

Thermisch optimierte Balkonsanierung Phase 2: In-Situ-Versuchsanlage

THERM-opti-BALKON-P2

N. Fleischhacker

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

55/2019

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Thermisch optimierte Balkonsanierung

Phase 2: In-Situ-Versuchsanlage

THERM-opti-BALKON-P2

Dipl.-Ing. Nikolaus Fleischhacker MSc
Universität Innsbruck / Fakultät für Technische Wissenschaften

Innsbruck, Dezember 2017

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMVIT publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
Kurzfassung	9
Abstract	12
1 Einleitung	14
1.1 Aufgabenstellung	15
1.2 Stand der Technik	19
1.2.1 Entwicklungsgeschichte der thermischen Entkopplung	19
1.2.2 Funktionsweise der thermischen Entkopplung	19
1.2.3 System Schöck	20
1.2.4 System Halfen	22
1.2.5 System AVI	22
1.3 Verwendete Methoden	22
1.3.1 Bestandsaufnahme	22
1.3.2 Vorbemessung	32
1.3.3 Architektonische Umsetzung	35
1.3.4 Experimentelle Untersuchung: Drei-Punkt-Biegezug-Bauteilversuche am Gesamtsystem mit Anschlussbewehrung	39
1.3.5 Weiterentwicklung der thermische Entkopplung „System II“ für den Piloteinsatz	40
1.3.6 Experimentelle Untersuchung: Vier-Punkt-Biegezug-Bauteilversuche am Teil- und Gesamtsystem ohne Anschlussbewehrung	42
2 Ergebnisse	59
3 Schlussfolgerungen	65
3.1 Erkenntnisse	65
3.2 Relevante Zielgruppen der Projektergebnisse	67
3.3 Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten	67
4 Ausblick und Empfehlungen	68
4.1 Weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	68
4.2 Potenzial für Demonstrationsvorhaben	68
5 Verzeichnisse	69
5.1 Abbildungsverzeichnis	69
5.2 Tabellenverzeichnis	70
5.3 Literaturverzeichnis	71

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

Bei der nachträglichen Anbringung von Wärmedämmungen an den Außenwänden im Zuge der thermischen Sanierung von Bestandsgebäuden stellen frei auskragende Balkone ein besonderes Problem dar. Stand der Technik bzw. gemeinhin geübte Praxis ist es,

1. die Balkone vor der Anbringung der Dämmung abzureißen und hernach als selbst tragende Konstruktion (d.h. mit Stehern auf eigenen Fundamenten) neu zu errichten, was in vielen Fällen technisch nicht möglich oder ästhetisch nicht gewünscht ist, oder
2. die Bestandsbalkone zu belassen und damit grobe thermische Kompromisse einzugehen, da die Bestandsbalkone Wärmebrücken durch die neu angebrachte Dämmung darstellen, oder
3. die Balkone nach der thermischen Sanierung der Fassade einfach wegzulassen, was eine eklatante Minderung der Wohnqualität und einen mitunter massiven Wertverlust der Liegenschaft nach sich zieht.

Inhalte und Zielsetzungen

Im Forschungsprojekt THERM-opti-BALKON wurde unter Laborbedingungen das THERM-opti-BALKON- System erforscht. Dieses System ermöglicht die thermisch entkoppelte Neuerrichtung von Balkonen an thermisch zu sanierenden Fassaden mit einem Betonschrauben-Rückverankerungssystem. Diese Entwicklungen werden im vorliegenden Projekt THERM-opti-BALKON-P2 (Phase 2) aufgegriffen und zu „THERM-opti-BALKON-System II“ weiterentwickelt. Um den Montageaufwand weiter zu minimieren, kommt im Bereich der Lasteinleitung je Verankerungspunkt nur mehr eine Betonschraube mit großem Durchmesser zum Einsatz. Diese nimmt die Zugkomponente aus dem Momenten-Kräftepaar auf. Zusätzlich wird die Querkraft über dieselbe Schraube in die Bestandsdecke eingeleitet. Die Übertragung der Druckkomponente erfolgt über eine Druckverteilplatte aus Stahl. Des Weiteren wird die thermische Entkopplung an die hohen Anforderungen für den Einsatz in Niedrigstenergie- und Passivhäusern angepasst. Dazu wird im Bereich der Lastüberleitung die Stärke des Dämmkörpers an die für solche Gebäude notwendige Dämmstärke von bis zu 200 mm angehoben. „System II“ wird anschließend in einer In-Situ-Versuchsanlage vor Ort an einem 30 Jahre alten Gebäudeobjekt unter realen Bedingungen mit der Möglichkeit des Rückbaus bei Projektfehlschlag implementiert. In dieser Pilotanwendung können notwendige Erkenntnisse zur praktischen Ausführung erlangt werden.

Methodische Vorgehensweise

In einem ersten Projektschritt wird am Gebäudeobjekt, an dem die In-Situ-Versuchsanlage errichtet wird, eine Bestandsaufnahme durchgeführt. Hierbei werden die zur Planung, Auslegung bzw. Bemessung des „THERM-opti-BALKON-System II“ notwendigen Grundlagen erhoben. Darauf basierend kann die In-Situ-Versuchsanlage architektonisch sowie konstruktiv entworfen und vorbemessen werden. In parallelen Laborversuchen wird die statische Tragfähigkeit von „System II“ untersucht. Des Weiteren wird die Systemlösung für die Anwendung unter realen Bedingungen weiterentwickelt. Nach Abschluss aller notwendigen Planungs- und Untersuchungsschritte wird die In-Situ-Versuchsanlage errichtet und mit einem Langzeit-Monitoringsystem ausgestattet.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im vorliegenden Projekt kann die THERM-opti-BALKON Systemlösung erfolgreich zu „System II“ weiterentwickelt werden. In experimentellen Untersuchungen auf Bauteilebene als Vorstufe der Pilotanwendung wird die statische Tragfähigkeit dieses Systems nachgewiesen. Zudem ermöglichen die durchgeführten Bauteilversuche einen ersten Vergleich mit vorhandenen Marktlösungen. So können neben den mechanischen Eigenschaften auch der Montageaufwand und somit die zu erwartenden Montagekosten von „System II“ mit denen herkömmlicher Marktlösungen verglichen werden. Weitere thermische numerische Simulationen des Wärmebrückenverlustkoeffizienten von „System II“ ermöglichen einen Vergleich mit Marktlösungen. Dabei kann mit „System II“ sowohl der Montageaufwand deutlich gesenkt, als auch die thermische Performance des thermischen Entkopplungssystems durch größere mögliche Dämmstärken von bis zu 200 mm erheblich gesteigert werden. Das ermöglicht den Einsatz in Niedrigstenergie- und Passivhäusern. Bei der Umsetzung der In-Situ-Versuchsanlage können wichtige Erkenntnisse für eine weiterführende praxistaugliche Anwendung abgeleitet werden. Weitere Aussagen zur Dauerhaftigkeit der Systemlösung werden somit in den kommenden Jahren vorliegen.

Ausblick

Das gegenständliche Projekt legt den Grundstein zur Entwicklung eines praxistauglichen und kostengünstigen thermischen Entkopplungssystems. Vor allem für die Entwicklung einer marktreifen Lösung mit großtechnischer Fertigung gibt es noch in mehreren Bereichen Forschungsbedarf. So ist aus technischer Sicht die derzeitige Lösung bzw. Lage der Schwarz-Weiß-Verbindung nicht ideal. Zum einen ist der Aufwand für die Schweißung viel zu hoch und damit mit viel zu hohen Kosten verbunden. Zum anderen bedarf die umgesetzte Lösung eines weiteren Schrittes um die Korrosionsbeständigkeit zu gewährleisten, was zusätzliche Kosten birgt. Die im Projekt errichtete In-Situ-Versuchsanlage wird über die Laufzeit des Projektes weiter überwacht. Es werden daraus weitere Erkenntnisse zum Langzeitverhalten der Systemlösung erwartet.

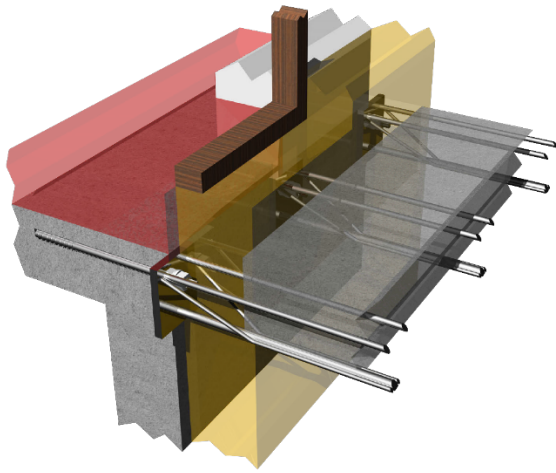


Abbildung 1: THERM-opti-BALKON-P2 – thermische Entkopplung „System II“

Abstract

Starting point/Motivation

During the subsequent attachment of thermal insulation on exterior walls in case of thermal renovation of existing buildings, free cantilevered balconies represent a severe problem. Commonly employed techniques in practice are

1. to tear down the balconies before the attachment of the thermal insulation and to rebuild them as a self-supporting construction with columns on foundations, which is in many case technically not feasible or from an aesthetic point of view undesirable, or
2. to preserve the existing balconies leading to severe thermal compromises, because of the thermal bridge in the balcony area through the new attached thermal insulation, or
3. to omit the balconies after the thermal renovation of the building which leads to a significant reduction of habitability to a massive decrease in value of the real estate.

Contents and Objectives

In the research project THERM-opti-BALKON, the THERM-opti-BALKON system was investigated under laboratory conditions. This system enables the thermally decoupled new construction of balconies on thermally renovated facades with a concrete screw back anchoring system. These developments are taken up in the project THERM-opti-BALKON-P2 (phase 2) and are further developed to „System II“. In order to minimize the installation effort, only one concrete screw with a large diameter is used in the area of load introduction per anchoring point. Furthermore, the thermal decoupling is adapted to the high requirements for usage in low-energy and passive houses. To this end, its thickness is raised to the insulation thickness required for such buildings up to 200 mm. „System II“ is then implemented in an in-situ test facility on a 30-year-old building under real conditions with the possibility of dismantling in case of project failure. In this pilot application, important insights into the practical installation of the system solution can be obtained.

Methods

In a first project step, a survey is carried out on the building, on which the in-situ test facility is installed. Here, basics for planning, design and dimensioning are collected. Based on this, the in- situ test facility can be designed and pre-dimensioned. In parallel laboratory tests the static load capacity of „System II“ is investigated. After all necessary planning and investigation steps have been completed, the in-situ test facility is built and is equipped with a long-term monitoring system.

Results

In this project, the THERM-opti-BALKON system solution can be successfully developed into „System II“. In experimental investigations at the component level as a preliminary stage of the pilot application, the static load bearing capacity of this system is demonstrated. In addition, the component tests allow a first competing comparison with existing market solutions. Thus, in addition to the mechanical properties, the installation effort and the expected installation costs of „System II“ can be compared with those of conventional market solutions. Further thermal numerical simulations of the thermal bridging loss coefficient of „System II“ allow a comparison with market solutions. Both, the installation effort and the thermal performance of the thermal decoupling system can be significantly increased by larger possible insulation thicknesses of up to 200 mm. This enables application in low-energy and passive houses. During the implementation of the in-situ test facility, important findings can be derived for further practical application. Statements on the durability of the system solution will be available in the coming years.

Prospects / Suggestions for future research

The present project is the basis for the development of a practicable and cost-effective thermal decoupling system. Especially for the development of a market-ready solution with large-scale production, need for research is still present in several areas. From a technical point of view, the current solution and the location of the black and white connection is not ideal. On the one hand, the effort and costs of welding are far too high. On the other hand, the suggested solution requires an additional step to ensure corrosion resistance. The in-situ test facility built in this project will be monitored above the duration of this project. Hence, further insights into the long-term behaviour of the system solution are expected.

1 Einleitung¹

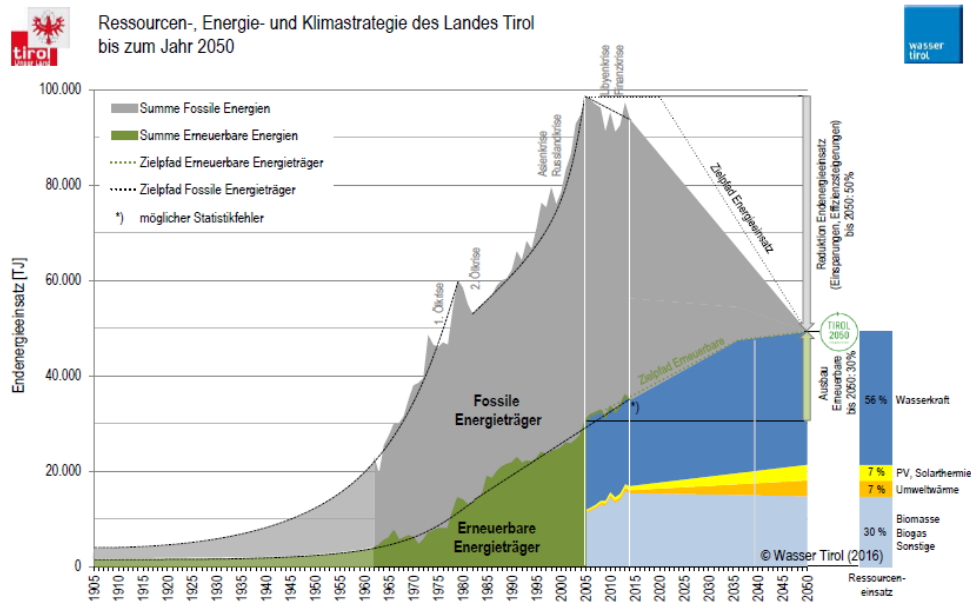


Abbildung 2: Endenergieeinsatz 1962 bis 2015 und Ressourceneinsatzszenario zur Erreichung der Energie- und Klimaziele des Landes Tirol. (Tirol Land, 2017)

Ein 2007 von der Europäischen Union erstellter Aktionsplan sieht eine Senkung des Energiebedarfs bis 2020 um 20 % vor. Energiezielpläne auf Bundesebene gemäß der Energiestrategie Österreichs (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2017) und auf Landesebene, wie z.B. der Energiestrategie des Landes Tirol (siehe Abbildung 2) (Tirol Land, 2017) gehen hier noch weiter. Diese Senkungen des Energiebedarfs können nur durch Effizienzsteigerungen in allen Bereichen und Verzicht erreicht werden.

Für den Gebäudebestand bedeuten diese Zielsetzungen großen Bedarf an thermischer Ertüchtigung durch Gebäudesanierung. Um das zu erreichen, ist eine hochwertige durchgängige thermische Gebäudehülle gemäß Abbildung 3 notwendig. Dabei stellen auskragende Bauteile, die diese durchstoßen – insbesondere Balkone – ein gravierendes Problem dar.

Derzeit ist am Markt nur eine Systemlösung, der Schöck Isokorb RK, dafür verfügbar. Dieser erfordert jedoch einen sehr hohen Montageaufwand und wird dabei den gestellten hohen thermischen Anforderungen nicht gerecht. Die entstehende Wärmebrücke kann somit nur abgemindert werden und das bei hohen Kosten für die Montage des Systems.

Um weiterhin auskragende Strukturen in energieeffizienten Sanierungsvorhaben ermöglichen zu können, bedarf es einer absoluten Minimierung der Wärmeverluste. Dazu werden die vom Balkon resultierenden Lasten Querkraft und Moment in einem Fachwerk als Zugstab, Schubstab und Druckstrebe aus hochfestem Edelstahl ausgebildet und punktuell durch die thermische Gebäudehülle geführt. Dabei bedarf es einer hohen

¹Übernommen aus (N. Fleischhacker, 2017 (Ifd)) und nachbearbeitet

Ausnutzung dieser kraftführenden Stäbe, um deren Querschnitte auf ein Minimum zu reduzieren. Der verbleibende Raum im Bereich der thermischen Gebäudehülle zwischen den kraftführenden Stäben wird mit Dämmstoff – einem Material minimaler Wärmeleitfähigkeit – ausgefüllt. Hoher thermischer Widerstand kann dabei besonders bei großen Dämmstärken erreicht werden. Für eine thermische Entkopplung mit diesem Anspruch muss die bestehende Marktlösung überdacht werden.

