schon gesagt?, www.architekten-webkongress.de, 2012

Zudem wird durch die in der EnEV geregelte Ausstellung von Energieausweisen (seit 2002 für Neubauten und seit 2009 auch für Bestandsbauten) Transparenz in Bezug auf den

Energiebedarf von Gebäuden geschaffen. Zur Ermittlung einer solchen Energieeffizienz sind zwei Faktoren ausschlaggebend: der Primärenergiebedarf, der sich auf die Geometrie, Nutzfläche und Ausrichtung des Gebäudes bezieht und der Endenergiebedarf, der die Anlagentechnik eines Gebäudes bemisst und den Transmissionswärmeverlust, die energetische Qualität der Wärmeübertragung (U-Wert), bewertet. Sind wirtschaftliche Maßnahmen für Energieeinsparungen möglich, so hat der Aussteller des Energieausweises diese zu benennen. Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegeler: Wärmedämmverbundsysteme 2010, S. 26ff

WOHNEN UND WÄRME

Betrachtet man den Energieverbrauch von Gebäuden, ist festzustellen, dass 90% der Energie in Haushalten für Wärme aufgebracht werden. 75% davon macht alleine die Beheizung der Räume aus. Bei der tiefergehenden Betrachtung und Analyse der einzelnen Bauteilgruppen und der Qualität ihrer Transmissionswärmeverluste ergibt sich, dass wiederum ein Drittel davon aufgrund des Wärmedurchgangs durch die Außenwand ohne Mehrwert verloren geht. Kai Schild, Michael Weyers, Wolfgang M. Willems: Handbuch Fassadendämmsysteme 2010, Seite15-16

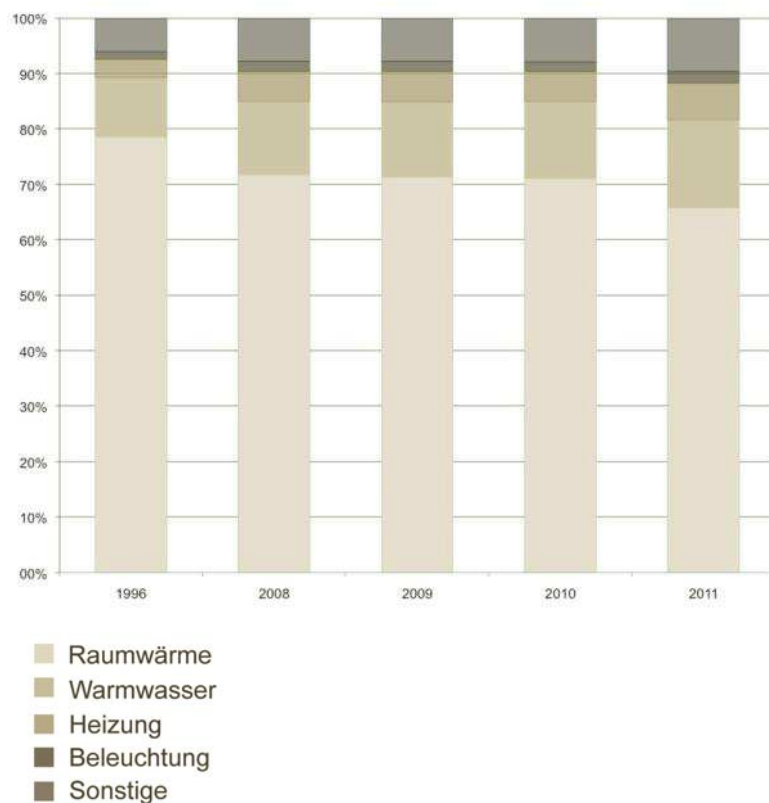


Abbildung 1: WDVS-Markt der Zukunft, Quelle: <http://www.bmwi.de>

Im Umkehrschluss liegen hier demnach auch hohe Einsparpotenziale. Die energetische Sanierung der Bestandsgebäude ist somit ein wichtiger Baustein im gesamten Energiekonzept. Um die übergeordneten klimapolitischen Richtlinien im Bereich des privaten Wohnens durchzusetzen und Sanierungsprogramme zu realisieren, sind Förderprogramme als Unterstützung für den Gebäudeeigentümer notwendig. *„Das Bundesbauministerium wird einen Sanierungsfahrplan ausarbeiten. Er soll Gebäudeeigentümern helfen mit Sanierungsmaßnahmen bis 2050 den Niedrigenergiestandard zu erreichen.“*

<http://www.bundesregierung.de> (05.12.2012)

Die am häufigsten angewandten Sanierungskonzepte zur energetischen Ertüchtigung von Gebäuden sind einerseits das zusätzliche Anbringen oder „Aufdicken“ einer Wärmedämmung, gleich ob im Innenraum oder an der Außenwand als Wärmedämm-Verbundsystem sowie andererseits die Modernisierung der internen Heizungsanlagen.

2.1.2 DAS WÄRMEDÄMM-VERBUNDSYSTEM - WDVS

*„Was ist als
Dämmstoffdicke noch
vertretbar? Unter diesem
Aspekt sollten
Innovationen und
Forschung unterstützt
werden.“*

Prof. Dr.-Ing. Susanne
Rexroth

Die Dämmung von Gebäuden ist, wie in den vorhergehenden Abschnitten dargelegt, ein wichtiges Instrument der energetischen Sanierung. Das Dämmen der Außenwand ist, aufgrund des anteilig meist hohen Transmissionswärmeverlustes, eine effiziente Möglichkeit zum Senken von Energie- und Wärmeverlusten und stellt somit einen wichtigen Baustein für eine ganzheitliche Lösung zur Energieeinsparung eines Gebäudes dar. Dies gilt sowohl für den Neubausektor als auch für den Gebäudebestand.

Durch den politischen Willen, dem Klimawandel auch durch die energetische Sanierung von Gebäuden zu begegnen, ist der Einsatz von WDVS in den letzten Jahrzehnten stark angestiegen und ist dieses zu einem der bestimmenden Fassadenmaterialien unserer Zeit geworden.

WDVS ENTWICKLUNGEN BIS HEUTE

Seit Jahrtausenden nutzen die Menschen das Prinzip der geringen Wärmeleitfähigkeit ruhender Luftschichten für den Wärmeschutz. Bereits in der Bronzezeit wurden die Wände zweischalig gebaut. Durch die technischen Möglichkeiten Decken, Wände und die Gebäudehülle auf das statisch erforderliche Maß zu beschränken und natürlich auch durch die steigenden Anforderungen an Wohnkomfort bzw. Feuchteschutz gewann der bauliche Wärmeschutz an Bedeutung. <http://www.baunetzwissen.de> (01.12.2012)

Die historischen Vorgänger der Wärmedämm-Verbundsysteme lassen sich schon in den späten 1920er Jahren finden. Damals wurden verputzte Holzwolle-Leichtbauplatten als Außendämmung verwendet, weil sich andere bekannte Dämmstoffe, wie Kork oder Glaswolle, nicht für den direkten Außengebrauch eigneten. Holzwolle-Leichtbauplatten konnten sich auf dem Markt aufgrund ihrer hohen Rohdichte und zu geringen Dämmwirkung jedoch langfristig nicht durchsetzen. Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämmverbundsysteme 2010, Seite 16

Ende der 50er Jahre wurden diese Vorläufer von der Firma BASF zum noch heute bekannten Wärmedämm-Verbundsystem mit Polystyrol-Hartschaumplatten weiterentwickelt. Diese effizienten Dämmplatten wurden an den Außenwänden befestigt und anschließend armiert und verputzt.

Anfangs waren sie nur 25-50 mm stark. In der Gesamtanwendung auf das Gebäude wurden schon damals die Begriffe „Thermohaut“ und „Vollwärmeschutz“ geprägt. Der Terminus Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS) wurde erst um 1990 eingeführt. Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele:

Wärmedämmverbundsysteme 2010, Seite 16 -17

Im Wohnungsbau wurden Dämmplatten seit 1957 eingesetzt, 1960 folgten die ersten Komplettsysteme des WDVS. Wolfgang Setzler 1999

Mit der ersten Reglementierung in der DIN 4108 „Wärmeschutz im Hochbau“ von 1969 wurden bauphysikalische Mindestanforderungen an eine Gebäudefassade vorgeschrieben. Dies war ein wichtiger Impuls für eine weitreichende Anwendung des WDVS, sicherlich auch in Wechselwirkung mit den Ölkrisen der 70er Jahre.

Im Rahmen der beschlossenen gesetzlichen Vorschriften, der steigenden Preisentwicklungen für Energie und einem neuen Bewusstsein für nachhaltige Entwicklung erhielt das Thema Wärmedämmung an Gebäuden einen neuen Stellenwert. Gleichzeitig erfuhr der WDVS Markt in den Bausegmenten der Ein- und Zweifamilienhäuser in den 1970er Jahren einen deutlichen Aufschwung. Die Stärke der Dämmplatten stieg auf durchschnittlich 40 bis 80mm an.

Dämmstoffdicke in mm

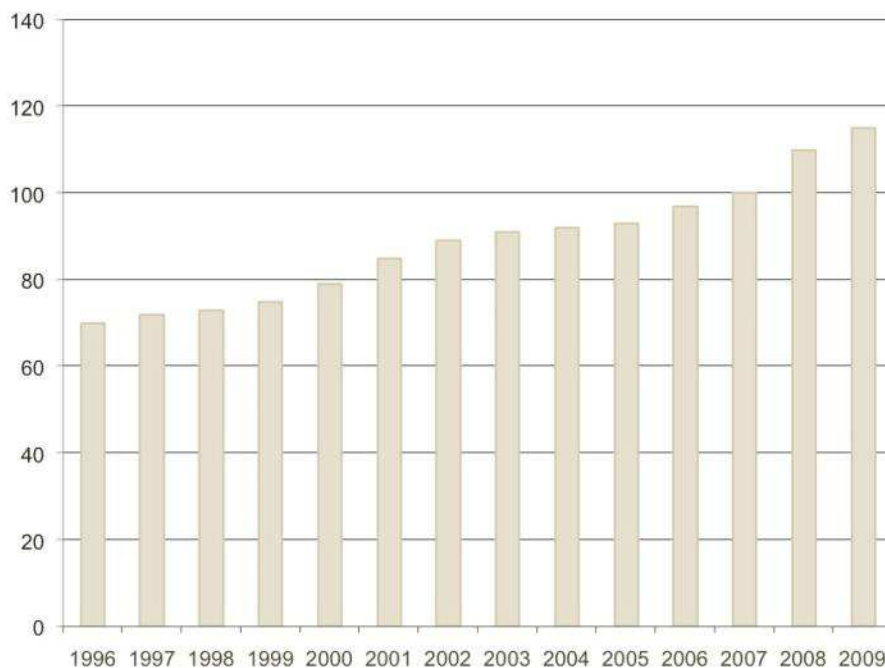


Abbildung 2: Entwicklung der mittleren Dämmstoffdicke in mm bei Wärmedämm-Verbundsystem von 1996 bis 2009, Quelle: Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 18

In den Folgejahren ist vor dem Hintergrund geänderter

Bauvorschriften bzw. stetig steigender Anforderungen an die Isolierung eine kontinuierliche Erhöhung der mittleren Dämmstoffdicke zu beobachten.

Experten nennen heute Dämmstoffdicken von 160 bis 200 mm als gängigen Standard. Dr.-Ing. Heribert Oberhaus, WDVS - Alles schon gesagt?, www.architekten-webkongress.de, 2012

Es ist anzunehmen, dass der Bedarf an Sanierung sich parallel zu den steigenden Kosten für Wärme und Energie in der Zukunft erhöhen wird. Damit steigen zwangsläufig auch die Anforderungen an Dämmung und WDV Systeme, die sich zweifelsohne analog zu den ständig wachsenden Anforderungen weiterentwickeln werden. Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 16 ff.

„Vor 20 Jahren dachten wir, es ist nun alles entwickelt. Und genau das Gegenteil war der Fall: Die Notwendigkeit den Wärmeschutz zu optimieren, hat das Wachsen der Dämmstoffdicken und das Entwickeln niedriger Wärmeleitfähigkeiten angestoßen. Diese Entwicklung ist noch im Gange.“ Dr.-Ing. Heribert Oberhaus, WDVS - Alles schon gesagt?, www.architekten-webkongress.de, 2012

Somit ist auch in Zukunft noch mit technischen Innovationen sowohl beim Dämmmaterial wie auch im Bereich der Hilfsmittel, dem Putz oder Verkleidung zu rechnen.

BAUORDNUNGSRECHTLICHE GRUNDLAGEN

Erste bauaufsichtliche Regelungen für die Anwendung von WDVS wurden erst 1980 veröffentlicht. Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele 2010, Seite 228

Seither wurden diese stufenweise verändert, konkretisiert und wuchsen mit der Zunahme von Anwendung und Forschung auf den neuesten Stand der Technik. Mittlerweile gibt es eine Reihe von Richtlinien, Zulassungen und Normen, auf nationaler- und internationaler Ebene. So werden die einzelnen Bestandteile des Produkts und seine Qualitäten festgeschrieben sowie feste Anforderungen an die Verarbeitung, Anwendung und Instandhaltung formuliert. Dennoch zählen WDVS zu den „ungeregelten Bauteilen“, weil für sie nach der Bauregelliste A keine technischen Regeln festgeschrieben sind. Auf nationaler und europäischer Ebene gibt es diesbezüglich ebenfalls keine Normen. Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 416

Nach § 2 Abs. 10 Musterbauordnung (MBO) ist das WDVS als ein Ganzes eine „Bauart“. Es darf demnach nur unter

„allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung“ (§18 MBO) oder einer „Zustimmung im Einzelfall“ (§20 MBO) angewendet werden. Nach der Bauordnung müssen Bauprodukte unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit gebrauchstauglich sein sowie die technischen und mechanischen Anforderungen an Festigkeit, Standsicherheit, Brandschutz, Hygiene, Gesundheit, Umweltschutz, Nutzungssicherheit, Schallschutz und Energieeinsparung / Wärmeschutz erfüllen. Unter der Erfüllung dieser Regelungen kann die bauaufsichtliche Verwendbarkeit von WDVS nachgewiesen werden. Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 416 ff

BAUGENEHMIGUNGSPFLICHT

Die Baugenehmigungspflicht für den Einsatz von WDVS unterscheidet sich hinsichtlich seines Einsatzes im Neu- und Bestandsbau. Während bei Neubauten die Entscheidung über die Fassadenbekleidung Teil der Baugenehmigung ist, wird der Fall in Bezug auf Bestandsanierungen und Umbauten in einzelnen Bundesländern unterschiedlich geregelt. Laut der MBO in der Fassung vom 08.11.2002 der LBO gilt der nachträgliche Einsatz von WDVS als Außenwandverkleidung, mit Ausnahme von Hochhäusern, gemäß §61 (1), Punkt 10d als „verfahrensfreie(s) Bauvorhaben“. Verweis auf Musterbauordnung und Landesbauordnung, vgl. zusammenfassend: Caparol, WDVS-Atlas, Seite160.

Dies ist entsprechend auch in den Bauordnungen der meisten Bundesländer zu finden. In Ausnahmen wird ein vereinfachtes Baugenehmigungsverfahren zugrunde gelegt. Einige Bundesländer erheben Einschränkungen bezüglich städtebaulicher Relevanz, wie zum Beispiel Hessen. Zahlreiche Bundesländer schreiben zusätzliche Einschränkungen bezüglich Bauwerken mit sichtbarem Holzfachwerk vor. Im Klartext bedeutet dies, dass „Außenverkleidungen, die laut Landesbauordnung genehmigungsfrei bzw. verfahrensfrei sind, weder einen Bauantrag noch eine Anzeige oder sonstige Kenntnisnahme des Bauvorhabens bei der Gemeinde oder Bauaufsichtsbehörde erfordern.“ Allerdings muss „das Vorliegen einer gültigen bauaufsichtlichen Zulassung für das verwendete WDVS (...) als baurechtliche Anforderung erfüllt sein.“ Caparol ,WDVS-Atlas, Seite166

Entgegen diesem Grundsatz sollte die Einhaltung öffentlich rechtlicher Vorschriften hinsichtlich von Denkmalschutz, Gestaltungssatzungen und geforderten Abstandsflächen besondere Beachtung finden.

WDVS UND DER MARKT IN ZAHLEN

Seit Beginn des Einsatzes von WDVS wurden 700 Mio. qm Fassadenflächen mit WDVS belegt. Bei einer Gesamtfassadenfläche beheizter Gebäude von 4.000 Mio. qm ist dies zwar bereits heute ein signifikanter Anteil, zeigt jedoch bei einem Anteil noch unverkleideter Flächen von mehr als 82% auch das bestehende Entwicklungspotential auf. Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 396

Untersuchungen des Absatzmarktes der vergangenen Jahre belegen, dass die höchste Absatzquote für WDVS sich mit den Phasen der staatlichen Förderungsmaßnahmen für Gebäudesanierungen deckt. Nach der Wiedervereinigung Deutschlands wirken sich die staatlichen Förderungsmaßnahmen sehr positiv auf den Markt aus. Im Zusammenhang mit dem Sanierungsbedarf der Plattenbauten in den neuen Bundesländern wurde eine Verdreifachung des WDVS-Absatzes erzielt. Auslaufende Förderungsmaßnahmen der Regierung und rückläufige Entwicklungen auf dem Wohnungsmarkt sorgten Ende der 1990er Jahre für eine Stagnation auf dem WDVS Markt. Damit sinkt der jährliche Verbrauch des Baumaterials im Jahr 1997/98 auf 30 Mio. qm - in den Jahren zuvor waren 45 Mio. qm zu verzeichnen. Ein erneuter Anstieg ist erst wieder im Jahr 2006 zu verzeichnen. Nach erneuter Bekanntgabe von Fördermitteln sowie dem Wegfall der Eigenheimzulage zieht der Markt 2006 wieder auf 35,5 Mio. qm an.



Abbildung 3: WDVS - Marktentwicklung unter technischem und politischen Einfluss, Quelle: Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 396

Im Gegensatz zur unmittelbaren staatlichen Förderung wirken sich die energiepolitischen Maßnahmen nicht messbar auf das

WDVS Marktvolumen aus. Weder EnEG von 1977 noch die Novellierungen der nachfolgenden Jahre hatten Einfluss auf die Absatzentwicklungen.

Somit ist insbesondere für zukünftige Entwicklungen die Annahme zu treffen, dass ohne die Aussicht auf Sondereffekte der Einsatz von Wärmedämm-Verbundsystemen im Bauwesen keinen sprunghaften Entwicklungen unterworfen sein wird.

Für eine genauere Prognose sind die noch nicht belegten Fassadenflächen zu betrachten.

Laut einer Erhebung gibt es ca. 4 Mrd. qm Fassadenfläche von beheizten Gebäuden in Deutschland. Davon sind 700 Mio. qm bereits mit WDVS belegt, der ungedämmte Anteil beträgt somit ca. 3,3 Mrd. qm Fassadenfläche. Unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren ist jedoch davon auszugehen, dass nur ca. 1,3 Mrd. qm Fassadenfläche für eine nachträgliche Dämmung und Modernisierung in Frage kommen. Etwa 1,8 Mrd. qm werden lediglich einer Renovierung unterzogen, 200 Mio. qm einer Sanierung ohne energietechnische Aufwertung. Die Ursache hierfür liegt in unterschiedlichen Bereichen: Denkmalschutz, bereits hochdämmendes Mauerwerk oder finanziellen Gründe. Beispielsweise können Vermieter ihre Investitionen für energetische Sanierung aufgrund mietrechtlicher Einschränkungen nicht in vollem Umfang durch Mietanpassungen refinanzieren, haben somit keine wirtschaftlichen Anreize entsprechende Maßnahmen durchzuführen, obwohl für den Mieter die Energiekosteneinsparungen i.d.R. die Mieterhöhungen aufwiegen könnten.

Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 398.

Neben der zuvor durchgeführten Betrachtung des Bestandes, muss für eine Prognose des WDVS Marktes auch der Neubau berücksichtigt werden, der ab 2020 einen Anteil von 25 bis 30 Prozent am Gesamtvolumen des WDVS-Marktes haben soll. Vor allem aufgrund demographischer Entwicklungen mit geburtschwachen Jahrgängen wird in dem Zeitraum zwischen 2025 und 2040 ein Rückgang sowohl im Neubau wie auch bei der Modernisierung prognostiziert, der sich erst ab 2040 wieder stabilisieren wird.

Betrachtet man zusätzlich den Renovierungszyklus für WDVS, ergibt sich ein moderat steigendes Marktvolumen von ca. 50

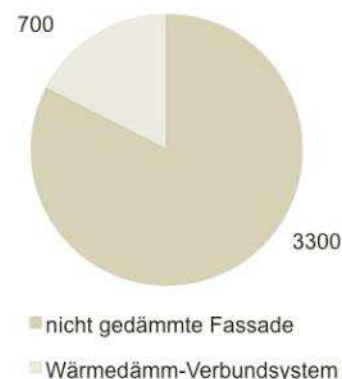


Abbildung 4: Anteil der gedämmte Fassadenfläche in Mio. qm, Quelle: Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-verbundsystem 2010, Seite 397

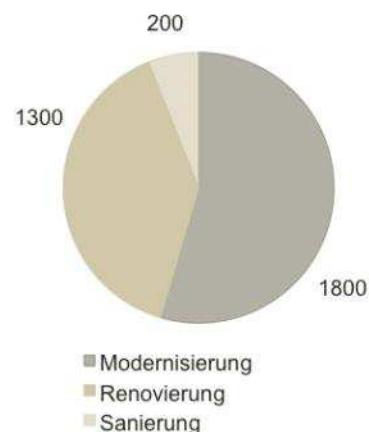


Abbildung 5: Verteilung der Instandsetzungsart an nicht gedämmten Fassaden in Mio. qm, Quelle: Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 397

Mio. qm bis ca. 65 Mio. qm in 2015, welches in den Folgejahren bis 2040 auf 45 Mio. qm stagniert.

Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 405-410.

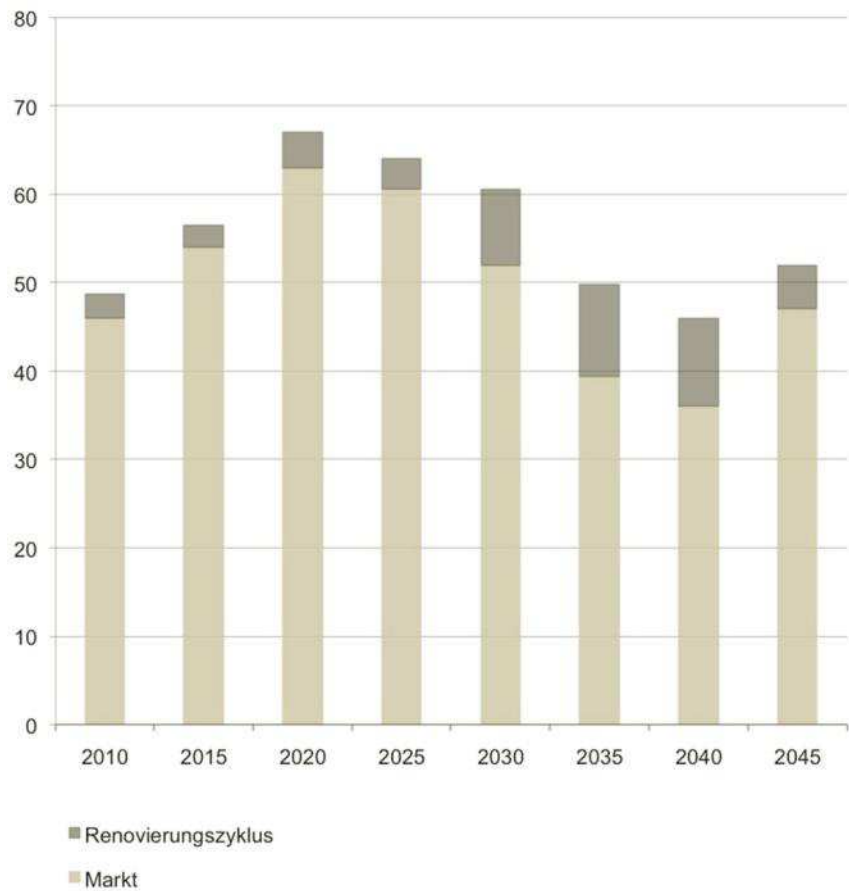


Abbildung 6: Einschätzung des zukünftigen WDV-Marktes, Quelle: Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 409

Aus gestalterischer Sicht folgen aus dieser Prognose für den WDV Markt zwei wesentliche Konsequenzen.

Einerseits wird ein gewaltiger Eingriff in die Baukultur durch die Verkleidung von über der Hälfte aller Oberflächen der beheizten Gebäude in Deutschland absehbar.

Zweitens sehen sich die Herstellerfirmen vor der Herausforderung, in einem sich in den kommenden Jahren konsolidierenden und somit wettbewerbsintensiven Markt Umsatzanteile zu halten oder sogar auszubauen. Daraus leitet sich naturgemäß auch ein Innovationsbedarf für die Industrie ab.

Diese Aspekte unterstreichen somit nicht zuletzt auch die Relevanz der vorliegenden Arbeit.

SYSTEMAUFBAU

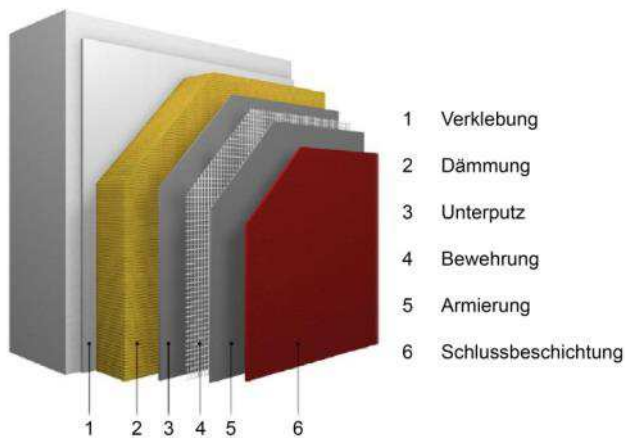


Abbildung 7: Wärmedämm-Verbundsystem-Aufbau - StoTherm Classic® S1, Quelle: www.sto.de

Das Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS) ist ein bauseits angebrachtes Fassadenelement zur Wärmedämmung. Es besteht aus werkmäßig hergestellten Produkten, welche als vollständiges System vom Hersteller geliefert werden und i.d.R. die Komponenten Klebemörtel, Wärmedämmstoff, Unterputz, Bewehrung, Armierung, Oberputz / keramische Bekleidung / dekorative Beschichtung umfassen. Alle Schichten sind untereinander und mit dem Untergrund fest verbunden. Um die gewünschten bauphysikalischen Werte und die Dauerhaftigkeit des Systems sicher zu stellen, dürfen als Einzelkomponenten nur aufeinander abgestimmte und im jeweiligen Systemaufbau geprüfte Materialien eines Herstellers angewendet werden. Allgemeine Angaben hierzu finden sich in DIN V 18 559. Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegeler, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 495

MATERIALEIGENSCHAFTEN DER DÄMMUNG

Als Dämmstoffe werden in WDV Systemen häufig Produkte aus Mineralfasern, hauptsächlich jedoch eine Hartschaumdämmung in Form von Polysterolplatten (EPS – Expandiertes Polystyrol Hartschaum) eingesetzt. Besser bekannt ist das Material unter dem Namen „Styropor“, als welches es 1952 von dem Unternehmen BASF patentiert wurde. Expandiertes Polystyrol entsteht durch das Aufschäumen von Polystyrolkügelchen. Die Ausdehnung des Ausgangsmaterials

geschieht durch ein Treibmittel und unter Dampfeinwirkung, bei gleichzeitigem Verpressen in einer Form. Bei diesem Vorgang werden die gedehnten Kugeln miteinander verbunden. Anschließend wird das Material in Blöcke oder Platten geschnitten. MATERIAL ARCHIV - www.materialarchiv.ch (15.11.2012)

Durch diesen relativ unaufwendigen Fertigungsprozess unter Verwendung eines kostengünstigen Ausgangsprodukts bleiben die Materialkosten vergleichsweise gering. Dies begünstigt zusätzlich die niedrige Preisentwicklung im gesamten System.

Durch das Aufschäumen von Polystyrol besteht das Endprodukt EPS zu 98% aus eingeschlossener, d.h. stehender Luft. Dieser Umstand garantiert hohe Dämmwerte und eine leichte Handhabung durch das geringe Eigengewicht. Letztere erlaubt zudem ein schnelles Verarbeiten des Dämmmaterials.

Durch seine geringe Rohdichte, mechanische Druckfestigkeit und Elastizität lässt sich der Dämmstoff EPS sehr gut ver- wie auch bearbeiten. Seine Stärken liegen insbesondere in seiner Formbarkeit, die ihn zu einem in der Verpackungsindustrie häufig genutzten Material macht.

Im Bausektor wird EPS in Form von Platten ausgeliefert. Sonderformen, Profile und Platten mit beispielsweise eingefrästen Nuten u.Ä. können im Werk vorgefertigt werden. Die Befestigung der Platten erfolgt durch Verklebung, Verdübelung mit Verklebung oder auf Tragschienen.

Unter Verwendung von Hartschaum hergestelltes WDVS verfügt über eine sehr hohe Haftzugfestigkeit, was eine Bearbeitung und Veredlung der Oberflächen begünstigt.

Neben seiner geringen Wasserdurchlässigkeit ist EPS beständig gegen Witterungseinflüsse und verrottet nicht. Es ist jedoch nicht UV-stabil und versprödet, wenn es Tageslicht ausgesetzt ist. Deshalb muss es vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt werden.

WÄRMESCHUTZ

Unter Wärmeschutz und Energieeinsparungen in Gebäuden werden alle Maßnahmen zur Verringerung der Wärmeübertragung durch die Wärmeübertragenden Umfassungsflächen und durch die Trennflächen von Räumen unterschiedlicher Temperatur zusammengefasst.

Als Mindestanforderung an den Wärmeschutz von Bauteilen müssen diese sowohl einen dauerhaften Schutz der Konstruktion gegen klimabedingte Feuchteeinwirkungen als

auch ein hygienisches Raumklima im Winter gewährleisten. Sowohl der Wärmeschutz als auch die Erhöhung der Energieeffizienz und die Senkung von Treibhausgasen bei der Nutzung von Gebäuden werden erheblich von der Wärmedämmung der Außenbauteile beeinflusst. Unter Wärmedämmung wird der Widerstand eines Bauteils gegen den Wärmedurchgang durch Wärmeleitung bei einer Temperaturdifferenz innen / außen verstanden. Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegel, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 38

WÄRMELEITFÄHIGKEIT – λ WÄRMEDURCHGANGS-KOEFFIZIENT – U-WERT

Die Wärmeleitfähigkeit λ eines Baustoffes gibt an, welche Wärmemenge W_s im Beharrungszustand je Zeiteinheit s durch eine 1 qm große und 1 m dicke Stoffschicht bei einer Temperaturdifferenz von 1 K (Kelvin) hindurchgeht. Je kleiner λ , umso besser die Dämmwirkung des Baustoffes.

Baustoff	Wärmeleitfähigkeit λ [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]	Rohdichte ρ [kg/m^3]
Mauerwerk, Vollziegel	0,68	1600
Mauerwerk, Hochlochziegel	0,23 – 0,26	800
Außenputz, mineralisch	1,00	1800
Innenputz	0,70	1400
PS-Hartschaumplatten	0,032 – 0,040	15 – 17
Mineralwollämmplatten	0,035 – 0,041	70 – 150
PUR-Hartschaum	0,024 – 0,030	≥ 30

Abbildung 8: Wärmeleitfähigkeit λ einiger Bau- und Dämmstoffe.
Quelle: DIN V 4108-04 Wärmeschutz und Energieeinsparung von Gebäuden, Teil 4

Der Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert eines Bauteils ist das Maß für die Wärmemenge in W_s , die je Zeiteinheit s und Flächeneinheit qm durch eine ein- oder mehrlagige Materialschicht bzw. ein Bauteil hindurchgeht, wenn unter stationären Randbedingungen der Temperaturunterschied der Luft auf beiden Seiten des Bauteils 1 K (Kelvin) beträgt. Der Wärmedurchgangskoeffizient eines WDV Systems ist, durch eine starke und hochdämmende Schicht Material im Kern, sehr gering.

2.1.3 BEWERTUNG DES WDVS

Die Zahl der reklamierten WDVS-Schäden lag beispielsweise im Jahr 2010 deutlich unter 2%. Trotzdem wird in den Medien über WDV Systeme oft gerade wegen ihrer Mängel und Schäden berichtet. db Deutsche Bauzeitung 2011. Heft 01.2011

Die Kritik am WDVS soll nachfolgend zusammengefasst werden und die Frage nach Einsetzbarkeit und Qualität des Systems betrachtet werden.

QUALITÄT – MONTAGE

Der günstige Preis wie auch die einfache und schnelle Verarbeitung machen den Einsatz von Polystyrol in WDVS sehr attraktiv. Die Montage solcher Systeme scheint selbst ohne Planungsaufwand und Planer zu funktionieren. Beraten wird ein potenzieller Kunde in der Regel von Malerfirmen oder anderen handwerklichen Betrieben, die in der Lage sind, das WDV System an die Fassade zu bringen. Selbst „Self-Made-Fassaden“ scheinen damit realisierbar zu sein. Im Internet findet man entsprechende Anleitungen zum Bauen und Sanieren der eigenen Hausfassade. www.baumarkt.de (24.11.2012)

Die Fachzeitschrift db Deutsche Bauzeitung aus dem Jahr 2011 vermerkt Folgendes zum Thema:

„In der Regel geht die energetische Aufrüstung mit außenseitigen Wärmedämmungen vonstatten. Das System ist einfach zu handhaben; es braucht nicht einmal Architekten, um die Dämmmaßnahmen durchzuführen. Die Industrie tut das ihrige, um die Sache attraktiv zu machen; sie füllt in der kreativen Gestaltung gedämmter Oberflächen jede nur denkbare Lücke: So kann mit millimeterdünnen Natursteinapplikationen, Holzimitationen, Putzmustern und -profilen jede Art künstliche Oberfläche hergestellt werden. Sichtmauerwerk, Fachwerk, Natursteinfassaden – geklebt und tapeziert, auf dem Untergrund von 20 Zentimeter starken Wärmedämmverbundsystemen.“ db Deutsche Bauzeitung 2011. Heft 15-16

Dem Mythos der „Self-Made Fassade“ steht die Analyse der auftretenden Mängel gegenüber. Denn diese sind oft auf fehlende Planung und nicht systemgetreuen Einsatz des WDVS zurückzuführen. Die technischen Werte eines WDVS gelten nämlich nur, wenn die angegebenen, aufeinander abgestimmten Komponenten verwendet werden. Viele Experten

sind sich einig, dass Schäden am WDVS zumeist durch fahrlässige bzw. fehlerhafte Ausführung oder unzureichende Planung verursacht werden, oftmals bedingt durch mangelhafte Sachkenntnisse durchführenden Personen. Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 339

Somit bleibt festzuhalten, dass fachgerechte Planung und Montage trotz einer am Markt insgesamt geringen Schadensquote wesentlich für die Wirkung wie auch Qualität eines verlegten WDVS sind.

Generell bleibt anzuerkennen, dass sich das System seit fünf Jahrzehnten bewährt und unter fachgerechter Planung und Ausführung ein zuverlässiges Bauteil darstellt. Es bestehen keine systemspezifischen Schwachstellen mit einem hohen Risiko zum Versagen der Konstruktion oder schwerwiegenden Schäden.

Die Haltbarkeit und Instandsetzung der Oberflächen von WDVS ist mit dem Putz vom Mauerwerk vergleichbar. Die Entkopplung der Dämmschicht führt in der Regel zu weniger Rissbildung und hilft außerdem Schäden an der Fassade zu vermeiden.

TAUWASSER UND ALGEN

Tauwasserausbildung innerhalb der Wandkonstruktion fällt nur durch eine Veränderung des Feuchtegehaltes der Baustoffe an. Diese gilt jedoch als unbedenklich, so lange Standsicherheit und Wärmeschutz dadurch nicht beeinträchtigt werden. Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 42

Schlagregen stellt eine zusätzliche Beanspruchung für die Fassade dar. Diese ist jedoch unbedenklich, so lange das WDVS fachgerecht ausgeführt und die Oberfläche rissfrei ist. Fehlerhafte Fugenausbildung und Abdichtungen oder Risse begünstigen eine kapillare Saugwirkung in der Fassade, wodurch eine Durchfeuchtung der Innenkonstruktion entstehen kann. Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 42 Bleibt eine Abführung dieses Wassers und Trocknung der Außenwand aus, kann dies zu Schäden innerhalb der Wandkonstruktion führen. Daraus folgt, dass ein besonderes Augenmerk auf die Detailausführung zu legen ist.

Infolge immer besser wirksamer Wärmedämmungen wird der Wärmestrom von innen nach außen unterbrochen. Die Temperatur der Außenoberflächen eines gedämmten

Gebäudes nähert sich der Lufttemperatur an. So kann, abhängig von den Oberflächeneigenschaften des WDVS, die Temperatur der Gebäudeaußenhaut auch unter die Lufttemperatur sinken, was Tauwasserbildung an der äußeren Wandoberfläche zur Folge hat. Auch Pflanzenwuchs vor der Fassade fördert die Tauwasserbildung. Eine wesentliche Rolle spielen dabei auch die Orientierung der Wandfläche und der Windschutz. Die verschatteten Seiten der Gebäude sind nachgewiesenermaßen in der Regel stärker betroffen, weil die Verdunstung von Nässe auf diesen Seiten nur sehr langsam passiert.

Kann das Tauwasser nicht abtrocknen, führt dies meist unvermeidlich zu mikrobiellem Befall. In Kombination mit Feuchtigkeit und Staub bietet die äußerste Fassadenschicht den Nährboden für Algen und Pilze.

Algenbefall wird meist durch grüne Flecken auf geputzten Fassaden sichtbar. Entscheidend für den Algenbefall ist vor allem die Beschaffenheit der äußersten Beschichtung eines WDVS. Abhilfe bieten hydrophobe oder spezielle Oberflächen, die eine Taupunktunterschreitung der Fassade minimieren. Dickputz, infrarotreflektierende Fassadenfarben oder auch spezielle, wärmespeichernde Einlagen in der Putzschicht können die Zeiten einer Taupunktunterschreitung um bis zu 90 Prozent reduzieren und somit Algenbefall in Folge von Tauwasserbildung verhindern. Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 48-51

Algizide und Fungizide werden heutzutage ihrer ökologischen Nachteile wegen meist nicht mehr angewendet.
<http://www.baunetzwissen.de/> (14.12.2012)

BRENNBARKEIT

Mineralische Dämmstoffe, darunter fällt auch der Dämmstoff im WDVS, sind der Baustoffklasse A (nicht brennbar) bis B1 (schwer entflammbar) zugeordnet. Die mit dem WDVS verwendeten Putze werden der Baustoffklasse B1 zugeordnet. Entgegen der aktuellen Meldungen in den Medien gilt Styropor als „nicht brandgefährlich“.

In der Stellungnahme zu Medienberichten über Wärmedämm-Verbundsysteme in Ausbau+Fassade, Heft 1/2012 heißt es:

„Für Baustoffe und damit auch für den Wärmedämmstoff Styropor gelten strenge Brandschutzanforderungen, die regelmäßig geprüft und überwacht werden. [...] Aussagen wie ‚Ein Feuer in einem Haus mit Polystyrol-Fassade kann verhängnisvoll sein!‘ verunsichern die Verbraucher zu Unrecht aus folgenden Gründen:

Das deutsche Baurecht einschließlich der baurechtlichen Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen ist streng und deshalb eng gefasst. Dabei wird EPS-Hartschaum wie alle anderen Baustoffe behandelt. Es gibt hierfür keine Sonderregelungen. Leicht entflammbare Dämmstoffe – oftmals falsch als leicht brennbar bezeichnet – sind in Deutschland als Wärmedämmung verboten. Nach den brandschutzrechtlichen Bestimmungen müssen alle Dämmstoffe im eingebauten Zustand mindestens der Baustoffklasse B2 entsprechen. B2 bedeutet normalentflammbar nach der deutschen Norm DIN 4102. Styropor, wie es z.B. in Wärmedämmverbundsystemen als Fassadendämmung eingesetzt wird, erfüllt die Baustoffklasse B1, d.h. es ist schwerentflammbar. Die geforderte Schwerentflammbarkeit von Styropor muss regelmäßig geprüft und fremdüberwacht werden - und dies wird auch getan. [...] Die Verwendbarkeit von Styropor als schwerentflammbarer Wärmedämmstoff wird über allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen nachgewiesen. Diese Zulassungen sind ausgestellt vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt). Die in Deutschland ordnungsgemäß eingesetzten Wärmedämmverbundsysteme verfügen ebenfalls über bauaufsichtliche Zulassungen, die vom DIBt ausgestellt werden. Wie die Zulassungen für EPS Hartschaum basieren die WDVS-Zulassungen auf umfangreichen bestandenen Prüfungen, die auch Originalbrandprüfungen bis hin zu Naturbrandversuchen umfassen. [...]

Dass Wärmedämm-Verbundsysteme mit Styropor als Wärmedämmstoff sichere Systeme sind, wurde und wird regelmäßig durch Prüfungen bestätigt. Nicht zuletzt deshalb

sind Wärmedämmverbundsysteme mit EPS-Hartschaum seit Jahrzehnten als Fassadendämmung bewährt und anerkannt.“
Ausbau+Fassade, Heft1 /2012, Seite 8: „Haltlose Darstellung“

STABILITÄT DES MATERIALS

Standicherheit und Stoßfestigkeit von WDVS sind wesentliche Eigenschaften, die bereits bei der Planung zu berücksichtigen sind. Im Wesentlichen sind die folgenden Beanspruchungen zu berücksichtigen:

- Eigengewicht des WDVS
- Windsoglasten
- Thermische Beanspruchungen durch Temperaturschwankungen und Sonneneinstrahlung
- Hygrische Spannungen durch Schwankungen der Feuchtigkeit
- Verformungen der Trägerwand
- Mechanische Einwirkungen auf die Oberflächen

Diese Beanspruchungen sind abhängig von Objekt und Lage individuell ausgeprägt, die Industrie bietet dazu eine Vielzahl unterschiedlicher Systemlösungen an. An diesem Punkt wird nochmals die Relevanz einer fachkundigen Planung und Montage für eine langlebige Qualität des WDVS sichtbar, wie sie bereits im Abschnitt *Montage* erläutert wurde. Für eine detailliertere Betrachtung dieser Themen sei auf Riedel et al „Wärmedämmverbundsysteme“, 2010 verwiesen.

Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 66ff

LEBENSZYKLUS

WDVS zählt heute zu den in der Praxis bewährten Bauprodukten. Bei ca. 700 Millionen qm verkleideter Fassadenfläche und einer Prognose von weiteren 1,8 Mrd. qm in den kommenden Jahrzehnten ist die Betrachtung des Lebenszyklus gerade für ein Produkt aus dem Bereich des Umweltschutzes relevant.

Weil die ersten WDVS aus früheren Jahren mittlerweile erneuert und entsorgt werden müssen, ist anzunehmen, dass das Abfallvolumen in den nächsten Jahrzehnten zunehmen wird. Prof. Dr.-Ing. Susanne Rexroth, Webkongress 2011

Der Leitfaden für „Nachhaltiges Bauen“ des Bundesbauministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen schreibt WDVS eine Haltbarkeit von 25 bis 45 Jahren und eine mittlere Haltbarkeit von 30 Jahren zu. Diese Zahlen sind doppelt so hoch wie die Angaben aus den 1970er-Jahren. Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 265

Dies spricht deutlich für die Weiterentwicklung des Materials und reduziert auch die Problematik der Entsorgung bzw. Wiederverwendbarkeit, die im Grundsatz jedoch bestehen bleibt.

Recycelt werden kann zwar das reine Dämmmaterial (EPS), die Wiederverwertbarkeit des WDVS bleibt jedoch ein Problem. Auch wenn neue Erhebungen belegen, dass Energieeinsparungen durch WDVS den Energieaufwand zur Produktion und Entsorgung aufwiegen können, bleibt die Frage des Recyclings derzeit noch ungelöst. Prof. Dr. Grinewitschus, , WDVS - Alles schon gesagt?, www.architekten-webkongress.de, 2012

Insbesondere die Trennbarkeit der Einzelkomponenten ist bei geklebten oder gedübelten WDVS heute noch nicht wirtschaftlich gelöst. Nur WDVS mit Schienensystemen sowie WDVS mit Verdübelung ohne Verklebung gestatten auch heute schon eine Trennung der Materialien. Auch die Wiederverwendbarkeit der Putze sowie die Verunreinigung der Dämmplatten werden als problematisch eingeschätzt. Rückbau, Aufbereitung und Stofftrennung am Ende des Produktlebenszyklus müssen durch Forschung und Entwicklung künftig noch besser gelöst werden. Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 368ff

NUTZENBEZOGENE ASPEKTE

Gut gedämmte Außenwände erzeugen auch eine größere Behaglichkeit im Innenraum. Durch trockene und wärmere Oberflächentemperaturen an den Innenwänden werden Luftzugerscheinungen vermieden. So kann schon bei niedrigen Raumtemperaturen die Wohlfühltemperatur für die Bewohner erreicht werden, und das unnötige Überhitzen der Räume durch Kompensation der als unangenehm empfundenen Raumlufttemperatur kann gemindert werden. Dies gilt umgekehrt auch für die warmen Jahreszeiten. Zusätzlich wird, durch trockene Innenräumlichkeiten, der Schimmelpilzbildung vorgebeugt.

In der Gesamtbetrachtung kann durch den Einsatz von WDVS

der Energieverlust durch Heizen und Kühlen von Gebäuden deutlich gesenkt werden.

Hier sei jedoch anzumerken, dass der tatsächliche Energieverbrauch der einzelnen Wohneinheiten sehr stark von ihren Nutzern abhängt. Das Nutzerverhalten mit der individuell sehr unterschiedlichen Handhabung von Beheizung und Lüftung spielt für den realen Energieverbrauch eines Hauses eine wesentliche Rolle. Studien zeigen, dass bei größeren Wohnungsanlagen mit identischen Wohnungen der höchste Energieverbrauch einer Wohnung dreimal so hoch ist wie der niedrigste. Dr.-Ing. Heribert Oberhaus, WDVS - Alles schon gesagt?, www.architekten-webkongress.de, 2012

Das Nutzerverhalten ist somit ein wichtiger Faktor, der jedoch schwer im Voraus zu bestimmen ist. Simulationen und Berechnungen über den Energieverbrauch von Wohnungen und Gebäuden basieren auf Durchschnittswerten. Wetter und Jahreszeiten sind aber von Jahr zu Jahr verschieden. Dr.-Ing. Heribert Oberhaus, WDVS - Alles schon gesagt?, www.architekten-webkongress.de, 2012

ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Die energietechnische Modernisierung, bedingt durch eine auf Ressourcenschonung bedachte Energiepolitik, ist ein unwiderruflicher Prozess. Fast 20 % der Fassadenfläche beheizter Gebäude in Deutschland sind bereits gedämmt und dieser Anteil wird voraussichtlich auf bis zu 60% ansteigen. Neue technische Lösungen wurden zu vielen bei WDV Systemen kritisierten Themen erarbeitet, dies betrifft beispielsweise Tauwasser und mikrobiellen Befall, Brennbarkeit oder die Qualität der Systeme an sich. Allein das Aufgabengebiet des Recyclings bzw. der Wiederverwendbarkeit ist heute noch nicht hinreichend gelöst. Somit ist davon auszugehen, dass WDVS auch künftig ein in der Fassadengestaltung prägender Baustoff sein wird.

Weiterhin ist mit steigenden Anforderungen an die isolierenden Eigenschaften eine zunehmende Dicke der WDVS zu verzeichnen. Waren die ersten Systeme noch wenige Zentimeter stark, so werden heute 16 bis 20 Zentimeter dicke Dämmungen verbaut. Dies hat auch sichtbare Auswirkungen bei allen Öffnungen der Fassade.

Baurecht, Förderungsmaßnahmen oder Vorschriften wie z.B. der Energiepass stellen Wirksamkeit und Qualität des Systems in den Vordergrund. Auch die öffentliche Diskussion in den

Medien fokussierte vor allem technische Aspekte wie Brandschutz oder Algenbefall.

Fragen der Ästhetik stehen dabei stets hinten an. Daher stellt dieses Forschungsprojekt die Gestaltungsmöglichkeiten der Fassade unter Nutzung von WDVS in den Mittelpunkt, um einen konkreten Weg zum gestalterischen Umgang mit WDVS als Baustoff bei fortschreitender Verkleidung unserer Fassaden aufzuzeigen.

2.2

METHODISCHE ANALYSE

2.2.1 PROBLEMSTELLUNG

„Der Mensch ist selbst Ästhetik, die Ästhetik ist ja heute die Begleiterscheinung jeder menschlichen Tätigkeit“ Joseph Beuys

Das Produkt WDVS ist durch die Notwendigkeit einer energetischen Ertüchtigung von Gebäuden im Bestand wie auch beim Neubau zu einem der am häufigsten eingesetzten Materialien im Bereich der Fassade geworden. Parallel dazu steigt auch die mediale Aufmerksamkeit und die Anzahl der Kritiker - insbesondere aus den Reihen der Architekten und Stadtplaner. WDVS wird plötzlich zum Gegenstand der Stadtgestaltung und Baukultur.

DISKUSSION DES WDVS UNTER DEM GESICHTSPUNKT DER ÄSTHETIK

Das „Einpacken“ bestehender Bauten scheint so in Fleisch und Blut übergegangen zu sein, dass kaum danach gefragt wird, was es jenseits von Heizenergie bzw. CO₂-Emissionen bewirkt.

*Bauwelt 2011 - 15/16
Seite 16-19*

Einer der größten Kritikpunkte ist die Wahrnehmung des Materials. Sowohl die durch die Standardisierung der Systemlösungen erzeugte Beliebtheit wie auch die haptischen Eigenschaften rücken in den Fokus der ästhetischen Kritik. Immer wieder tauchen Assoziationen von fehlender Ehrlichkeit und optischen Täuschungen von WDVS in Diskussionen über das System auf.

Das Material imitiert einen verputzten Massivbau, klingt aber bei Berührung hohl und wirkt instabil und aufgesetzt.

Der Wunsch nach Ehrlichkeit und Plausibilität des Materials ist durchaus vorhanden, jedoch in Zeiten des Klimawandels und notwendigen Maßnahmen nicht allseits gleichermaßen akzeptiert. Unter Betrachtung der pragmatischen Aspekte wäre es auch denkbar die „persönlichen Empfindungen“ hintenanzustellen, insbesondere „wenn das Geld nicht da ist (...) muss man über Kompromisse nachdenken, die vielleicht ein wenig faul sind, aber für 85 Prozent der Bevölkerung tragbar“. Energiepolitiker Tschaker, FAZ 22.09.2010

„Denn schließlich ist Ästhetik nicht mit Zahlen belegbar.

Manchmal lassen sich die hohen energetischen Anforderungen nicht anders erfüllen als mit einem dicken Dämmpaket, das als naheliegendste Maßnahme erscheint.“ db Deutsche Bauzeitung, Heft 01.2011

Das WDVS scheint unter der Berücksichtigung verschiedener Aspekte des Klimaschutzes und der Kosten unschlagbar. Seine Anwendung und die prognostizierten Absatzzahlen werden zukünftig noch steigen. Insbesondere, weil „Dämmung mit

Verbundsystemen an Gebäudefassaden meist unkontrolliert geschieht und größtenteils ohne Genehmigung, obwohl wesentlich in die Gebäude eingegriffen wird.“ Kerstin Molter, Mark Linnemann, Wärmedämmverbundsystem und das verlorene Ansehen der Architektur 2010

Die unbedachte Anwendung des WDVS verändert das Bild unsere Städte. WDVS, das in der Regel in Platten verbaut wird, eignet sich hervorragend zum Erneuern von schlichten Fassaden mit klaren Formen und Kubaturen oder auf ebenen Flächen von Plattenbauten.

Wenn Gründerzeitfassaden, die heute das Stadtbild vielerorts prägen, unter einer dicken WDVS-Schale verschwinden und die Struktur unserer Städte fassadenseitig geglättet wird, droht ihnen der Verlust ihres Gesichtes. Das Spachteln und Glattmachen ist ein Problem in der Sanierung von Altbauten, denn die „Vielfalt unserer Städte lebt gerade davon, dass es keine verbindliche DIN-Norm oder technische Ausführungsbestimmung auf der Ebene der Stadt und des Stadtquartiers geben kann.“ Bauwelt 2011, Heft 15/16 Seite 16-19

Angesichts der Anzahl und des Potenzials der zu sanierenden Altbauten in der Bundesrepublik Deutschland (vgl. Kap. 2.1 Faktenlage) stellt sich das erschreckende Szenario der Uniformierung deutscher Städte. Eine weitere Gefahr liegt im Verlust der Maßstäblichkeit eines Gebäudes.

Mit einer Sanierung und „Aufdickung“ der Außenwand, wenn sie unbedacht geschieht, also nicht konzeptionell in den Entwurf einer Sanierung einfließt, verändern sich nicht nur die Proportionen der Kubatur, sondern auch die Einzelteile der Fassade. Die Fenster sitzen dann deutlich tiefer und wirken dabei kleiner und dunkler. Das gesamte Erscheinungsbild eines Gebäudes verändert sich nachhaltig.

Deutlicher spürbar wird das in der Betrachtung von großen Wohnanlagen, denen nach der Sanierung durch diese Gleichförmigkeit Identitätsverlust droht. Kritiker äußern die Befürchtung, dass so ganze Stadtteile der Monotonie verfallen könnten.

Es stellt sich die Frage nach der Angemessenheit, wenn Gebäude „totsaniert“ werden und im Preiskampf der Investoren und Hersteller jeglicher Gestaltungswille ohne Berücksichtigung bleibt. Ganze Komplexe oder gar Stadtteile könnten dadurch abgewertet werden. Das ohnehin schlechte Image des Materials leidet zusätzlich durch seine unbedachte Anwendung.

„So hat landauf, landab die Gleichmacherei begonnen. Nivelliert werden regionale Bautraditionen, Schmuckformen genauso wie singuläre Architekturen, ganze Stadtviertel oder Kulturlandschaften.



Erwin Wurm, Fat House Moller Adolf Loss, 2005



Erwin Wurm, Fat House, 2005



Erwin Wurm, Fat Car, 2005

Die meisten Häuser erhalten Fassaden, die so gedunsen aussehen, als seien sie aus Marshmallow, am besten noch in dazu passenden süßlichen Farben.“ Süddeutsche Zeitung, 05.01.2011

Um der Gleichmacherei, Uniformität und dem unbedachten „Plattmachen“ jeglicher Strukturen deutscher Städte und Regionen vorzubeugen muss, parallel zur energetischen Ertüchtigung und zum Fortschritt, ein Umdenken bezüglich des wahllosen „Zudämmens“ und „Einpackens“ unserer Gebäude und der Haltung gegenüber unserer Städte passieren.

Einer über den Pragmatismus hinausführenden Nachhaltigkeit Rechnung zu tragen, ist unter den gegebenen Umständen die Pflicht aller Beteiligten im Bauwesen. Es gilt mit den gegebenen Zwängen und Vorgaben umzugehen und dem Material zu einer besseren Gestaltung zu verhelfen.

Die Mitsprache des Planers ist dabei unabdingbar, wenn man die Baukultur in Deutschland erhalten möchte.

Man kann an Wärmedämm-Verbundsystemen einiges kritisieren, aber es steckt auch eine Menge Potenzial in den Materialien.

Das WDVS gehört, wie allgemein verlautet, nicht zum „Lieblingsmaterial“ des Architekten. Die Haltung dazu ist sehr kontrovers und bringt, im Zuge der Auseinandersetzungen und Kritiken innerhalb der Baubranche, viel Aufruhr unter die Architekten. Viele Fachvertreter lehnen die energetische Sanierung alter Gebäude sogar rigoros ab. FAZ 2010 Denn für Architekten zählt die Ehrlichkeit des Materials zu dessen Wertigkeit.

„DENN DAS MATERIAL IST IN JEDEM FALL UNSCHULDIG“

Karl Joseph Schattner

Das Auge des Betrachters braucht Strukturen, die sich beim näheren Blick auf die Fassade detaillieren – ähnlich wie es alte Stadtfassaden tun, die eine Nah- und eine Fernwirkung haben.

„Der deutsche Architekt Karl Josef Schattner hat in einem Vortrag, in dem es um den richtigen Gebrauch von Materialien im Bauen ging, abschliessend festgestellt: ‚Denn das Material ist in jedem Fall unschuldig.‘ Das heisst, dass lediglich die Art des Umgangs die Qualität des Baus bestimmen wird. Die architektonische Qualität hat nur in seltenen Fällen mit der Wahl eines bestimmten Baumaterials, immer aber mit dessen richtiger Verwendung zu tun. Das Material, das der Architekt wählt, muss folglich danach betrachtet werden, was es leisten kann und was nicht, was seine Besonderheiten sind und welche Wirkung es hervorruft“. Jacques Blumer, Atelier 5, Vom Umgang mit Materialien oder das Material ist unschuldig, DBZ Heft 3 - 2000

Im Falle des WDVS muss die spezifische Qualität des Materials vielleicht erst gefunden und definiert werden. Seine „Ehrlichkeit“ muss noch herausgearbeitet und offenbart werden, ehe eine neue Sprache zum besagten Material entwickelt werden kann. WDVS unterliegt in der Entwicklung von Fassadenbild bzw. -struktur anderen Spielregeln als herkömmliche Materialien. „Wenn man das berücksichtigt, kann man ästhetisch schöne Ergebnisse erzielen.“ Dazu muss man konsequent die Möglichkeiten des Systems herausarbeiten, um eine architektonische Herangehensweise ableiten zu können. „Das Material soll als etwas Eigenständiges agieren und nicht z.B. eine klassische Putzfassade nachahmen.“ Andreas Hild, WDVS - Alles schon gesagt?, www.architekten-webkongress.de, 2012

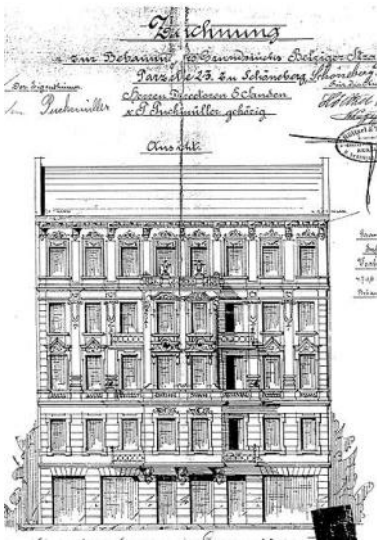
Nach einer genaueren Analyse wird deutlich, dass WDVS formbarer ist als andere Materialien. In den dadurch möglichen Verarbeitungstechniken liegen die Chancen für seine Gestaltung. WDVS erlaubt Strukturen einfacher zu generieren, als ein anderes, traditionelles Material es vermag. Ein weiteres Potenzial stellt der viel zitierte „günstige Preis“ des Baustoffs dar, denn er eröffnet finanziellen Spielraum auf der Gestaltungsebene, nicht nur im Hinblick auf farbigen Anstrich oder versetzt angeordnete, unterschiedlich große und dicke Platten.

Die Industrie hat in den vergangenen Jahren zahlreiche Innovationen geliefert, um technische Probleme des WDVS zu beheben oder zumindest schwächen. Zudem gibt es zahlreiche Experimente und Investitionen in die Forschung, um die Weiterentwicklung des Materials voranzubringen. *Detail*, www.detail.de, 26.11.2012

Eben weil WDVS zum Baualltag unserer heutigen Zeit gehört, ist eine bewusste und „undogmatische“ Arbeit mit dem Material und der Einsatz des Planers und Architekten im Zuge der Entwicklungen der Baukultur von großer Bedeutung. Durch „Ignorieren“ entsteht keine Weiterentwicklung oder Besserung der gegenwärtigen Problematik im WDVS-Sektor.

„Ästhetik im Sinne des Erhaltens einer gestalterisch schützenswerten Fassade hingegen wird nicht gefördert.“
db Deutsche Bauzeitung,
Heft 01.2011

2.2.2 AUSGANGSSITUATION



Ausgangspunkt zur Gestaltung der Gebäudeaußenhaut mit neuen Methoden bildet eine 1999 durchgeführte Fassadensanierung in der Belzigerstraße, Berlin-Schöneberg (Hild und K).

Eine über die Jahre durch Vernachlässigung und falsche Anstriche sanierungsbedürftige Gründerzeitfassade sollte wiederhergestellt werden. Ursprünglich reich dekoriert, war der Stuck nach dem Krieg abgeschlagen und durch einen einfachen Rauhputz ersetzt worden. Als Vorbild der Restaurierung sollte eine Originalzeichnung des ursprünglichen Eingabeplans dienen.



Der Versuch der Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes schied aus nahe liegenden Gründen aus. Dennoch sollte eine Vorstellung des alten Hauses in die neue Gestaltung eingehen. Dazu wurde die Originalzeichnung im Maßstab 1:100 gescannt und auf den Maßstab 1:1 vergrößert. Das nun entstandene Bild einer ungewöhnlich vergrößerten Zeichnung wurde dann auf die bestehende Fassade übertragen und vertieft als Relief in den Putz eingelegt. Durch den Prozess der Vergrößerung werden, teils aufgrund der technischen Verfahren, teils aufgrund fertigungstechnisch bedingter Ungenauigkeiten und Abstraktionen, die Zeichnungsteile eigentümlich verformt.



Im Laufe der Arbeiten stellte sich heraus, dass die Zeichnung nicht deckungsgleich mit dem fertigen Haus ist. So ist beispielsweise der Erker gegenüber der Zeichnung um eine Achse versetzt ausgeführt worden. Nach dem Krieg wurden gemauerte Balkone angefügt, die auf der Originalzeichnung ebenfalls fehlen. Diese Verschiebungen zwischen Zeichnung und Gebäude wurden bewusst nicht korrigiert, sondern als konzeptbedingte Abweichungen in Kauf genommen. Auch die in der Zeichnung dargestellten Schatten wurden in das Relief übernommen.