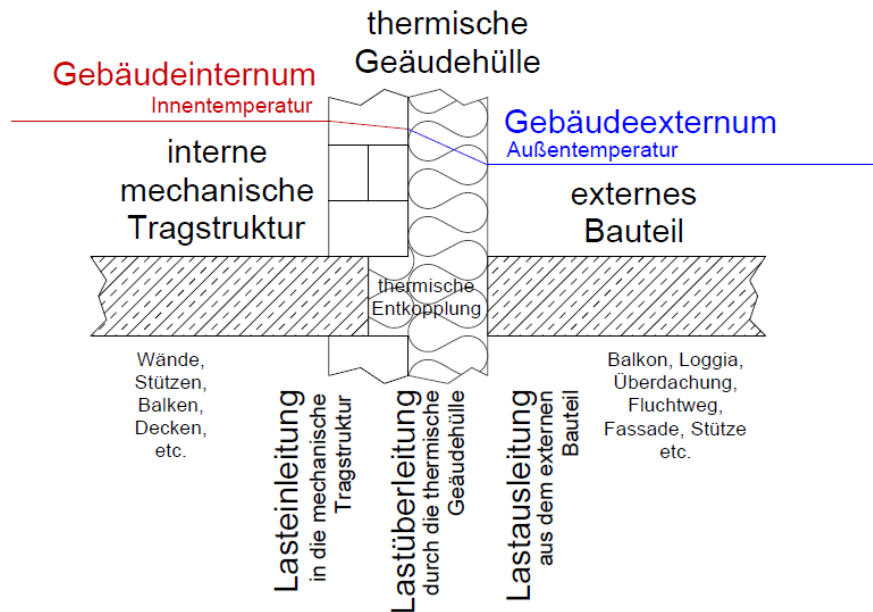


Abbildung 3: Modell des realen mechanischen und thermischen Systems

1.1 Aufgabenstellung

Die mechanische Tragstruktur eines Gebäudes gemäß Abbildung 3 befindet sich zumeist im Gebäudeinneren. Ihre vertikalen Bauteile, wie Stützen und Wände, und horizontalen Bauteile, wie Balken und Decken, sind somit auf dem Niveau der Innentemperatur. Externe Bauteile, wie ein Balkon, sind von Außenluft berührt und somit auf dem Niveau der Außentemperatur. Die Temperaturdifferenz von Innen und Außen führt zu einem Wärmestrom. Diesem wirkt die thermische Entkopplung als Spezialfall der thermischen Gebäudehülle in diesem Bereich als Widerstand entgegen. Sie hat dabei die Aufgabe, das externe Bauteil mit der internen Tragstruktur mechanisch tragfähig zu verbinden und den thermischen Widerstand der Gebäudehülle dabei nur so gering als möglich zu mindern.

Bei Stahlbeton-Bestandsbauten in Ortbetonbauweise sind Bestandsdecke und -balkon zumeist monolithisch verbunden. Um diese thermisch voneinander zu entkoppeln, ist ein Abtrag – Abschneiden mit einer Betonsäge – des Bestandsbalkons notwendig. Anschließend kann ein neuer Balkon thermisch von der Bestandsdecke entkoppelt wiedererrichtet werden. Diese Methode ist grundsätzlich auch bei Bestandsbauten mit Betondecke zur nachträglichen Errichtung eines thermisch entkoppelten Balkons

anwendbar.

Das thermische Entkopplungssystem muss somit gemäß Abbildung 3 die Funktionen

- Lastausleitung – Lasten aus dem Balkon ableiten,
- Lastüberleitung – Lasten des Balkons durch die thermische Gebäudehülle bei minimierten Wärmeleitwert überleiten – und
- Lasteinleitung – Einleiten der Lasten des Balkons in das Deckensystem

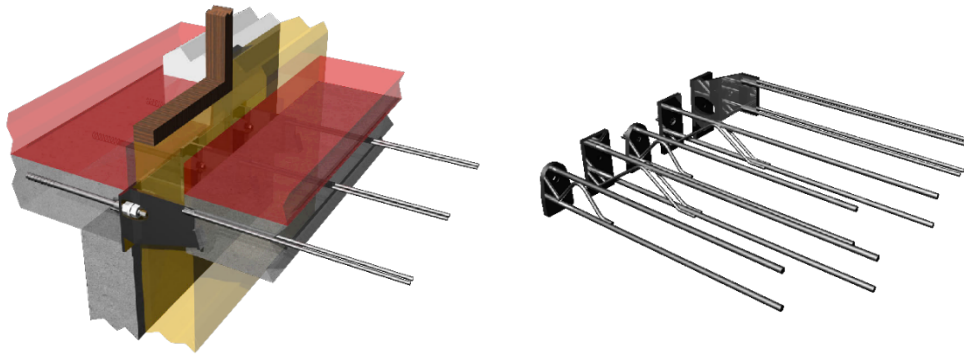
abdecken. Um das zu ermöglichen, werden die vom Balkon resultierenden Lasten Querkraft und Moment in einem Fachwerk als Zugstab, Schubstab und Druckstrebe punktuell durch die thermische Gebäudehülle geführt. Diese Stäbe werden dabei mechanisch hoch ausgenutzt, um deren Querschnitte auf ein Minimum zu reduzieren. Eine Ausführung der Stäbe aus hochfestem Edelstahl bietet sich aufgrund der um Faktor vier geringeren Wärmeleitfähigkeit verglichen mit Normalstahl an. Der verbleibende anteilmäßig große Hohlraum zwischen den Fachwerksstäben im Bereich der thermischen Gebäudehülle kann mit Dämmstoff ausgefüllt werden.

Aus den Erkenntnissen des Projektes THERM-opti-BALKON erfolgt eine Weiterentwicklung von „System I“ zu „System II“. Im Projektantrag für das Forschungsprojekt THERM-opti-BALKON-P2 wird dabei ein erster Entwurf gemäß Abbildung 4a von „System IIa“ ausgeführt. Dieses System erfordert im Bereich der Lasteinleitung jeweils nur eine Betonschraube zur Übertragung der Zugkomponente. Die Druckkomponente wird über eine Druckplatte und Stirnpressung eingeleitet. Die Übertragung von Schub erfolgt über eine Schubknagge. Für die Knagge bedarf es jedoch einer zusätzlichen Aufbohrung im Anschlussbereich. Die Übertragung von Zug, Schub und Druck im Bereich der Lastüberleitung wird mit einer Edelstahlscheibe realisiert. Erstmals wird die Limitierung der Stärke des Dämmkörpers mit 80 mm aufgehoben und eine Stärke des Dämmkörpers von 200 mm ermöglicht. Im Bereich der Lastausleitung sind für die Zugkomponente angeschweißte Bewehrungsstäbe vorgesehen. Druck und Schub werden über ein schräges Schublager aufgenommen.

Ausgehend von dieser Variante wird aus zahlreichen ausgearbeiteten und besprochenen weiterführenden Konzeptvarianten gemäß Abbildung 4b „System IIb“ entwickelt. Im Bereich der Lasteinleitung wird das System auf das absolute Minimum reduziert. So wird die Betonschraube sowohl auf Zug als auch auf Schub belastet. Vorversuche zu dieser Überlegung zeigen eine ausreichende Tragfähigkeit dieser Variante auf und ermöglichen diese Reduktion. Dadurch ist pro thermischem Entkopplungselement nur mehr eine Bohrung mit einer Betonschraube notwendig. Die Übertragung der Druckkomponente erfolgt analog zu „System IIa“. Im Bereich der Lastüberleitung wird die Zugübertragung gemäß Abbildung 4c mit zwei Zugstäben vom $\varnothing 14$ ausgeführt. Druck wird über einen Druckstab vom $\varnothing 20$ übertragen und Schub von zwei geneigten Stäben auf Zug mit $\varnothing 10$. Diese Anordnung ermöglicht eine variable Stärke des Dämmkörpers von 120 mm bis 200 mm. Im Bereich der Lastausleitung werden die beiden Schubstäbe weitergeführt und

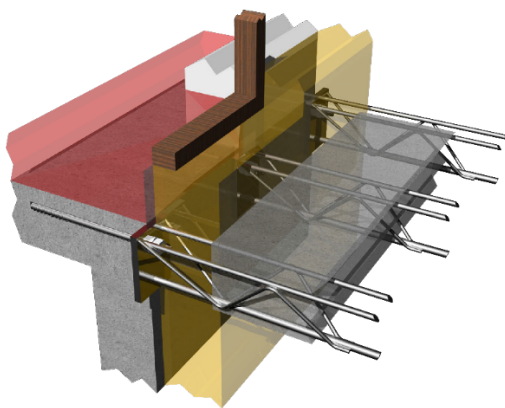
jeweils mit Zug- und Schubstab zu Knoten verschweißt. Alle Kraftkomponenten werden über die Verbundwirkung der Rippung der Bewehrungsstäbe vom Betonbalkon in die thermische Entkopplungsstruktur eingeleitet.

Im Zuge der Planungsarbeiten für die Pilotanwendung wird „System IIb“ nochmals leicht überarbeitet. Dabei wird gemäß Abbildung 4d „System IIc“ entwickelt, indem der Bereich der Lastausleitung vereinfacht wird. Auf die Verschweißung von Zug-, Schub-, und Druckstab wird verzichtet. Der notwendige Knoten zwischen Druck- und Schubstäben wird über den Beton des Balkons hergestellt. Die Verankerung der Kräfte in den Schubstäben erfolgt über die nach EC2 ÖNORM EN 1992-1-1, 2015 02 15 normierte Verbundlänge. Erstmals wird sowohl in den experimentellen Versuchen, als auch in den Ausführungen für den Pilotbalkon, Edelstahl-Bewehrungsstäbe verwendet. In den vorhergehenden Versuchen wurde darauf aufgrund der höheren Kosten verzichtet. Aus der notwendigen Verbindung von Normal- und Edelstahl ergeben sich aber weiterführende Problemstellungen. Diese werden in Abschnitt 1.3.5 ausführlich erläutert.

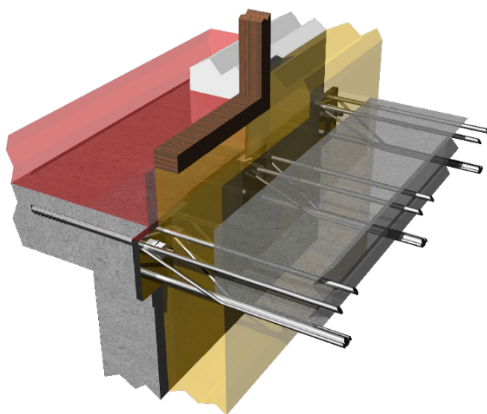


(a) System IIa“ – Entwurf im Projektantrag für das Forschungsprojekt THERM-opti-BALKON-P2;

(b) Entwürfe bis zum „System IIb“



(c) „System IIb“ – Variante von System II



(d) „System IIc“ – Endvariante von System II

Abbildung 4: „System II“ – 3D Visualisierungen der Entwicklungsstufen

1.2 Stand der Technik

1.2.1 Entwicklungsgeschichte der thermischen Entkopplung

Erste Überlegungen zum bauphysikalischen Problem „Wärmebrücke bei auskragenden Ortbetondecken“ stellt Eberhard Schöck bei einem Skiurlaub mit der Familie in Zermatt (Schweiz) zu Weihnachten 1979 an. Feuchte Zimmerdecken sieht er als Indiz für die schädliche Auswirkung einer Wärmebrücke durch die nach außen kragenden Betonteile an. Um diesem Problem entgegenzuwirken, entwirft er ein tragendes Wärmedämmelement, das Bauteile, die die thermische Hülle durchstoßen, thermisch entkoppelt. Die Marktreife erlangt das erste Produkt 1983. Es wird unter dem Namen „Schöck Isokorb“ in Deutschland eingeführt (Schöck, 2016).

Die von Schöck aufgegriffene bauphysikalische Problemstellung „Wärmebrücke Balkon“ wird auch von Mitbewerbern des Marktes erkannt. Auch diese entwickeln eigene Lösungen für den Neubau zur Bewältigung des Problems. Für diese thermischen Entkopplungen per se, hat sich der Begriff „Isokorb“ als Gattungsname etabliert. Dementsprechend sind die Produktnamen der Konkurrenz an diesen Begriff angelehnt und werden z.B. als Niro THERMOKORB, HIT ISO-Element, ISOPRO, ISITHERM, Egcobox usw. vermarktet (N. Fleischhacker, 2016a).

Aufgrund steigender thermischer Anforderungen findet bei den Produkten aller Marktteilnehmer Optimierung statt. Die zu Beginn eingesetzten Dämmkörper mit einer Dämmstärke von zumeist 80 mm werden geometrisch optimiert. Zuletzt führen fast alle Marktteilnehmer thermische Entkopplungselemente mit einer Dämmstärke von 120 mm im Programm. Die thermische Performance der Elemente kann durch diese Maßnahme annähernd linear mit der Stärke des Dämmkörpers gesteigert werden (N. Fleischhacker, 2016a).

Für die Sanierung von Ortbeton-Balkonen ist nur die Produktlinie Schöck Isokorb RK in den Ausführungen RK25 und RK45 erhältlich.

1.2.2 Funktionsweise der thermischen Entkopplung

Die Funktionsweise der meisten Produkte am Markt ist ähnlich. Die thermische Entkopplung der Balkonkragplatte vom Tragsystem Decke erfolgt über ein linienförmiges Element. In diesem Element werden die zu übertragenden Kräfte, Moment und Querkraft, in ein Fachwerk mit zwei Zugstreben für Zug aus dem Moment und Schub aus der Querkraft und eine Druckstrebe für Druck aus dem Moment und zusätzlichem Druckanteil aus der Querkraft punktuell über hoch ausgenutzte Querschnitte durch die thermische Gebäudehülle übertragen (siehe beispielhaft Abbildung 6b). Im Anschnittbereich zwischen Balkonplatte und thermischer Gebäudehülle kann es zu Feuchtigkeitsansammlungen kommen. Dadurch entsteht ein korrosionsförderndes Milieu. Daher sind in diesem Bereich nur Werkstoffe mit Widerstand und Zulassung gegen Korrosion einsetzbar.

Aus diesem Grund und der wesentlich geringeren thermischen Leitfähigkeit von Edelstahl – der Wärmeleitkoeffizient λ ist etwa um Faktor vier geringer, verglichen mit Normalstahl – wird im Bereich der thermische Gebäudehülle zur Lastüberleitung Edelstahl für die Zug- und Drückübertragung eingesetzt. Da Edelstahl wesentlich teurer verglichen mit Normalstahl ist – Faktor vier bis acht – erfolgt die Lastein- und -ausleitung zumeist aus Kostengründen mit stumpf angeschweißter Normalstahlbewehrung.

Für die Überleitung von Druck wird vermehrt faserbewehrter ultrahochfester Beton (UHPC) eingesetzt. Dieser ist äußerst preisgünstig und kann eine bessere thermische Performance als Edelstahl aufweisen².

Nachteile des UHPC sind das sehr spröde Materialverhalten – dieses nimmt mit der Festigkeit des Betons zu – und der, verglichen mit Stahl, um Faktor sechs bis sieben geringere E-Modul. Die zu übertragende Querkraft kann entgegen den gängigen Produkten auch als Druckstreben ausgeführt werden. Damit ergibt sich die Möglichkeit ein kombiniertes UHPC-Element für die Übertragung von Druck und Schub zu realisieren (siehe Abschnitt 1.2.4).

Zugelassen sind die thermischen Entkopplungselemente vorwiegend für ruhende Belastungen. Die Bemessung erfolgt zumeist mit Bemessungstabellen. Diese sehen als Mindestfestigkeit des Betons für Innenbauteile die Festigkeitsklasse C20/25 und für Außenbauteile die Festigkeitsklasse C25/30 vor. Die Abschätzung der Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit kann auf Basis des zugrunde gelegten Fachwerkmodells erfolgen. Generell erhöht sich im Vergleich zu einer durchgängigen Massivplatte die vertikale Verformung. Bei Anforderung an den Feuerwiderstand ist für die gesamte Konstruktion das Brandverhalten nachzuweisen. Je nach eingesetztem Dämmstoff wird dadurch unter Umständen die Anbringung von Brandschutzplatten erforderlich (Sippel, 2012) (N. Fleischhacker, 2016a).

1.2.3 System Schöck

Als Erfinder der thermischen Entkopplung hat die Firma Schöck die längste Erfahrung mit Produkten für diesen Bereich und steht mit ihrem Produkt Schöck Isokorb als Synonym für diese Produktgattung. Zum jetzigen Zeitpunkt existieren für Beton-Beton-Verbindungen sowohl Produkte für den Neubau als auch ein Produkt für die Sanierung.

² Für die Beurteilung der thermischen Performance bei Kraftübertragung kann ein Koeffizient aus Wärmeleitfähigkeit und einaxialer Zug- bzw. Druckfestigkeit und einer Gewichtung der Steifigkeit mit dem E-Modul gemäß (N. Fleischhacker, 2016a) herangezogen werden.

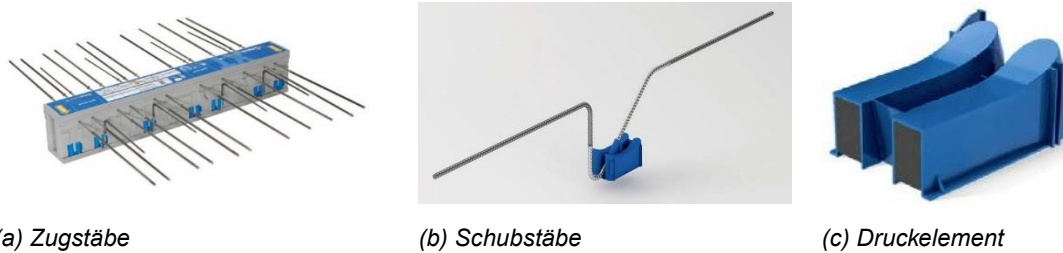
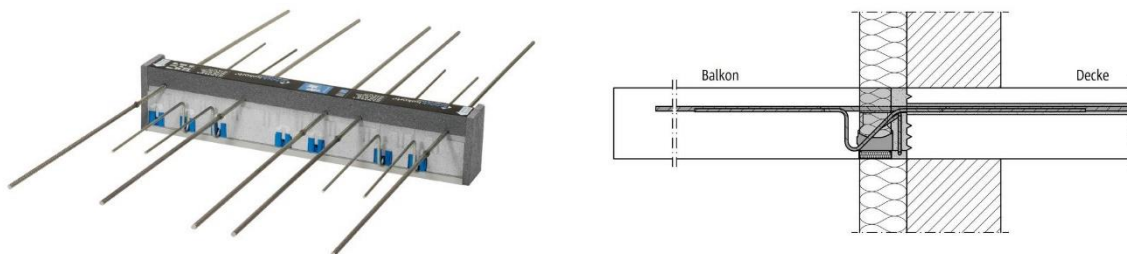


Abbildung 5: Exemplarische Darstellung Schöck Isokorb KXT mit 120 mm Dämmstärke (Beton/Beton-Konstruktionen. Schöck Isokorb OR 120 mm. 2016)

Neubau: Der Schöck Isokorb KXT mit einer Dämmstärke von 120 mm ist in der vierten Generation verfügbar. Übertragung von Zug und Schub erfolgen über Edelstahl Zugstreben (siehe Abbildung 5). Druck wird über ein stahlfaserbewehrtes UHPC Druckelement übertragen. Versuchsergebnisse zum Schöck KXT50 und KXT90 als Referenz sind in Abschnitt 1.3.4 gegeben (Schöck 2016).