Aus diesen Verformungen und Veränderungen sowie deren exakter Übernahme bezieht die Gestaltung ihren Reiz.

Die technische Realisierung erfolgte durch eine Art Schablonenputz. Die digitalisierte Originalzeichnung wurde mittels CNC Laserschnitt aus einem speziellen Kunststoff geschnitten, auf die Wand aufgebracht und nach dem Putzen wieder entfernt. Die geraden Linien wurden als traditioneller Leistenputz mit Holzleisten ausgeführt. Die fertige Putzoberfläche zeigt die Projektion der Zeichnung als Relief.

Hild und K, Belzigerstrasse, Berlin 1999

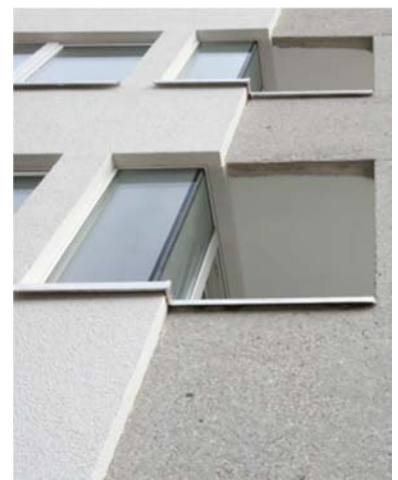
Das Haus nimmt eine Position zwischen historischer Rekonstruktion und frei erfundener Komposition ein. So wird die zwischen Zeichnung und gebautem Haus immer vorhandene Differenz zum Thema des Projekts.

Zahlreiche Veröffentlichungen dokumentieren ein großes Interesse des Fachpublikums an diesem innovativen Gestaltungsverfahren der Gebäudehülle.

Das zweite Projekt, das für die hier vorzustellenden Methoden Pate stand, ist die Wohnbebauung Lohengrinstrasse. Das überbaute Grundstück liegt am Rande eines neu erschlossenen Wohngebietes.

Die gestaffelte Baukörperform mit teilweise verglasten Loggien schützt die südseitigen Wohnräume vor den erheblichen Lärmimmissionen einer benachbarten Tankstelle. Die ebenfalls aus Lärmschutzgründen auf der Gebäuderückseite angeordneten Kinderzimmer sind zur Verbesserung der Belichtungssituation nach Osten gedreht und meist durch Übereck-Verglasungen erkerähnlich nach zwei Seiten ausgerichtet. Damit sind die Anforderungen an die Zimmerorientierungen des geförderten Wohnungsbaus eingehalten.

Das Gebäude ist als Stahlbetonbau errichtet und mit WDVS gedämmt. Die Balkonbrüstungen verbleiben ungedämmt und zeigen so die Ebene des Rohbaus. Die Dicke der Wärmedämmung wird ablesbar, und die gestockten Sichtbetonflächen verstärken das Thema von Haut und Knochen.



Hild und K , Wohnbebauung Lohengrinstrasse, München 2004



AIT + Hild und K, BAU 2005,
Dämmung - form follows
function

Die Überlegungen, die dieses Projekt geleitet hatten, wurden gemeinsam mit der Industrie zur BAU 2005 weiterentwickelt und schließlich im Workshop Makro-Architektur unter dem Titel „Dämmung – form follows function“ präsentiert. Dabei standen Antworten auf die Frage, mit welchen Materialien heute und künftig gebaut wird, im Vordergrund. Insbesondere wurde das Wärmeverbundsystem betrachtet und die Möglichkeit diskutiert, durch dessen dreidimensionale Gestaltung die Oberfläche des Hauses zu modulieren.

Im Rahmen der BAU 2005 in München wurden die Resultate des Workshops präsentiert.

Die AIT skizziert dieses Projekt wie folgt: „Der Münchener Architekt Andreas Hild (Hild und K) unterscheidet Materialien, die von Architekten geliebt werden und andere Materialien, die Architekten nicht gerne verwenden. So ist beispielsweise das „Thermohaut“ genannte Wärmedämmverbundsystem ein Stiefkind der ambitionierten Architektenschaft. Im krassen Widerspruch hierzu steht dessen häufige Verwendung bei Sanierungen und Neubauten.

Hild und K sind dafür bekannt, sich mit Vorliebe den vernachlässigten und ungeliebten Dingen zu widmen und durch ihre Forschungen den Materialien ungeahnte Funktionen und Wirkungen abzurufen.“

Eine wesentliche Erkenntnis des Workshops war, dass die gestalterischen Möglichkeiten beim Einsatz von WDVS umfassender betrachtet und beschrieben werden müssen und nicht nur anhand eines Projektes in einem speziellen Kontext. Dieser Aufgabe stellt sich das nachfolgend erläuterte Forschungsvorhaben.



Hild und K, Büro- und
Geschäftshaus Welfenstrasse,
München 2010

Ein weiteres Projekt des Büros Hild und K ist in diesem Zusammenhang vorzustellen: Durch einen städtebaulichen Wettbewerb wurde die Überbauung eines innerstädtischen Gebietes an der Welfenstrasse in München-Haidhausen geplant. Auf dem Gelände sollten in einem zusammenhängenden Block mit fünf Innenhöfen Wohn- und Gewerbenutzungen entstehen. Der Gesamtkomplex wurde auf vier Architekturbüros aufgeteilt, Hild und K bearbeiteten den westlichen Teil mit Tiefgarage, Einzelhandel und Straßenreinigungsstützpunkt im Erdgeschoss, Büronutzungen in den Obergeschossen. Für das gesamte Geviert wird vom Bauherrn eine Bauwerks-Zertifizierung nach DGNB Status Silber angestrebt. Damit wird der Neubau eines der ersten realisierten Bürogebäude mit diesem Status sein.

Durch den Einsatz eines mineralischen Wärmedämm-Verbundsystems, welches von Oben nach Unten abgestaffelt wird, erhält die Fassade zum einen ein Putzrelief, das bis

zu sieben Stockwerke hohe Bauwerk in die Nachbarschaft der gründerzeitlichen Genossenschaftsbauten integriert – zum anderen wird auch auf die speziellen bauphysikalischen Anforderungen an die Fassade reagiert.

Die Erfahrungen aus dem Projekt legen eine Weiterentwicklung der technischen wie auch gestalterischen Möglichkeiten des Einsatzes von WDVS und nahe.

2.2.3 AUFGABENSTELLUNG

BESCHREIBUNG DER ZU LÖSENDEN PROBLEME

Der Baustoffmarkt bietet eine Fülle von Systemlösungen, die technisch funktionieren und den heutigen Anforderungen an eine moderne Isolierung entgegenkommen. Die Anwendung solcher Systemlösungen wird in Zukunft eine sehr wichtige Rolle spielen, weil die juristischen Vorgaben und technischen Rahmenbedingungen beim Einsatz individuell gefertigter Lösungen immer schwerer zu beherrschen sind. Jedoch bieten erstere noch keine ausreichenden Möglichkeiten, individuelle gestalterische Aussagen umzusetzen.

Somit wird die Umrüstung der Gebäude auf neue Energiestandards eine Veränderung nie dagewesenen Ausmaßes im Gesicht der Gebäude und Städte mit sich bringen. So vollzieht sich ein schleichender Wandel: Er ist verbunden mit dem Risiko, den Ausdruck des Stadtbildes von einem vielfach ortstypischen Charakter zur charakterlosen Beliebigkeit verkommen zu lassen.

Als Ausweg aus diesem Dilemma wird im Rahmen dieses Projektes die energetisch erforderliche Änderung der Gebäudehülle nicht nur als Ingenieurleistung, sondern auch als gestalterische Aufgabe und Chance begriffen.

Der Einsatz von WDVS ist, wie bei Baustoffen, Bautechniken und Bausystemen generell notwendig, nicht nur auf technische, sondern auch auf gestalterische Möglichkeiten hin zu untersuchen. Dabei geht es nicht um ein „Anhübschen“ der vorhandenen Systeme, sondern um eine Weiterentwicklung ihrer gestalterischen Möglichkeiten und Konsequenzen.

Der unterschiedliche Wärmedurchgang der verschiedenen Bauteile einer Bestandsfassade eröffnet die Möglichkeit, mit einer jeweils auf diesen Faktor abgestimmten Dimensionierung des Dämmmaterials zu einer Modulation der Oberfläche zu gelangen. Diese leitet sich aus dem jeweiligen thermischen Zustand des Bauteiles ab. Je nach Ausbildung der Dämmstoffdicken kann dies einerseits zu einem veränderten Ausdruck führen, andererseits auch zu einer Ressourcen sparenden Verwendung des Materials, da stets nur so viel Dämmung zum Einsatz kommt, wie an der jeweiligen Stelle benötigt wird.

Die Umsetzung solch eines Verfahrens wäre mittels Wärmebildaufnahmen zur Erfassung des individuellen Wärmedurchgangs sowie mittels Computerunterstützung für Entwurf und Herstellung des Materials (Dämmelemente) denkbar.

Das Ziel ist dabei, eine einwandfreie sowie bezahlbare Lösung mit angemessenen Gestaltungsmöglichkeiten zu erarbeiten.

ZUSAMMENFASSUNG

Zielsetzung dieses Projektes ist die Definition eines allgemeinen Entwurfsverfahrens zur individuellen Gestaltung des WDVS.

Ergebnis soll eine direkt aus dem Wärmedurchgang abgeleitete Gestalt sein, die auf unterschiedliche Gebäude angewendet werden kann. Darüber hinaus werden Vorgehensweisen und Hilfsmittel in der praktischen Anwendung erforscht und beschrieben.

DOKUMENTATION DES FORSCHUNGSPROZESSES

Ein mit Wärmeverbundsystem belegtes Haus sieht auf den ersten Blick aus wie ein Massivbau. Tatsächlich handelt es sich aber um verputzte Wärmedämmung, deren Gestaltungsmöglichkeiten angesichts der heute verfügbaren Lösungen im Vergleich zu einem Massivbau stark eingeschränkt sind.

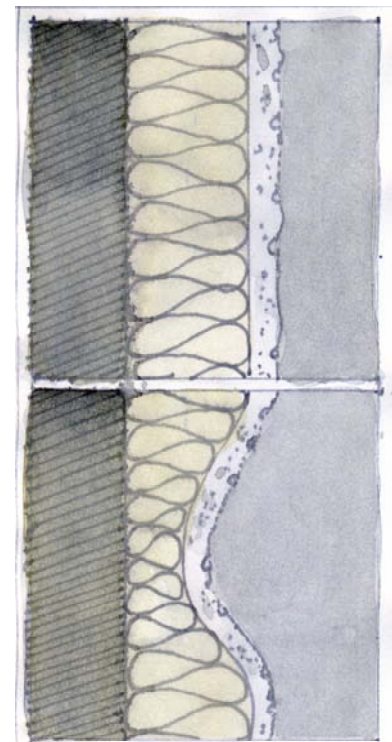
Die meisten Versuche über WDVS nachzudenken scheitern an dem Versuch, geputzte Massivbau-Oberflächen nachzuahmen. Aber bereits die technischen Eigenheiten des WDVS verhindern eine entsprechende Analogie. Putzkörnungen sind nur relativ grob möglich, da sich das System ansonsten zu stark aufheizt und zu Rissen neigt. Putzfaschen und ähnliche vom Putzbau entlehnte Gliederungsformen sind wegen der wesentlich höheren Feuchteempfindlichkeiten von WDVS nur innerhalb sehr enger Grenzen realisierbar. Das im Rahmen dieses Projektes verfolgte Konzept setzt daher nicht beim Putz an, sondern bei der darunter liegenden Wärmedämmung.

Wäre es möglich, die Dämmung entweder dreidimensional zu verformen oder zuzuschneiden, würde die Oberfläche des Hauses zu einer modulierbaren Ebene, die wesentlich subtilere Abstufungen zuließe als man sie vom Massivbau her kennt.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde ein allgemeines Entwurfsverfahren zur individuellen Gestaltung des WDVS entwickelt. Dabei wird direkt aus dem Wärmedurchgang eine Gestalt abgeleitet, die mit einer definierten Entwurfsmethodik auf unterschiedliche Gebäude angewendet werden kann. Durch das dreidimensionale Abbild einer thermografischen Aufnahme wird die Dämmdicke an den tatsächlichen Wärmedurchgang des jeweiligen Bauteils angepasst. Mittels computergestützter Entwurfsverfahren wird die Materialstärke aus den digitalisierten Wärmebildaufnahmen oder Wärmebrückensimulation abgeleitet, um einen neuen Ausdruck von Gebäuden zu gestalten.

Die entsprechenden Vorgehensweisen und Hilfsmittel wurden in der praktischen Anwendung erforscht und beschrieben. So sollen weitere Impulse für eine Weiterentwicklung des Systembaus gesetzt werden.

Durch Nutzung digitaler Bestandsdaten und Wärmebilder kann mittels computerunterstützter Entwurfs- und Produktionsverfahren direkt im Anschluss an das Forschungsprojekt die Nutzung der Ergebnisse in der Praxis erfolgen.



WDVS-Modulation, Hild und K 2005

3.1

UNTERSUCHUNGSMETHODIK

Die Untersuchung gliedert sich in vier aufeinanderfolgende Abschnitte, die nachfolgend nach Art und Umfang der Leistungen beschrieben werden:

- Initialisierung und Analyse,
- Erhebung,
- Methode und Entwurf sowie
- Umsetzung und Dokumentation.



Abbildung 9: Untersuchungsmethodik

Das nachfolgend entwickelte Verfahren ist grundsätzlich für die Sanierung im Bestand wie auch für den Einsatz bei Neubauten geeignet. Die pro Abschnitt auszuführenden Tätigkeiten bzw. zu nutzenden Hilfsmitteln werden in dem nachfolgenden Kapitel 3.1 detailliert dargestellt. Im Abschnitt 3.2 *Ergebnisse* werden dann die Erfahrungen aus der praktischen Anwendung der Methodik im Rahmen des Forschungsprojektes erläutert.

3.1.1 INITIALISIERUNG / ANALYSE

Die Phase der Initialisierung und Analyse ist allein für das Forschungsprojekt und nicht für die Anwendung auf Alt- oder Neubau relevant. Wesentlich in dieser Phase ist die Auswahl eines Gebäudes, für welches im Anschluss an dieses Forschungsprojekt auch eine bauliche Umsetzung denkbar wäre.

Ausgehend von den Marktkennzahlen für WDVS soll das ausgewählte Gebäude ein Altbau mit dem Bedarf einer energetischen Ertüchtigung der Fassade sein. Denn somit adressiert das durchgeführte Verfahren das größtmögliche Potential der kommenden Jahre.

Im Antrag des Forschungsvorhabens WDVS Modulation wurde darüber hinaus ein Kriterienkatalog zur Klassifizierung des Untersuchungsobjektes vorgeschlagen, der eine

Übertragbarkeit der erarbeiteten Vorgehensweise sicherstellen sollte. Dieser Ansatz hat sich bereits zu Beginn des Projektes als obsolet erwiesen, da die nachfolgend skizzierte Methode grundsätzlich bei jedem Gebäudetyp angewendet werden kann.

3.1.2 ERHEBUNG

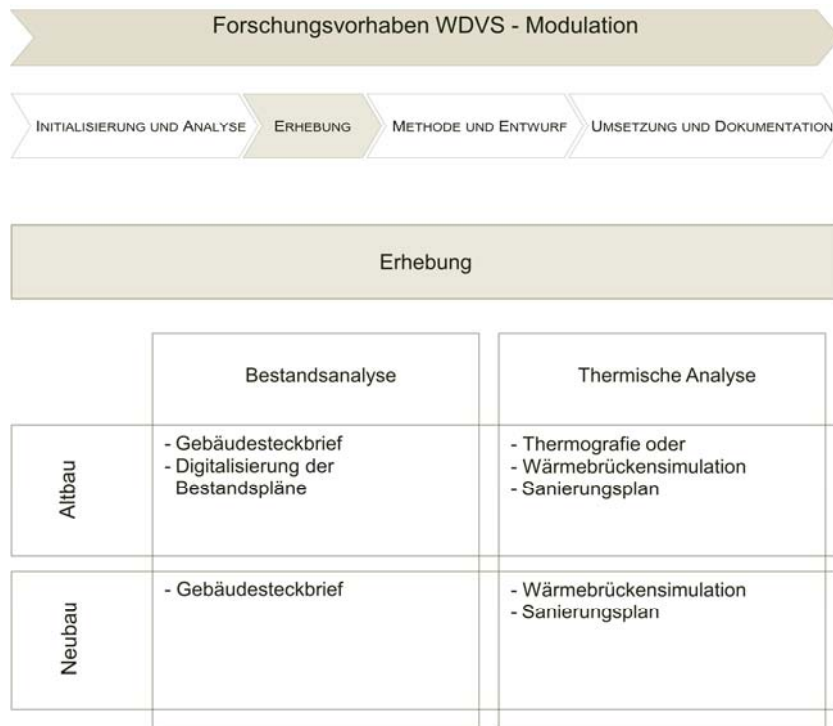


Abbildung 10: Übersicht Phase Erhebung

Eine energetische Sanierung bzw. Modernisierung umfasst ausgehend von der Bestandssituation auch die Verbesserung der thermischen Gebäudehülle hinsichtlich ihrer Wärmeübertragung. Ziel ist die Minimierung des für die Temperierung der Räume notwendigen Energieverbrauchs und die Senkung der Lüftungswärmeverluste. Für die Sanierungsstrategie ist nicht nur die Optimierung der Dämmstoffstärken entscheidend, sondern die möglichst lückenlose Verbesserung der gesamten thermischen Hülle.

Die vorliegende Untersuchung fokussiert im Rahmen einer möglichen Sanierungsstrategie ausschließlich die energetische Ertüchtigung der Fassade, basierend auf deren Wärmedurchgängen. Im Rahmen der Erhebung sind folgende Inhalte zu erarbeiten:

- Bestandsaufnahme / Bestandsanalyse – allgemeine Erhebung der baulichen Situation
- Die Thermische Analyse mittels Thermografie oder

Wärmebrückensimulation – Ermittlung und Digitalisierung der Wärmedurchgänge einer Fassade

GEBÄUDEANALYSE

GEBÄUDE
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

GEBÄUDETYP

NUTZUNG

ORT

STRASSE

GEMARKUNG

FLURSTÜCK

BAUJAHR

BAUALTERSKLASSE

BAUWEISE

SANIERUNGSGRAD

ENERGETISCHE QUALITÄT DER GEBÄUDEHÜLLE

SONSTIGES

Abbildung 11:
Gebäudesteckbrief-Allgemein,
Quelle: Hild und K 2012

Maßnahmen zur Sanierung bzw. Modernisierung von Gebäuden erfordern als erstes eine möglichst exakte Kenntnis über den Bauwerkszustand. Abhängig davon, welche Arbeiten geplant sind, müssen Fragen bezüglich der vorhandenen Wandaufbauten und Materialien, der vom Umbau betroffenen Anschlussdetails und der künftig vorgesehenen Nutzungsrandbedingungen geklärt werden.

Die Gebäudeanalyse ist i.d.R. hinsichtlich Neubauten wesentlich einfacher durchzuführen als bei Sanierungen im Bestand. Bei Neubauten ist vor allem der Nutzungszweck bzw. der damit verbundene Dämmbedarf zu bestimmen. Außerdem sind die erforderlichen digitalen Pläne mit Datenformat, Ausführung im Detail und eingesetztem Material hinsichtlich der Eignung für eine computergestützte Simulation der Wärmedurchgänge zu prüfen.

Die im Rahmen einer Gebäudeanalyse ermittelten Fakten zu Bestandsbauten sind Grundlage für eine individuelle Planung der Sanierungsmaßnahmen und zudem auch für die Ermittlung der Wärmedurchgänge zwingend erforderlich. Die Erfassung der Bauwerksubstanz ist dabei ebenso zu berücksichtigen wie die (künftige) Nutzung bzw. die durch das Nutzerverhalten bedingten Anforderungen.

Somit gilt es, alle verfügbaren Informationen zu sammeln, zu sichten und mit der aktuellen Situation abzugleichen. Die Bestandspläne müssen für das computergestützte Entwurfsverfahren in digitaler Form vorliegen. Die digitalisierten Bauinformationen umfassen insbesondere Grundrisse, Schnitte und Ansichten. Meistens liegen jedoch keine digitalisierte Bauzeichnungen vor. Die Informationen müssen recherchiert und aufbereitet werden.

Zur Durchführung einer energetischen Bilanzierung für eine Gebäude-Verbrauchsanalyse bei bestehenden Gebäuden oder einer Bedarfsprognose bei einem Neubau muss eine Vielzahl von Randdaten bekannt sein. Diese zu erfassenden Informationen umfassen z.B.

- Gebäudetyp,
- Nutzungstyp, Anforderungen aus der Nutzung, Größe der beheizten Wohn- oder Nutzfläche,
- Bauweise,
- Baualtersklasse des Gebäudes,
- Sanierungsgrad,

- Kompaktheitsgrad des Gebäudes oder Größe der Hüllfläche,
- Energetische Qualität der Gebäudehülle,
- Bestimmung der Materialien,
- Keller, Umfang der Unterkellerung,
- Dach, Dachdämmung, Dachdeckung,
- Lage und Art der Fenster, Fensterflächenanteil und Ausrichtung der Fenster,
- Innentemperatur und Luftwechsel,
- Installationen mit z.B. Informationen zu wärmeleitenden Leitungen mit Lage und Dämmstandard, Wärmespeicher, Wärmeerzeuger und Art und Weise der Temperaturregelung sowie
- ggf. Verbrauchswerte und Klimadaten des zugehörigen Abrechnungszeitraumes.

THERMISCHE ANALYSE

Die thermische Analyse kann bei Modernisierung im Bestand entweder mittels Thermografie oder Wärmebrückensimulation ausgeführt werden. Das Ergebnis dieser beiden Verfahren ist formal identisch: Erfassung der Wärmestromdichte über die gesamte Fassade als Grundlage für einen messtechnisch standardisierten Idealzustand. Im Idealfall weichen die durch die beiden Verfahren ermittelten Daten nur in Abhängigkeit von den vorgefundenen baukonstruktiven Gegebenheiten voneinander ab.

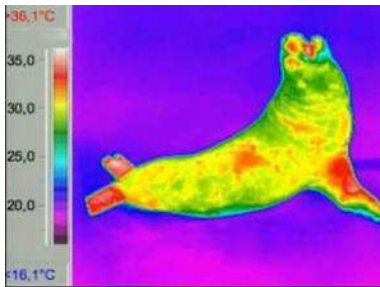
THERMOGRAFIE (INFRAROTPHOTOGRAFIE)

„Thermografie ist die Aufzeichnung und Messung der von einem Bauwerk oder einem anderen beliebigen Objekt abgestrahlten thermischen Energie mithilfe einer speziellen Kamera. Infrarotstrahlung kann aufgrund der Wellenlänge vom menschlichen Auge nicht mehr wahr genommen, aber über die Haut als Wärme empfunden werden. Je höher die Temperatur, desto intensiver die abgegebene Infrarotstrahlung und desto höher die Wärmeverlust.“

http://www.baunetzwissen.de/glossar-begriffe/Daemmstoffe-Thermografie_1058895.html

Ziel der Thermografie ist die Anfertigung von Momentaufnahmen, mit denen die Oberflächentemperatur bzw. Temperaturverteilung zu einem bestimmten Zeitpunkt dargestellt wird. Mit der Gebäudethermografie werden anhand der Oberflächentemperaturverteilung bzw. der

Wärmedurchgänge Mängel in der thermischen Hülle erkennbar und lassen sich Wärmebrücken, Undichtheiten in der Gebäudehülle oder bei den Fenstern etc. ermitteln. Darüber hinaus erlaubt die Thermografie eine Quantifizierung des Wärmeverlustes am Gebäude und ermöglicht somit eine funktional optimierte Gestaltung der aufzubringenden Isolierung.



Thermografie - Aufnahme eines Walrosses, Quelle unbekannt

„Das zerstörungs- und berührungslose Messverfahren der Thermografie ist bei bekannten Randbedingungen als sehr genau zu bewerten. Die Thermografiemessungen werden allerdings im Regelfall unter den herrschenden instationären Randbedingungen immer als Momentanwerte aufgenommen und ausgewertet. Nach den Regelungen der DIN EN 13 187 (15) sollen die real erstellten Thermogramme mit der zu erwartenden Verteilung der Temperatur über der Oberfläche verglichen werden. Zur Ermittlung der zu erwartenden Temperaturverteilung werden die Kenntnis der wärmetechnischen Kenngrößen der Gebäudehülle sowie die relevanten Umgebungsverhältnisse der Thermogrammstellung verlangt. Vielfach stellt sich bei der Auswertung der Thermografie die Frage, welche Auswirkungen ein zeitlich anderer Aufnahmezeitpunkt auf das Messergebnis hätte. Dies ist begründet, da sich die einstellenden Temperaturfelder in der Wand aufgrund der Masse und Wärmekapazität der Baustoffe einstellen. Weiterhin ist zu hinterfragen, mit welchen Abweichungen bei nicht ausreichend bekannten oder falsch eingegebenen Emissionsgraden oder Umgebungsstrahlungen zu rechnen ist.“ Nail A. Fouad | Thorsten Richter 2012, S.63

Eine Gebäudethermografie erfordert Temperaturdifferenzen von ca. 15 Grad Celsius zwischen der Innen- und der Außentemperatur bzw. eine mittlere Raumlufthtemperatur von 20 Grad Celsius über mehrere Tage, um aussagekräftige Ergebnisse liefern zu können. Nur so kann sich ein Wärmestrom aufbauen, der die Verluste einer Fassade realistisch widerspiegelt. Damit kommen für die thermografische Untersuchung der Gebäudeteile bzw. die Datenerhebung nur die Monate Oktober bis April während der Heizperiode in Betracht. Ferner müssen die Innenräume gleichmäßig beheizt werden, um auf allen Wandinnenflächen eine gleichförmige Lufttemperatur zu erzielen. Zudem darf wenige Stunden vor der Messung auch kein Fenster mehr geöffnet werden, um partielle Abkühlungen und somit ein verfälschtes Messergebnis zu vermeiden. Weiterhin ist das Material der Fassade zu berücksichtigen, da dieses sehr unterschiedliche Eigenschaften hinsichtlich seiner Infrarotabstrahlung haben kann.

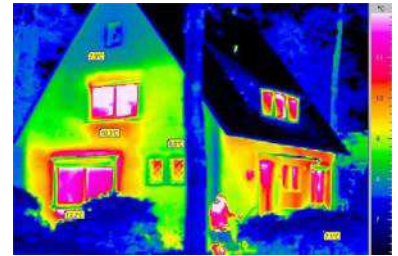
Um mögliche Fehler in der Messung von regulären Abweichungen der Temperaturverteilungen unterscheiden zu

können, sind alle Erkenntnisse aus der Bestandsaufnahme hinzuzuziehen. Für weitere Korrekturen der Messergebnisse sind auch die Umgebungsbedingungen zu erfassen, z.B. die aktuelle Außentemperatur wie auch die der letzten 24 Stunden, Intensität der Sonneneinstrahlung, Bewölkung oder Luftfeuchtigkeit. Bei starkem Wind, erheblicher Sonnenstrahlung oder feuchter Oberfläche leidet die Messgenauigkeit erheblich. Schneefall oder Regen senken den Transmissionsfaktor der Luft, weshalb sich die angezeigte Temperatur kaum noch auf die Oberflächen "dahinter" bezieht.

Wärmebildaufnahmen können als Außen- oder Innenthermografie durchgeführt werden, d.h. es wird entweder die Fassade von außen oder es werden die Wandflächen der Räume von innen hinsichtlich ihrer Infrarotabstrahlung als Indiz für die Oberflächentemperatur erfasst.

Eine Außenthermografie gibt als farblich abgestuftes Bild den Wärmeverlust an der Fassade wieder. Bei einem in Benutzung befindlichem Gebäude muss für die Interpretation des Bildes bekannt sein, welche Möblierung, Installationen oder bauliche Substanz den Wärmefluss ggf. beeinflussen. Denn Möblierung oder aktuelle Nutzung eines Raumes sollten keinen Einfluss auf das Messergebnis ausüben, die entsprechenden Effekte sind daher ggf. im Nachgang zu korrigieren. Die im Rahmen der Bestandserhebung gewonnenen Kenntnisse dienen weiterhin dazu, zwischen thermischen Abweichungen aufgrund baulicher Gegebenheiten, wie beispielsweise aufgrund einer Balkonplatte oder einer Heizanlageninstallation, und thermischen Abweichungen aufgrund baulicher Mängel zu unterscheiden. Dieser Unterscheidung ist wichtig, da so ggf. vor einer umfassenden energetischen Modernisierung zu behebende Mängel identifiziert werden können.

Innenthermografie stellt in der Praxis eine unverzichtbare Ergänzung zur Außenthermografie dar, um deren Ergebnisse gezielt überprüfen zu können. Doch eignet sich die stets nur partielle Aufnahme von Wandflächen im Innenbereich nicht zum Einsatz im Rahmen dieses Forschungsprojektes, da hier eine ganzheitliche Aufnahme der Fassade erforderlich ist. Das Ergebnis des beschriebenen Interpretationsprozesses ist eine durch den Experten korrigierte Thermografie, die Auskunft über lokale Wärmeverluste gibt. Diese liegt i.d.R. als digitale Rastergrafik vor, das Bild ist also aus einzelnen Bildpunkten bzw. Pixeln zusammengesetzt.



Thermografie Aufnahme,
Infra Tec GmbH

WÄRMEBRÜCKENSIMULATION

Die Wärmebrückensimulation stellt eine Alternative zur Thermografie dar. Sie bestimmt die Wärmedurchgänge einer Fassade auf digitalem Wege. Auf Basis von Plänen und den gemäß Bestandsanalyse eingesetzten Materialien werden Wärmeflüsse in einem Computerprogramm simuliert. Alle relevanten Daten zur Berechnung der Wärmestromdichte werden in einem digitalen Gebäudemodell hinterlegt. Jedes Bauteil ist durch seine Positionierung im Raum, Dimensionierung und Materialeigenschaften definiert. Durch Vernetzung aller dieser Informationen kann eine Simulation der Wärmeverluste durchgeführt werden. Das Ergebnis ist eine Punktwolke, welche in ihrer Kontur den Idealzustand bei gleicher Wärmestromdichte abbildet.

In der Praxis werden mit Hilfe der Berechnungssoftware z.B. Schwachstellen in Bauteilanschlüssen bei der Sanierung aufgezeigt und Oberflächentemperaturen berechnet.

Der Markt bietet eine Vielzahl von Software-Lösungen, um computergestützte Simulationen durchzuführen. Im Rahmen des Projektes wurde das Programm *AnTherm* eingesetzt, auf dieses beziehen sich daher auch die nachfolgenden Erläuterungen.

Mit *AnTherm* werden Temperaturbedingungen in Gebäudeteilen nicht nur hinsichtlich eines eindimensionalen Flusses der Wärme in eine bestimmte Richtung untersucht, sondern in Bezug auf einen zwei- und dreidimensionalen Vorgang. Eindimensionale Berechnungen, wie beispielsweise im Rahmen von U-Werten, reichen für die Zwecke dieses Forschungsprojektes nicht aus, da eine realistisch kalkulierte Oberflächentemperatur der Gebäudehülle der zentrale Ausgangspunkt für die Modulation der Dämmung sein soll. Diese kann für die gesamte Fassade nur durch Nutzung einer dreidimensionalen Simulation der Wärmeflüsse erreicht werden.

AnTherm verfügt zudem über eine sehr hohe Rechengenauigkeit, die es gestattet Wärmedurchgänge zu simulieren. Die Ergebnisse sind einfach zu interpretieren und erleichtern somit alle nachfolgenden Bearbeitungen.

„Dieses Programm ermöglicht die graphische Ausgabe von Isothermen und Wärmestromlinien. 2- und 3-dimensionale Auswertung der Wasserdampfdruckverteilungen und Wasserdampf-Diffusionsströme. Es ist sowohl für die detaillierter Modellierung von komplizierten Konstruktionen wie z.B. Fensterrahmen, Installationen, Bewehrungen wie auch zur

Simulation des thermischen Verhaltens von gesamten Gebäudekomplexen mit Ausdehnungen von 100m und mehr einsetzbar.“ **Quelle:** <http://www.kornicki.de/antherm/>

Mit dem Vorliegen aller Erhebungsdaten und der Simulation der Wärmedurchgänge in digitaler Form ist die objektbezogene Datenbasis für den anschließenden Entwurf und dessen Umsetzung gelegt.

3.1.3 METHODE UND ENTWURF

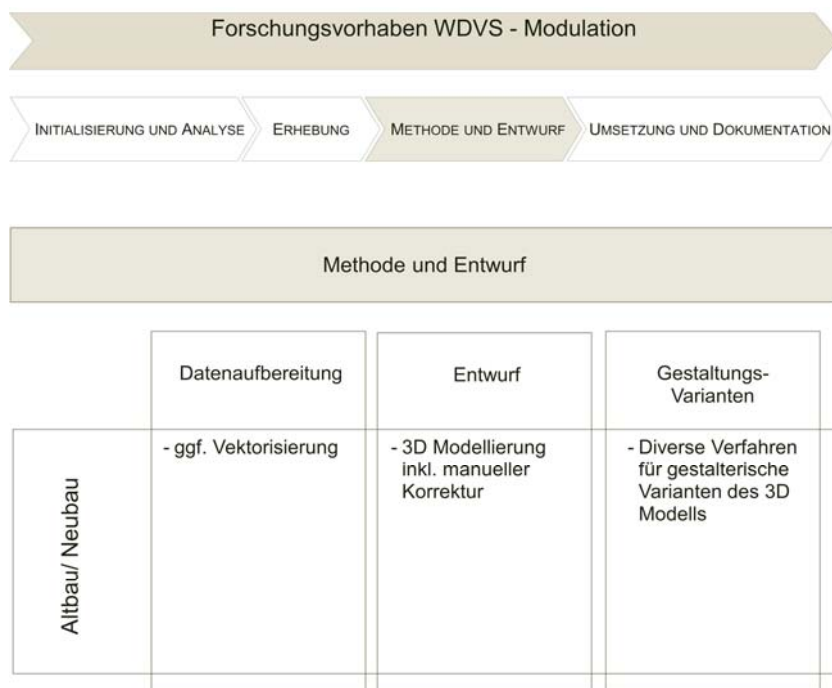


Abbildung 12: Übersicht Phase Methode und Entwurf

Das methodische Vorgehen sowie die dazu geeigneten Hilfsmittel bestimmen als formale Parameter, im Entwurf ein bestimmtes Erscheinungsbild. Basis des Entwurfes sind die digitalen, vektorisierten Wärmedurchgänge aus der thermischen Analyse. Auf Bildpunkten basierende Rastergrafiken, z.B. mittels Thermografie generiert, müssen daher in einem vorbereitenden Schritt zunächst umgewandelt werden. Dies kann mittels sogenannter Tracing Software erfolgen, ist aber auch mittels handelsüblicher Grafikprogramme wie z.B. Corel Draw oder Adobe Illustrator möglich.

Mit Hilfe von Software (z.B. Rhino) für eine 3D-Modellierung werden dann aus den vektorisierten Isothermen ein dreidimensionales Modell erzeugt. Dabei wird anhand der Isothermen die Dämmstoffdicke dem Modell zugeordnet, denn

je höher die Oberflächentemperatur des Bauteils desto dicker der benötigte Dämmstoff. Das Modell ermöglicht eine Validierung und Beurteilung der Ergebnisse aus gestalterischer Sicht, eine erste qualitative Bewertung des Entwurfes.

Weiterhin ist eine formale Überprüfung des Modells erforderlich, um ggf. auftretende Fehler zu korrigieren. Beispielsweise können Daten der vektorisierten Wärmedurchgänge bei der Modellierung zu fehlerhaften «Ausreißern» führen, die bereinigt werden müssen. Diese Arbeiten sind aufgrund der erforderlichen Kombination von unterschiedlicher Software stets erforderlich.

Nach Abschluss des Entwurfes kann das erzeugte 3D-Modell variiert werden. Beispielsweise kann die Oberfläche durch Schnitte stufig verformt werden oder mittels überlagerter Polygone verformt werden.

Die gesamte Methode orientiert sich am *Building Information Modeling*, d.h. alle relevanten Daten und Informationen sind über alle Prozessschritte hinweg digital verfügbar und werden an der Schnittstelle zwischen zwei Arbeitsschritten in definierten Formaten übergeben. Somit können für jede Phase die jeweils optimal geeigneten Software-Werkzeuge eingesetzt werden und der Planer hat jederzeit die Möglichkeit korrigierend einzugreifen.

Eine integrierte computergestützte Planung und Fertigung ist von zentraler Bedeutung für Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit dieser Lösung in der betrieblichen Praxis. Für die Fertigung ist dies aufgrund der dreidimensionalen Form sowie der heterogenen Formgebung der Bauteile ein wichtiges Instrument im Sinne einer qualitativ hochwertigen Ausführung.

Anhand der aus dem 3D Modell generierten Produktionspläne erfolgt in der nachfolgenden Phase der Implementierung die Produktion.

3.1.4 UMSETZUNG UND DOKUMENTATION



Abbildung 13: Übersicht Phase Umsetzung und Dokumentation

Die Produktion der modulierten Dämmstoffelemente bedient sich computergestützter Fertigungsmethoden. Solche Verfahren sind bereits seit Jahrzehnten insbesondere in der Automobilfertigung im Einsatz, begünstigt durch die standardisierte Serienfertigung dieser Industrie. Die erzielbaren Umsetzungsgeschwindigkeiten spiegeln sich nicht zuletzt auch in Begriffen wie z.B. dem „Rapid Prototyping“ wieder, der die sofortige Überprüfung digitaler Entwürfe in physischen Modellen umschreibt.

Fertigungsverfahren werden im Allgemeinen in zwei Hauptklassen eingeteilt. Unterschieden werden subtraktive und additive Verfahren. Diese Bezeichnungen beziehen sich allerdings nur auf die automatisierte Phase der Modellherstellung selbst.

Beim subtraktiven Verfahren wird die Form durch Materialreduktion erzeugt, beim additiven Verfahren durch sukzessives Aneinanderreihen und Verbinden von Material.

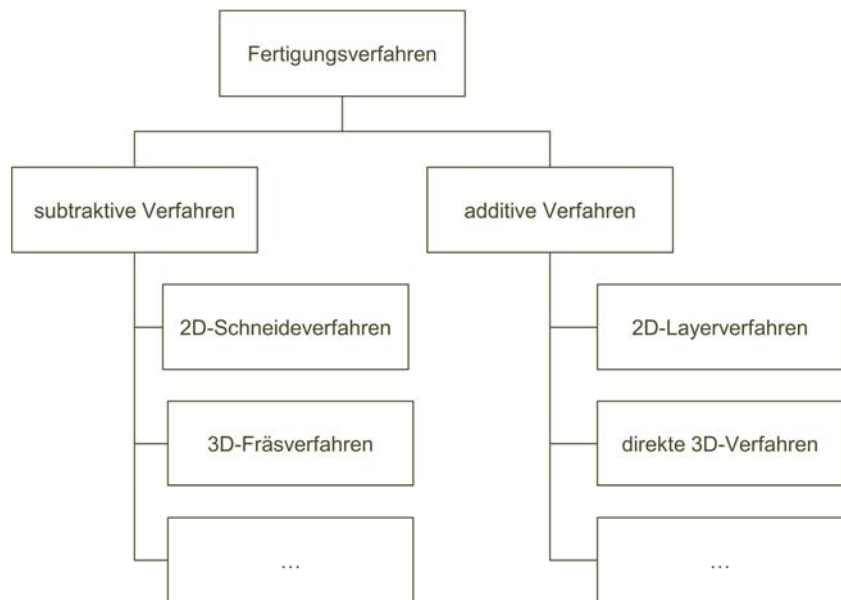


Abbildung 14: Klassifizierung der Modellbautechniken, Streich, Weisgerber 1996, Seite 45

Die subtraktiven Modellbauverfahren sind dadurch gekennzeichnet, dass in ihrem Verlauf aus einem größeren Materialblock das herzustellende Werkstück herausgearbeitet wird. Die Vorteile der subtraktiven Verfahren liegen darin, dass sie mit relativ einfachen technischen Mitteln auskommen. Nachteilig ist hingegen, dass man in Bezug auf die realisierbaren Körperformen schnell auf Grenzen stößt. Im Falle der 3D-Frästechnik können Begrenzungen auftauchen wie z. B. Kollisionen zwischen dem Werkzeug, seiner Steuerung und dem Werkstück. Des Weiteren begrenzen die verfahrensbedingten Werkzeugabmessungen und die auftretenden Bearbeitungskräfte die Minimalgröße der Werkstückteile.

Für die Bearbeitung des Dämmstoffes Polystyrol PS sind 3D-Fräsverfahren geeignet, welche die Erzeugung dreidimensionaler Formstrukturen erlauben. Je nach Komplexität der generierten Formen sind 3- oder 5-Achs-Fräsen einzusetzen. Diese verfügen über unterschiedlich dreh- und schwenkbare Werkzeug- oder Werkstückaufnahmen, um auch die Fertigung komplexer, fließender dreidimensionaler Formen zu ermöglichen.

„Der Einsatz von computergestützten Modellverfahren ist an zwei Voraussetzungen gekoppelt:

1. Die zum Modellbau notwendigen Daten sind mit Hilfe eines CAD-Systems zu erzeugen, die auf einem bestimmten geometrischen oder – darüber hinausgehend – einem geometrisch-semantischen, d.h.

- bauteilbezogenen Beschreibungsmodell basieren.
2. Die vom CAD-System erzeugten Daten müssen von der zum Modellbau eingesetzten Anlage verstanden werden können, d.h. es müssen Schnittstellen zur Verfügung stehen, die den gegenseitigen Datenaustausch sicherstellen.

Beide Bedingungen sind eng miteinander verzahnt. Je nachdem, wie das CAD-System beschaffen ist, d.h. welche Art von Daten mit ihm erzeugt werden und welcher geometrische Modellansatz ihm zu Grunde liegt, werden unterschiedliche, zugleich aber auch eng darauf bezogene Schnittstellen benötigt.

Mit dem Stereolithographiesystem wurde das STL-Format als Übergangsformat zwischen CAD- und Modellbausystemen eingeführt. Es entwickelte sich seither zum meistverwendeten Übergangsformat in diesem Bereich. Im STL-Format werden die Körper durch allseits geschlossene, die Einzelkörper umhüllende Dreiecksnetze beschrieben. Die Dreiecke sind so geordnet, dass ihre Eckpunkte mit dem Eckpunkten der Nachbardreiecke zusammenfallen. Kein Dreieckspunkt darf die durchgehende Kante benachbarter Flächen teilen.

(...) Im Grunde ist eine STL-Datei eine Sammlung von Dreiecken – d.h. Flächen –, die durch die Information ihrer Orientierung bezüglich des von ihnen gebildeten Körpers ergänzt sind. Da keine Information über die Verknüpfung der Dreiecke vorhanden ist und die Reihenfolge der Dreiecksätze keiner festgelegten Ordnung unterliegt, kann der topologische Netzzusammenhang nur über die Dreieckskoordinaten hergestellt werden.“ Computergestützter Architekturmodellbau, Bernd Streich, Wolfgang Weisgerber 1996, Seite 88

3.2

ERGEBNISSE

3.2.1 INITIALISIERUNG/ ANALYSE

Ein geeignetes Objekt wurde in München identifiziert. Dessen besondere Eignung beruht einerseits auf dem unsanierten Zustand des Altbaus und andererseits auf der unregelmäßigen Fassade mit Fensteröffnungen in unterschiedlichen Abständen.

GEBÄUDE	
①	2 3 4 5 6 7 8 9 0
	
GEBÄUDETYP	Mehrfamilienhaus
NUTZUNG	Wohnen, Gewerbe
ORT	München
STRASSE	Reichenbachstrasse
GEMARKUNG	München, Sektion 6
FLURSTÜCK	11727
BAUJAHR	Anfang 1900
BAUALTERSKLASSE	B I MFH B
BAUWEISE	Massivbau
SANIERUNGSBEDARF	hoch
ENERGETISCHE QUALITÄT DER GEBÄUDEHÜLLE	niedrig
SONSTIGES	



Abbildung 15: Bestandsfassade München Reichenbachstraße

3.2.2 ERHEBUNG

BESTANDSANALYSE

Abbildung 16: Gebäudesteckbrief-Reichenbachstraße

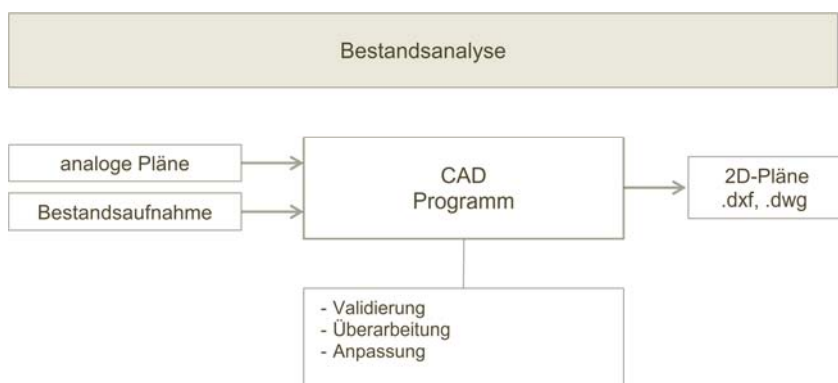


Abbildung 17: Bestandsanalyse

Das mehrgeschossige Mehrfamilienhaus aus dem frühen 19. Jahrhundert befindet sich im Zentrum Münchens. Trotz starker Zerstörung während des Zweiten Weltkriegs zeichnet sich das Quartier durch einen gepflegten Altbaubestand aus, der zum Großteil unter Ensembleschutz steht.



Abbildung 18: Lageplan, München Reichenbachstraße

Die ursprünglich spätklassizistische Fassade ist durch bauliche Eingriffe unwiederbringlich zerstört worden und zudem ist eine Wärmedämmung nach den heute üblichen Standards noch nicht vorhanden. Der Sanierungsbedarf wird als hoch bewertet, die energetische Qualität der Gebäudehülle ist somit sehr gering. Also sind hier ideale Voraussetzungen gegeben, um durch den Einsatz von WDVS nicht nur die erforderliche Energieeffizienz, sondern zudem auch eine Neugestaltung der Fassade anzustreben.

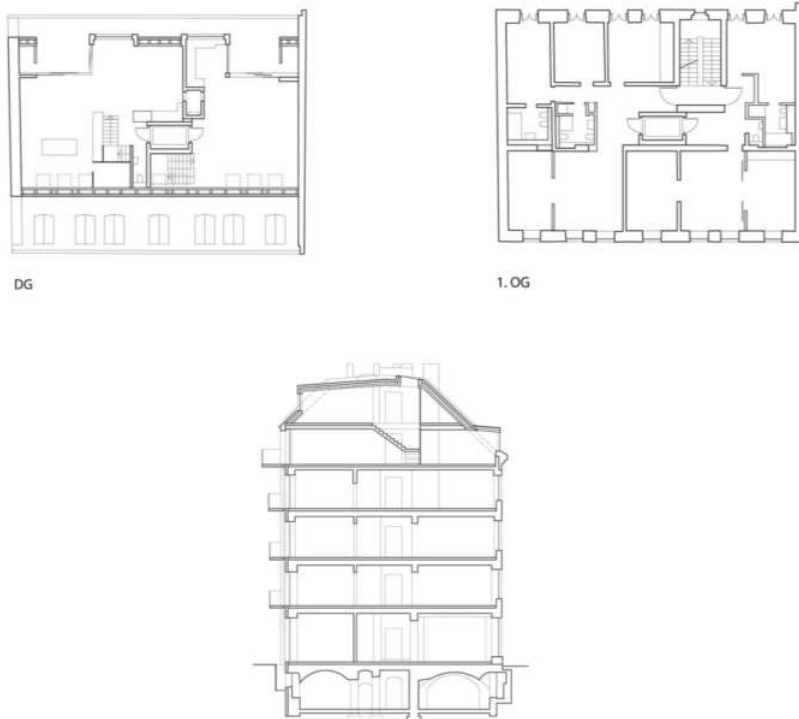


Abbildung 19: Digitalisierte Übersichtspläne Reichenbachstraße, München, Hild und K

Die vorhergehenden Abbildungen zeigen unterschiedliche Ausschnitte aus den für das Projekt überarbeiteten und digitalisierten 2D-Plänen. Diese dienen als Datenbasis für die nachfolgend dargestellte Wärmebrückensimulation.

THERMISCHE ANALYSE

WÄRMEBRÜCKENSIMULATION

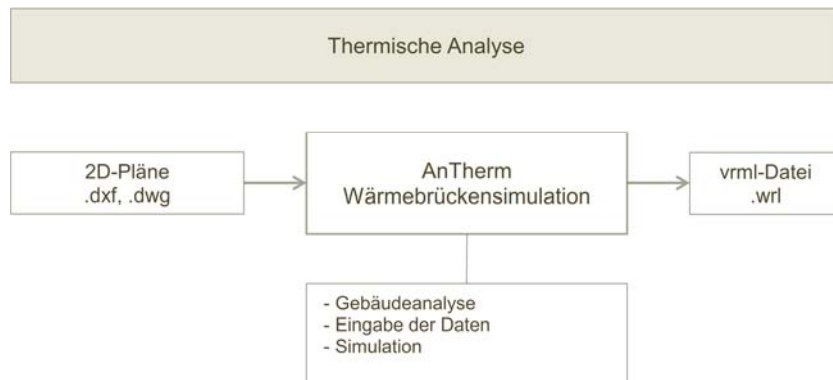


Abbildung 20: Thermische Analyse

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde eine Wärmebrückensimulation genutzt, um die vektorisierten Ausgangsdaten für den Entwurf zu generieren. Aufgrund sehr guter Bestandsinformationen konnte die Simulation wesentlich präziser durchgeführt werden als eine Thermografieaufnahme. Diese Methode hatte darüber hinaus den Vorteil, dass sie unabhängig von Jahreszeit, Witterungseinflüssen und der Mitwirkung der Nutzer des Gebäudes realisierbar war. Die Ergebnisse liegen digital in sehr hoher Genauigkeit vor.

Künftig kann das nachfolgend entwickelte Verfahren bei Einhaltung der notwendigen Datenformate sowohl auf Basis hochauflösender, vektorisierter Thermografieaufnahmen als auch auf Basis von Wärmebrückensimulationen in Bezug auf andere Objekte angewendet werden.

Mittels des Computerprogramms *AnTherm* wurden die Berechnungen und Simulationen dreidimensional durchgeführt. Die Anzeige der Isolinien war hier gegeben und konnte zudem sehr einfach im Maßstab angepasst werden.

Die nachfolgende Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen die Materialität, die in *AnTherm* als Ausgangsbasis für die Simulation modelliert wurde. Die nachfolgenden vier Abbildungen zeigen die daraus generierten Wärmedurchgänge, jeweils mit / ohne Isolinien dargestellt, in einer Sicht auf die Außen- bzw. Innenfassade.

Die graphischen Darstellungen der Simulation wurden abschließend aus *AnTherm* als VRML-Dateien (Virtual Reality Modeling Language, ein Format zur Beschreibung und Darstellung von 3D-Objekten) exportiert. . Diese werden als

Datenbasis für die weitere Bearbeitung im Zuge der nachfolgenden Phase *Methode und Entwurf* benötigt.

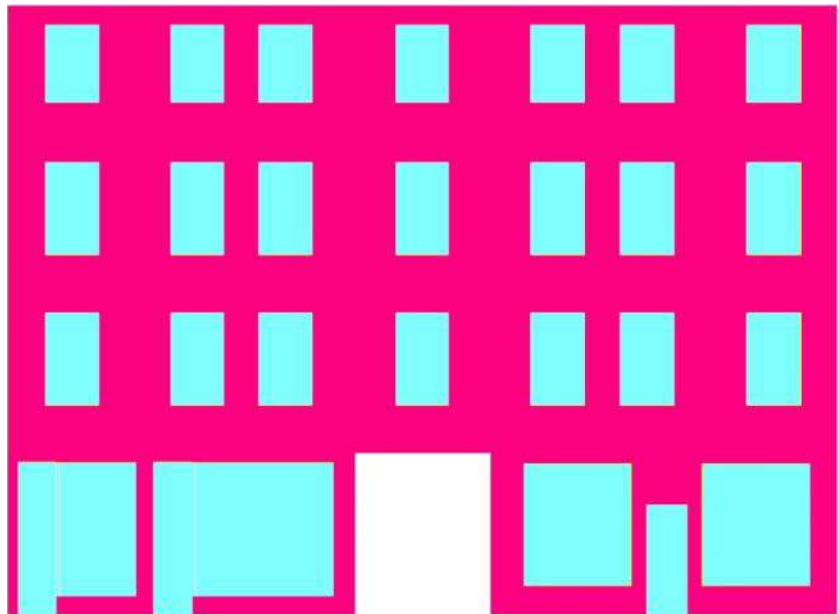


Abbildung 21: Reichenbachstraße, Ansicht von außen, eigene Abbildung, 2011

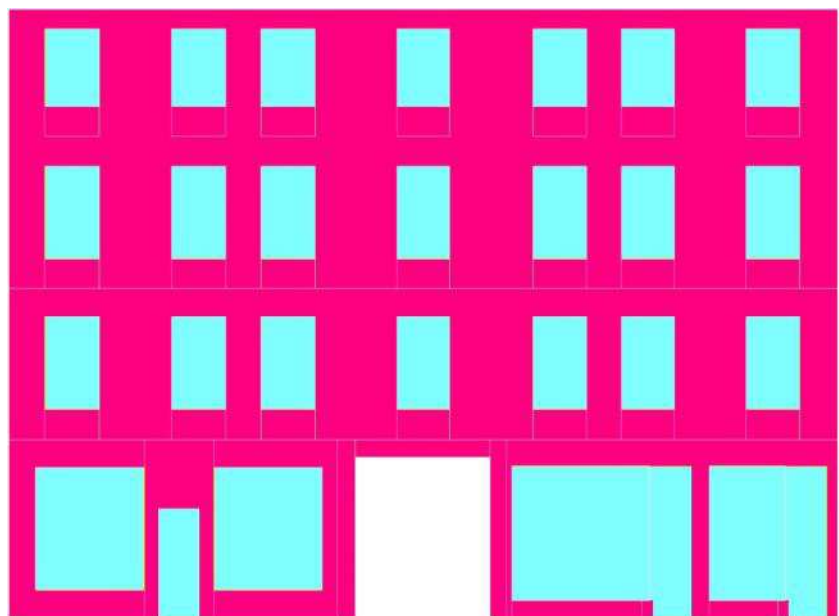


Abbildung 22: Reichenbachstraße,, Ansicht von innen, eigene Abbildung, 2011

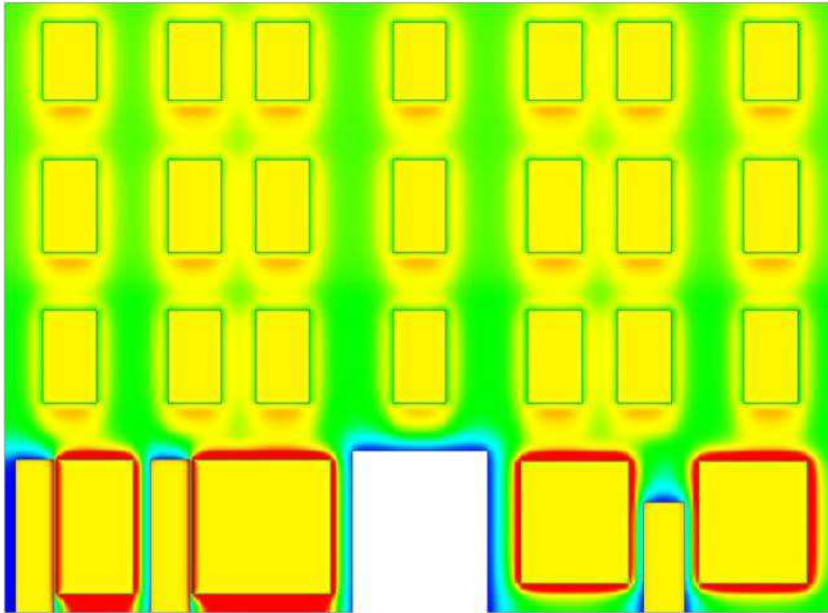


Abbildung 23: Reichenbachstraße, Ansicht von außen – Thermographie, eigene Abbildung, 2011

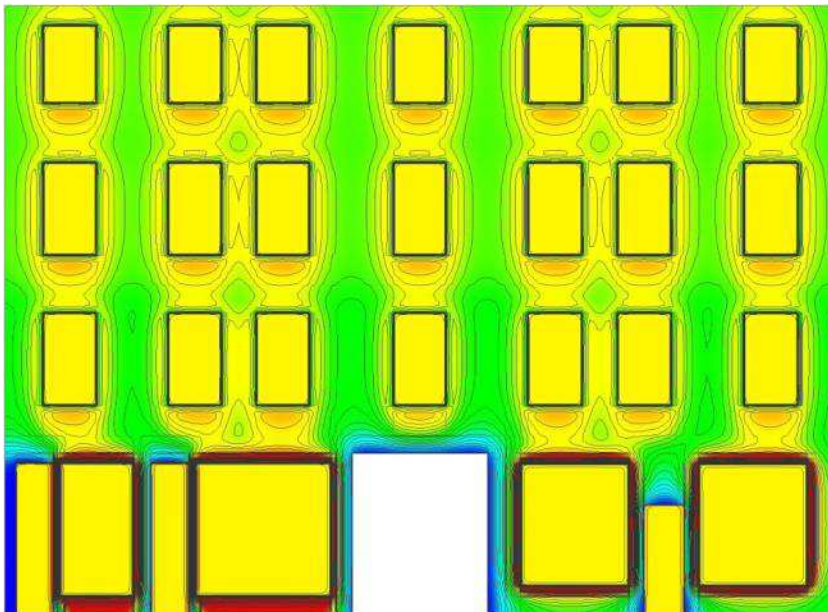


Abbildung 24: Reichenbachstraße, Ansicht von außen – Thermographie mit Isolinien (0,5°-Linien), eigene Abbildung, 2011

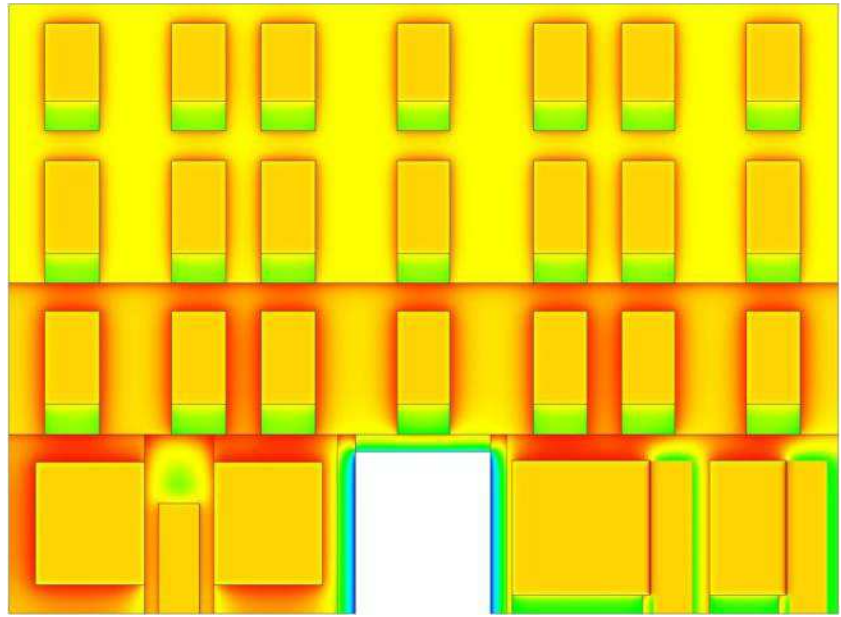


Abbildung 25: Reichenbachstraße, Ansicht von innen,–
Thermographie, eigene Abbildung, 2011

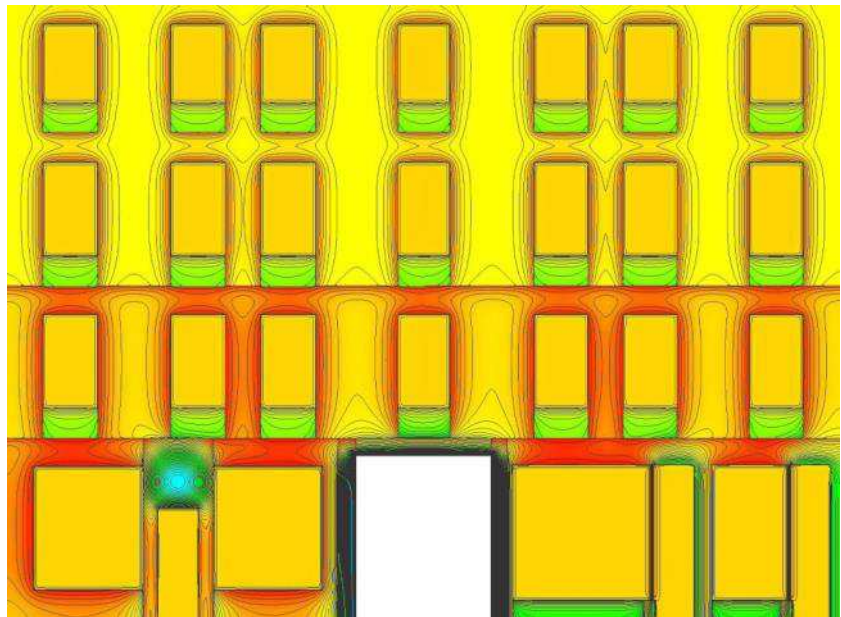


Abbildung 26: Reichenbachstraße, Ansicht von innen,–
Thermographie mit Isolinien (0,5°-Linien), eigene A bbildung, 2011

Um den Rechenaufwand bei der Durchführung dieses Forschungsprojektes zu begrenzen, wurde die Simulation hier auf einen repräsentativen Ausschnitt der Fassade begrenzt. Die beiden nachfolgenden Abbildungen geben die Materialität dieses Ausschnittes wieder, die Abbildung 27 und Abbildung 28 zeigen die Ergebnisse der Simulation und bilden somit die Basis für den nachfolgenden digitalen Entwurf.