(a) Foto eines 1 m breiten Elements mit Dämmkörper, Zugstreben, schrägen Schubstreben und HTE-Drucklagern (Schöck Isokorb R für Beton/Beton-Konstruktionen 2016)

(b) Schnitt durch die Konstruktion (Schöck Bauteile Ges.m.b.H, 2013)

Abbildung 6: Schöck Isokorb Typ RK

Sanierung: Der Schöck Isokorb RK (siehe Abbildung 6) entkoppelt thermisch auskragende Stahlbetonbalkone von Stahlbetondecken und ermöglicht Sicherheit gegen Bauschäden. Das Einsatzgebiet umfasst die Sanierung von Bestandsbauten mit Balkonen und die Neukonstruktion von Balkonen an den Bestand. Für letzteren Fall ist eine Anschlussbewehrung zwingend notwendig. Diese ist im Regelfall nicht vorhanden. Die Verarbeitung des Produkts sieht eine

1. Prüfung der Statik der Deckenkonstruktion,
2. die Auswahl der optimalen Balkon- und Schöck Isokorb-Lösung,
3. gegebenenfalls das Abschneiden des vorhandenen Balkons,
4. eine Oberflächenbehandlung für den Verguss,
5. die Herstellung der Löcher für den Bewehrungsanschluss,
6. das Einsetzen und Vergießen des Isokorbs und
7. die Erstellung des neuen Balkons in Ortbetonbauweise vor.

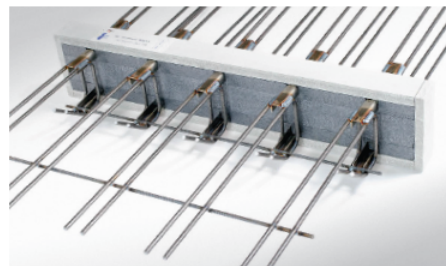
Versuchsergebnisse zum Schöck RK25 und RK45 als Referenz sind in Abschnitt 1.3.4 gegeben (Schöck Bauteile Ges.m.b.H, 2013) (N. Fleischhacker, 2016a).

1.2.4 System Halfen

Der Hersteller Halfen bietet seit 2014 eine thermische Entkopplung für den Neubau für Beton-Beton-Verbindungen mit einem kombinierten UHPC Druck-Schublager an (siehe Abbildung 7a). Die Stärke des Dämmkörpers beträgt dabei 120 mm. Die Übertragung von Zug erfolgt über Edelstahlstäbe mit stumpfgeschweißter Normalstahl-Anschlussbewehrung (HIT ISO-Element 2015).



(a) Exemplarische Darstellung Halfen HIT ISO-Element mit 120 mm Dämmstärke (HIT ISO-Element 2015)



(b) Exemplarische Darstellung AVI-Thermokorb mit 80 mm Dämmstärke und Brandschutzplatten (NIRO-Thermokorb 2015)

Abbildung 7: Systemlösungen von Halfen und AVI

1.2.5 System AVI

Der AVI Niro Thermokorb ist seit 2016 auch in Ausführungen mit 120 mm Dämmstärke erhältlich. Die Übertragung von Zug, Schub und Druck erfolgt über zwei Edelstahl-U-Profile und daran angeschweißte Bügel, die ein biegesteifes Rahmeneck bilden. Diese Konstruktion wird vom Hersteller „Rippe“ genannt (siehe Abbildung 7b). Die Tragfähigkeit des Thermokorbs kann über die Anzahl der Rippen definiert werden (NIRO-Thermokorb 2015).

1.3 Verwendete Methoden

1.3.1 Bestandsaufnahme

Zur Analyse des Bestandsgebäudes werden sowohl zerstörungsfreie als auch zerstörungsbehaftete Methoden angewendet. Grundsätzlich ist zerstörungsfreien Methoden der Vorzug zu geben. Die vorhandene Bausubstanz muss nicht angegriffen und womöglich geschwächt werden. Ausbesserungsarbeiten und damit verbundener Aufwand entfällt. Die Genauigkeit und Sicherheit der Daten ist jedoch bei zerstörungsfreien Methoden eingeschränkt.

Die angewendeten zerstörungsfreien Methoden zum Aufschluss des Bestandes umfassen dabei

- Personenbefragungen von Bauzeugen,
- das Studium von noch vorhandenen Planunterlagen bzw. Kopien und Fotodokumenten,
- Aufmaß vor Ort,

- Scans zu Menge und Lage der Bewehrung mit zwei unterschiedlichen Bewehrungssuchgeräten und
- Messungen der vorhandenen Betonfestigkeit mit einem Rückprallhammer.

Als zerstörungsbehaftete Methode wird der lokale schichtenweise Abtrag des Wandaufbaus an der Deckenstirnseite mit Schneide-, Schleif-, Bohrwerkzeugen und Schremmhammer angewendet (siehe). Im Innenbereich kann eine unbehandelte Stahlbetondeckenuntersicht durch den Abtrag einer abgehängten Decke freigelegt werden.

Bauablauf: Bei der Personenbefragungen von Bauzeugen stehen die Bauherren Ernst Fleischhacker und Vertreter Adolf Ebenberger und Architekt Gerhard Hauser zur Verfügung. Mit ihnen kann der Bauablauf rekonstruiert werden. Da der ausführende Statiker in der Zwischenzeit verstorben ist, können zur konstruktiven Durchbildung keine Angaben aus den Befragungen gemacht werden.

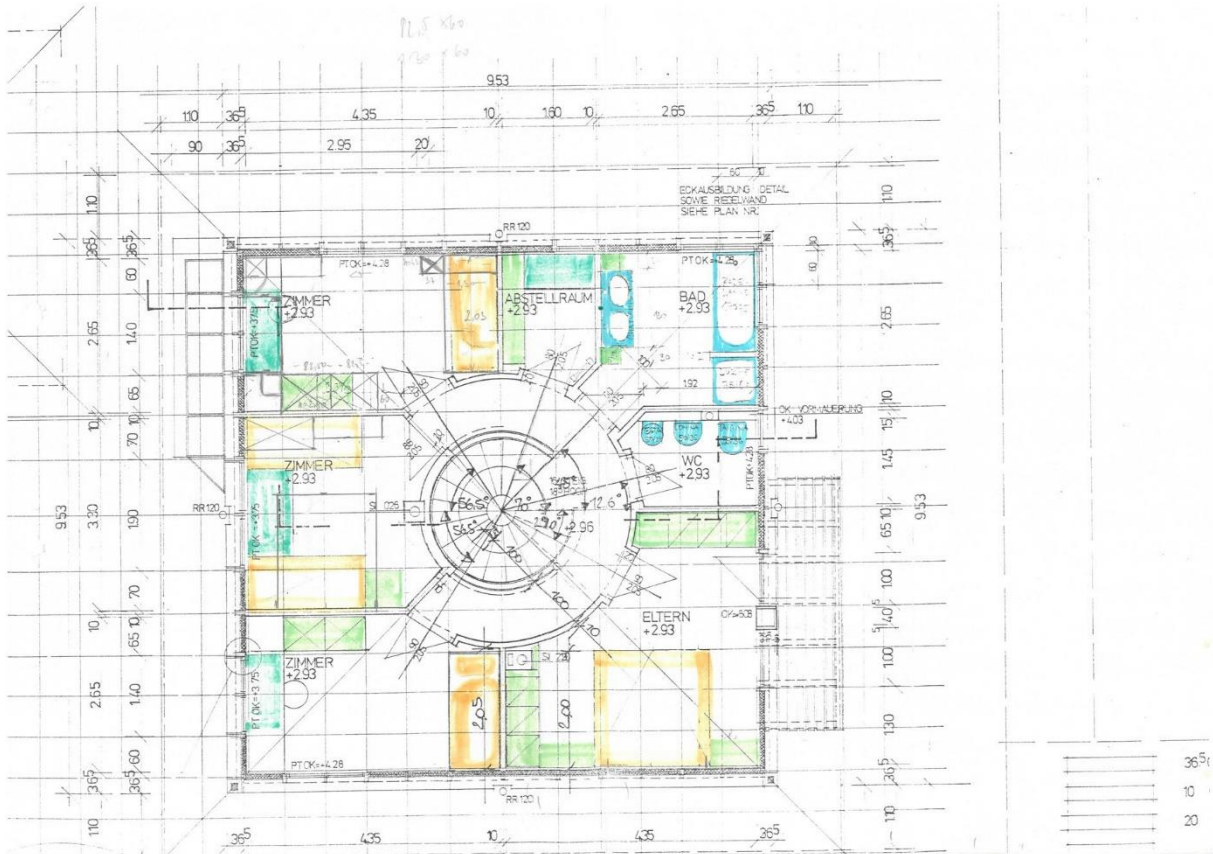
Grund- und Aufriss: Ursprüngliches Planmaterial mit Ansichten, Schnitten und Grundrissen ist vorhanden (ad 1.3.1 und 1.3.1). Abbildung 8 zeigt die Grundrisse von Erd- und Obergeschoß und Abbildung 9 zeigt die Ostansicht des Bestandsgebäudes. Die Planunterlagen werden ergänzt durch ein Aufmaß vor Ort. Somit lassen sich CAD-Pläne zu Grundrissen und Ansichten anfertigen. Diese wiederum sind Basis der Geometrie für eine linear elastische FE-Modellierung der Balkonanschlussplatte.

Bodenaufbau: Zu Deckenstärke und Fußbodenaufbauten sind original Planunterlagen vorhanden (siehe Abbildung 10a). Eine geplante Deckenstärke von 180 mm laut Abbildung 10a wurde nachträglich auf 200 mm im Plan händisch ausgebessert.

Punktuelle Messungen der Deckenstärke am freigelegten Querschnitt (siehe Abbildung 10b) ergeben eine Deckenhöhe von 195 mm. Messungen der Betondeckung (siehe Abschnitt 1.3.1) von 35 mm lassen vermuten, dass eine 180 mm Decke mit 20 mm Betondeckung geplant war. Für weitere Bemessungen wird eine Deckenstärke von 195 mm festgesetzt.

Der planmäßige Fußbodenaufbau (siehe Abbildung 10a) von OG 1 wird nicht eingehalten: 6 mm Sand, 4 mm PVC Folie, 1 mm Zwischenfolie, 35 mm Polythan, 20 mm Folie, 60 mm Estrich bewehrt und 12 mm Parkett ergeben gesamt eine Aufbauhöhe von 120 mm. Laut Aufschluss ist aber eine Kiesschüttung vorhanden (siehe Abbildung 9c). Als Basis für die ständigen Lasten der Decke wird nur eine Stahlbetondecke von 195 mm Höhe angesetzt. Die bestätigte Auflast durch eine 50 mm Kiesschüttung wird auf der sicheren Seite liegend nicht aufgebracht.

Betondeckung: Die Betondeckung wird punktuell über eine lokale Freilegung (siehe Abbildung 10c) und mittels des Bewehrungssuchgerätes HILTI Ferroskan PS 100 S (siehe Abbildung 10a und 10b) bestimmt. Für weitere Planungen ist die Betondeckung der oberen Lage von Wichtigkeit. Diese wird zu 35 mm (siehe Abbildung 10c) angenommen.



(b) Obergeschoß (OG)

Abbildung 8: Grundrisse des Bestandsgebäude



dipl. Ing. Gerhard Heuser
 entwerfend - rauch - streibler 1+2
 6020 Innsbruck, tel. 391509
 HAUS FLEISCHHACKER PET
 M
 ANSICHT OST
 GEZ GHAU 5.1

Abbildung 9: Ansicht Ost des Bestandsgebäudes mit Bestandsbalkon

Im vorliegenden Fall wird an zwei unabhängigen Stellen, der außenliegenden freigelegten und mit einem Diamantschleiftopf plangeschliffenen Deckenstirnseite und der innenliegenden freigelegten unbehandelten Deckenuntersicht (siehe Abbildung 11),

gemessen. Zusätzlich erfolgt eine Kontrollmessung des Geräts an definierten Probekörpern mit bekannter Betondruckfestigkeit im Labor.

Die Messung erfolgt an drei Prüfflächen P1, P2 und P3 anhand eines Messrasters mit den Abmessungen 40 mm mal 40 mm. Die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 12 dargestellt. Die Ergebnisse von $f_{ck,cube}$ unterscheiden sich zwischen der Stirnseitenmessung und der Messung von Deckenunterseite erheblich.

Die kontrollierende Messung an der Stirnseite von Laborprobekörpern zeigt, dass die gemessenen Werte bei Normalbeton unter der Würfeldruckfestigkeit liegen. Bei niederfestem Beton wird die Festigkeit bei der Rückprallmessung überschätzt.

Aus den Referenzversuchen wird auf der sicheren Seite liegend für weitere Untersuchungen eine Würfeldruckfestigkeit von $f_{ck,cube} = 46$ MPa angesetzt. Diese wird mit dem Ansatz nach Staller

$$f_{ck} = 0.8316 \cdot f_{ck,cube} \quad (1)$$

in eine Zylinderdruckfestigkeit von $f_{ck} = 38$ MPa umgerechnet. Für weitere Berechnungen wird eine Betonfestigkeit C35/45 nach ÖNORM EN 1992-1-1 Teil 1-1 ÖNORM EN 1992-1-1, 2015 02 15 angesetzt.

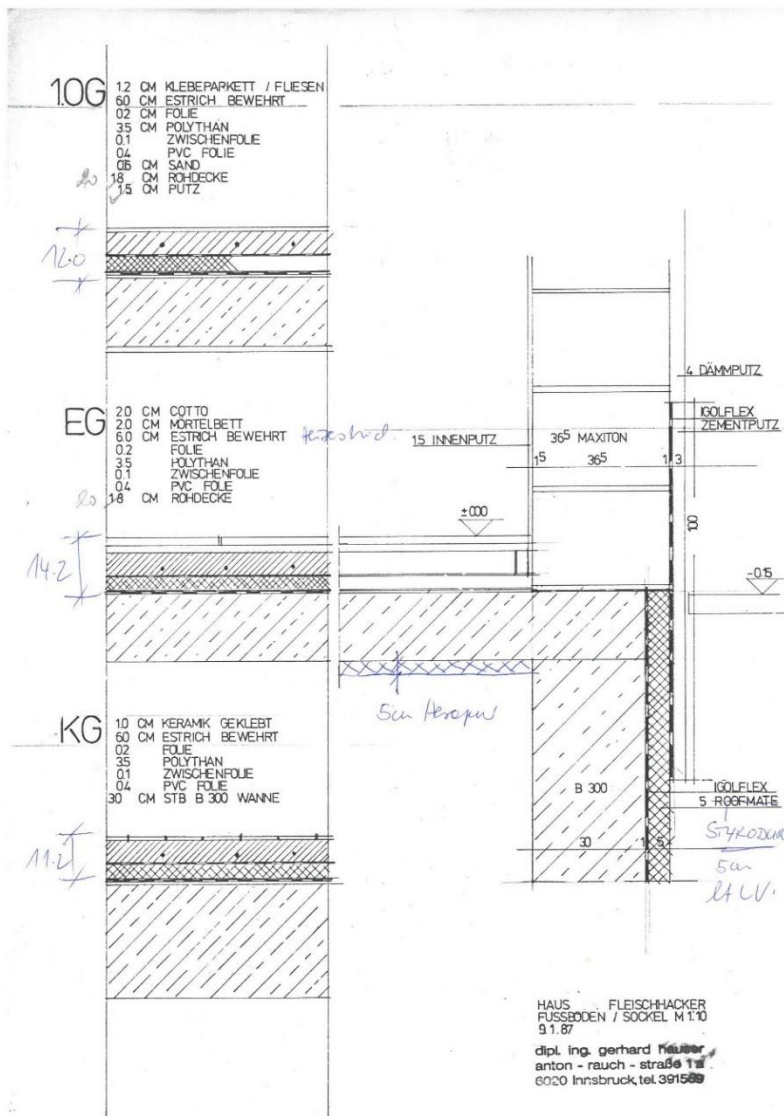


Abbildung 10: Planunterlage der Fußbodenaufbauten des Bestandsgebäudes



Abbildung 11: Punktuelle Freilegung Deckenstirnseite

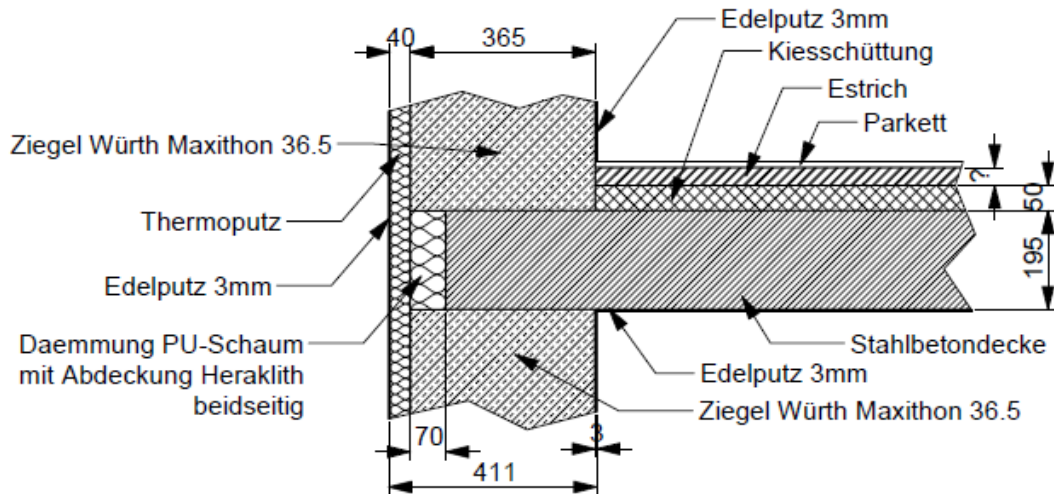


Abbildung 12: Anschluss-Skizze (Wand und Deckenaufbau)

Bewehrung: Die Bestimmung der vorhandenen Bewehrung erfolgt mit den zwei Bewehrungs-Suchgeräten Ferroskan HILTI PS 100 (siehe Abbildung 10a) und HILTI PS 1000 (siehe Abbildung 10b) an der Deckenunter-, -ober- und -stirnseite.