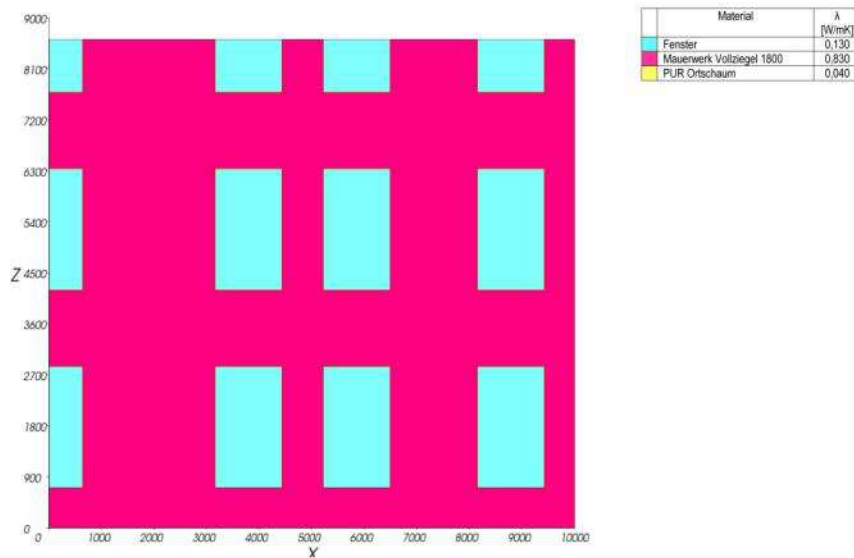


Abbildung 27: Reichenbachstraße, Ansicht von außen, 1. und 2. OG, eigene Abbildung, 2011

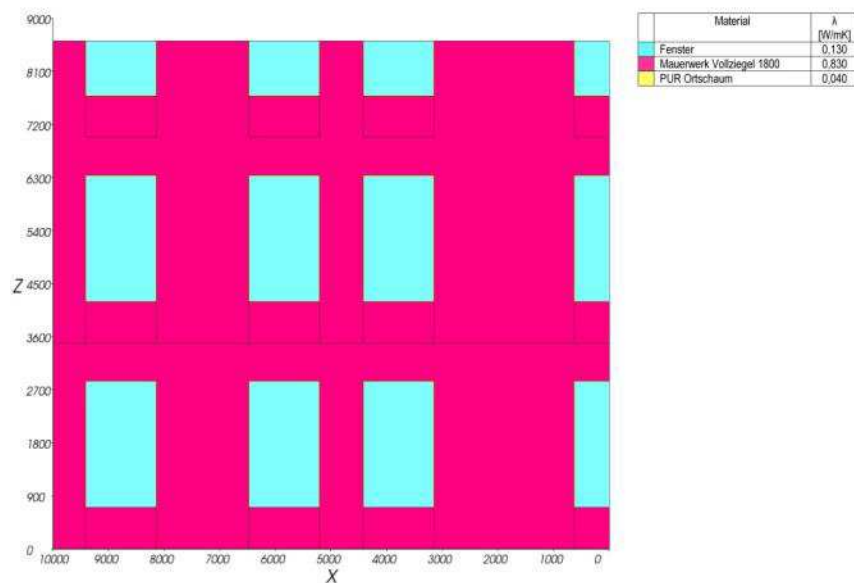


Abbildung 28: Reichenbachstraße, Ansicht von innen, 1. und 2. OG, eigene Abbildung, 2011

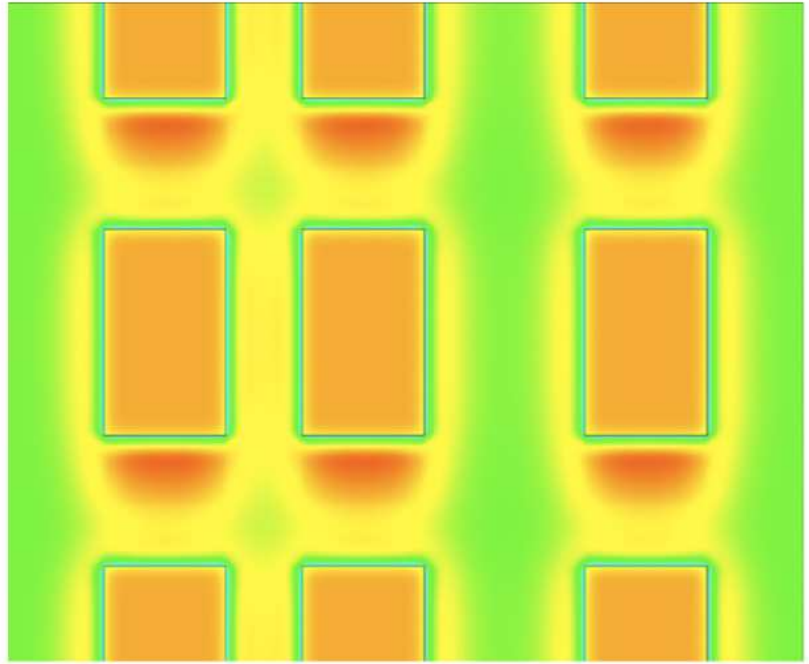


Abbildung 29: Reichenbachstraße, Fassadenausschnitt Ansicht von außen, Wärmestromverlauf ohne Isothermen, eigene Abbildung, 2011

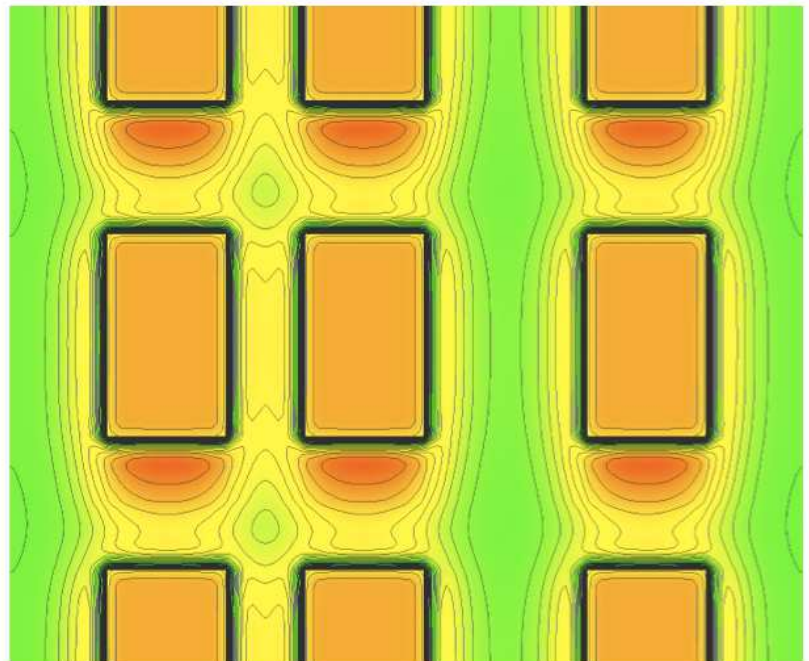


Abbildung 30: Reichenbachstraße, Fassadenausschnitt Ansicht von außen, Wärmestromverlauf mit Isothermen, eigene Abbildung, 2011

3.2.3 METHODE UND ENTWURF

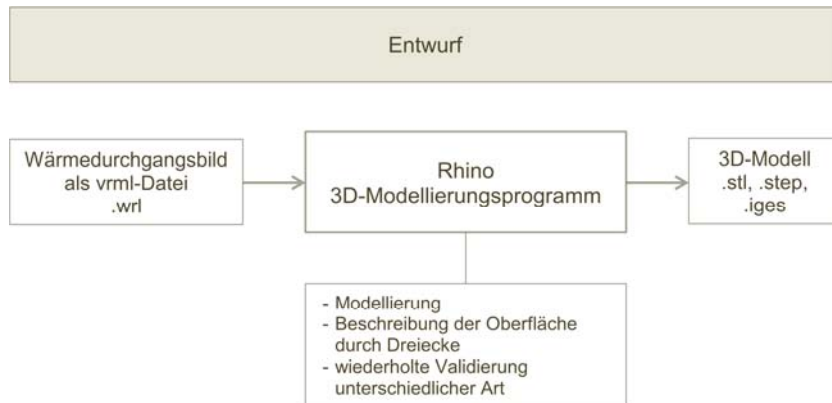


Abbildung 31: Entwurf

Die Methode ist daraufhin ausgerichtet einen möglichst vollständigen digitalen Arbeitsfluss von der Datenanalyse bis hin zur Ausführung zu generieren. Dabei werden die angewendeten digitalen Werkzeuge im Datenmanagement (vzw. STL Format) in eine gemeinsame Datenbasis integriert. Diese konsequente Bearbeitung in einem digital unterstützen Arbeitsprozess ermöglicht den optimalen Einsatz der unterschiedlichen Software-Werkzeuge und reduziert den administrativen Aufwand im gesamten Vorgehen. In der Konsequenz bleibt mehr Zeit für den Kreativprozess.

Nach Abschluss der Simulation mit der graphischen Darstellung von Isothermen und Wärmestromlinien folgt die dreidimensionale Ausarbeitung im Entwurf. Die Isolinien werden jeweils einer bestimmten Höhe zugewiesen und in dem 3D-Programm Rhino modelliert.

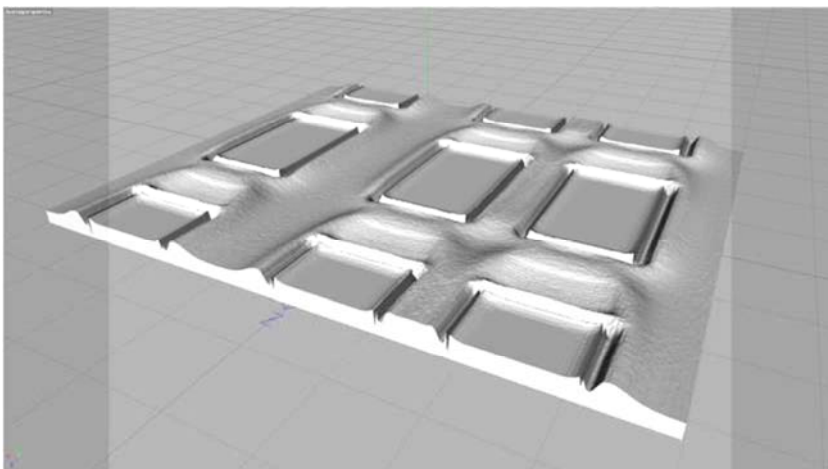


Abbildung 32: Dreidimensionale Modellierung der Isolinien der Fassadenausschnitt-Ansicht von außen, eigene Abbildung, 2012

Besonderes Augenmerk musste auf die wiederholte Überprüfung der generierten 3D-Modelle gelegt werden, da der zuvor skizzierte Ablauf bzw. die Kombination der unterschiedlichen Software-Werkzeuge auch Fehler induzieren kann. Diese gilt es manuell zu beseitigen. Ein Beispiel dazu ist ein sogenannter Ausreißer in der Punktwolke, der im 3D-Modell zu deutlich erkennbar unplanmäßigen Verformungen führt.

Um die Komplexität der Planungsergebnisse zu reduzieren und den durch die Software erforderlichen Rechenbedarf auf die verfügbare Hardware anzupassen wurde eine Modulanalyse und -planung durchgeführt. Die neue Gebäudehülle wird dabei zunächst in gleiche Segmente zerteilt. Ähnliche Teilsegmente werden lokalisiert und durch identische ersetzt. Mit Hilfe der Modulplanung kann die Dämmebene auf drei wesentliche Module minimiert werden. Die Reduktion der Komplexität unterstützt das Planungsmanagement und nachgeschaltete industrielle Prozesse in der Fertigung.

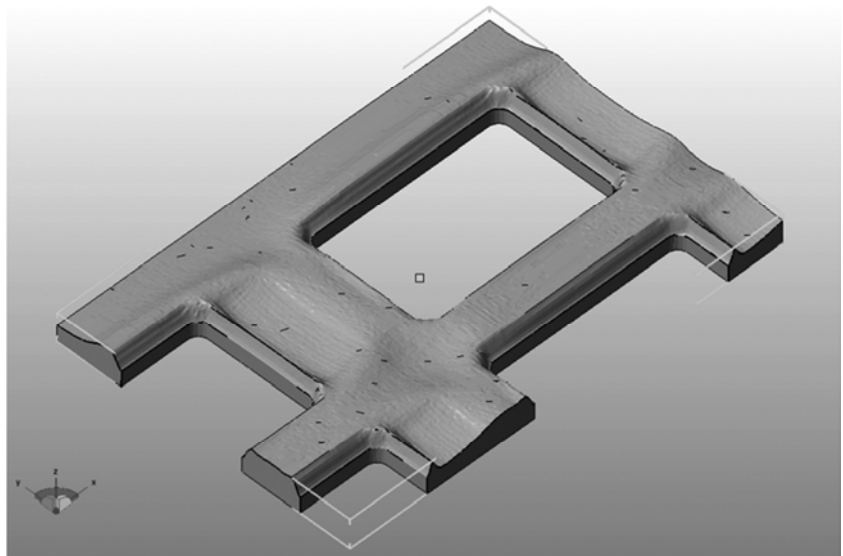


Abbildung 33: Dreidimensionale Modellierung der Isolinien der Fassadenausschnitt-Ansicht von außen, Ausschnitt, eigene Abbildung, 2012

VERIFIKATION DER DÄMMWIRKUNG EINER MODULIERTEN WDVS FASSADE

Diese Untersuchung dient zur Verifikation der Dämmwirkung einer modulierten Fassade. Anhand definierter Parameter für eine Modulation soll exemplarisch festgestellt werden, ob eine Veränderung der Regeldämmstärke an der Fassade auch bei Berücksichtigung des naturgemäß dreidimensionalen Wärmeflusses die gewünschten Ergebnisse erzielt.

Für die Verifikation wurde ein Fensterausschnitt ausgewählt und mit Blick auf die Laibung bzw. die reduzierte Dämmstärke an dieser Stelle eine dreidimensionale Simulation durchgeführt. Um den Rechenaufwand sowie insbesondere auch die Parametrisierung in der Software bzgl. Komplexität und Aufwand zu reduzieren, wurde die Modulation wie folgt erfasst:

- Dämmmaterial: Expandierter Polystyrol-Hartschaum EPS, WLS 035
- Regeldämmstärke: Wand 130 mm, Laibung 30 mm
- Abstufung zur Fensteröffnung: Abminderung in der Dämmstärke je 5 mm
- Rastergröße: Regel 50 mm, Verfeinerung im Fensterbereich 25 mm

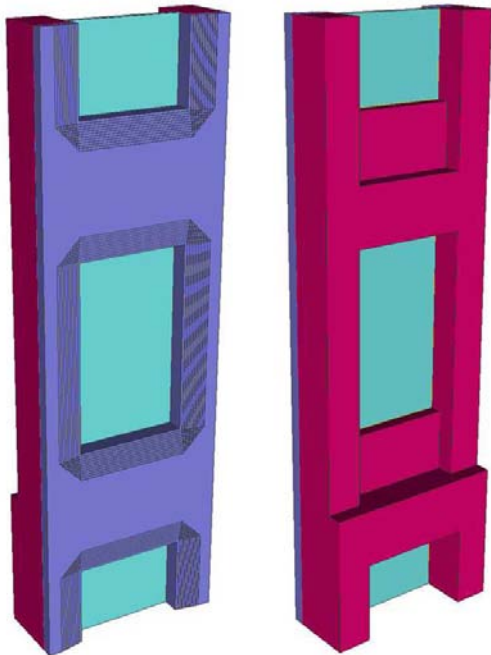


Abbildung 34: Reichenbachstraße, Fassadenausschnitt Ansicht von außen und innen mit Dämmung und Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012

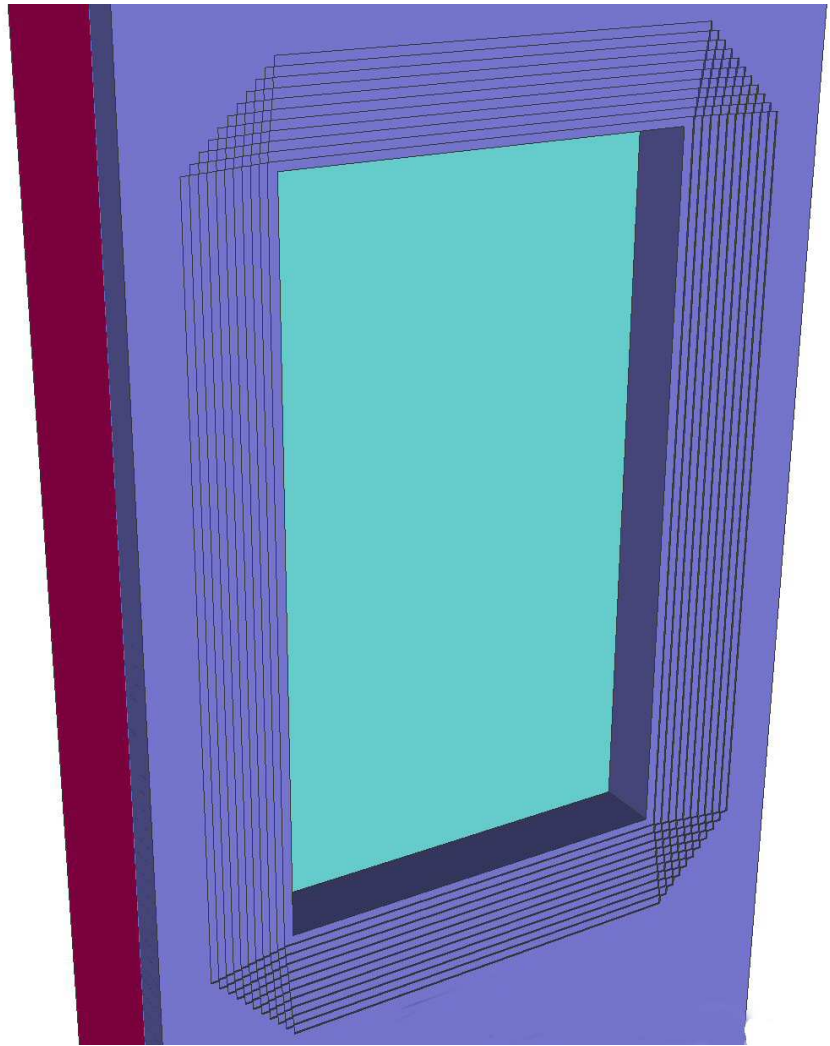


Abbildung 35: Reichenbachstraße, Fensterausschnitt Ansicht von außen mit Dämmung und Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012

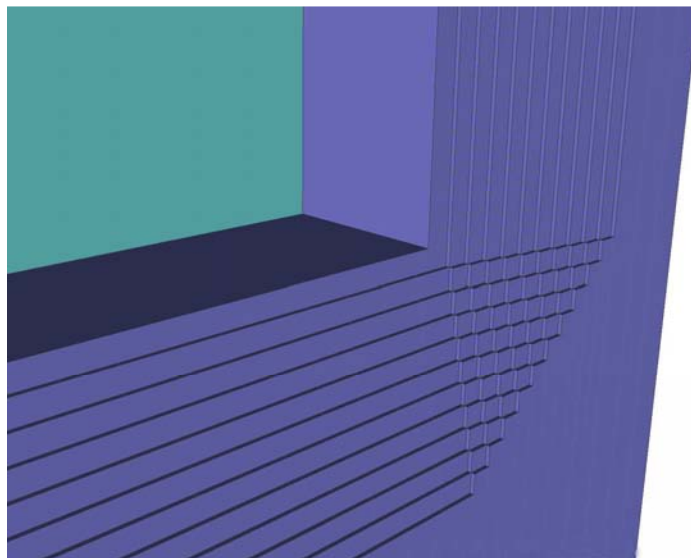


Abbildung 36: Reichenbachstraße, vergrößerter Fensterausschnitt Ansicht von außen mit Dämmung und Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012

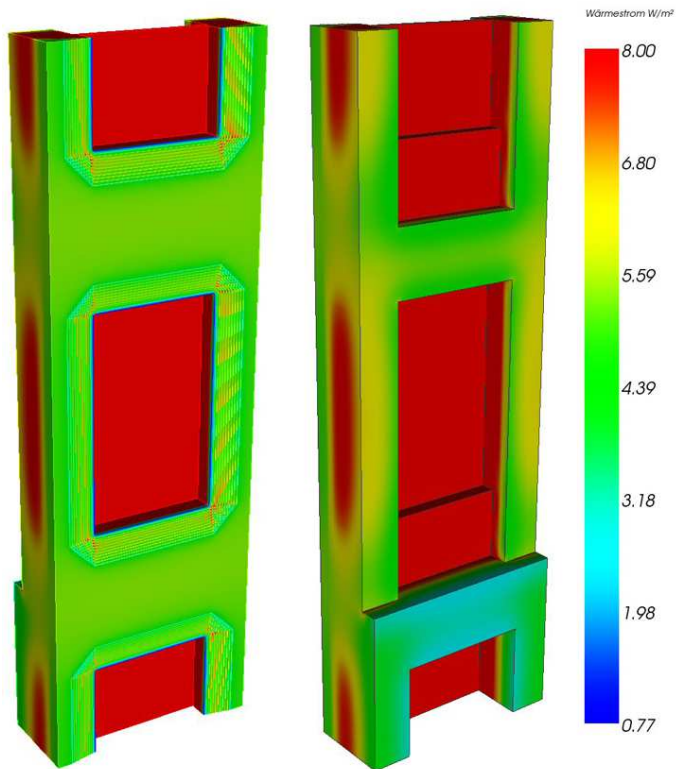


Abbildung 37: Reichenbachstraße, Fassadenausschnitt Ansicht von außen und innen, Wärmestromverlauf mit Dämmung und Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012

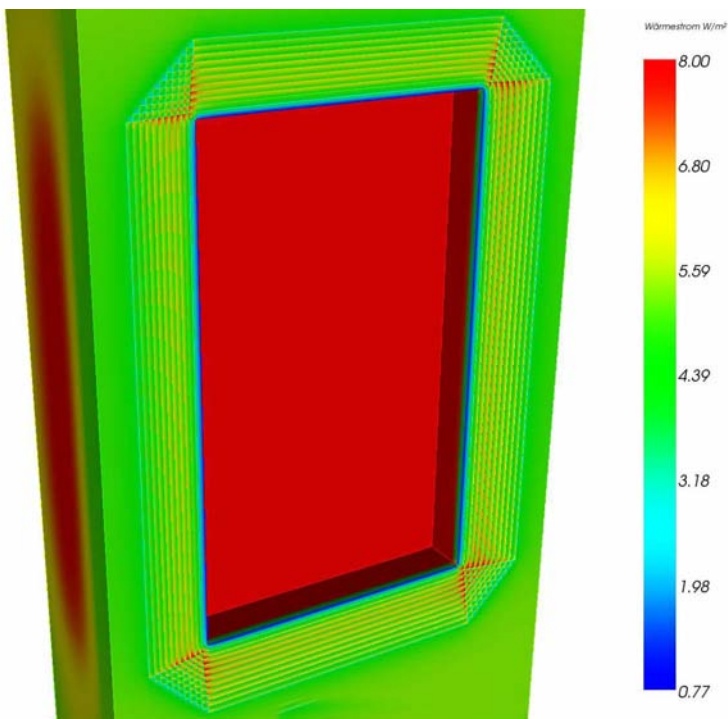


Abbildung 38: Reichenbachstraße, Fensterausschnitt Ansicht von außen, Wärmestromverlauf mit Dämmung und Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012

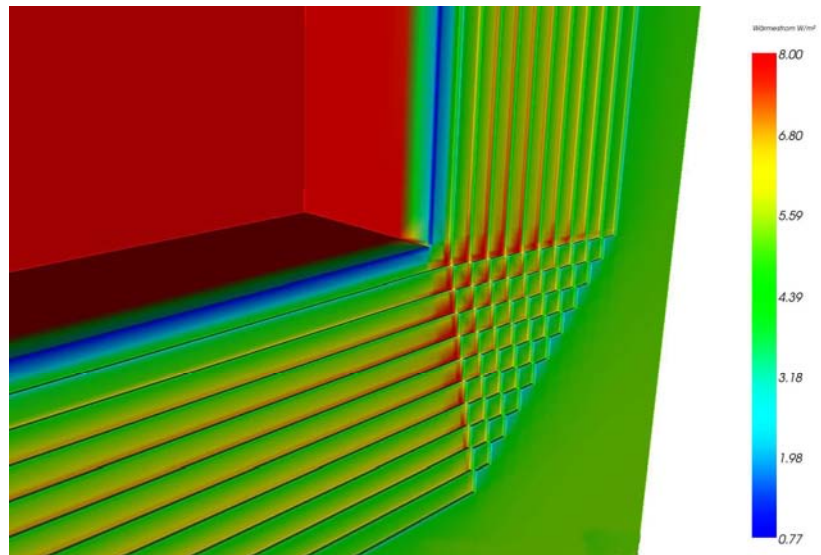


Abbildung 39: Reichenbachstraße, vergrößerter Fassadenausschnitt Ansicht von außen, Wärmestromverlauf mit Dämmung und Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012

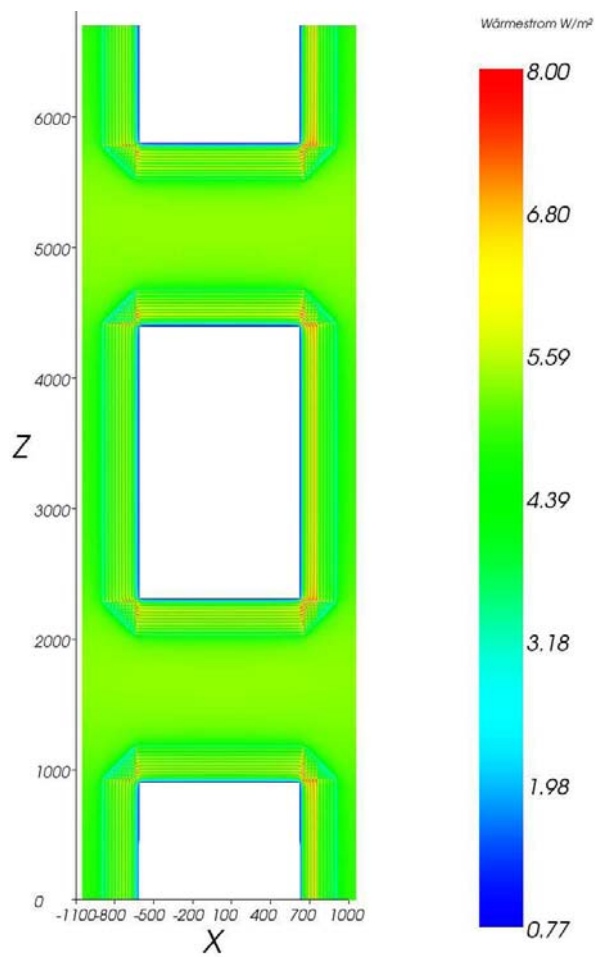


Abbildung 40: Reichenbachstraße, vergrößerter Fassadenausschnitt Ansicht von aussen Wärmestromverlauf mit Dämmung und Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012

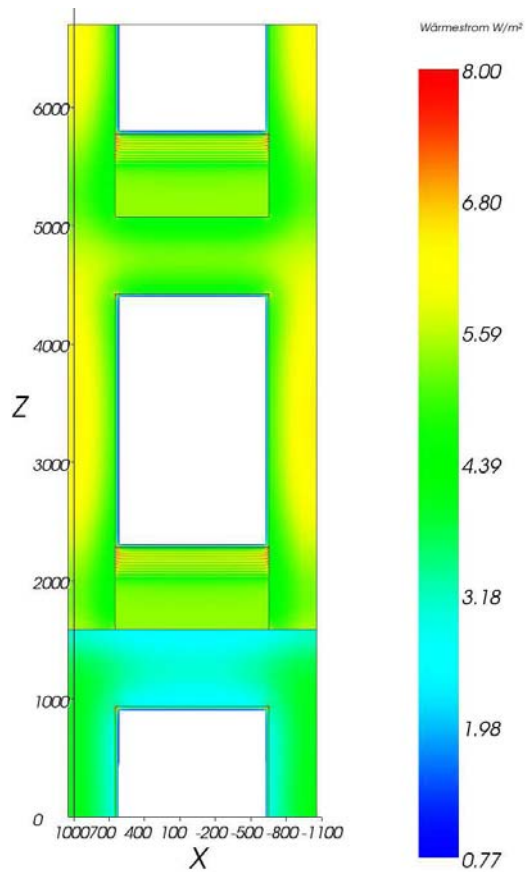


Abbildung 41: Reichenbachstraße, vergrößerter Fassadenausschnitt Ansicht von innen Wärmestromverlauf mit Dämmung und Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012

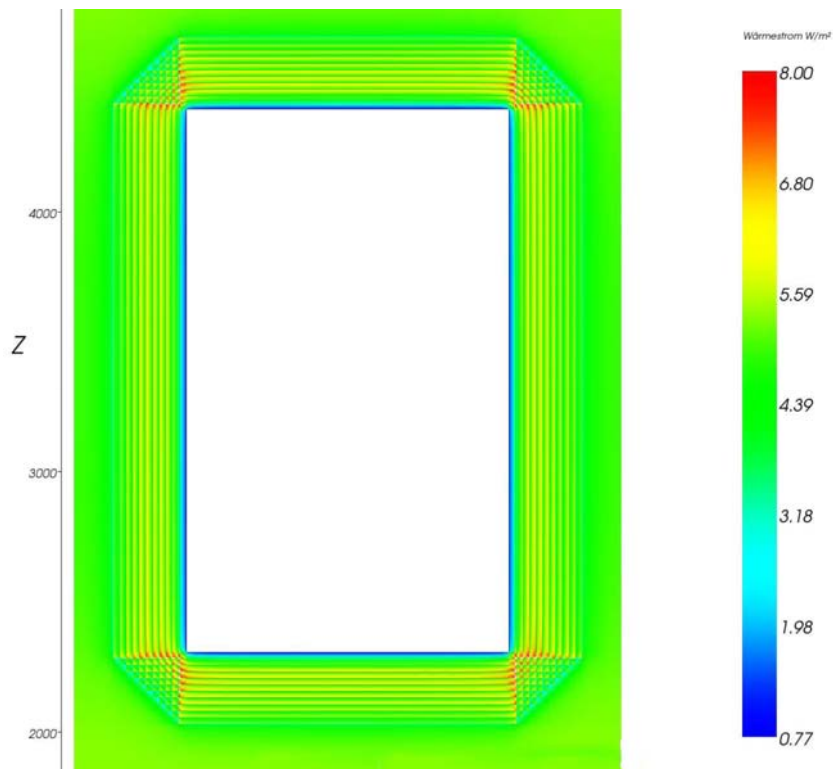


Abbildung 42: Reichenbachstraße, Fensterausschnitt Ansicht von außen Wärmestromverlauf mit Dämmung Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012

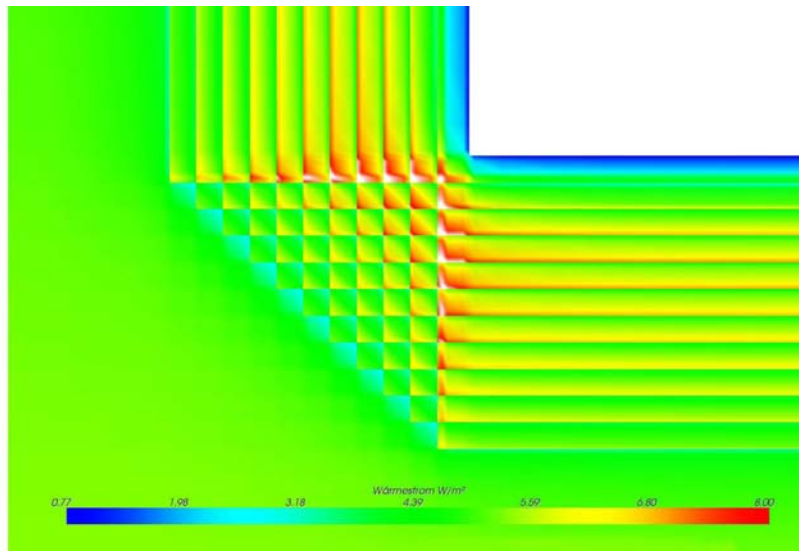


Abbildung 43: Reichenbachstraße, vergrößerter Fassadenausschnitt Ansicht von außen Wärmestromverlauf mit Dämmung Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012

Die Wärmeströme verhalten sich in der Realität ähnlich wie Flüssigkeiten, d.h. sie fließen auf dem Pfad des geringsten Widerstandes. Dieser Effekt ist insbesondere in den hochauflösenden Aufnahmen anhand der unterschiedlichen Oberflächentemperaturen in den Stufen der Dämmung sehr gut zu erkennen.