HILTI Ferroskan PS 100 S: Der HILTI Ferroskan PS 100 S kann nur zur Detektion von oberflächennaher Bewehrung herangezogen werden. Es werden Messungen an der Deckenober-, -stirn-, und -unterseite durchgeführt. Eine Messung an der Deckenoberseite liefert aufgrund des vorhandenen Fußbodenaufbaus keine Ergebnisse. An der Deckenstirnseite wird eine Bügelbewehrung im Abstand von 150 mm aufgenommen. Auf der Deckenunterseite wird ein Raster 150 mm mal 150 mm gemessen. Die maßgebende obere Bewehrung kann nicht erfasst werden.

HILTI PS 1000: Das HILTI PS 1000 X-Scan-System ermöglicht dreidimensionale Aufnahmen. Die Messung erfolge mit Messrastern von 600 mm mal 600 mm und 1200 mm mal 1200 mm und linienbezogen. Der Stabdurchmesser, die Betondecke bzw. die genaue Tiefenlage der Bewehrung kann nicht erfasst werden. Die Unterscheidung zwischen oberer und unterer Lage der Bewehrung und die Bestimmung der Stababstände ist jedoch möglich. Es werden 14 Messungen an der Deckenober-, -stirn-, und -unterseite durchgeführt.

Eine Rastermessung an der Deckenoberseite durch den Fußbodenaufbau liefert keine verwertbaren Ergebnisse (siehe Abbildung 14).



(a) Bewehrungssuchgerät HILTI Ferroskan PS 100 S



(b) Bewehrungssuchgerät HILTI PS 1000

Abbildung 13: Zerstörungsfreie und zerstörungsbehaftete Untersuchungen zur Bestimmung der Betondeckung

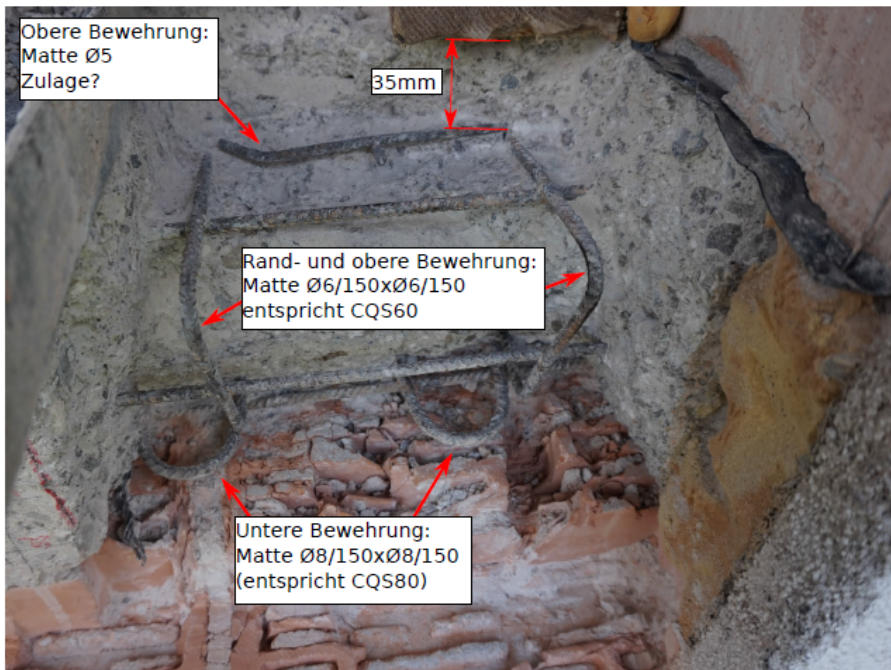


Abbildung 14: Lokale Freilegung der Bewehrung



(a) Feld P1 und Feld P2 an der Deckenstirnseite



(b) Feld P3 an der Deckenunterseite

Abbildung 15: Messraster Rückprallmessung

Tabelle 1: Messergebnisse an drei Prüfflächen P1 und P2 - Deckenstirnseite - und P3 - Deckenunterseite

Prüffläche	Stirnseite									Referenzmessung Stirnseite							
	Test	P1			P2			P3			B6		B5		B3		
f _{ck} cube aus Würfelmessung [N/mm ²]										49.2		52.7		14.6			
f _{cm} cube aus Würfelmessung [N/mm ²]										48.9		51.8		20.1			
f _{cd} [N/mm ²]	32.5		33.4		32.2		25.5			24.8		25.9		18.7			
f _{ck} [N/mm ²]	49		50		48		38			37		39		28			
f _{ck} cube [N/mm ²]	59		60		58		46			45		47		34			
Streuung +- [N/mm ²]	7.5		7.5		7.5		7.0			7.5		7.5		7.5			
Mittelwerte Rückprall	48.4		49.2		48.1		45.3			41.3		42.3		35.2			
20% der Prüfwerte		1.0		4.0		5.6		5.0			3.6		3.6		3.6		
Anzahl Abweichung > 6 Einheiten		1		3		3		1			1		1		1		
Prüfnummer	R	Δ	R	Δ	R	Δ	R	Δ	R	Δ	R	Δ	R	Δ			
1	54	5.1	50	0.9	47	1.1	47	1.7	42	0.7	42	0.3	34	1.2			
2	48	0.4	52	2.9	54	5.9	51	5.7	43	1.7	42	0.3	36	0.8			
3	50	1.6	50	0.9	54	5.9	45	0.3	40.5	0.8	39	3.3	43	7.8			
4	42	6.4	45	4.2	52	3.9	46	0.7	38	3.3	42	0.3	34	1.2			
5	49	0.1	56	6.9	50	1.9	44	1.3	44	2.7	39	3.3	35	0.2			
6			56	6.9	47	1.1	45	0.3	40	1.3	45	2.7	36	0.8			
7			44	5.2	60	11.9	43	2.3	50	8.7	40	2.3	36	0.8			
8			56	6.9	48	0.1	44	1.3	38	3.3	41	1.3	35	0.2			
9			44	5.2	48	0.1	44	1.3	40	1.3	43	0.7	35	0.2			
10			50	0.9	44	4.1	44	1.3	38	3.3	42	0.3	36	0.8			
11			52	2.9	46	2.1	43	2.3	42	0.7	40	2.3	33	2.2			
12			49	0.1	49	0.9	44	1.3	44	2.7	42	0.3	33	2.2			
13			47	2.2	48	0.1	44	1.3	38	3.3	50	7.7	35	0.2			
14			46	3.2	47	1.1	46	0.7	42	0.7	46	3.7	34	1.2			
15			45	4.2	48	0.1	45	0.3	46	4.7	41	1.3	35	0.2			
16			48	1.2	44	4.1	44	1.3	38	3.3	41.5	0.8	35	0.2			
17			48	1.2	45	3.1	48	2.7	40	1.3	46	3.7	34	1.2			
18			48	1.2	40	8.1	56	10.7	40	1.3	40	2.3	34	1.2			
19			47	2.2	48	0.1	44	1.3									
20			50	0.9	50	1.9	48	2.7									
21					42	6.1	46	0.7									
22					46	2.1	44	1.3									
23					50	1.9	44	1.3									
24					48	0.1	40	5.3									
25					46	2.1	44	1.3									
26					50	1.9											
27					48	0.1											
28					48	0.1											

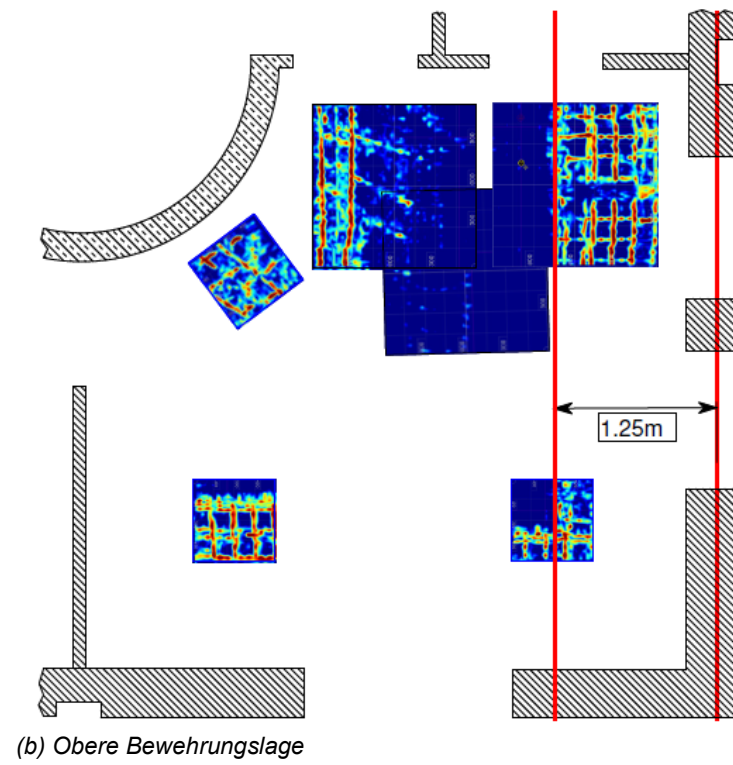
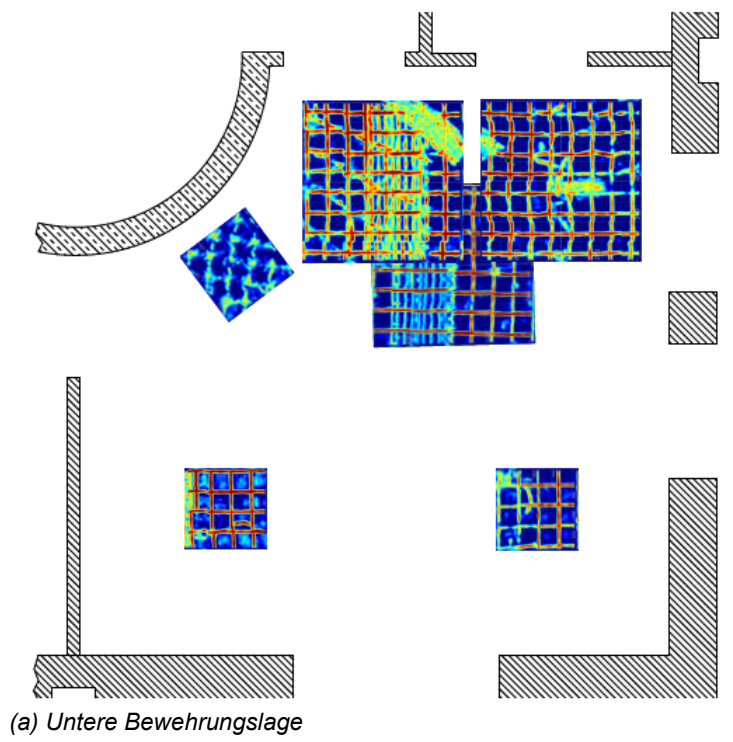
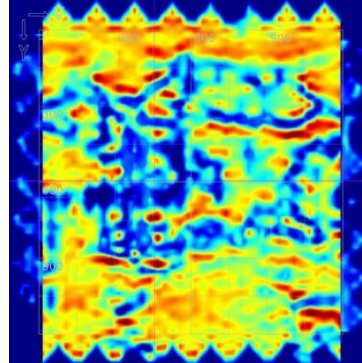


Abbildung 16: Übersicht ausgewählter Aufnahmen



(a) Messanordnung



(b) obere Bewehrung nicht sichtbar

Abbildung 17: Aufnahme HILTI PS 1000 Deckenoberseite durch Fußbodenaufbau

Eine linienbezogene Messung an der Deckenstirnseite erbringt keine verwertbaren Ergebnisse.

Rastermessungen von der Deckenunterseite zeigen verwertbare Ergebnisse. Ausgewählte Aufnahmen der unteren und oberen Bewehrungslage sind in Abbildung 16 im koordinativen Bezug zum Deckensystem dargestellt. Die obere Bewehrung reicht gut ersichtlich bis ca. 1,25 m von der Deckenstirnseite in die Decke hinein.

Aufgrund von Unebenheiten durch Edelputz an der Deckenunterseite wird eine Messplattform errichtet (siehe Abbildung 18). Dieses Rastermessergebnis wird durch Kontrollmessungen bestätigt. Dabei wird die gleiche Fläche doppelt (siehe Abbildung 19), an anderer Stelle (siehe Abbildung 20 und Abbildung 21) zur Plausibilitätsüberprüfung aufgenommen. Weiters wird eine zum Bewehrungsraster nicht-parallele Messung durchgeführt (siehe Abbildung 22). Messungen nicht-parallel zum Bewehrungsraster liefern ersichtlich schlechtere Ergebnisse. Leichte Verdrehungen stören das Ergebnis hingegen nicht.

Zusammenfassung Bestandsaufnahme: Die relevanten Ergebnisse für die weitere Planung können wie folgt zusammengefasst werden:

- statische Deckenhöhe von 195 mm
- obere Betondeckung von 35 mm
- Bemessungsbetongüte C35/45
- obere Mattenbewehrung von $\phi 6/15 \times \phi 6/15$ mit Reichweite von ca. 1,25 m ins Bauteilinnere

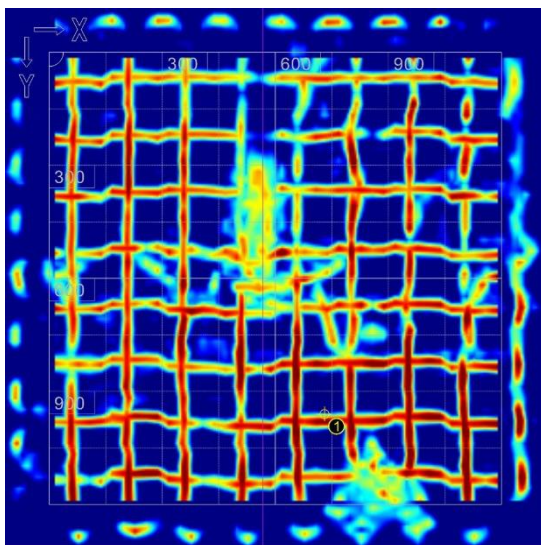
1.3.2 Vorbemessung

Die Vorbemessung erfolgt auf globaler Ebene – das bedeutet ohne thermische Entkopplung, Verankerungselemente usw. – mittels einer linear elastischen Finite-Elemente-Analyse. Die Geometrie für das mechanische System mit neu errichtetem Balkon wird aus Grundrissen und Ansichten und Kontrollmessungen vor Ort erstellt. Die Modellierung der Decke erfolgt mit dem Programmpaket RFEM. Die Lagerung der Platte am inneren Kern (Stahlbeton) und äußerer Wand (Ziegel) erfolgt elastisch, um die

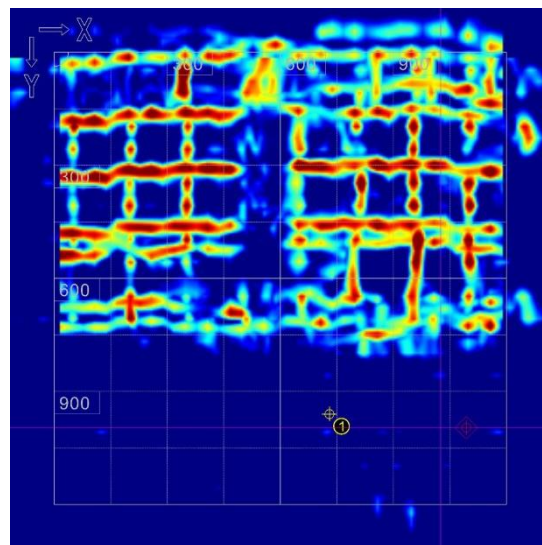
unterschiedlichen Steifigkeiten von Ziegelwand und Kern und die vorhandene Einspannwirkung abzubilden. Als Lasten werden das Deckeneigengewicht $g_{k,1}$ und ein Fußbodenaufbau mit $g_{k,2} = 1,6 \text{ kN/m}^2$ (Kiesschüttung 50 mm und Estrich) angenommen. Auf einen Zwischenwandzuschlag wird verzichtet. Die Deckenauflast soll möglichst gering sein.