Die grüne Oberfläche um die Fensteröffnungen belegt deutlich, dass die Dämmstärken hier ohne negative Effekte zu verursachen, geringer ausgeführt werden können.

Die Heizkörpernische spielt im Vergleich zur normalen Wandstärke praktisch keine Rolle, was den unterschiedlichen Widerstand vom Wärmedurchgang beeinflussen würde. Die Dämmstärke bleibt im Wesentlichen gleich. Der Wärmestrom liegt im Bereich von 4 bis 5 W/m² und ist relativ konstant über die gesamte Wandfläche. Der Wärmedurchgangskoeffizient U errechnet sich dann zu: $4 / (20 - -5) = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bzw. $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Anhand der Bilder ist ablesbar, dass generell die Regeldämmstärke überall dort vermindert werden kann, wo ein hoher Wärmedurchgangskoeffizient vorliegt bzw. die Umgebung einen erheblich schlechteren Wärmedurchgangskoeffizient aufweist. Dies beeinträchtigt nicht die insgesamt ermittelte Dämmqualität der Fassade. Die Effekte der Wärmelastumlagerung mit einem vermehrten Wärmestrom über thermischen Schwachstellen (Fenster, Laibungen, Wärmebrücken, usw.), harmonisiert bei einer bedarfsgerechten Dämmdicke den Wärmedurchgang und führt somit zum gewünschten, gestalterischen Effekt die Dämmung in ihrer Funktion sichtbar zu machen. Trotz erheblich verminderter

Dämmstärke im Bereich um Fensteröffnungen bleibt der Wärmestrom relativ gleich.

GESTALTUNGSVARIANTEN



Abbildung 44: Gestaltungsvarianten

Die im Entwurf erzeugten Module dienen als Ausgangslage für weitere Varianten, welche unter rein gestalterischen Aspekten entstanden sind.

Erzeugt wurden diese Varianten mit Hilfe der Freeware 123D Make, einem Design Tool aus der Autodesk Produktfamilie. 123D Make wurde genutzt, um das vorhandene 3D Modell erstens mittels Schnitten zu zerlegen und zweitens mittels Triangulation zu verformen.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Urform des ausgewählten Fassaden-Ausschnittes sowie einige der aus dieser Form abgeleiteten Varianten. Im Wesentlichen wurden Schnittverfahren genutzt, die mit dreidimensional drehbaren Schnittachsen fast jede beliebige stufige Oberfläche erzeugen können.

Eine weitere Variante besteht in der Triangulation. Die gewölbten Flächen werden in Dreiecke aufgelöst und bilden so überwiegend glatte Ebenen. Grundsätzlich ließe sich die Triangulation je nach Auflösung auch in standardisierte Dreiecksformen zerlegen.

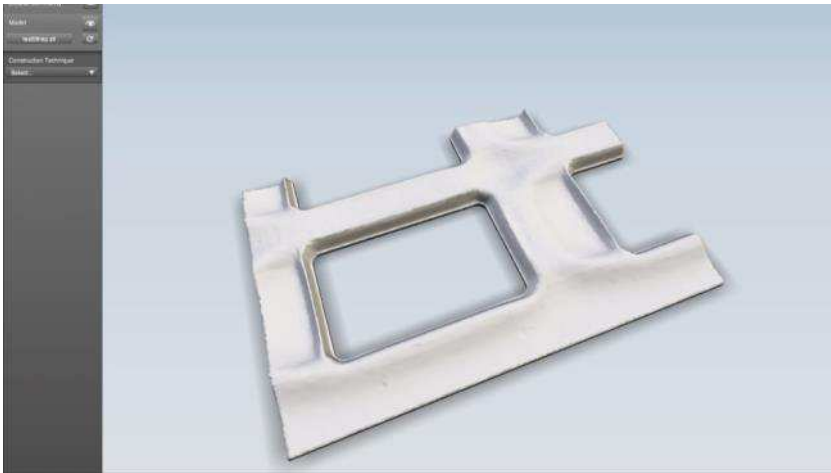


Abbildung 45: Ausgangsform in 123D Make, Urform, eigene Abbildung 2012

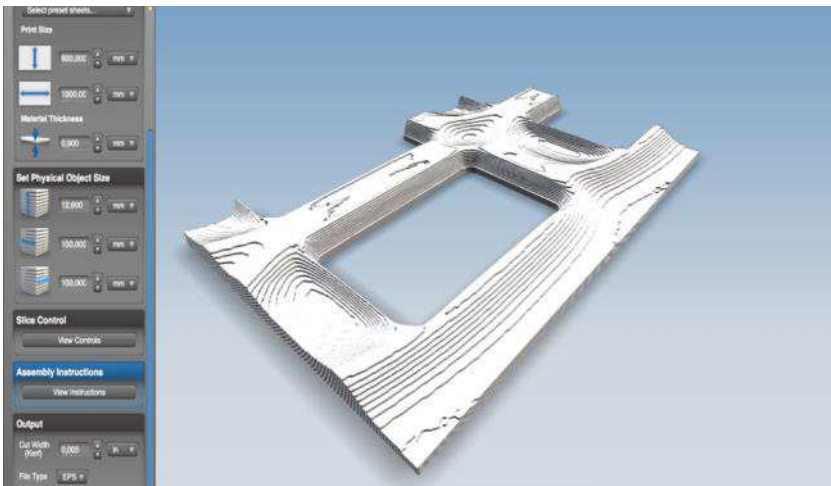


Abbildung 46: Modell1 - Schichtmodell in 123D Make, eigene Abbildung 2012

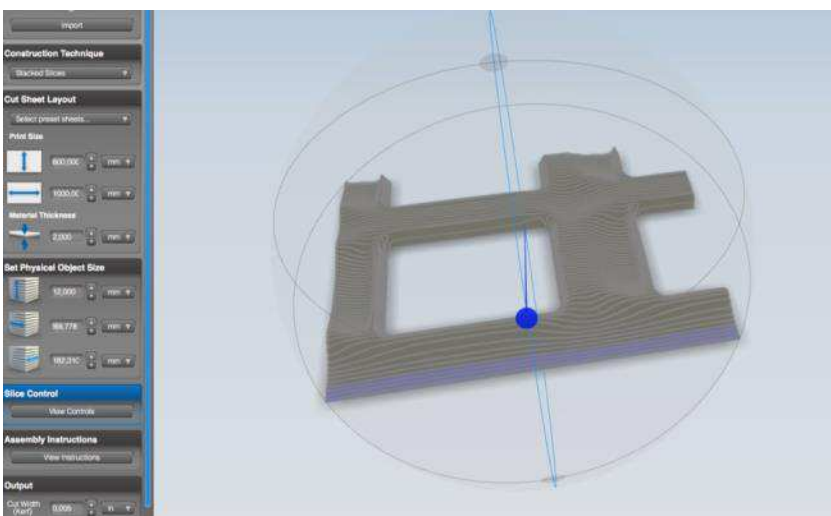


Abbildung 47: Modell2 - Vertikal in 123D Make, eigene Abbildung 2012

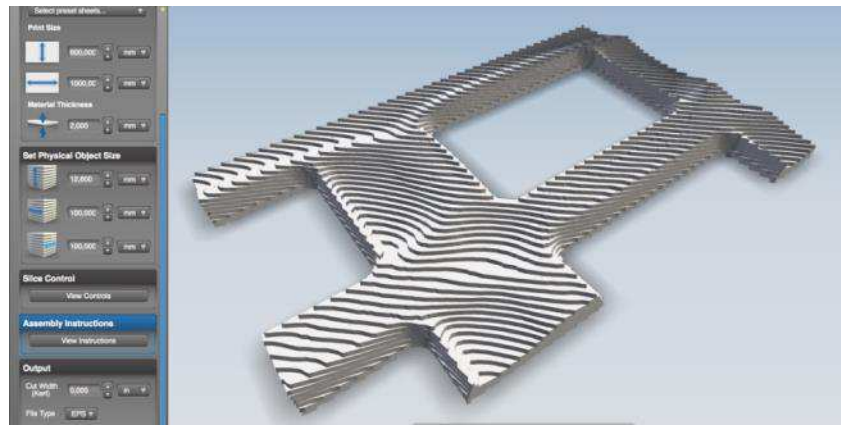


Abbildung 48: Modell3 - 45° in 123D Make, eigene Abbildung 2012

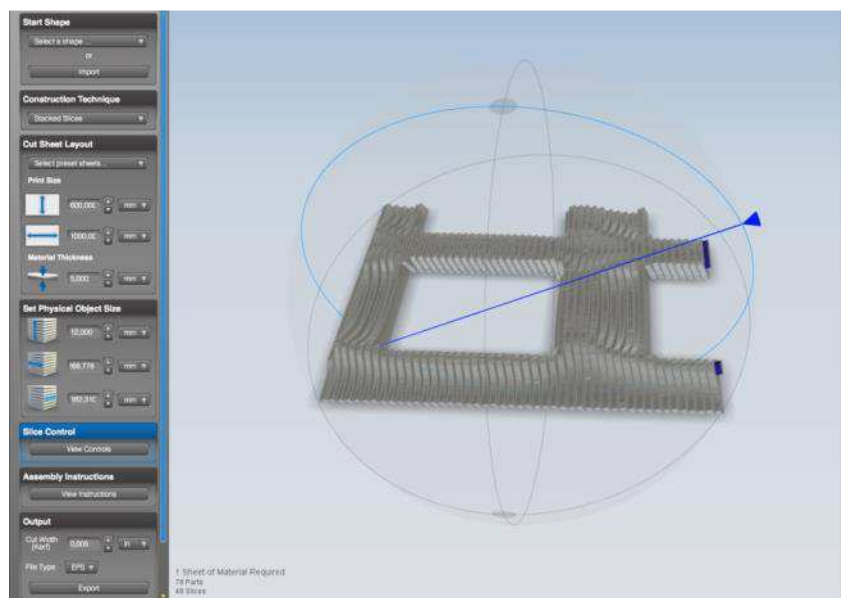
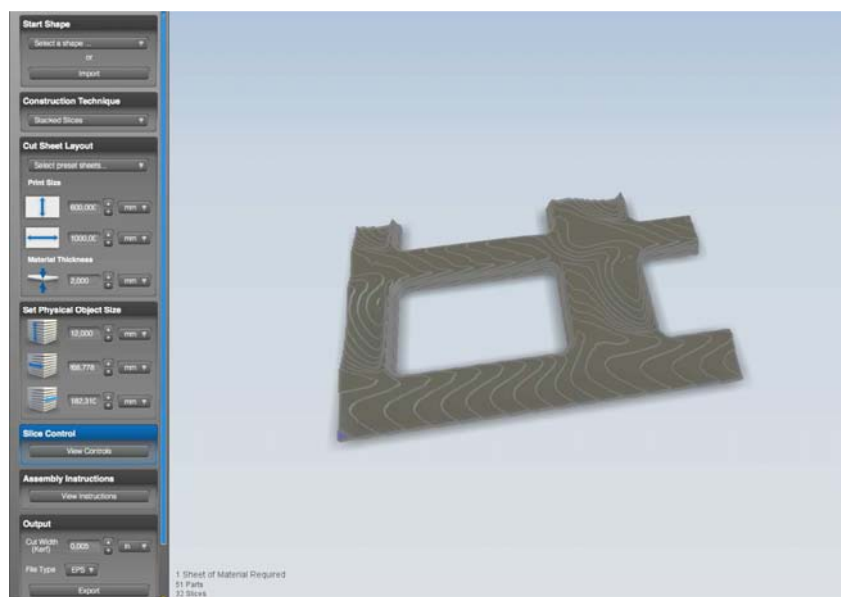


Abbildung 49: Modell4 - waagrecht in 123D Make, eigene Abbildung 2012



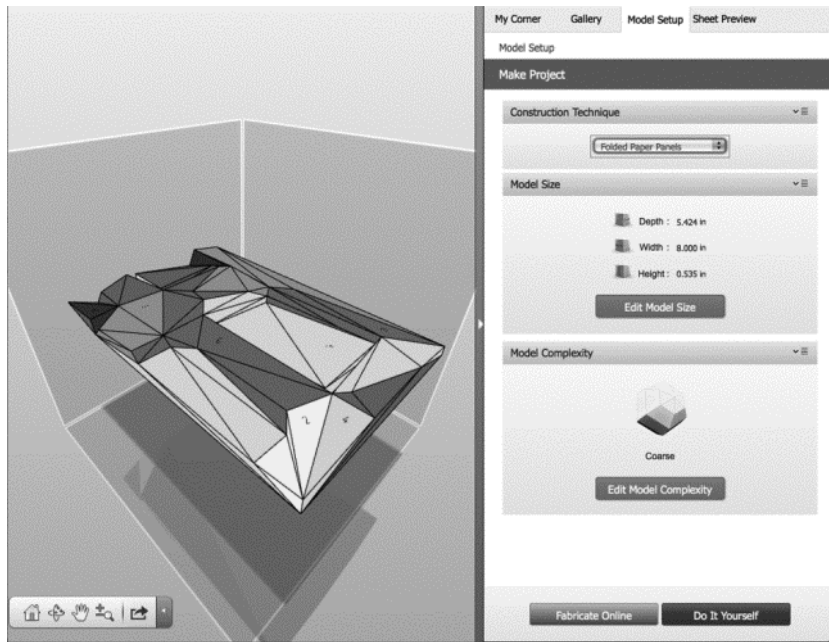


Abbildung 50: Modell5 - Polygon in 123D Make, eigene Abbildung 2012

3.2.4 UMSETZUNG UND DOKUMENTATION

Bei der Anfertigung der verschiedenen Module kommt ein subtraktives Fertigungsverfahren zum Einsatz. Mit einer digital angesteuerten 3-Achs-Fräse werden auf Grundlage der Datensätze die einzelnen Module subtraktiv aus einer Dämmplatte gefertigt. Eine durchgängige Kennzeichnung der Module, welche im Fertigungsprozess vorgenommen wird, würde in der Praxis den späteren Einbau vor Ort erleichtern.

Die Umsetzung kann unterteilt werden in drei wesentliche Schritte, welche nachfolgend dokumentiert werden:

- Produktionsvorbereitung,
- Produktion / Fertigungsversuche,
- Montage / Verarbeitungsversuche.

PRODUKTIONSVORBEREITUNG

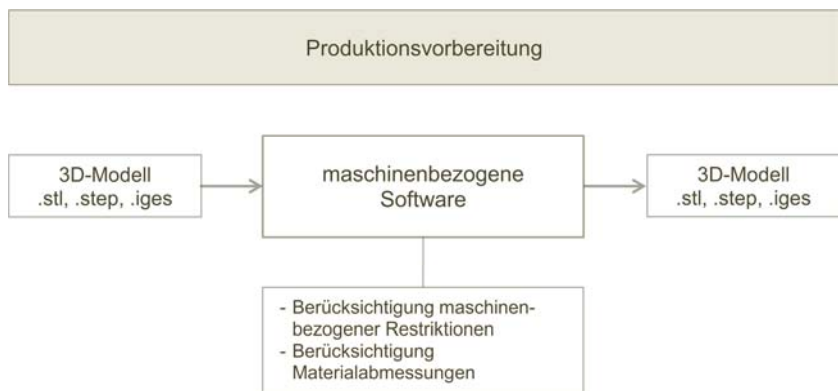


Abbildung 51: Produktionsvorbereitung

Die im Entwurf erzeugte stl-Datei wird in die maschinenbezogene Software importiert und dort formal überprüft. Weiterhin müssen Parameter wie beispielsweise die Positionierung des Werkstücks, Geschwindigkeiten für die Werkzeuge, Tiefeninkrement für die Materialabnahme oder die Abmessungen der einzusetzenden Werkzeuge erfasst werden.

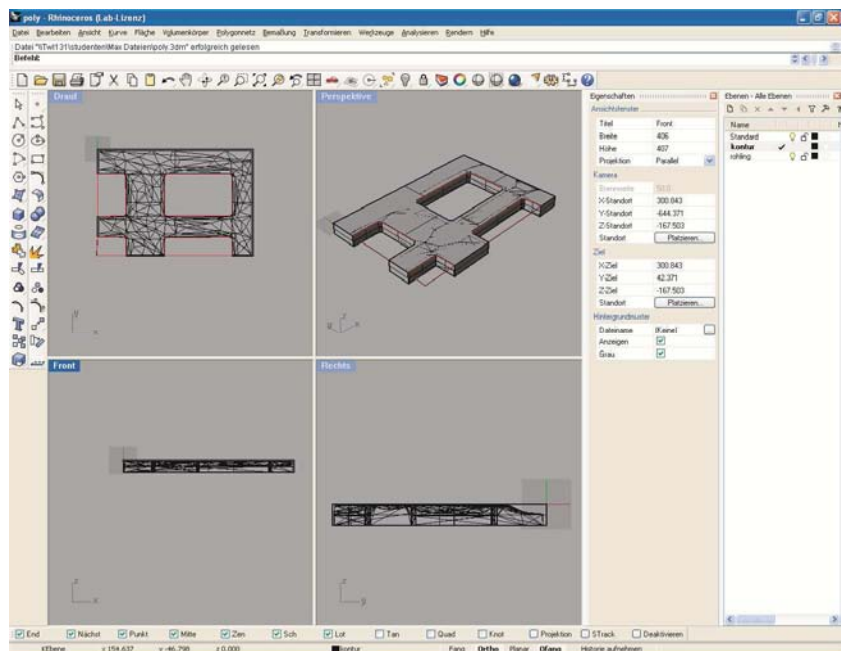


Abbildung 52: Screenshot Produktionsvorbereitung, eigene Abbildung 2012

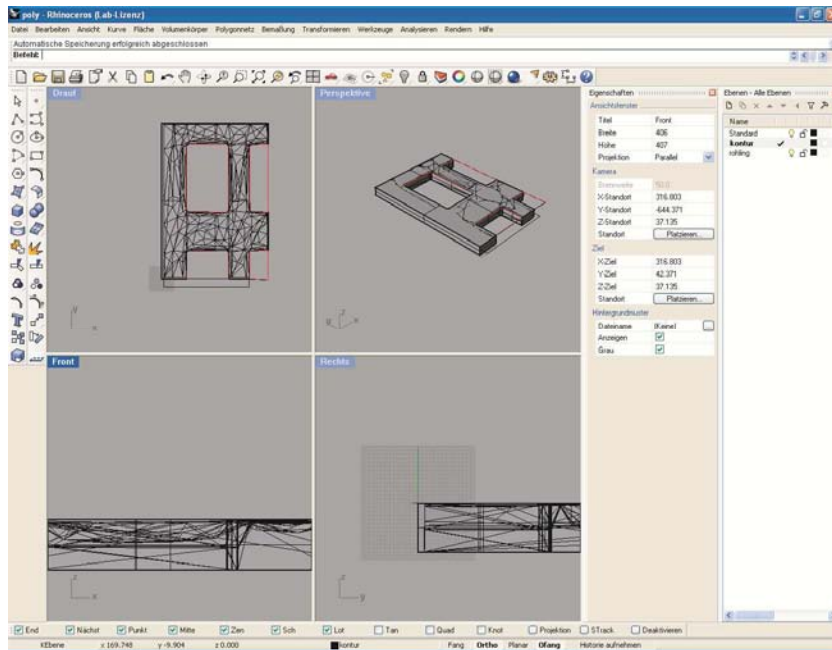


Abbildung 53: Screenshot Produktionsvorbereitung, eigene Abbildung 2012

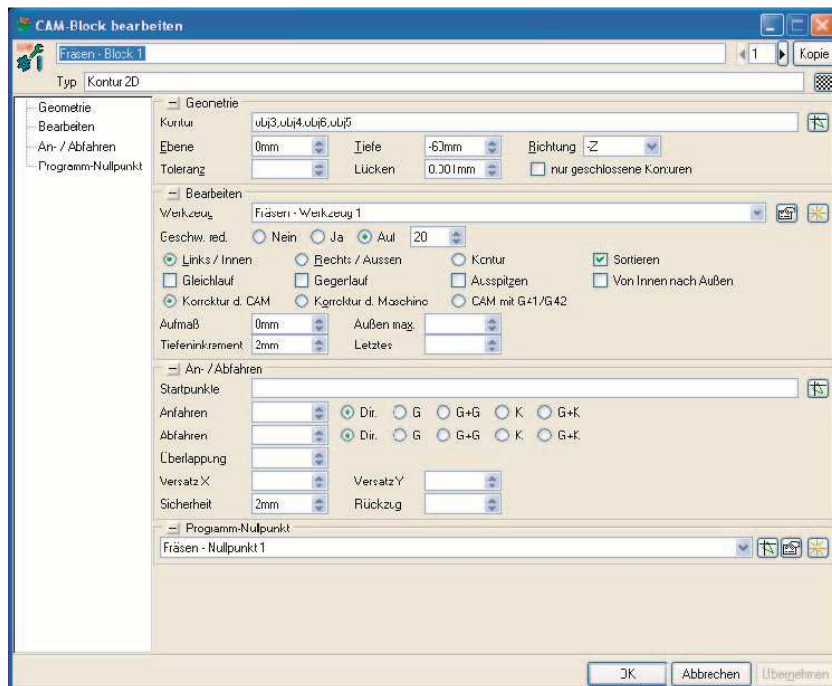


Abbildung 54: Screenshot Produktionsvorbereitung, eigene Abbildung 2012

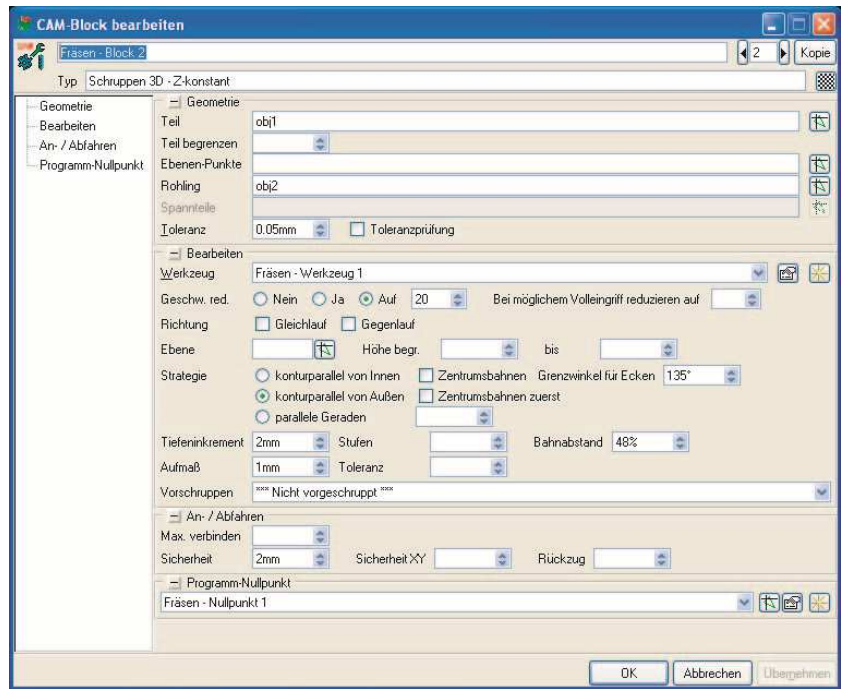


Abbildung 55: Screenshot Produktionsvorbereitung, eigene Abbildung 2012

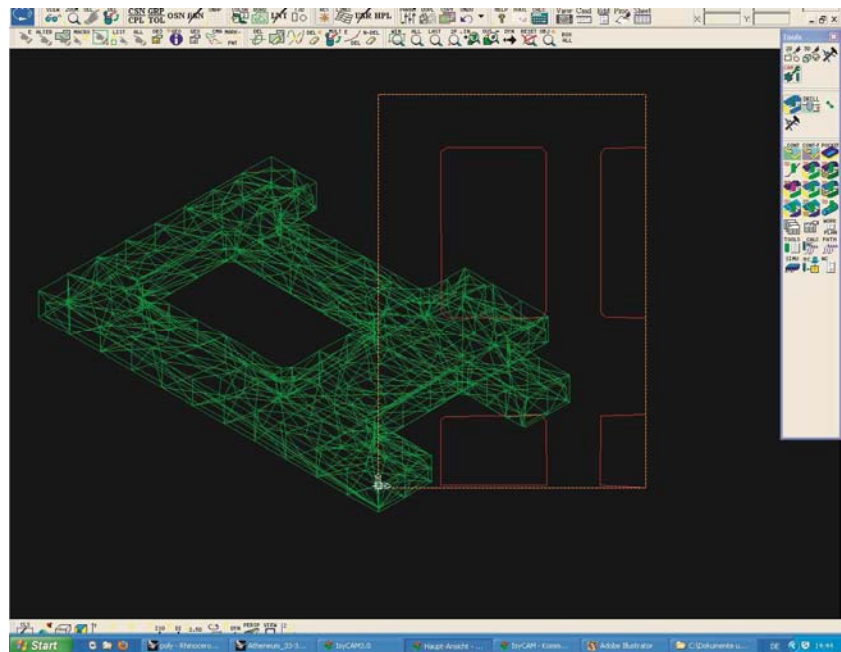


Abbildung 56: Screenshot Produktionsvorbereitung, eigene Abbildung 2012

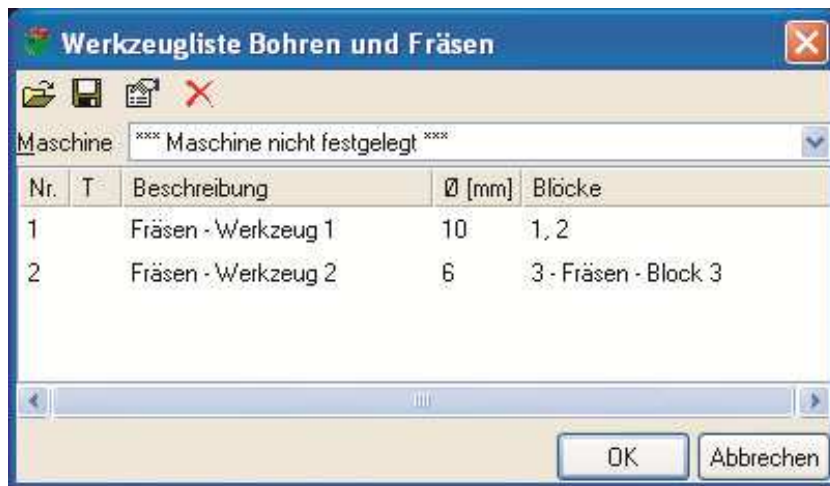


Abbildung 57: Screenshot Produktionsvorbereitung, eigene Abbildung 2012

PRODUKTION / FERTIGUNGSVERSUCHE



Abbildung 58: Produktion

Die Fertigungsversuche erfolgten einerseits mit einem CNC Bearbeitungszentrum vom Typ MAKRA CR 27 T sowie andererseits mit einer Dreiachs-CNC-Fräsmaschine imes-icore GFY 138/158. Das Bearbeitungszentrum verfügt grundsätzlich über 5 Achsen, war zum Zeitpunkt der Durchführung der Arbeiten für das Forschungsprojekt jedoch nur mit 3 Bearbeitungsachsen eingerichtet. Die Dreiachsfräse musste vor allem aufgrund der anderweitigen Belegung des Bearbeitungszentrums als Ausweidlösung genutzt werden.