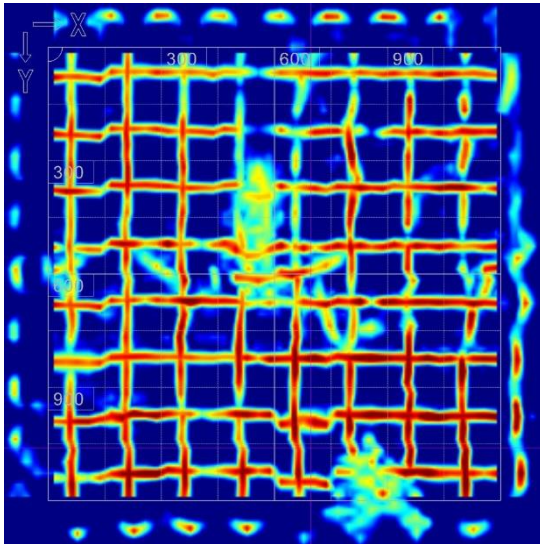
Abbildung 18: Messplattform und Rastermessung an der Deckenunterseite



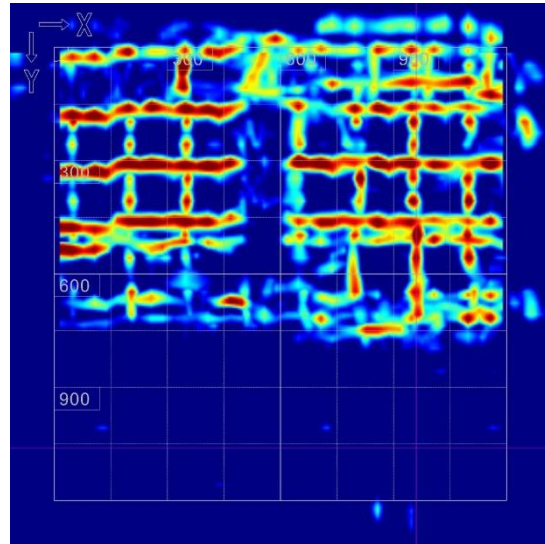
(a) untere Bewehrung



(b) obere Bewehrung



(c) untere Bewehrung Rescan

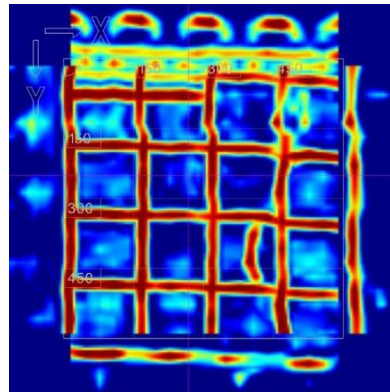


(d) obere Bewehrung Rescan

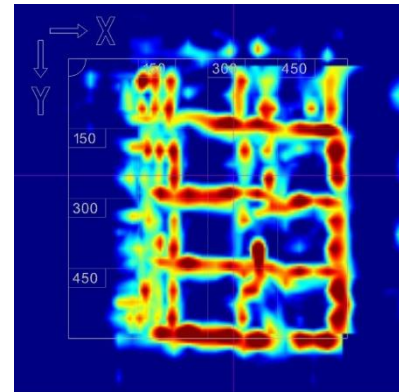
Abbildung 19: HILTI PS 1000 Deckenunterseite Position N/W



(a) Positionsbild



(b) untere Bewehrung

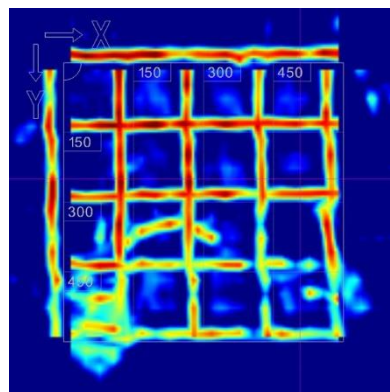


(c) obere Bewehrung

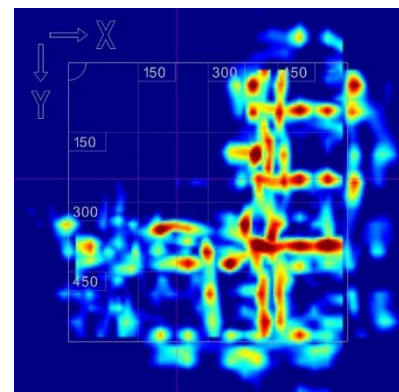
Abbildung 20: Position S/O



(a) Positionsbild



(b) untere Bewehrung



(c) obere Bewehrung

Abbildung 21: Position S/W

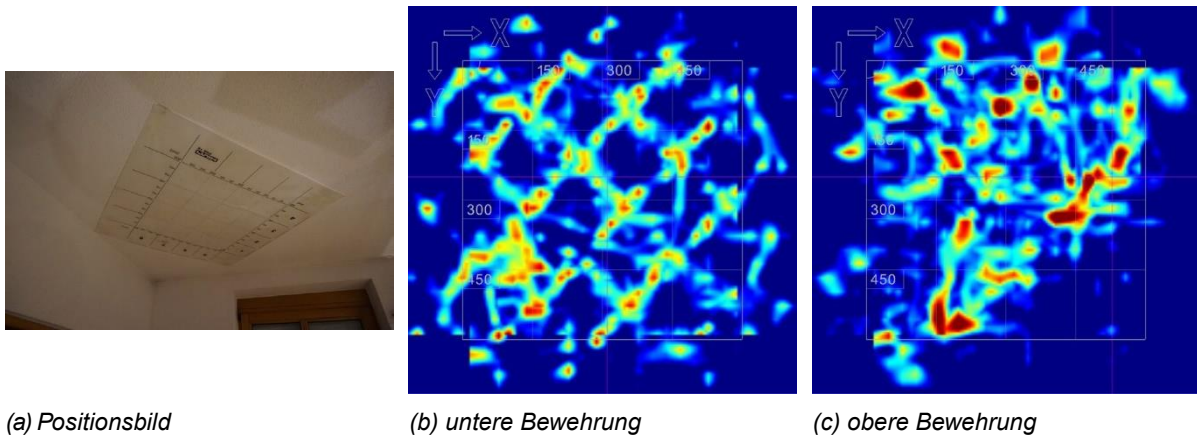


Abbildung 22: Position N – Test verdrehte Messung: Generell viel schlechtere Qualität.

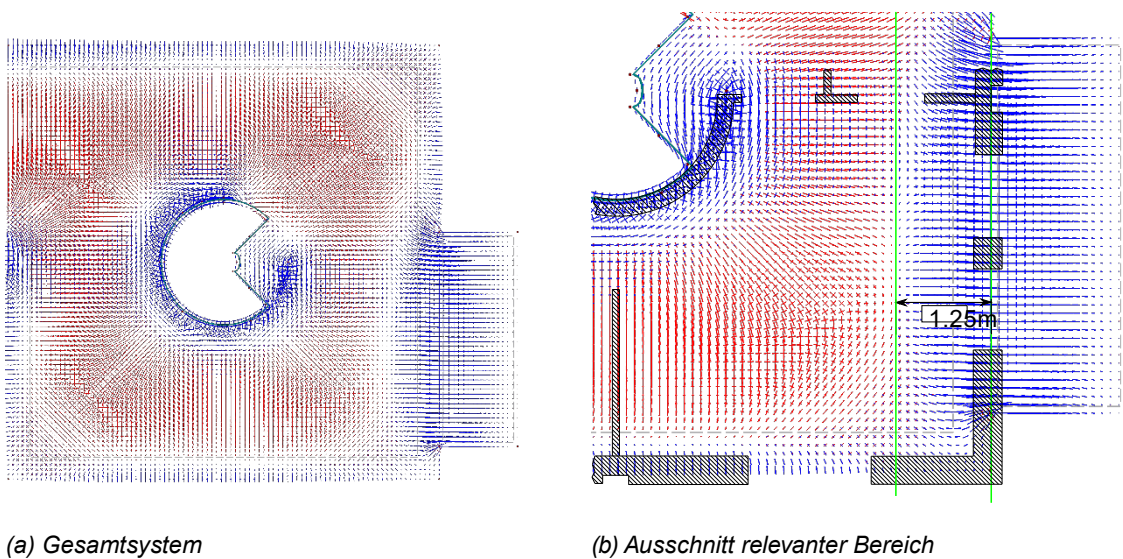


Abbildung 23: Trajektorienbilder – in roten Bereichen herrscht Druck vor und in blauen Bereichen Zug

Die Ergebnisse sind in Trajektorienbildern dargestellt (siehe Abbildung 23). Der Momenten-Nulldurchgang befindet sich im Abstand von ca. 1,25 m der Deckenstirnseite.

1.3.3 Architektonische Umsetzung

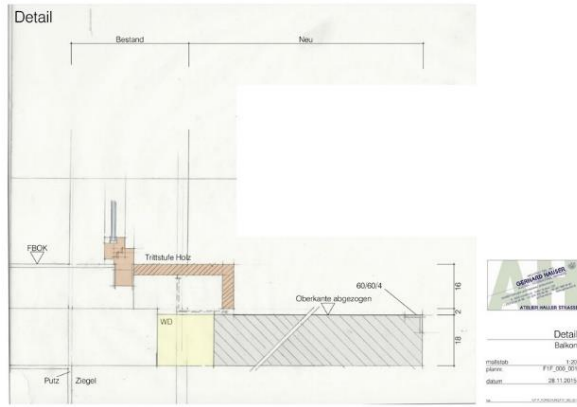
Als Ausgangslage für die architektonische Umsetzung wird eine Ort betonplatte mit einer Tiefe der Auskragung von 1,4 m ab Putzkante (siehe Abbildung 24a) und einer Breite von 3,21 m festgelegt. Die exakte Breite und Länge des Balkons kann vom Architekten im Entwurfsprozess angepasst werden. Die Stärke des Balkons wird zu 180 mm festgelegt. Die Ausführung der Betonplatte wird in Weißbeton mit Normalzuschlag GK 16 und Weißzement vorgesehen. Die Oberfläche soll mit einem Besenstrich abgezogen werden. Weiterer Fußbodenaufbau ist keiner vorgesehen. Die Schalung soll eine Holzstruktur in den Beton einprägen und mit Brettern aufgebaut sein. Das Muster wird dabei von Architektenseite vorgegeben. Erste Überlegungen dazu sind in Abbildung 24d zu sehen. Die große Stärke der Balkonplatte soll durch einen Umfassenden verzinkten Stahlwinkel optisch gemindert werden (siehe Abbildung 24b). Das darauf aufsetzende Geländer wird in verzinktem Stahl vorgesehen. Ein evtl. farbiger Handlauf wird angedacht. Der

Höhensprung zwischen Innen und Außen soll mit einer Holzstufe gemäß Abbildung 24b bei Fenster und Tür (siehe Abbildung 24a) aufgelöst werden. Um eine Entwässerung des Balkons zu gewährleisten, wird eine leichte Neigung nach außen vorgesehen. Zudem wird die Quer-Montage von drei Photovoltaik-Modulen mit Abmessungen von je 1205 mm mal 555 mm beschlossen. Die thermische Entkopplung erfolgt gemäß Abbildung 24a mit sieben thermischen Entkopplungselementen vom Typ „System II“.

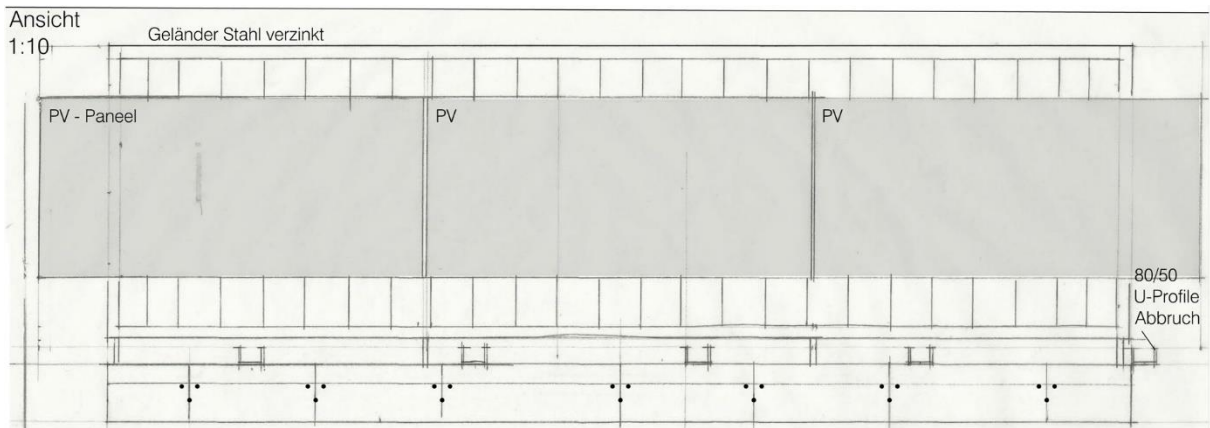
Viele dieser ursprünglichen Gestaltungselemente fließen in die Ausführungsplanung gemäß Abbildung 25 ein. Unter anderem wird das Entwässerungskonzept detaillierter ausgearbeitet. Die Montage der Photovoltaik-Elemente wird über ein universelles Geländerraster aufgelöst.



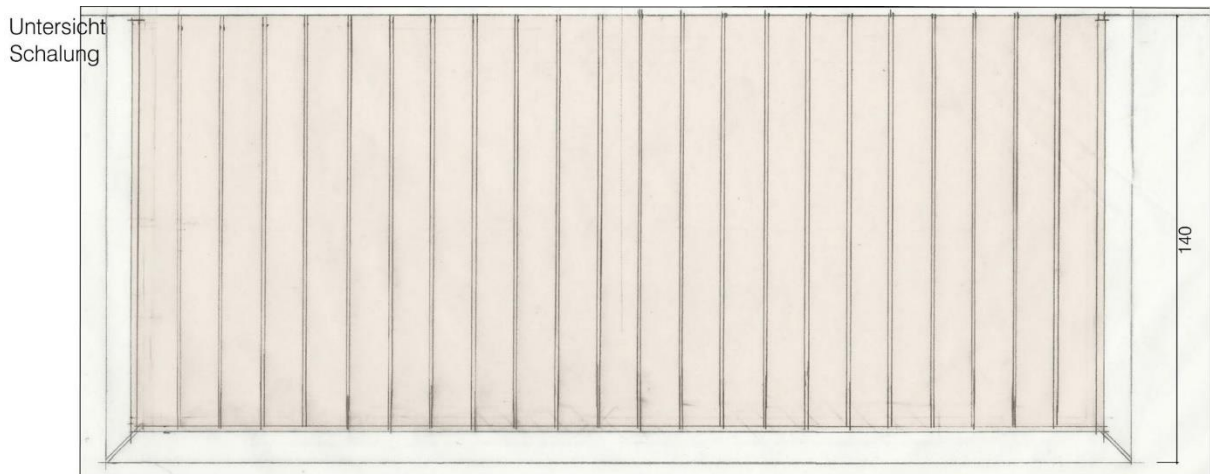
(a) Ansicht Fassade nach Abtrag des Bestandsbalkons - Vermerkung der sieben neuen Ankerpunkte



(b) Schnitt

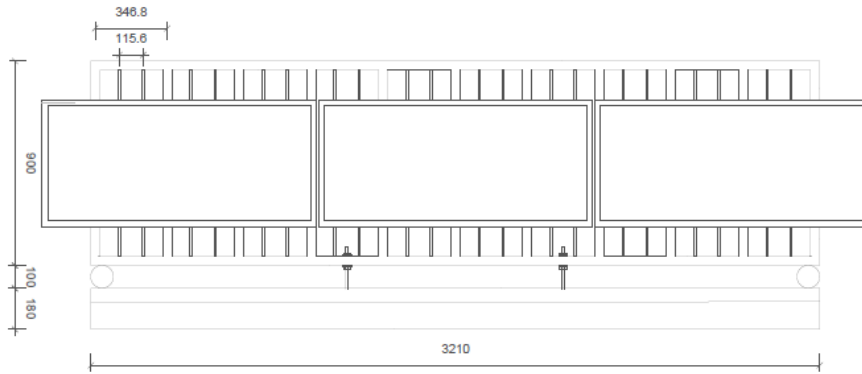


(c) Frontalriss

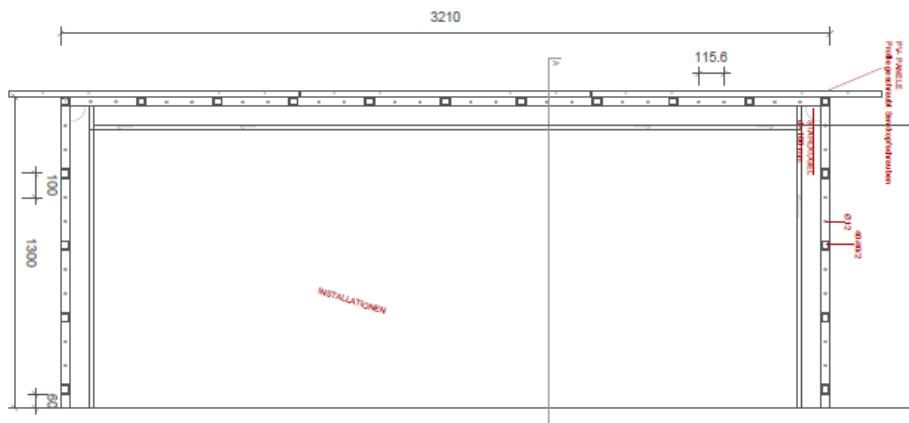


(d) Untersicht

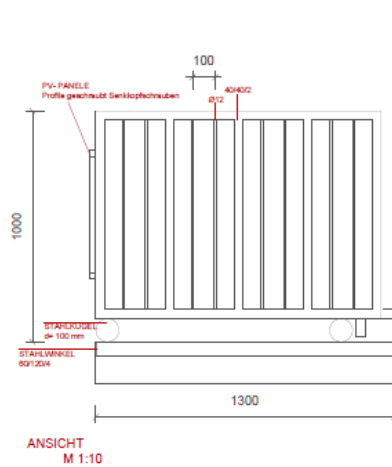
Abbildung 24: Architektenentwurf Ausführungsplan



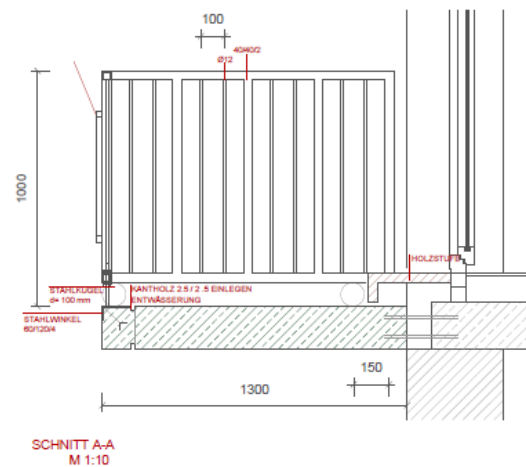
(a) Frontalriss



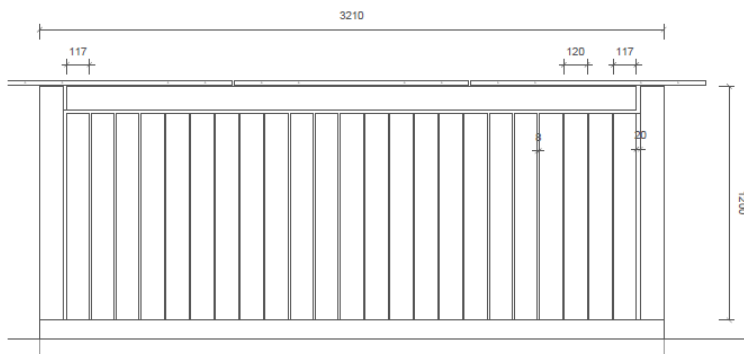
(b) Untersicht



(c) Seitenriss



(d) Schnitt A-A



(e) Untersicht Schalbild

Abbildung 25: Ausführungsplan des Architekten DI Gerhard Hauser

1.3.4 Experimentelle Untersuchung: Drei-Punkt-Biegezug-Bauteilversuche am Gesamtsystem mit Anschlussbewehrung

Als weiteren Entwicklungsschritt zum nachträglichen thermisch entkoppelten Balkonanschluss wird das Gesamtsystem anhand von Drei-Punkt-Biegezug-Bauteilversuchen mit Anschlussbewehrung getestet.

Ableitung der Versuchsanordnung: Die Geometrie und das abgeleitete mechanische System bestehend aus einem Träger auf zwei Stützen mit mittiger Belastung ist mit den Versuchen im Projekt THERM-opti-BALKON ident. Der Abstand zwischen den gelenkigen Auflagern beträgt wiederum 1,4 m und entspricht somit einem Balkon mit 1,4 m Auskragungslänge.

In dieser Versuchsreihe werden alle Systemteile des nachträglichen thermisch entkoppelten Balkonanschlusses mit Lastausleitung, -überleitung und -einleitung untersucht. Da nun ein Versagen in der Bestandsdecke, der thermischen Entkopplung und dem Balkon auftreten kann, sind alle Teile vollständig im Versuch abzubilden. Dies erfordert eine Herstellung des Gesamtprobekörpers in zwei Betonageschritten.

Im ersten Schritt wird die Bestandsdecke betoniert. Im nächsten Arbeitsgang wird die thermische Entkopplung bestehend aus Rückverankerungs- und thermisch optimiertem Lastüberleitungssystem montiert. Da im vorliegenden Fall die Untersuchung der mechanischen Aspekte im Vordergrund steht, wird auf den Einsatz teurer Edelstähle im Bereich der Lastüberleitung noch verzichtet. Zur Anwendung kommt die thermische Entkopplung „System II“ in Variante b.

Dabei wird die Querkraft über die Zugschraube vom Typ TOGE TSM B 22x2200 M24 mit M24 ISO-Gewindeschäft eingeleitet. Das Bohrloch im Bereich des Schaftes wird mit einem Durchmesser von 25 mm hergestellt. Der Bohrlochdurchmesser beeinflusst die Fläche für die übertragbare Schubkraft zum Quadrat und wirkt sich positiv auf das Schubtragverhalten aus.



Abbildung 26: thermisches Entkopplungselement in Ausführung System IIc

Im Bereich der thermischen Entkopplung kommt ein thermisches Entkopplungselement bezeichnet als „System IIb“ mit einer Grundplatte aus S235 Stahl mit 20 mm Stärke und angeschweißten B550B Bewehrungsstäben vom Durchmesser $\varnothing 14$ in zweifacher Ausführung für Zug und einem $\varnothing 20$ Stab für Druck zum Einsatz (siehe Abbildung 26). Dieses Entkopplungselement wird an die Zugschraube über eine M24 Mutter gekontert.



(a) Angelieferte Bewehrungskörbe



(b) Sicherstellung der Betondeckung mit Kunststoff-Stern-Abstandhaltern

Abbildung 27: Bewehrung Balkonseite

Ist die Rückverankerungskonstruktion und die thermische Entkopplung installiert, kann der Abschnitt „Balkon“ hergestellt werden. Die Bewehrungskörbe des Balkons sind an die geometrischen Gegebenheiten der unterschiedlichen Systeme angepasst. Die erforderliche Bewehrung der Balkonplatte wird gemäß EN 1992-1-1 ÖNORM EN 1992-1-1, 2015 02 15 dimensioniert. Der Grundraster beträgt wiederum $\varnothing 10/10$. Die Sicherstellung der Betondeckung in der Herstellung erfolgt mittels Kunststoff- Stern-Abstandhaltern (siehe Abbildung 27b). Nach Einbau der Bewehrung in der Balkonplatte erfolgt die Betonage.

Versuchsprogramm: „System IIb“ des Projektes THERM-opti-BAKLON-P2 wird in drei Versuchen unter Variation der Dämmstärke von 120 mm bis 200 mm untersucht.

Versuchsergebnisse: Abbildung 28 stellt die in „System II“ erreichten Höchstlasten dar. Diese Systemvariante erreicht mit einem Mittelwert des maximal erreichten Moments von 74,2 kNm/m und einer zugehörigen Querkraft von 106,1 kN/m eine Steigerung um 41 % gegenüber „System I“. Die Abweichung der erreichten Höchstlasten der drei Versuche ist gering. Bei Steigerung der Stärke des Dämmkörpers von 120 mm auf 200 mm sinkt die Höchstlast in den Varianten nur geringfügig um ca. 7 %.

1.3.5 Weiterentwicklung der thermische Entkopplung „System II“ für den Piloteinsatz

Um das entwickelte THERM-opti-BALKON „System II“ tatsächlich in situ einsetzen zu können, bedarf es einiger weiterführender Überlegungen. So muss, für den Laborversuch irrelevant, die Dauerhaftigkeit der Konstruktion für zumindest 50 Jahre gewährleistet werden. Daher gilt es vor Korrosion zu Schützen. Im Bereich des Zug-, Schub- und Druckstabes ist der Korrosionsschutz durch den Einsatz von Edelstahlbewehrung vom Typ 1.4462 gegeben. Aus Kostengründen ist ein Übergang von Edelstahl zu Normalstahl im Bereich der Lasteinleitung jedoch notwendig.

Dafür ergeben sich drei Möglichkeiten der Schwarz-Weiß-Verbindung:

1. Schwarz-Weiß-Schweißung von Zug-, Schub- und Druckstab an eine Normalstahlgrundplatte
2. geschraubte elektrisch entkoppelte Verbindung
3. Schwarz-Weiß-Reibschweißung eines M24 Edelstahlanschlussstücks an die Betonschraube vom Typ HMS-H 22x2200 M24

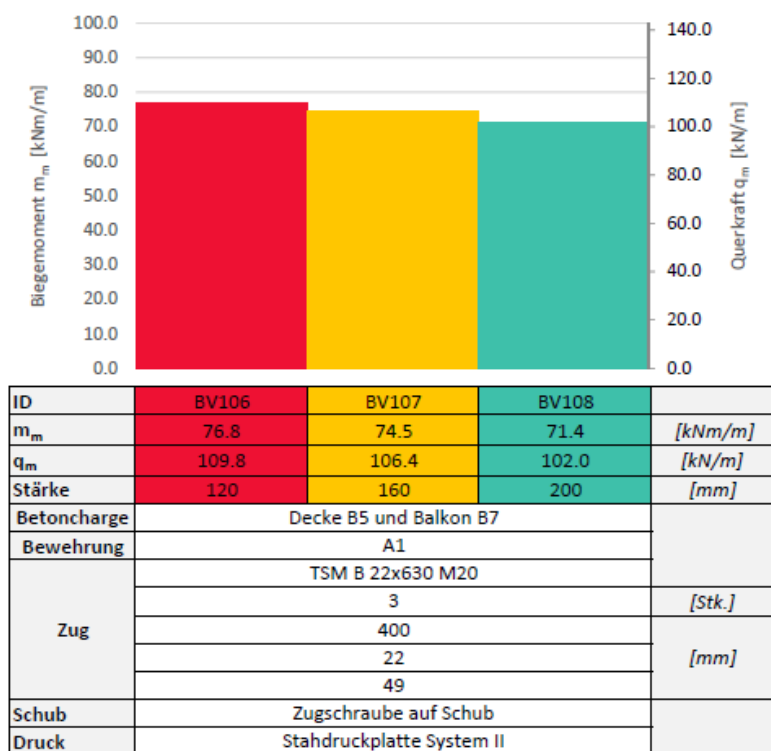


Abbildung 28: Versuchsergebnisse System II

Als Schwarz-Weiß-Verbindung wird eine Schweißverbindung zwischen Edelstahl und niedrig legiertem Normalstahl bezeichnet. Bei diesen Verbindungen bzw. bloßem Kontakt von Normal- und Edelstahl ist bei Vorhandensein eines Elektrolyts wie Wasser oder der Feuchte der Luft Kontaktkorrosion gegeben. Durch die leitende Verbindung der beiden Metalle mit unterschiedlichem Lösungspotenzial wird das unedlere Metall (Normalstahl) zur Anode und das edlere (Edelstahl) zur Kathode. Die Potentialdifferenz führt zu einer beschleunigten Korrosion (Auflösung) der Anode bzw. des Normalstahls. Diesem Effekt kann durch korrosionshemmende Deckschichten entgegengewirkt werden. Auch beeinflussen die Flächenverhältnisse der Elektroden die Stromdichten und damit die Korrosionsgeschwindigkeit.

Ad 1: Bei der Schwarz-Weiß-Schweißung werden Zug-, Schub- und Druckstab aus Edelstahlbewehrung vom Typ 1.4462 an eine Grundplatte aus Baustahl vom Typ S355 angeschweißt (siehe Abbildung 29). Für diese Schweiß-Verbindung ist eine Schweißanweisung mit einem akkreditierten Unternehmen mit Prüfbericht (Steel for you GmbH, 2015) durchzuführen.

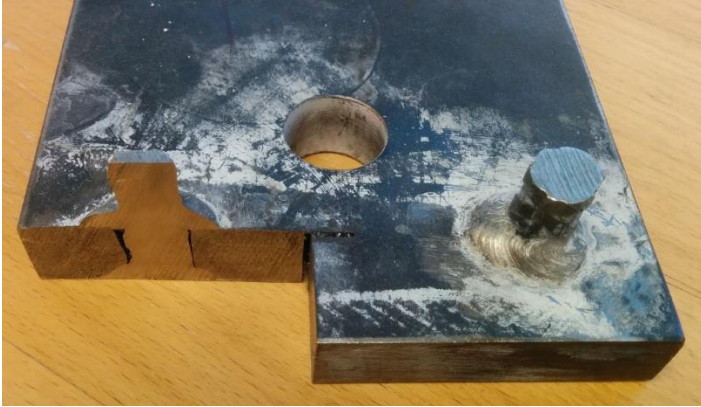


Abbildung 29: Nicht geglückte Probeschweißung zur Entwicklung der Schweißanweisung

Ad 2: Weiters wäre eine Variante denkbar, bei der das gesamte thermische Entkopplungselement an die korrosionsgeschützte Betonschraube vom Typ HMS-H 22x2200 M24 geschraubt wird. Da Kontaktkorrosion nur bei leitender Verbindung auftritt, wird die elektrische Leitung über eine GFK- Buchse und -Scheibe unterbunden (siehe Abbildung 30). Eine Vorbemessung auf Mittelwertbasis bestätigt die Durchführbarkeit.

Ad 3: Eine weitere Möglichkeit ist die Verschiebung der Schwarz-Weiß-Verbindung auf den Schaft der Betonschraube und somit in den Innenbereich der Beton-Anschlussdecke. Da sich der Übergang von Normal- auf Edelstahl im Bauteilinneren befindet und durch Verbundmörtel geschützt ist, kann der Zutritt eines Elektrolyts und somit Kontaktkorrosion ausgeschlossen werden. Dieses Verfahren wird in ähnlicher Weise bei am Markt verfügbaren thermischen Entkopplungsprodukten seit geraumer Zeit praktiziert. Im Detail wird bei dieser Variante der Schaft der Betonschraube vom Typ HMS-H 22x2200 M24 um eine M24-ISO-Gewindestange aus Edelstahl durch Reibschweißung ergänzt.

Im vorliegenden Projekt findet Variante 1 Anwendung. Diese spart teures Edelstahlmaterial ein, erfordert keine Schraubenneuentwicklung und scheint somit zum Zeitpunkt der Entscheidung einfach umsetzbar.

1.3.6 Experimentelle Untersuchung: Vier-Punkt-Biegezug-Bauteilversuche am Teil- und Gesamtsystem ohne Anschlussbewehrung

Im Projekt THERM-opti-BALKON-P2 werden als Vorbereitung zur Pilotanwendung des THERM-opti-BALKON Systems die vorliegenden Bauteilversuche am Teil- und Gesamtsystem für die nachträgliche Montage des Systems an Decken, bei denen keine Anschlussbewehrung vorhanden ist, durchgeführt.

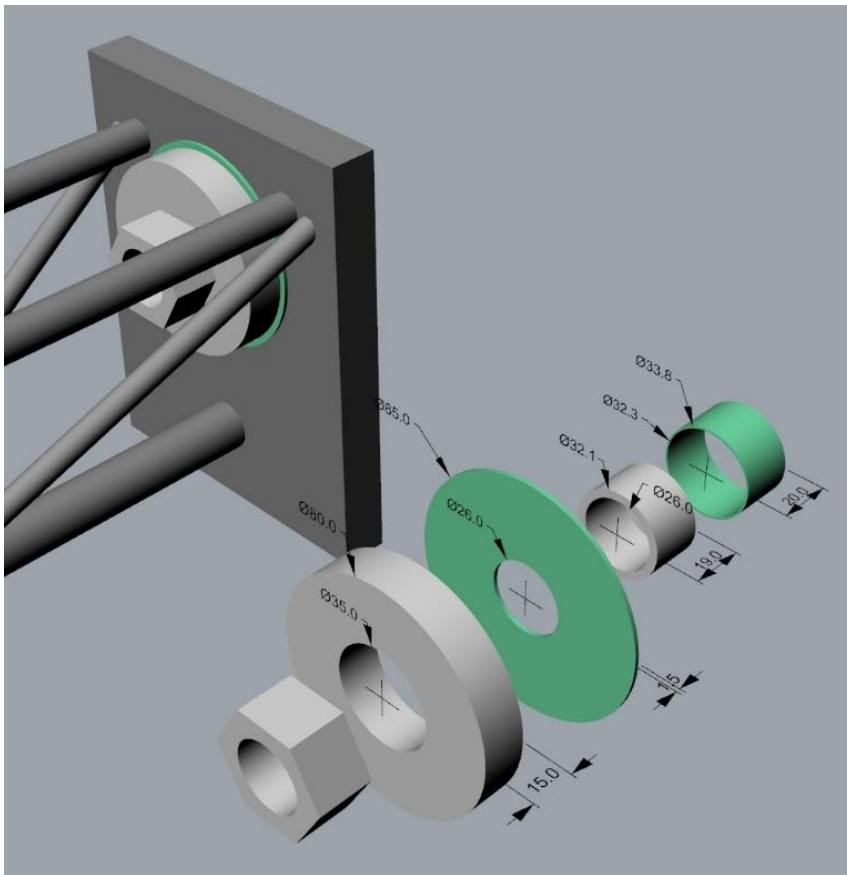


Abbildung 30: Explosionsdarstellung der Schraubverbindung mit grüner GFK-Buchse und Scheibe

Ableitung der Versuchsanordnung: Aus den vorhergehenden Versuchsergebnissen in Abschnitt 1.3.4 wird beschlossen, „System II“ weiterzuentwickeln. Um die Schubübertragung über die Zugschraube auf Lochleitung zu verbessern, wird ein Wechsel des reibgeschweißten M20 ISO-Gewindes auf ein M24 ISO-Gewinde vollzogen.

Da in der Anschlussdecke keine Anschlussbewehrung vorhanden ist, muss deren Funktion von Betonschrauben übernommen werden. Dabei ist auf eine Verankerung der Schrauben hinter der Momenten-Nulllinie des Deckensystems unter Berücksichtigung des Versatzmaßes³ zu gewährleisten. Um den Momenten-Nulldurchgang im Versuch abzubilden, bedarf es eines Wechsels des mechanischen Systems von einem statisch bestimmten System zu einem statisch unbestimmten (siehe Abbildung 31). Theoretisch wäre auch ein statisch bestimmter Gerberträger mit einem Gelenk im Bereich des Momenten-Nulldurchgangs möglich gewesen. Die Ausführung eines zuverlässigen Gelenks ist im vorliegenden Fall aber schwierig.

Das statische System 1 in Abbildung 31a kann das reale System approximieren. Die zufolge der in der Realität wirkenden Gleichlast quadratischen Momentenverläufe werden aufgrund der punktförmigen Belastung im Versuch linear angenähert. Da der Versuch in den Rahmen der vorhandenen Versuchsmaschine passen muss, wird das naheliegende statische System 1 zum statische System 2 in Abbildung 31b adaptiert. Dafür wird an Stelle

³ Die Nachweisführung für Biegung und Querkraft erfolgt getrennt. Um die Effekte der Interaktion zwischen Biegung und Querkraft zu berücksichtigen sieht EN 1992-1-1 das sogenannte Versatzmaß a_v vor.

des Balkons der Kraft F_{Balkon} ein Gleitlager in System 2 eingeführt. Die Belastung erfolgt durch die Kraft F_{Wand} . Das dortige Gleitlager wird entfernt. Diese Anordnung hat den Nachteil, dass die Kraft an Stelle des Balkons nun eine Auflagerkraft ist, die nicht gemessen wird und folglich nicht mehr bekannt ist. Diese muss aus dem statischen System rückgerechnet werden. Da das System statisch unbestimmt ist, und somit zur Berechnung der Auflagergrößen zusätzliche Formänderungsbedingungen zu erfüllen sind, werden Annahmen zu den vorhandenen Steifigkeiten getroffen. Im Fall des Betonquerschnitts gibt es beispielsweise einen deutlichen Steifigkeitsabfall im Vergleich des ungerissenen (Zustand I) zum gerissenen Querschnitt (Zustand II).

Bei den Bauteilversuchen am Teilsystem aus dem Projekt THERM-opti-BALKON wird nur das Deckensystem als Betonprüfkörper ausgeführt. Der Balkon wird mit IPE-200 Trägern idealisiert.

Demgegenüber wird bei den Bauteilversuchen am Gesamtsystem das gesamte statische System des realen Systems mit Anschlussdecke, thermischer Entkopplung und Balkon im Versuch nachgebildet.

Versuchsprogramm: Erstmals wird im Zuge dieser Arbeit die thermische Entkopplung auch nach thermischen Gesichtspunkten optimiert. Um den Wärmedurchgang im Bereich der thermischen Gebäudehülle gering zu halten, werden alle Zug-, Druck- und Schubelemente aus Edelstahl vom Typ 1.4462 ausgeführt. Dieser Edelmetalltyp zeigt mechanische Eigenschaften vergleichbar mit herkömmlichem Bewehrungsstahl B550B. Die Wärmeleitfähigkeit ist mit ca. 15 W/m/K im Fall des Edelstahls im Vergleich zum Bewehrungsstahl mit 50 W/m/K bis 60 W/m/K wesentlich geringer. Da das Problem der Kontaktkorrosion bei Verbindungen von Normalstahl mit Edelstahl beim Verbinden der Betonschraube mit dem thermischen Entkopplungselement aus Edelstahl auftritt, werden dafür Lösungen entwickelt. So wird in der vorliegenden Variante die Grundplatte des thermischen Entkopplungselements aus Baustahl S355 ausgeführt, an welches die Edelstahlbewehrung angeschweißt wird.

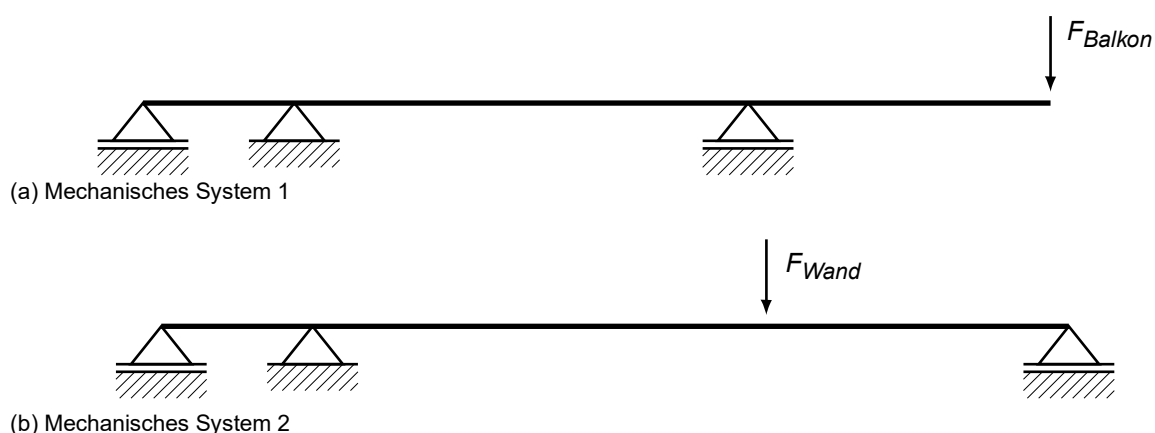


Abbildung 31: Mechanisches Versuchssystem

Für die Versuche werden neue Bewehrungskörbe gemäß Abbildung 34 entworfen. Diese besitzen nur auf der Druckseite Längs- und Querbewehrung.

Als Besonderheit müssen aufgrund der eingesetzten Betonschrauben vom Typ TSM B 22x2200 M24 Bohrlöcher mit Durchmesser 22 mm hergestellt werden, die anschließend auf Durchmesser 25 mm im Bereich des M24 Anschlussgewindes aufgebohrt werden.

Da die Verankerung der Schraubenkraft hinter der Momenten-Nulllinie erfolgen muss, sind große Einbindetiefen der Betonschrauben erforderlich. Geringe Schiefstellungen des Bohrers bei großen Einbindetiefen führen zu einer großen vertikalen Abweichung, was im schlechtesten Fall zu einer Durchdringung der Oberfläche führen kann. Um eine möglichst präzise Bohrung zu erreichen, wird eine neue Präzisionsbohrführung entwickelt. Diese lehnt sich vom Design und Funktionsprinzip an Bohrführungen für Diamantbohrgeräte an (siehe Abbildung 35). An der Plattenstirnseite wird ein Spreizdübel montiert. An diesen wird die eigentliche Bohrführung festgeschraubt, nachdem der Bohrer mit dem SDS-Stück von vorne durch die Bohrführung geschoben wurde. Anschließend lässt sich die Bohrführung über vier Schrauben feinjustieren.

Bei den Vollbauteilversuchen erfolgt die Herstellung in zwei Betonageschritten. Nachdem der Probekörper „Bestandsdecke“ hergestellt ist, kann das Rückverankerungssystem aus Betonschrauben eingebracht, die thermische Entkopplung montiert und der Lastausleitungsbereich geschalt werden. Alle Arbeitsschritte sind in Abbildung 36 dargestellt.

Das entwickelte Versuchsprogramm ist in Tabelle 2 dargestellt. Bauteilversuche am Teilsystem sind Bauteilversuch BV65 und BV66 aus Versuchsserie VS07. Diese besitzen eine Deckenstärke von 200 mm. Die Herstellung erfolgt in Betoncharge B5. Der Bewehrungskorb ist vom Typ A5. Die drei eingebrachten Zugschrauben sind mit 1150 mm verankert. Die beiden Versuche unterscheiden sich durch eine vorhandene Schaftentkopplung in Bauteilversuch BV66 gegenüber Bauteilversuch BV65. Alle übrigen Versuchsparameter sind ident.

Die für das Pilotprojekt durchgeführten Laborversuche BV120, BV121 und BV122 sind parameterident. Aufgrund der in der Pilotanwendung vorhandenen Deckenstärke von 180 mm wird diese in den Versuchen übernommen. Die Verankerungstiefe entspricht jeweils 1600 mm bei Schaftentkopplung.

Alle Betonschrauben dieser Versuchsreihe werden geklebt als Verbundankerschrauben mit Schaftentkopplung ausgeführt.

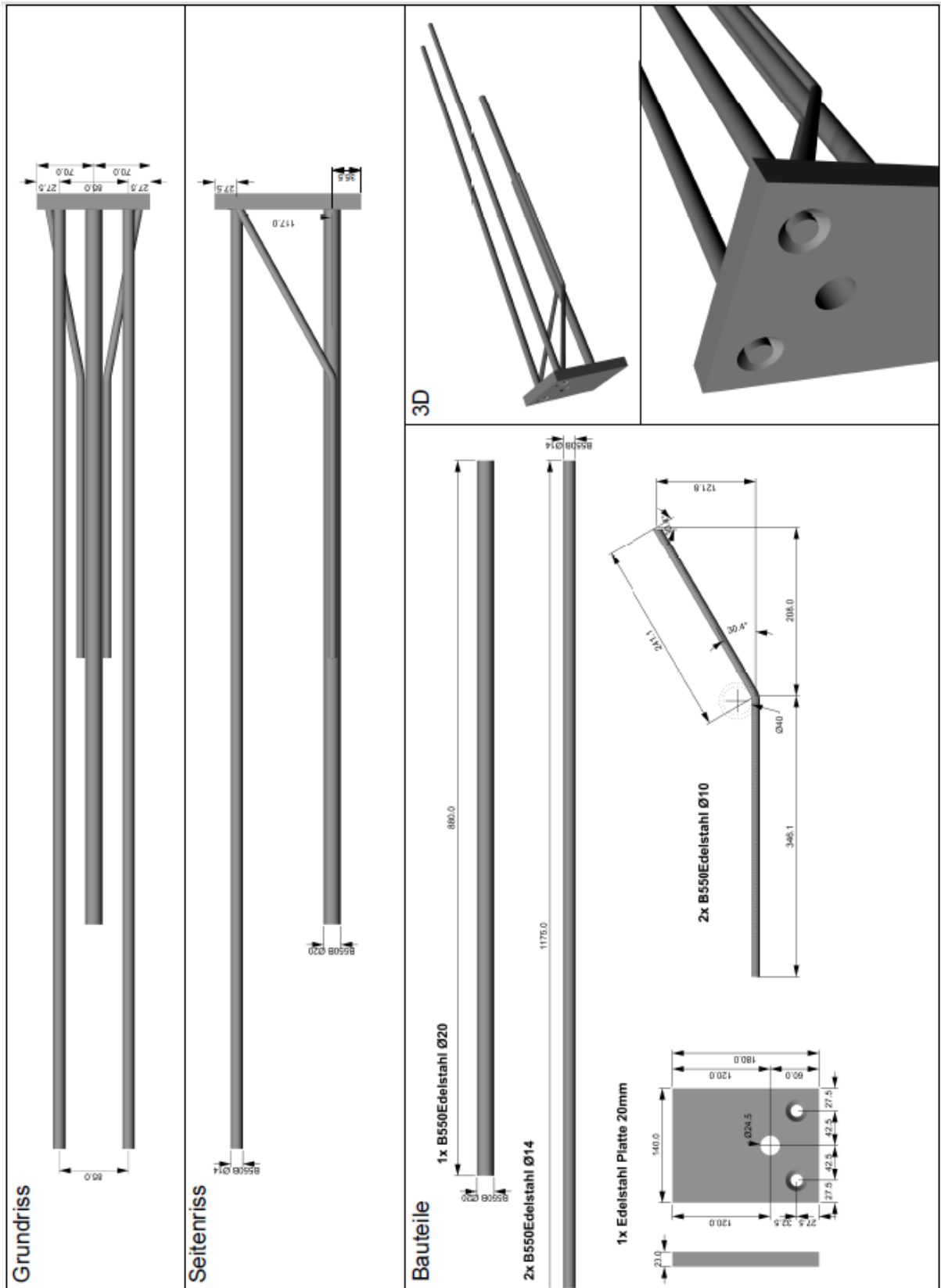
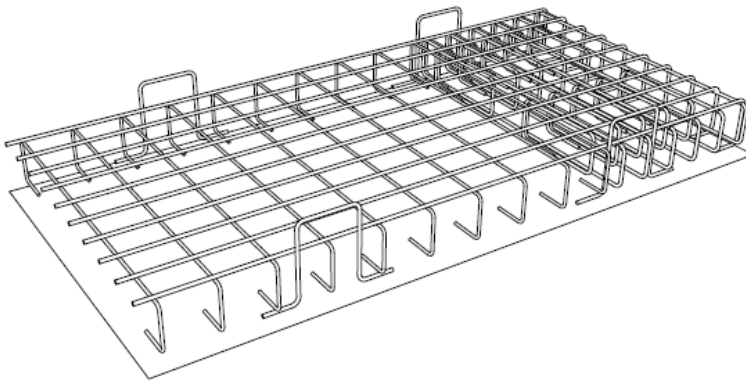


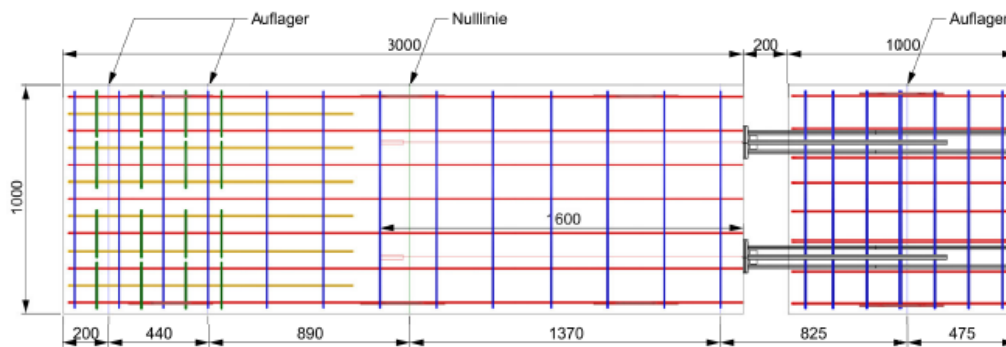
Abbildung 32: Konstruktionszeichnung der thermischen Entkopplung System S11d



Abbildung 33: Thermische Entkopplung System SII aus einer Baustahl-Edelstahlkombination



(a) Bewehrungskorb A5



(b) Bewehrungskorb A5

Abbildung 34: Bewehrungskörbe



Abbildung 35: Präzisionsbohrführung

Tabelle 2: Versuchsprogramm

ID	Versuchsserie VS	Betoncharge B	Deckenstärke [mm]	Bewehrung	Lastein- Zug						Schub	Druck	-über-		-ausleitung
					Verankerungsmittel	Anzahl Bohrlöcher bzw. Zugglieder [Stk.]	Verankerungstiefe [mm]	Schaftentkopplung	Bohrloch- durchmesser D [mm]	Randabstand R [mm]			Stärke Dämmkörper [mm]	Betoncharge B	Balkonstärke [mm]
BV65	VS7	B5	200	A5	TSM B 22x2200 M24	3	1150	nein	22 und 25	60	Zugschraube auf Schub	D1	-		200
BV66								ja							
BV120	VS12	B8	180	A6	TSM B 22x2200 M24	2	1600	ja	22 und 25	60	Zugschraube auf Schub	S11d	200	B9	180
BV121															
BV122															



(a) Erstellung Bohrloch



(b) Einbringen Betonschraube



(c) Montage der thermischen Entkopplungselemente



(d) Installation lokaler Dämmkörper zur Abschalung



(e) Installation Abschalung Balkon



(f) Detailbild thermische Entkopplung im Bereich der thermischen Gebäudehülle

Abbildung 36: Montage Rückverankerungssystem und thermische Entkopplung System S1ld

Versuchsdurchführung: Bauteilversuch BV65 und BV66 werden beide am Prüfgerät Instron 1600 kN durchgeführt. Abbildung 37 stellt den veränderten Versuchsaufbau gegenüber den Drei-Punkt-Versuchen dar. Die Versuchsanordnung wird dabei an die geometrischen Vorgaben des Prüfrahmens adaptiert. Die Kraft- bzw. Verschiebungsmessungen erfolgen in Analogie zu vorigen Abschnitten.

Die Bauteilversuche BV120, BV121 und BV122 können nicht mehr im Prüfrahmen der Prüfmaschine Instron 1600 kN durchgeführt werden, da das reale Deckensystem der Pilotanwendung die geometrischen Abmessungen vorgibt. Deshalb wird auf die Prüfmaschine Hydropuls 630 kN ausgewichen. Abbildung 38 zeigt das Testsystem.