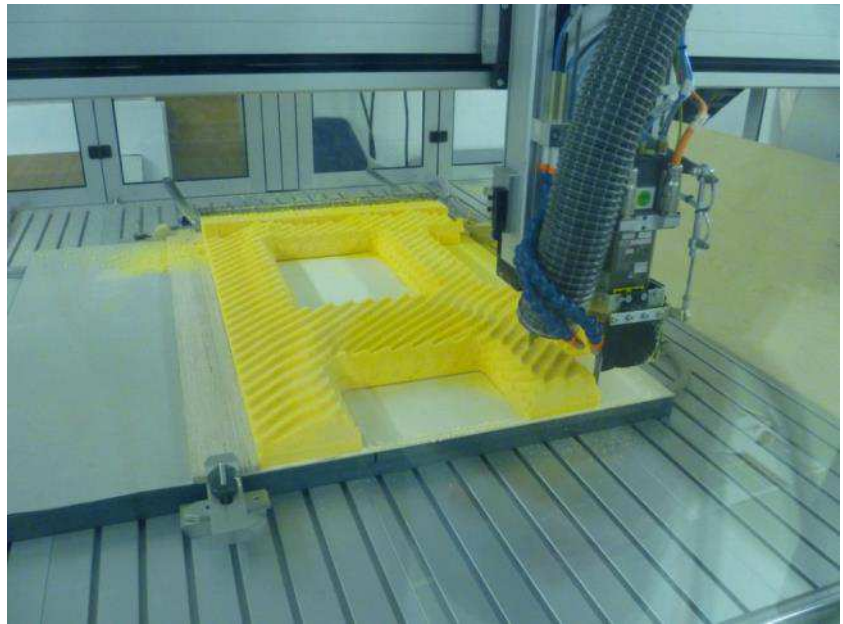


Abbildung 59: CNC-Fräsmaschine imes-icore bei der Fertigung des Modells 3 - 45°

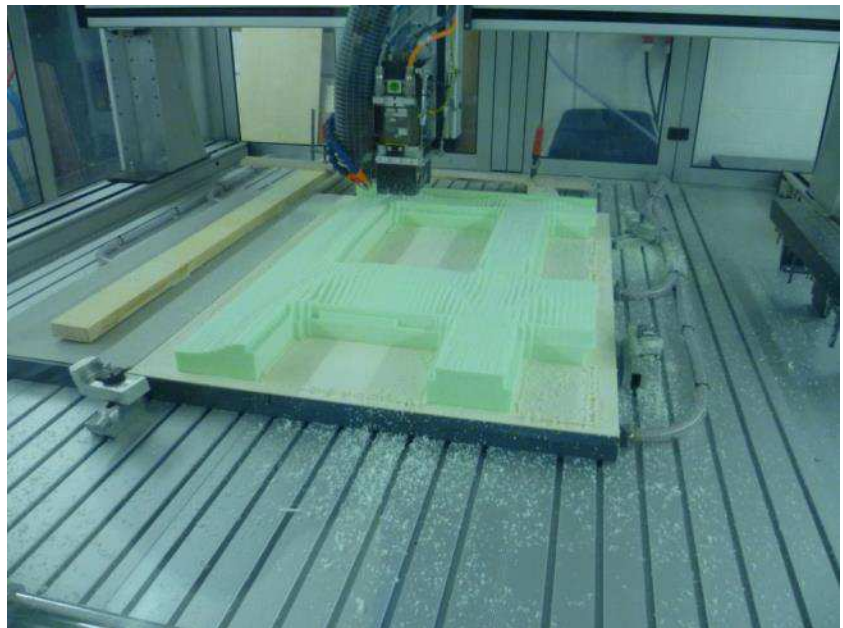


Abbildung 60: CNC-Fräsmaschine imes-icore bei der Fertigung des Modells 2 vertikal

FERTIGUNGSVERSUCH SCHICHTMODELL

Die Gestaltungsvariante „Schichtmodell“ wurde in mehreren Formaten und Materialien hergestellt.

Die nachfolgenden Bilder zeigen die Herstellung von Modell 1 als Schichtmodell aus Verofill-Granulat in einem auf DIN A3 verkleinertem Maßstab durch ein CNC Bearbeitungszentrum vom Typ MAKRA CR 27 T. Mit diesem Modell konnte erstmals die generelle Produzierbarkeit der Form nachgewiesen werden.



Abbildung 61: Schichtmodell aus Verofill-Granulat

Mit der gleichen Maschine wurde in denselben, stark verkleinerten Proportionen das Modell nochmals mit EPS gefertigt. Dabei zeigte sich, dass die Materialstruktur von EPS zur Vermeidung von Rissen wesentlich geringere Fertigungsgeschwindigkeiten erfordert. Somit steigen bei der Verwendung dieses Materials Fertigungsdauer und -kosten. Doch trotz der maßstäblich verkleinerten Abstufungen der Oberfläche war die Form auch in EPS produzierbar, bei entsprechenden Anpassungen der Fertigungsparameter.

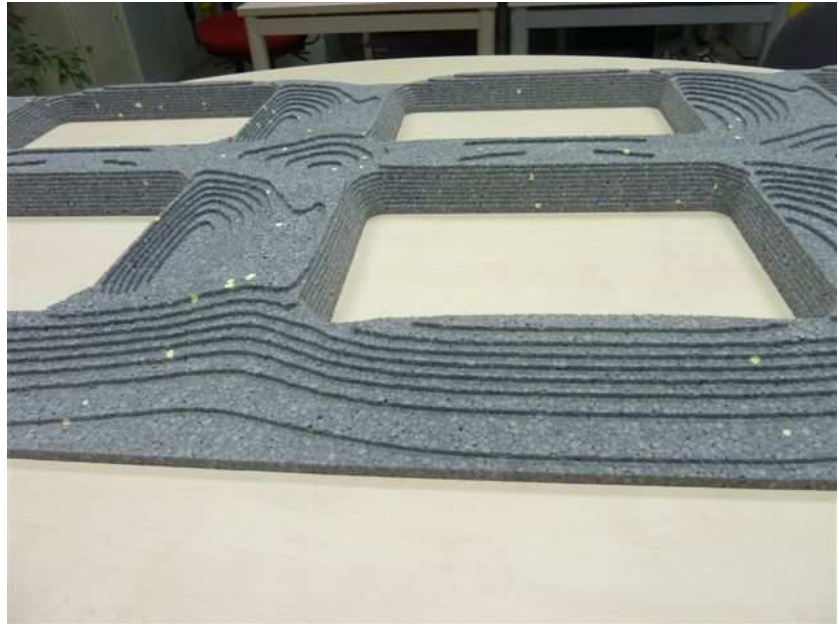




Abbildung 62: Modell1 - Schichtmodell in EPS

FERTIGUNGSVERSUCH MODELL 1 - SCHICHTMODELL

Das Schichtmodell wurde aus 1000 x 500 x 60 mm großen EPS-Platten gefertigt. Diese Modelle wurden auch für den zugehörigen Verarbeitungsversuch Modell1 - Schichtmodell genutzt, der im Kapitel Montage / Verarbeitungsversuche beschrieben wird.


MODELL ① 2 3 4 5 6 7 8 9 0

NAME Schichtmodell
ABMESSUNG 1000 x 500 x 60
ZEIT ca. 5 Stunden
SONSTIGES 1. Fräse - 3 mm

Abbildung 63: Steckbrief-Schichtmodell

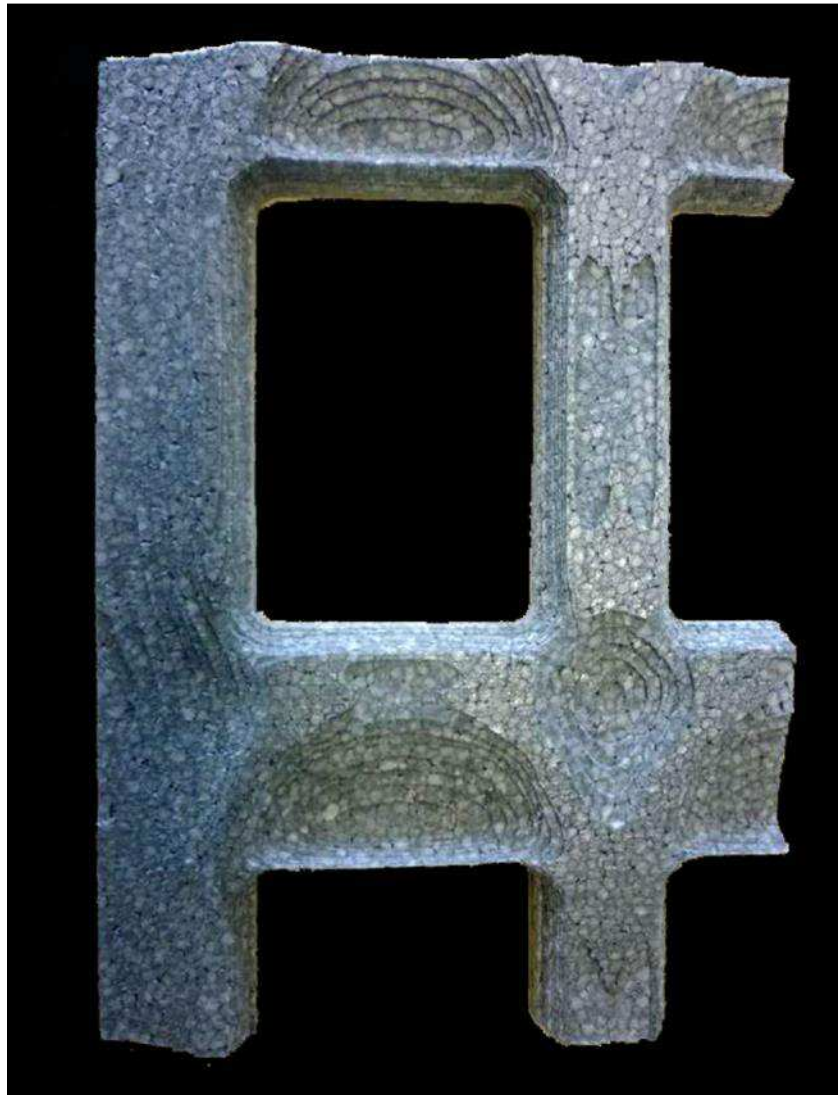


Abbildung 64: Fertigungsversuch Modell 1 - Schichtmodell

FERTIGUNGSVERSUCH MODELL 2 - VERTIKAL

Der Fertigungsversuch vertikal wurde mit Styrodur in Plattenform 1000 x 500 x 60 mm mit der CNC-Fräsmaschine imes-icore hergestellt. Das Material Styrodur eignet sich aufgrund einer feinkörnigeren und festeren Struktur im Vergleich zu EPS besser, um die aufgrund des verkleinerten Maßstabs feineren Strukturen zu fertigen.

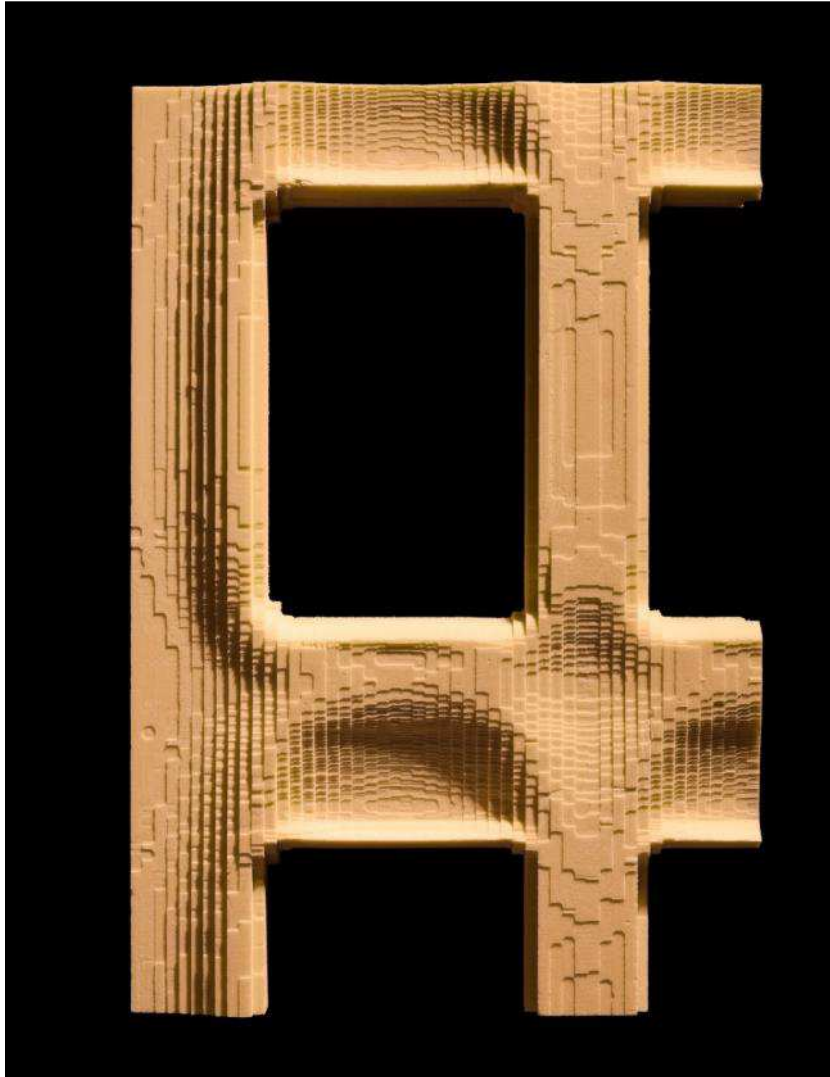


Abbildung 65: Fertigungsversuch Modell 2 – vertikal, fehlerhafte Produktion

In den nachfolgenden Abbildungen ist zunächst ein Fertigungsversuch dargestellt, der mit seinen auch in Längsrichtung sichtbaren Stufen nicht das gewünschte Resultat erzielte. Durch eine Anpassung von Werkzeug und Fertigungsparametern konnte schließlich das beabsichtigte Ergebnis (Abbildung 67) erzielt werden.

<p>MODELL 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0</p> 
<p>NAME Vertikal</p>
<p>ABMESSUNG 1000 x 500 x 60</p>
<p>ZEIT ca. 15 + 10 Stunden</p>
<p>SONSTIGES 1. Fräse - 10 mm 2. Fräse - 3 mm unsauberes Ergebnis nach dem ersten Fräsgang</p>

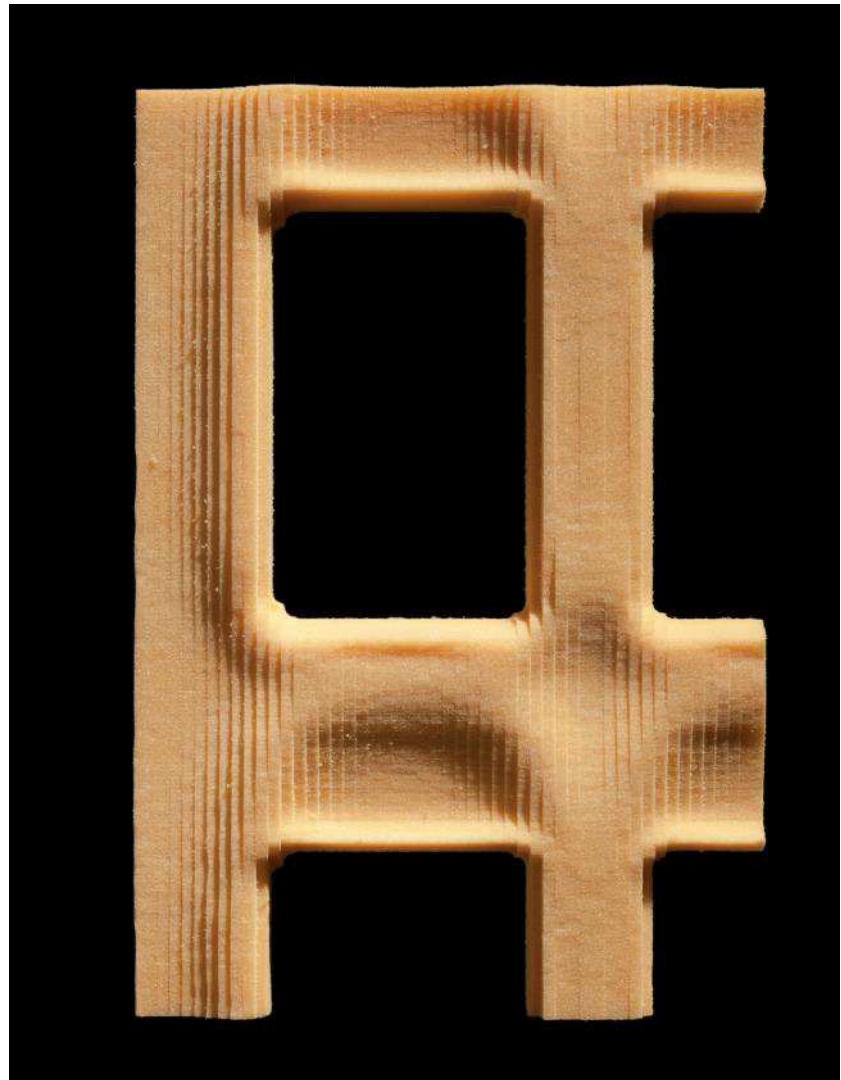


Abbildung 66: Steckbrief-Vertikal

Abbildung 67: Fertigungsversuch Modell 2 – vertikal mit dem gewünschten Resultat

FERTIGUNGSVERSUCH 45°

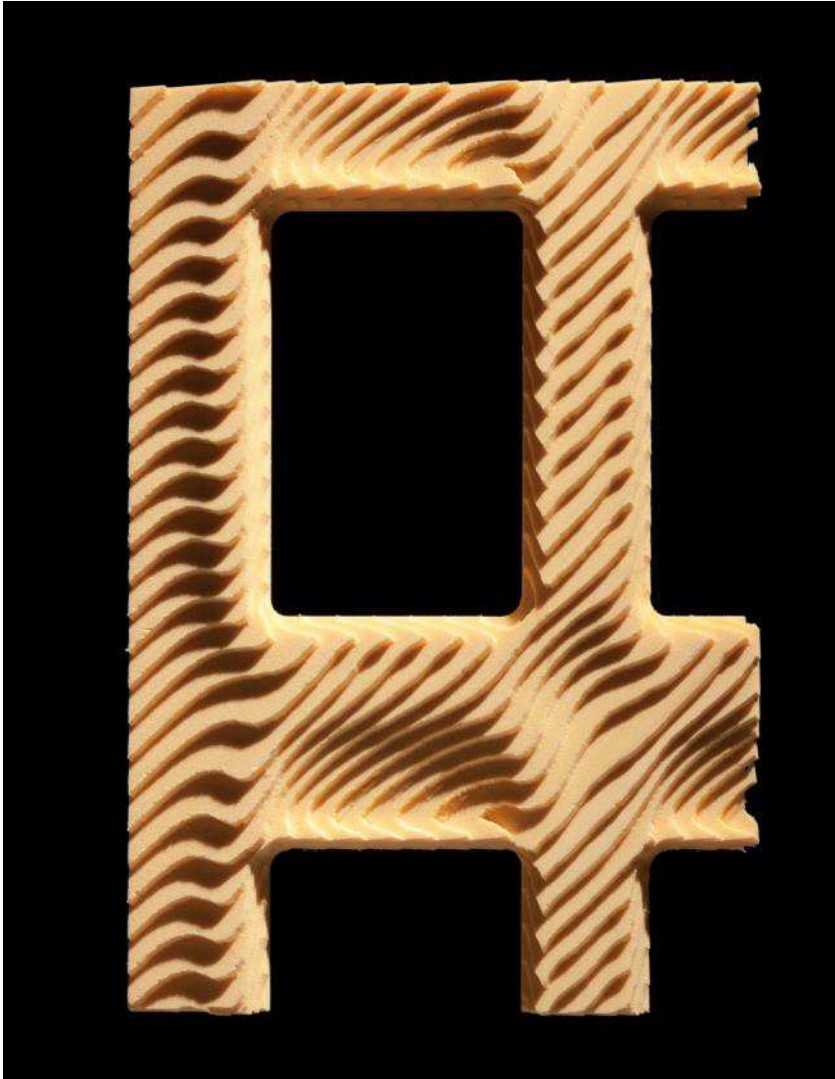


Abbildung 69: Fertigungsversuch Modell 3 - 45°

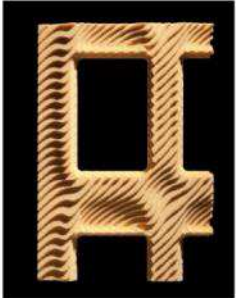
MODELL									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
									
NAME									
45°									
ABMESSUNG									
1000 x 500 x 60									
ZEIT									
ca. 15 Stunden									
SONSTIGES									
1. Fräse - 10 mm									
2. Fräse - 3 mm									

Abbildung 68: Steckbrief-45°

FERTIGUNGSVERSUCH HORIZONTAL

Modell 4 – Horizontal wurde in diesem Maßstab nicht angefertigt da die Produktion und Ergebnisse vergleichbar mit Modell 2 - Vertikal sind und somit kein Mehrwert gegeben wäre.

FERTIGUNGSVERSUCH POLYGON


MODELL 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

NAME Polygon
ABMESSUNG 1000 x 500 x 60
ZEIT ca. 24 Stunden
SONSTIGES 1. Fräse - 10 mm 2. Fräse - 6 mm

Abbildung 70:
Steckbrief-Polygon

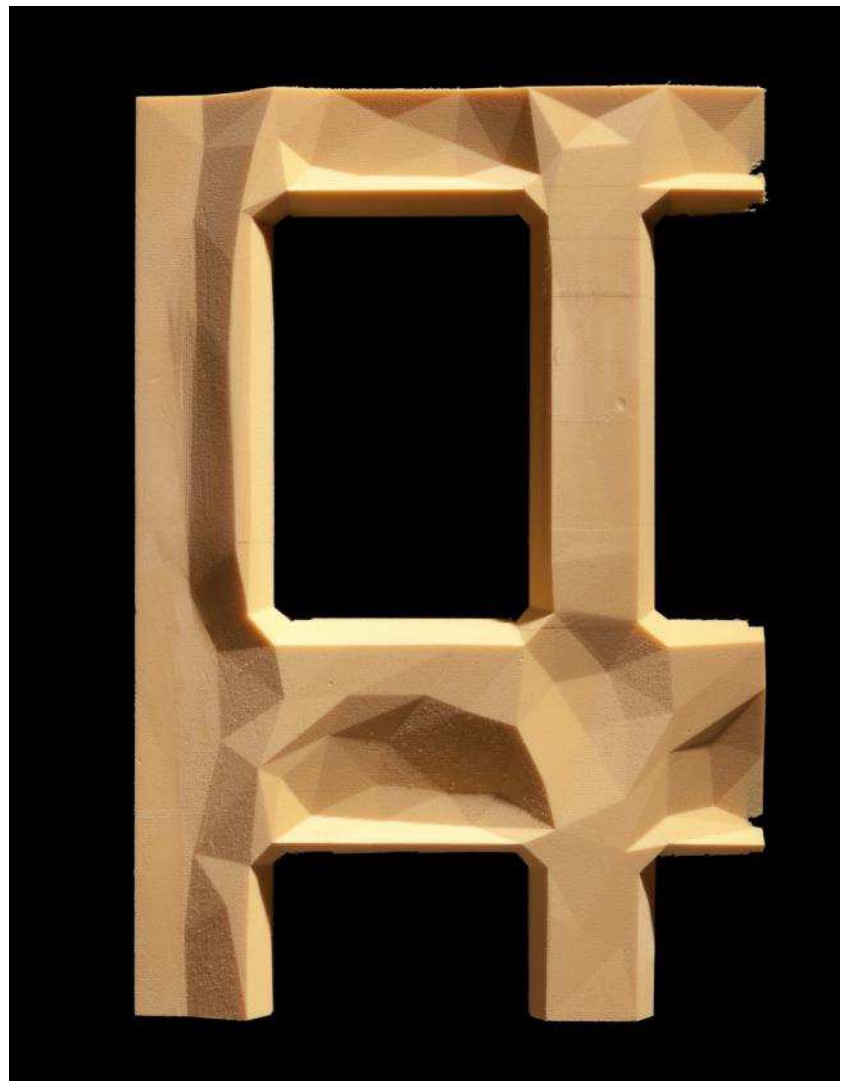


Abbildung 71: Modell 5 - Polygon

Zusätzlich zu einem verkleinerten Modell aus Styrodur wurde eines aus EPS, ca. im Maßstab 1:1 gefertigt. Somit wurde der Nachweis für die Möglichkeit einer Fertigung unter realen Bedingungen erbracht.

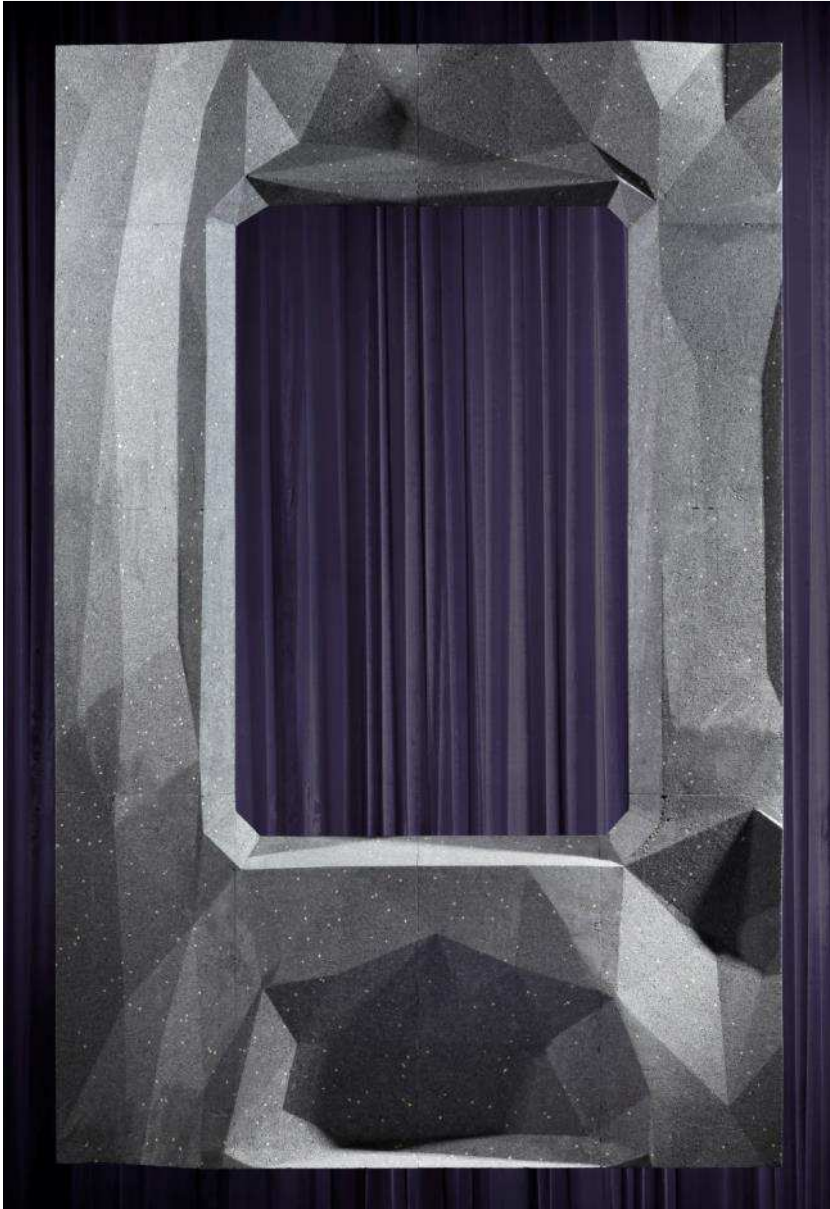


Abbildung 72: Modell 5 – Polygon – Maßstab ca. 1:1

Das in der vorhergehenden Abbildung gezeigte Modell wurde auch für den entsprechenden Verarbeitungsversuch genutzt.

MONTAGE / VERARBEITUNGSVERSUCHE

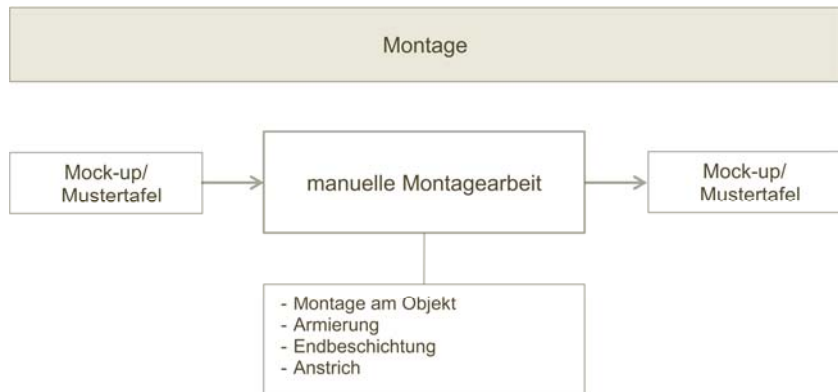


Abbildung 73: Montage

In den Verarbeitungsversuchen wurden verschiedene Modelle mit unterschiedlichen Methoden verputzt, um sowohl eine technische als auch gestalterische Verifikation zu gewährleisten. Dabei war wesentlich, dass alle wichtigen Eigenschaften des Bauteils durch dieses Modell realistisch vermittelt werden: Gestalt, Form, Farbe, Oberflächenbeschaffenheit etc.

VERARBEITUNGSVERSUCH SCHICHTMODELL 1 MIT SPRITZPUTZ

Der Verarbeitungsversuch der Variante Schichtmodell 1 wurde in einem produktionsbedingt auf 1000 x 500 verkleinerten Maßstab durchgeführt. Das Modell wurde aus EPS gefertigt, mit den deutlich sichtbaren Auftreibungen dieser Variante in der Oberfläche. Der Putz wurde als Spritzputz im Airless-Verfahren mit StoArmat Classic AS aufgetragen.

Die Ergebnisse zeigen in den folgenden Abbildungen deutlich, dass aufgrund der scharfen Kanten ein Spritzschatten entsteht und somit ein vollflächiges Beschichten nicht möglich ist. Der Versuch vollflächig zu spritzen kann zu einem unbeabsichtigt erhöhten Materialauftrag führen.

Das Spritzputzverfahren ist somit für scharfkantige Formen dieser Art als ungeeignet einzustufen. Herkömmliche Verfahren mit Gewebe wurden von vornherein als nicht geeignet bewertet, da in den stufigen und gleichzeitig gerundeten Formen ein manueller Auftrag in der Praxis nicht umsetzbar ist. Bei dieser grundsätzlichen Problematik würde auch der vergrößerte 1:1 Maßstab keine Verbesserung erzielen.



Abbildung 74: Verarbeitungsversuch Schichtmodell mit Spritzputz, schräge Draufsicht



Abbildung 75: Verarbeitungsversuch Schichtmodell mit Spritzputz, Seitenansicht



Abbildung 76: Verarbeitungsversuch Schichtmodell mit Spritzputz, Draufsicht

Den Abbildungen ist deutlich zu entnehmen, dass auf scharfkantigen, abgestuften Konturen ein gleichmäßiger Spritzauftrag nicht möglich ist. Zudem ist das Armieren mit Sto-Glasfasergewebe bei diesen Oberflächen nicht möglich.

Generell ist festzustellen, dass scharfkantige, abgestufte Konturen nicht gleichmäßig armiert und beschichtet werden können. Bei großflächig gerundeten Oberflächen dagegen könnte es möglicherweise eine Chance zum Armieren und Beschichten geben.

VERARBEITUNGSVERSUCH VERTIKAL, MANUELL VERPUTZT

Zur Durchführung eines Verarbeitungsversuches im Maßstab 1:1 wurde ein repräsentatives Detail der Gestaltungsvariante „Vertikal“ aus EPS gefertigt. Die scharfen Übergänge wurden mittels WDVS-Schleifbrett abgerundet und abgestaubt, da zu scharfe Übergänge oder feine Stege sehr schlecht beschichtet werden können. Kleinere Ungenauigkeiten wurden durch Montageschaum ausgeglichen.