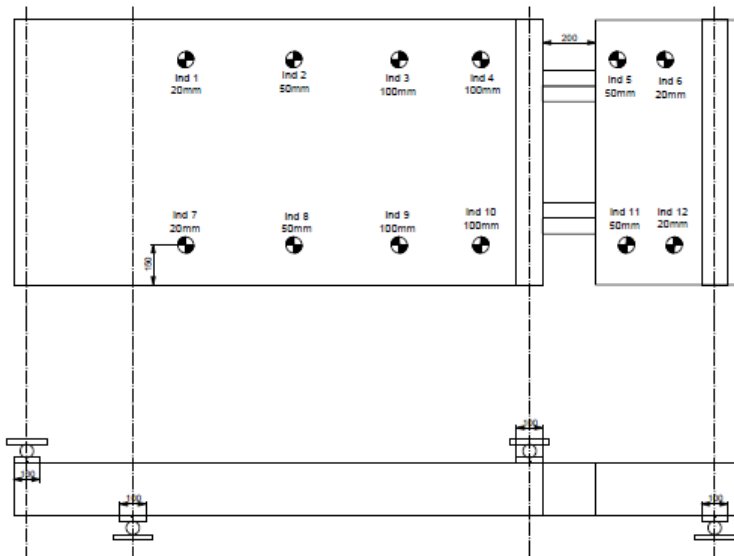
Versuchsauswertung: In einem ersten Schritt werden die Versuche gruppiert. Dabei bilden Versuche mit identen Versuchsparametern jeweils eine Versuchsgruppe. Im

vorliegenden Fall trifft das nur auf die drei Bauteilversuche BV120, BV121 und BV122 zu. Deshalb wird im Versuchsprogramm auch auf die Gruppennummerierung verzichtet. Anschließend werden die digitalen zeitlich aufgelösten Kraft- und Weginformationen der Messaufnehmer einer Versuchsgruppe in einem Kraft-Verformungs-Diagramm geplottet. Zusammen mit Aufzeichnungen aus dem Versuchsprotokoll und Fotodokumentation können die Ergebnisse erstinterpretiert werden. Im nächsten Schritt werden die direkt vorliegenden Ergebnisse wie

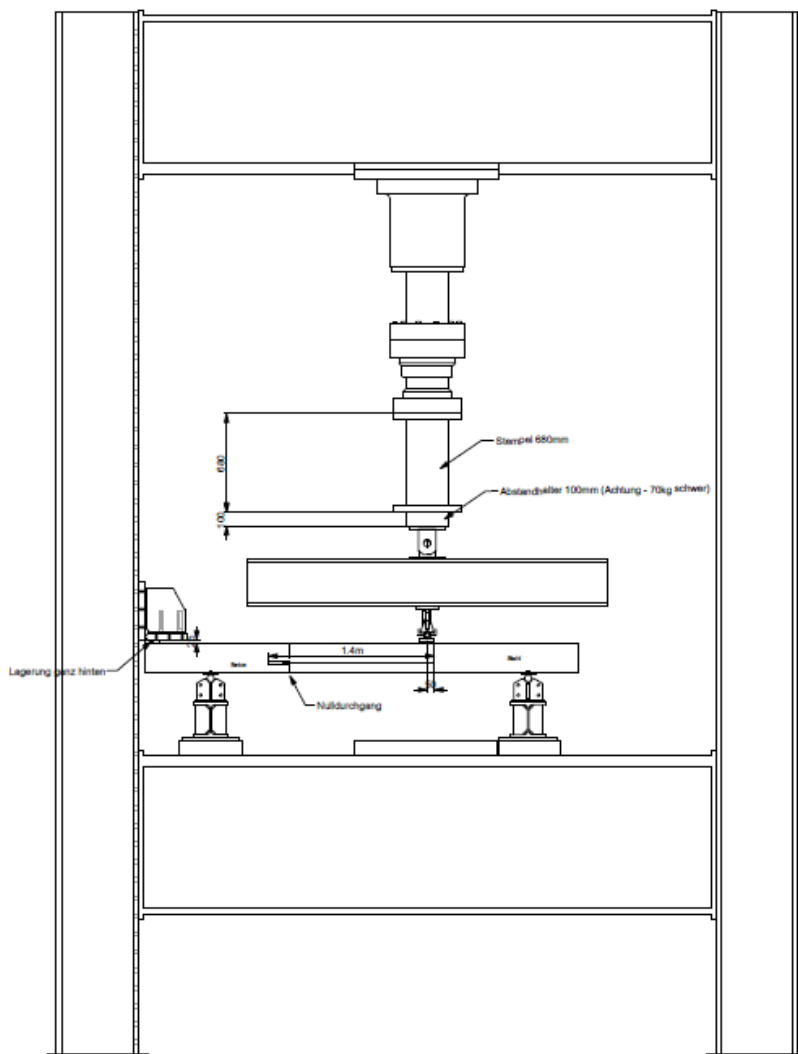
- Versagensart von Zug-, Schub und Druckglied (Versuchsprotokoll und Fotodokumentation),
- Maschinenhöchstlast (Kraftmessdose Maschine) und zugehöriger Maschinenweg (Wegmessung Maschine) und
- Schraubenhöchstlasten (Kraftmessdose bei der Schraube)

in eine elektronische Tabelle übertragen.

In weiterer Folge kann, basierend auf dem zugrunde gelegten statischen Modell, das im Bereich der thermischen Entkopplung wirkende Moment und die zugehörige Querkraft berechnet werden. Für die Ermittlung des Biegemoments werden die gemessenen Schraubenkräfte F_S mit angenommenen Grenzwerten des unbekanntes Hebelarmes multipliziert. Die angenommenen Grenzwerte des Hebelarmes unterscheiden sich in den vorliegenden Versuchen der Versuchsserie VS07 – Bauteilversuch BV65 und BV66 – und Versuchsserie VS12 – Bauteilversuch BV120, BV121 und BV122.

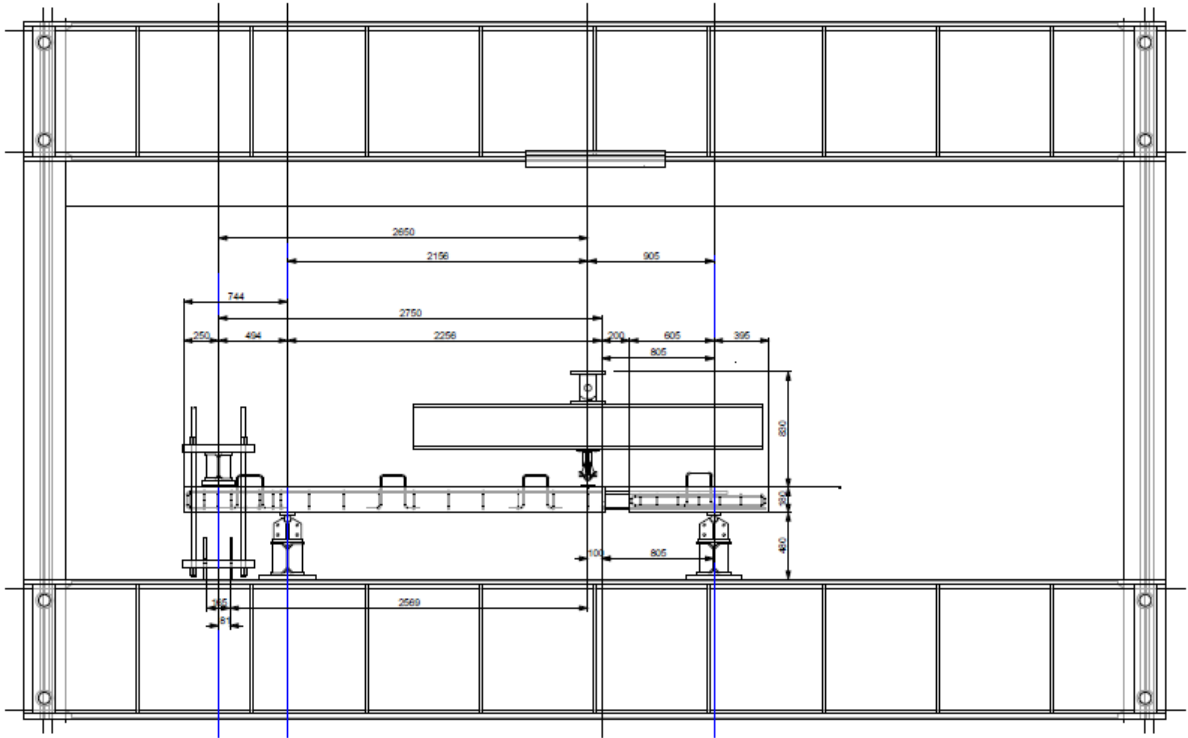


(a) Grundriss

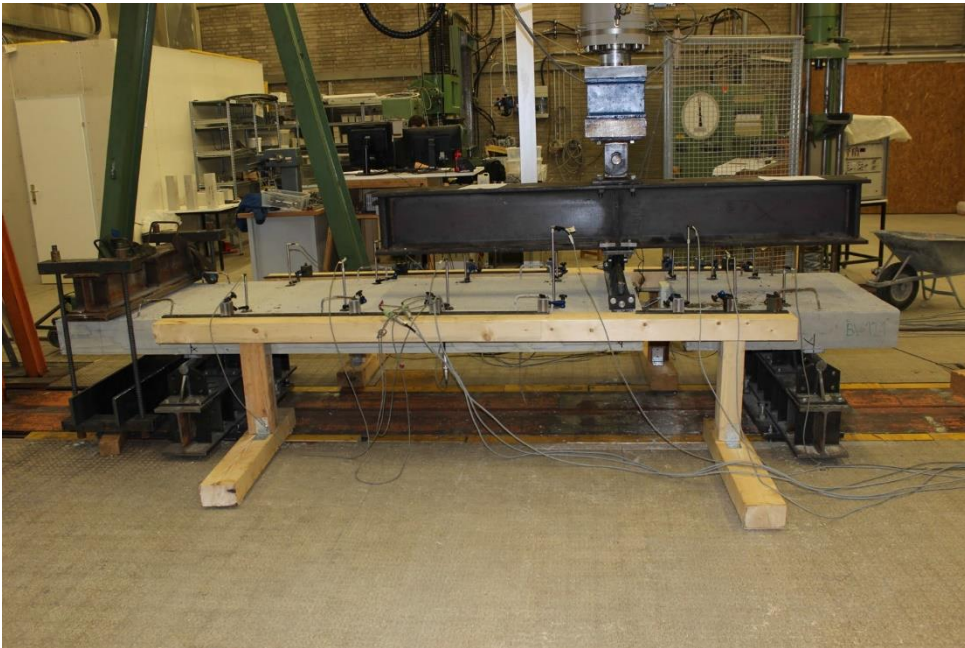


(b) Frontalriss

Abbildung 37: Versuchsaufbau Bauteilversuche BV65 und BV66

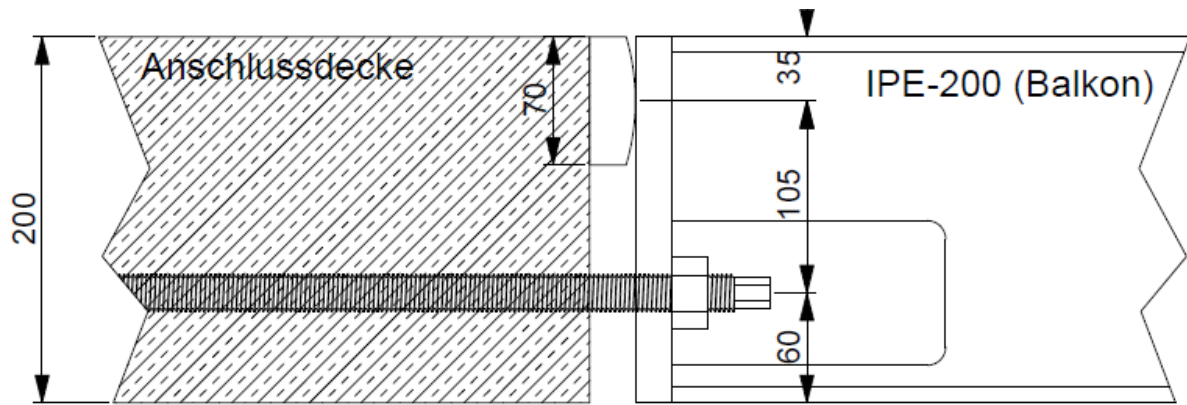


(a) Versuchsaufbau

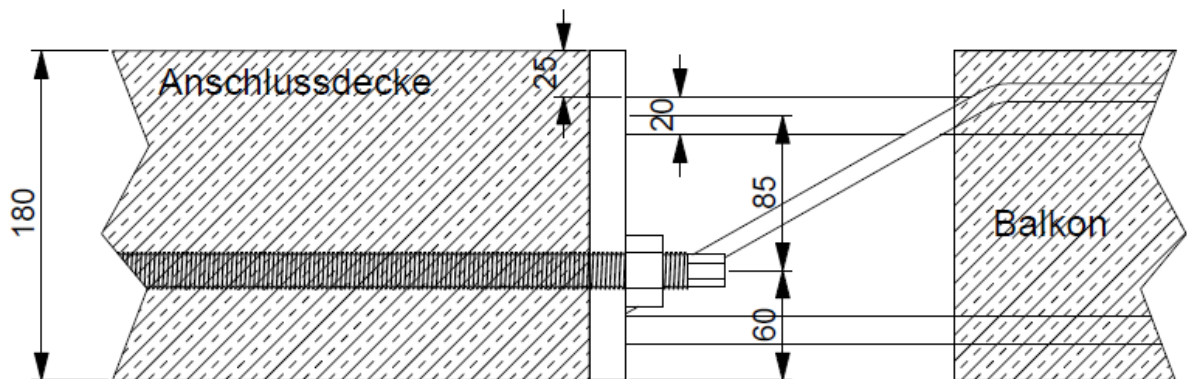


(b) Versuchsaufbau Labor

Abbildung 38: Versuchsaufbau Bauteilversuche BV120, BV121 und BV122



(a) BV65 und BV66



(a) BV120, BV121 und BV122

Abbildung 39: Ermittlung des inneren Hebelarmes d (Maße in mm)

Für BV65 und BV66 ergeben sich gemäß Abbildung 39a und unter Annahme eines Spannungsblocks und einer Teilflächenbelastung auf Druck des Stahlbetons folgende Werte für den maximalen inneren Hebelarm:

$$d_{max, BV65\&66} = \underbrace{200 \text{ mm}}_{\text{Deckenhöhe } h} - \underbrace{60 \text{ mm}}_{\text{Randabstand } R} - \underbrace{\frac{F_S}{6 \cdot \underbrace{150 \text{ mm}}_{\text{Breite Druckelement}} \cdot \underbrace{43,7 \text{ MPa}}_{\text{Bauteilfestigkeit Beton}}}}_{\text{Druckzonenhöhe halbe}} < 140 \text{ mm} \quad (2)$$

bzw. den minimalen inneren Hebelarm:

$$d_{min, BV65\&66} = \underbrace{200 \text{ mm}}_{\text{Deckenhöhe } h} - \underbrace{60 \text{ mm}}_{\text{Randabstand } R} - \underbrace{\frac{70 \text{ mm}}{2}}_{\text{Druckelementenhöhe halbe}} = 105 \text{ mm.} \quad (3)$$

Für die Bauteilversuche BV120, BV121 und BV122 ergeben sich gemäß Abbildung 39b der maximale innere Hebelarm zu:

$$d_{max,BV120ff} = \underbrace{180 \text{ mm}}_{\text{Deckenhöhe } h} - \underbrace{60 \text{ mm}}_{\text{Randabstand } R} - \frac{\overbrace{F_S}^{\text{Schraubenkraft}}}{6 \cdot \underbrace{140 \text{ mm}}_{\text{Breite Druckelement}} \cdot \underbrace{56,0 \text{ MPa}}_{\text{Bauteilfestigkeit Beton}}} < 105 \text{ mm}$$

Druckzonenhöhe halbe

(4)

Bzw. der minimale innere Hebelarm zu:

$$d_{min,BV120ff} = \underbrace{180 \text{ mm}}_{\text{Deckenhöhe } h} - \underbrace{60 \text{ mm}}_{\text{Randabstand } R} - \underbrace{25 \text{ mm}}_{\text{Betondeckung}} - \frac{20 \text{ mm}}{2} = 85 \text{ mm}.$$

Stabdurchmesser
halbe

(5)

Die zugehörigen Biegemomente können aus dem minimalen bzw. maximalen Wert des inneren Hebelarmes mittels:

$$M_{max} = F_S \cdot n \cdot d_{max} \quad (6)$$

bzw.

$$M_{min} = F_S \cdot n \cdot d_{min} \quad (7)$$

aus der im Mittel erreichten Schraubenlast F_S multipliziert mit der Schraubenanzahl n des Versuchs ermittelt werden. Alternativ kann eine Rückrechnung aus der gemessenen Maschinenkraft F erfolgen. Basierend auf einem statisch unbestimmten Modell gemäß Stabtheorie, kann unter Abschätzung der Steifigkeiten für den Beton und die thermische Entkopplung das im Bereich der thermischen Entkopplung wirkende Moment und die zugehörige Querkraft ermittelt werden. Da im Versuch ein Fließgelenk auftritt, wird zwischen zwei Systemzuständen mit und ohne vorhandenem Fließgelenk unterschieden.

Bei bekanntem Moment im Bereich der thermischen Entkopplung ergibt sich die Querkraft Q aus Gleichgewichtsüberlegungen jeweils zu

$$Q = M/l_2, \quad (8)$$

wobei l_2 den