Abbildung 77: 1:1 Detailmodell der Gestaltungsvariante „Vertikal“

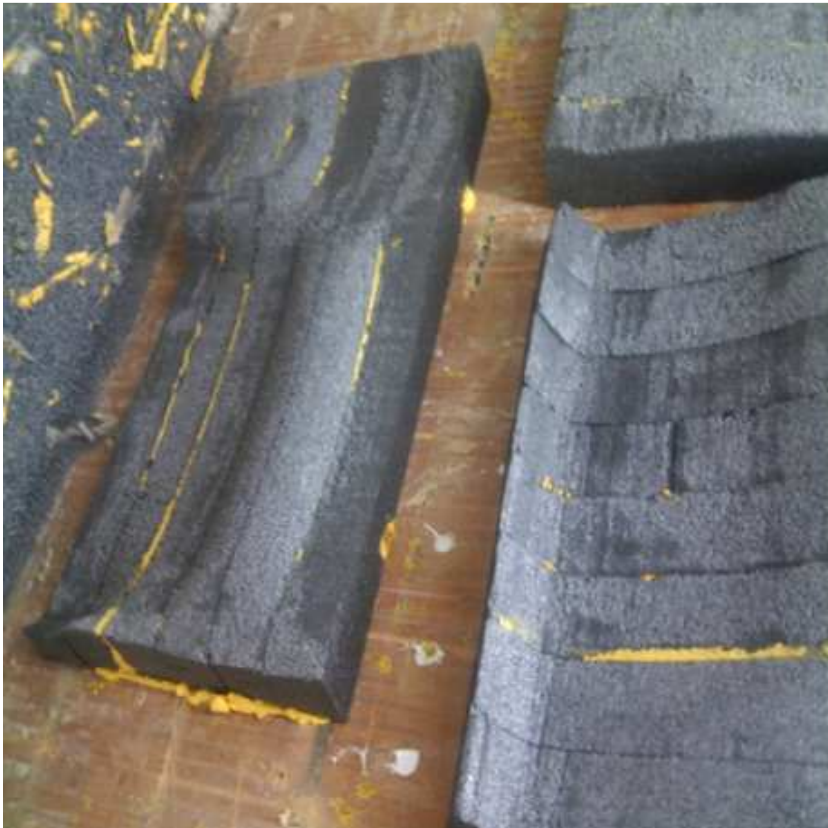


Abbildung 78: 1:1 Detailmodell der Gestaltungsvariante „Vertikal“



Abbildung 79: 1:1 Detailmodell der Gestaltungsvariante „Vertikal“ mit Gewebe

Der Versuch wurde mit zwei verschiedenen Gewebearten ausgeführt: Sto Standardgewebe 4 x 4 mm sowie Sto Guard Mesh.



Abbildung 80: Detailmodell der Gestaltungsvariante "Vertikal", armiert

Mit Sto Levell Novo wurde die Fläche armiert. Levell Novo ist mineralisch mit Polystyrolzusatz und eignet sich sehr gut für diesen Zweck, da es ein sehr weiches Material ist, das schnell abbindet und somit auch gut mit einer Bürste strukturiert werden kann.

Deutlich sichtbar ist bereits nach diesem Arbeitsschritt, dass scharfkantige Auftreibungen als Oberflächenstruktur mit diesen herkömmlichen Verfahren und Materialien nicht umsetzbar sind.



Abbildung 81: Detailmodell der Gestaltungsvariante "Vertikal", zwischenbeschichtet



Abbildung 82: Detailmodell der Gestaltungsvariante "Vertikal", verputzt

Auf diesem Modell (Abb. 82) wurde ein Stolit MP als feiner Oberputz verwendet, da er sich in Rundungen gut mit einem Schwamm oder einer Bürste verschlichten lässt. Feinputze sollten zweilagig ausgeführt werden, um eine zulässige Schichtstärke zu erreichen.



Abbildung 83: Detailmodell der Gestaltungsvariante „Vertikal“ mit Anstrich

Abbildung 83 zeigt den Auftrag von Stolit Effect als gröbere Variante im Farbton 36400. Stolit Effect ist ebenfalls modellierbar, wahlweise können in den noch nassen Putz Siliciumcarbid, Glasperlen oder Spiegelglas eingeblasen werden.

FAZIT

Das Modellieren von Dämmplatten funktioniert mit herkömmlichen Methoden und Materialien gut, sofern die Übergänge weich und leicht wellig sind. Scharfe Kanten oder feine Stege können abbrechen, feine Vertiefungen können schlecht mit den üblichen Werkzeugen erreicht oder gleichmäßig beschichtet werden.

Die Armierungsgewebe sollten flexibel sein, um Verziehen oder Faltenbildung zu vermeiden. Zum Armieren eignet sich aufgrund der Trocknungseigenschaften besser ein mineralisches Produkt als eine organische Variante, bei der

durch evtl. unterschiedliche Schichtstärken erhöhte
Trocknungszeiten in Kauf genommen werden müssen.

VERARBEITUNGSVERSUCH POLYGON, MANUELL VERPUTZT



Abbildung 84: Gestaltungsvariante „Polygon“, quer montiert, vor der
Verarbeitung



Abbildung 85: Gestaltungsvariante „Polygon“, Aufbringen Gewebe



Abbildung 86: Gestaltungsvariante „Polygon“, Aufbringen Gewebe



Abbildung 87: Gestaltungsvariante „Polygon“, Aufbringen Gewebe



Abbildung 88: Gestaltungsvariante „Polygon“, Detailansicht

Diese Variante war gut zu bearbeiten. Kleinere Gewebeformteile im Format von ca. 30x30 cm lassen sich um Ecken herum und in Rundungen besser verarbeiten, ohne ein Verziehen bzw. einen Faltenwurf des Gewebes zu verursachen. Vor einem Praxiseinsatz ist jedoch noch technisch zu prüfen, welchen Einfluss mehrere Lagen übereinander verarbeiteten Gewebes z.B. auf die Festigkeit des Systems haben.



Abbildung 89: Gestaltungsvariante „Polygon“, Detailansicht



Abbildung 90: Gestaltungsvariante „Polygon“, Detailansicht

Nach Trocknung der Armierung erfolgte ein Zwischenanstrich mit Putzgrund, anschließend Putzbeschichtung mit Stolit MP (Modellierputz) Farbton grau-verwaschen, aufgetragen mit einem Schwamm.

Auf eine abschließende zweifache Schlussbeschichtung mit einer Fassadenfarbe wurde bei diesem Muster verzichtet.



Abbildung 91: Gestaltungsvariante „Polygon“, verputzt, Gesamtansicht



Abbildung 92: Gestaltungsvariante „Polygon“, verputzt, Frontalansicht



Abbildung 93: Gestaltungsvariante „Polygon“, verputzt, Schrägansicht

FAZIT

Ergänzend zu den Erkenntnissen aus den vorhergehenden
Verarbeitungsversuchen ist festzuhalten, dass es sehr
aufwändig ist scharfe Kanten in der Fläche auszubilden. In
Laibungen oder Stürzen ist dies aber durchaus möglich.

FAZIT UND AUSBLICK

ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Grundlage für eine „Modulation der Gebäudeaußenhaut mittels wärmesensitiver Aufnahmeverfahren“ ist die Gebäude- bzw. Bestandsanalyse. Die Digitalisierung der Bauzeichnungen und ein Abgleich mit der aktuellen Situation sind notwendig, um im durchgängig digitalen Prozess, der auf den Ergebnissen des jeweils vorhergehenden Arbeitsschrittes aufbaut, den Grundstein für ein qualitativ hochwertiges Ergebnis zu legen. Die Beurteilung der Bauwerkssubstanz sowie die aus dem Nutzerverhalten resultierenden bzw. technischen Anforderungen bilden nicht nur die Basis der Sanierung, sondern liefern auch für die thermische Analyse eine unverzichtbare Information.

Diese kann entweder durch eine Thermografieaufnahme oder durch eine Simulation der Wärmeströme erfolgen. Die Simulation war für die Durchführung dieses Forschungsvorhabens besser geeignet, weil damit ein von den Nutzern des Gebäudes wie auch den Wetterbedingungen unabhängiges Arbeiten möglich war. Für die Simulation konnten die im Rahmen der Bestandsanalyse erstellten digitalen Dokumente und Daten genutzt werden.

Der Entwurf folgt einer Materialisierung funktionaler Zusammenhänge, indem eine dreidimensionale Modulation des Wärmedämmverbund-Systems aus den Isothermen der bei einer Nutzung als Wohnraum vorhandenen Wärmedurchgänge abgeleitet wird. Da abhängig von Konstruktion, Materialien und Anordnung der Bauteile der Wärmedurchgang im Bauteil punktuell unterschiedlich ist, ergibt sich eine individuelle Gestaltung, die die Funktion der Dämmung zitiert.

Die Umsetzung der Entwurfsmethode bedarf einer sehr großen Rechenkapazität, die Fassade des Objektes konnte daher nicht als Ganzes modelliert werden. Mittels Segmentierung und Modulplanung dagegen ist dies zu bewältigen, wie an einem Ausschnitt belegt wurde.

Nach Modellierung der Fassade können durch Anwendung von Schnittverfahren oder Polygonverformungen verschiedene Varianten erzeugt werden. Dies erfolgt computergestützt, die letztendliche formale Entscheidung über den Entwurf obliegt jedoch stets dem Planer. Dieser muss weiterhin auch manuelle

Korrekturen durchführen, beispielsweise mussten Fenster und Fensterlaibungen als Fehlerquelle im Zuge des Projekts eliminiert werden.

Mehrere Module und Varianten aus dem Entwurf wurden als Mustertafeln und Mock-ups produziert, armiert und verputzt. Expandiertes Polysterol (EPS) wurde mit einer mehrachsigen Fräsmaschine bearbeitet, anhand der direkt aus dem 3D-Modell generierten Pläne. Der Produktionsvorgang war sehr zeitintensiv, kann aber insbesondere durch optimierten Maschineneinsatz noch wesentlich verbessert werden.

Für Armierung und Schlussbeschichtung wurden verschiedene Putztechniken erprobt, manueller Auftrag wie auch Spritzputz. Es ist festzuhalten, dass herkömmliche Werkzeuge oder die klassische Art und Weise, ein WDV-System anzubringen und mit einer Schlussbeschichtung fertigzustellen, neu überdachte werden mussten. Angepasstes Armierungsmaterial, spezielle Werkzeuge sowie eine Unterweisung der Handwerker sind zur Erzielung der gewünschten Ergebnisse unverzichtbar. Zum Beispiel bedarf die Erstellung scharfer Kanten einer Polygonverformung zugeschnittener Armierungen und kleinerer Kellen als der für den Putzauftrag üblichen.

Abschließend ist festzuhalten, dass der Gestaltungsspielraum für WDVS sehr groß ist. Das Forschungsvorhaben entwickelte in diesem Rahmen eine Methodik zum Entwurf einer modulierten Gebäudeaußenhaut mittels WDV-System. Alle entworfenen Varianten konnten mittels Frästechnik aus EPS-Dämmstoff produziert werden, zwei von ihnen sind mittels der heute verfügbaren Armierung und Schlussbeschichtung als umsetzbar einzustufen.

Dies zeigt, dass WDVS als eigenständiges Material agieren kann und eine weitere intelligente Auseinandersetzung damit notwendig und möglich ist, um die Potentiale vollständig auszuloten.

Somit wurde ein erster Impuls für eine Weiterentwicklung des Produktes WDVS unter grundlegend neuen gestalterischen Aspekten gesetzt. Das Ziel einer materialgerechten Ästhetik ist damit ein Stück näher gerückt.

NEUE ERKENNTNISSE IM PROJEKTVERLAUF

MONITORING

Die in der Projektplanung vorgesehenen Qualitätsprüfungen bzw. die technische Bewertung wurden durchgeführt. Aufwändigere Verfahren waren nicht eingeplant, sollten vor einem Einsatz modulierter WDVS in der Praxis jedoch auf jeden Fall umgesetzt werden.

Zwei dazu geeignete Verfahren werden nachfolgend skizziert.

Die Durchführung eines Monitorings dauert in etwa 6 Monate inkl. Produktion und Auswertung. Zusätzlich ist ein mehrmonatiger Vorlauf einzukalkulieren, um die Belegung der Einrichtungen sowie die Verfügbarkeit der erforderlichen Experten sicherzustellen.

EOTA (European Organisation for Technical Approvals)

Bei der EOTA - Wand handelt es sich um eine große Bewitterungszelle inkl. Beregnung und Frostphasen. Die Testwand wird umlaufend über Dichtlippen an die Bewitterungszelle angedockt. Um diesen Bereich dicht zu halten, darf an den Anschlüssen keine Oberflächenstrukturierung vorliegen. Die restliche Fläche kann nach den Vorgaben des Entwurfes strukturiert werden. Die maximale Dämmstoffdicke sollte jedoch nicht 200mm übersteigen. Die Testfläche sollte über zwei Fensteröffnungen verfügen und jeweils im Bereich der Fensterbank mit einem Gefälle von 5% versehen sein.

Es wäre sinnvoll die Fläche in handelsübliche Elementgrößen aufzuteilen, bei EPS beispielsweise sind das 100 x 50 cm. Die jeweiligen Dämmstoffebenen werden im Versatz verlegt, damit keine Kreuzfugen entstehen.

Eine Überprüfung des Putzsystems hinsichtlich Riss- und Blasenbildung wäre hier durch hygrothermische Zyklen im Großversuch möglich. Weiterhin würde somit die Haftung der Armierungs- und Putzschichten während und nach der Bewitterung verifiziert. Im Kleinversuch wären eine Bestimmung der Feuchtebelastung, des Feuchtigkeitsverlaufes der Dämmplatte sowie eine Schlagregenprüfung der An- und Abschlussdetails durchzuführen.

TOGO - Wand.

Diese Wand verfügt über keine Fensteröffnung, es ist auch kein "planebener" Randbereich notwendig, da die Wand nicht an eine Prüfzelle angedockt werden muss. Es finden lediglich im Wechsel Wärmebestrahlung bzw. Beregnung statt. Die Beregnung erfolgt über einen Zulauf, der am oberen Rand der Testwand angebracht wird. Über diesen läuft dann das Wasser über die Flächen. Wie schon bei der EOTA-Wand ist es auch bei dieser Testfläche sinnvoll, Elemente in der Größe von 100 x 50 cm zu nutzen.

BAU 2013

Das erste der Öffentlichkeit präsentierte modulierte WDV-System im Rahmen der BAU 2013 erzeugte eine durchgängig positive Resonanz des Fachpublikums. Auch der Besuch des Bundesministers für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Dr. Peter Ramsauer, der sich das Forschungsvorhaben WDV-Modulation erläutern ließ, spiegelte das breite Interesse der Branche für individualisierte WDV-Lösungen wieder.



Abbildung 94: BAU 2013, Stand Sto AG, München

Gleiches gilt für die Reaktionen von Presse und Fachpresse nachgängig zur Messe.

AUSBLICK

WDVS ist der in Deutschland meistverwendete Fassadenbaustoff. Zugleich wird über dessen mögliche Potentiale am wenigsten diskutiert. Eine Auseinandersetzung mit dem System mit dem Ziel einer Weiterentwicklung findet leider nicht statt.

Wärmedämmverbundsysteme werden in den kommenden Jahren die gebaute Umwelt maßgeblich beeinflussen, wie anhand der Marktkennzahlen und -prognosen aufgezeigt wurde. Vorgaben erfassen derzeit nur energetische und bautechnische Aspekte, die öffentliche Diskussion wird auf Basis der derzeit üblichen Lösungen zu oft auf Pro- und Contra Argumentationen verkürzt. Daher setzt diese Arbeit genau an dem Punkt an, WDVS bewusst als gestalterisches Element einzusetzen, um einen „Maßanzug“, also eine individuelle Lösung für die Gebäudeaußenhaut, zu kreieren.

Doch noch limitieren die Fertigung und vor allem die Montage die gestalterischen Möglichkeiten. Zudem macht die Kompositbauweise, die sehr unterschiedliche Materialien zum Einsatz bringt, diese Aufgabe komplex. Hier ist noch Forschungsarbeit zu leisten.

Im Rahmen der Montage verbleiben im Gesamtprozess betrachtet derzeit noch die größten zu lösenden Probleme. Übliche Armierungen, Putze wie auch Arbeitsmethoden und -mittel können die beabsichtigte Gestaltung stark beeinflussen. Armierung und das Auftragen der Putzschichten bilden heute noch die größte Limitierung einer freien gestalterischen Aussage mittels WDVS, hier gilt es die Grenzen des technisch Machbaren auszuloten und auszuweiten. Hoch qualifizierte Partner aus dem Handwerk dürften nach Einschätzung der Verfasser dabei unverzichtbar sein.

Neue Verfahren und die dabei eingesetzten Materialien können auch zur Findung neuer Gestaltungsvarianten im Entwurf genutzt werden.

Weiterhin muss vor der praktischen Anwendung modulierter WDV-Systeme eine Materialprüfung mit technischer Bewertung erfolgen. Fragen der Festigkeit und die Einflüsse von Feuchtigkeit oder Sonneneinstrahlung auf den in der Materialdicke modulierten Dämmstoffverbund müssen in einem Monitoring erforscht werden. Denn durch die Modulation ergeben sich z.B. für die Sonneneinstrahlung an der Materialoberfläche unterschiedliche Einfallwinkel, die zu

Temperaturunterschieden und somit Spannungen im Material führen können. Im Zuge der technischen Machbarkeit kann auch in praktischen Versuchen eine Messung der Wärmedurchgänge durchgeführt werden.

Graue Energie wie auch Aspekte der Nachhaltigkeit bzw. des Recyclings könnten in weiterführenden Arbeiten betrachtet werden. Zu prüfen wäre, ob Fertigungsaufwand und Materialverluste im Zuge der subtraktiven Fertigung diese Bilanz zusätzlich beeinträchtigen. Doch sollten vor dieser Diskussion die Fertigungsverfahren einen ausreichenden Reifegrad besitzen und die eingesetzten Materialien hinreichend definiert sein.

Optimierungsbedarf besteht weiterhin im Rahmen der Produktion für einen wirtschaftlich ausgerichteten, die teure Produktionstechnik auslastenden Fertigungsprozess.

Bei einer vertiefenden Betrachtung können zudem die bisher üblichen Arbeitsschritte von Fertigung und Montage für Dämmmaterial wie auch Armierung und Putze neu gestaltet werden. Für „maßgeschneiderte“ WDVS-Formteile wäre es zum Beispiel aus der Sicht des Laien denkbar, bereits in der Oberfläche abgeschlossene Fertigteile auf der Baustelle nur noch einzupassen und zusammenzufügen. So könnten eventuell bisher erforderliche Verklebungen der Armierung durch neue Fertigungsverfahren für das Formteil ersetzt werden. Ziel ist es, durch solche Modifikationen vor allem die Gestaltungsmöglichkeiten eines WDV-Systems zu optimieren. Weitere Nutzeneffekte wären hinsichtlich der Erhöhung der Recyclingfähigkeit durch Reduktion der im WDVS verbauten Stoffe und Hilfsmittel denkbar.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: WDVS-Markt der Zukunft, Quelle: http://www.bmwi.de	12
Abbildung 2: Entwicklung der mittleren Dämmstoffdicke in mm bei Wärmedämm-Verbundsystem von 1996 bis 2009, Quelle: Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 18	15
Abbildung 3: WDVS - Marktentwicklung unter technischem und politischen Einfluss, Quelle: Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 396	18
Abbildung 4: Anteil der gedämmte Fassadenfläche in Mio. qm, Quelle: Quelle: Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele , Wärmedämm-verbundsystem 2010, Seite 397	19
Abbildung 5: Verteilung der Instandsetzungsart an nicht gedämmten Fassaden in Mio. qm, Quelle: Quelle: Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 397	19
Abbildung 6: Einschätzung des zukünftigen WDVS-Marktes, Quelle: Riedel, Oberhaus, Frössel, Haegele, Wärmedämm-Verbundsystem 2010, Seite 409	20
Abbildung 7: Wärmedämm-Verbundsystem-Aufbau - StoTherm Classic® S1, Quelle: www.sto.de	21
Abbildung 8: Wärmeleitfähigkeit λ einiger Bau- und Dämmstoffe. Quelle: DIN V 4108-04 Wärmeschutz und Energieeinsparung von Gebäuden, Teil 4	23
Abbildung 9: Untersuchungsmethodik	44
Abbildung 10: Übersicht Phase Erhebung	45
Abbildung 11:	46
Abbildung 12: Übersicht Phase Methode und Entwurf	51
Abbildung 13: Übersicht Phase Umsetzung und Dokumentation	53
Abbildung 14: Klassifizierung der Modellbautechniken,	113

Streich, Weisgerber 1996, Seite 45	54
Abbildung 15: Bestandsfassade München Reichenbachstraße	56
Abbildung 17: Bestandsanalyse	56
Abbildung 16: Gebäudesteckbrief-Reichenbachstraße	56
Abbildung 18: Lageplan, München Reichenbachstraße	57
Abbildung 19: Digitalisierte Übersichtspläne Reichenbachstraße, München, Hild und K	57
Abbildung 20: Thermische Analyse	59
Abbildung 21: Reichenbachstraße, Ansicht von außen, eigene Abbildung, 2011	60
Abbildung 22: Reichenbachstraße, Ansicht von innen, eigene Abbildung, 2011	60
Abbildung 23: Reichenbachstraße, Ansicht von außen – Thermographie, eigene Abbildung, 2011	61
Abbildung 24: Reichenbachstraße, Ansicht von außen – Thermographie mit Isolinien (0,5°-Linien), eigene Abbildung, 2011	61
Abbildung 25: Reichenbachstraße, Ansicht von innen,– Thermographie, eigene Abbildung, 2011	62
Abbildung 26: Reichenbachstraße, Ansicht von innen,– Thermographie mit Isolinien (0,5°-Linien), eigene Abbildung, 2011	62
Abbildung 27: Reichenbachstraße, Ansicht von außen, 1. und 2. OG, eigene Abbildung, 2011	63
Abbildung 28: Reichenbachstraße, Ansicht von innen, 1. und 2. OG, eigene Abbildung, 2011	63
Abbildung 29: Reichenbachstraße, Fassadenausschnitt Ansicht von außen, Wärmestromverlauf ohne Isothermen, eigene Abbildung, 2011	64
Abbildung 30: Reichenbachstraße, Fassadenausschnitt Ansicht von außen, Wärmestromverlauf mit Isothermen, eigene Abbildung, 2011	64
Abbildung 31: Entwurf	65
Abbildung 32: Dreidimensionale Modellierung der Isolinien der Fassadenausschnitt-Ansicht von außen, eigene Abbildung, 2012	65
Abbildung 33: Dreidimensionale Modellierung der Isolinien	

der Fassadenausschnitt-Ansicht von außen, Ausschnitt, eigene Abbildung, 2012	66
Abbildung 34: Reichenbachstraße, Fassadenausschnitt Ansicht von außen und innen mit Dämmung und Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012	67
Abbildung 35: Reichenbachstraße, Fensterausschnitt Ansicht von außen mit Dämmung und Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012	68
Abbildung 36: Reichenbachstraße, vergrößerter Fensterausschnitt Ansicht von außen mit Dämmung und Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012	68
Abbildung 37: Reichenbachstraße, Fassadenausschnitt Ansicht von außen und innen, Wärmestromverlauf mit Dämmung und Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012	69
Abbildung 38: Reichenbachstraße, Fensterausschnitt Ansicht von außen, Wärmestromverlauf mit Dämmung und Abstufung zur Fensteröffnung , eigene Abbildung, 2012	69
Abbildung 39: Reichenbachstraße, vergrößerter Fassadenausschnitt Ansicht von außen, Wärmestromverlauf mit Dämmung und Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012	70
Abbildung 40: Reichenbachstraße, vergrößerter Fassadenausschnitt Ansicht von aussen Wärmestromverlauf mit Dämmung und Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012	70
Abbildung 41: Reichenbachstraße, vergrößerter Fassadenausschnitt Ansicht von innen Wärmestromverlauf mit Dämmung und Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012	71

Abbildung 42: Reichenbachstraße, Fensterausschnitt Ansicht von außen Wärmestromverlauf mit Dämmung Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012	71
Abbildung 43: Reichenbachstraße, vergrößerter Fassadenausschnitt Ansicht von außen Wärmestromverlauf mit Dämmung Abstufung zur Fensteröffnung, eigene Abbildung, 2012	72
Abbildung 44: Gestaltungsvarianten	74
Abbildung 45: Ausgangsform in 123D Make, Urform, eigene Abbildung 2012	75
Abbildung 46: Modell1 - Schichtmodell in 123D Make, eigene Abbildung 2012	75
Abbildung 47: Modell2 - Vertikal in 123D Make, eigene Abbildung 2012	75
Abbildung 48: Modell3 - 45° in 123D Make, eigene Abbildung 2012	76
Abbildung 49: Modell4 - waagerecht in 123D Make, eigene Abbildung 2012	76
Abbildung 50: Modell5 - Polygon in 123D Make, eigene Abbildung 2012	77
Abbildung 51: Produktionsvorbereitung	78
Abbildung 52: Screenshot Produktionsvorbereitung, eigene Abbildung 2012	78
Abbildung 53: Screenshot Produktionsvorbereitung, eigene Abbildung 2012	79
Abbildung 54: Screenshot Produktionsvorbereitung, eigene Abbildung 2012	79
Abbildung 55: Screenshot Produktionsvorbereitung, eigene Abbildung 2012	80
Abbildung 56: Screenshot Produktionsvorbereitung, eigene Abbildung 2012	80
Abbildung 57: Screenshot Produktionsvorbereitung, eigene Abbildung 2012	81
Abbildung 58: Produktion	81
Abbildung 59: CNC-Fräsmaschine imes-icore bei der Fertigung des Modells 3 - 45°	82
Abbildung 60: CNC-Fräsmaschine imes-icore bei der	

Fertigung des Modells 2 vertikal	82
Abbildung 61: Schichtmodell aus Verofill-Granulat	83
Abbildung 62: Modell1 - Schichtmodell in EPS	85
Abbildung 64: Fertigungsversuch Modell 1 - Schichtmodell	86
Abbildung 63: Steckbrief-Schichtmodell	88
Abbildung 65: Fertigungsversuch Modell 2 – vertikal, fehlerhafte Produktion	87
Abbildung 66: Steckbrief- Vertikal	90
Abbildung 67: Fertigungsversuch Modell 2 – vertikal mit dem gewünschten Resultat	88
Abbildung 68: Steckbrief- 45°	91
Abbildung 69: Fertigungsversuch Modell 3 - 45°	89
Abbildung 70: Steckbrief-Polygon	92
Abbildung 71: Modell 5 - Polygon	90
Abbildung 72: Modell 5 – Polygon – Maßstab ca. 1:1	91
Abbildung 73: Montage	92
Abbildung 74: Verarbeitungsversuch Schichtmodell mit Spritzputz, schräge Draufsicht	93
Abbildung 75: Verarbeitungsversuch Schichtmodell mit Spritzputz, Seitenansicht	93
Abbildung 76: Verarbeitungsversuch Schichtmodell mit Spritzputz, Draufsicht	94
Abbildung 77: 1:1 Detailmodell der Gestaltungsvariante „Vertikal“	95
Abbildung 78: 1:1 Detailmodell der Gestaltungsvariante „Vertikal“	95
Abbildung 79: 1:1 Detailmodell der Gestaltungsvariante „Vertikal“ mit Gewebe	96
Abbildung 80: Detailmodell der Gestaltungsvariante “Vertikal“, armiert	96
Abbildung 81: Detailmodell der Gestaltungsvariante “Vertikal“, zwischenbeschichtet	97
Abbildung 82: Detailmodell der Gestaltungsvariante “Vertikal“, verputzt	97
Abbildung 83: Detailmodell der Gestaltungsvariante „Vertikal“ mit Anstrich	98
Abbildung 84: Gestaltungsvariante „Polygon“, quer montiert, vor der Verarbeitung	99

Abbildung 85: Gestaltungsvariante „Polygon“, Aufbringen Gewebe	100
Abbildung 86: Gestaltungsvariante „Polygon“, Aufbringen Gewebe	101
Abbildung 87: Gestaltungsvariante „Polygon“, Aufbringen Gewebe	102
Abbildung 88: Gestaltungsvariante „Polygon“, Detailansicht	103
Abbildung 89: Gestaltungsvariante „Polygon“, Detailansicht	104
Abbildung 90: Gestaltungsvariante „Polygon“, Detailansicht	104
Abbildung 91: Gestaltungsvariante „Polygon“, verputzt, Gesamtansicht	105
Abbildung 92: Gestaltungsvariante „Polygon“, verputzt, Frontalansicht	105
Abbildung 93: Gestaltungsvariante „Polygon“, verputzt, Schrägansicht	106
Abbildung 94: BAU 2013, Stand Sto AG, München	110

LITERATURVERZEICHNIS

Annette Spiro, Pinar Gönül u. Hartmut Göhler , Über Putz Oberflächen entwickeln und realisieren, Gta Verlag, Zürich 2012

Erwin Wurm , Erwin Wurm, 1. Auflage, DuMont Buchverlag GmbH & Co. KG, Köln 2009

Frank Frössel, Lexikon der Putztechnik, Stuttgart 2000

Gerhard Gesell, Putz, Schriften zur deutschen Handwerkskunst, Berlin 1941

Fouad, Nabil A. / Richter, Torsten, Leitfaden Thermografie im Bauwesen, Theorie, Anwendungsgebiete, praktische Umsetzung, 4. überarb. u. erweit. Aufl., Stuttgart 2012

Hayner, Michael / Ruoff, Jo / Thiel, Dieter, Faustformel der Gebäudetechnik für Architekten, 2. Auflage, München 2011

Keller, Bruno, Stephan Rutz, Pinpoint, Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, 2. überarb. Aufl., Zürich 2011

Künzel, Helmut, Außenputz, 1. Auflage, Stuttgart 2003

Künzel, Helmut, Bauphysik - Geschichte und Geschichten, 1. Aufl., Stuttgart 2002.

Künzel, Helmut, Bauphysik und Denkmalpflege, 2. Auflage, Stuttgart 2009

Pätzold, Helmut, WDVS-Atlas, Planung und Ausführung von Wärmedämm-Verbundsystemen, 1. Aufl., Ober-Ramstadt 2007

Riedel, Werner / Oberhaus, Heribert / Frössel, Frank / Haegele, Wolfgang, Wärmedämm-Verbundsysteme - Von der Thermohaut bis zur transparenten Wärmedämmung, 2. aktual. Aufl., Stuttgart 2010

Schild, Kai / Weyers, Michael / Willems, Wolfgang M., Handbuch Fassadendämmsysteme - Grundlagen Produkte Details, 2. überarb. u. erweit. Aufl., Stuttgart 2012

Bernd Streich, Wolfgang Weisberger, Computergestützter Architekturmodellbau, CAAD-Grundlagen, Verfahren, Beispiele, 1. Auflage, Birkhäuser, Basel 1996

Gramazio & Kohler, magitale materiality in Architecture, 1. Auflage, Lars Müller Publishers, Zürich 2007



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



FORSCHUNGSINITIATIVE
Zukunft BAU

FORSCHUNGSINITIATIVE
GEBÄUDEHÜLLENMODULATIONEN

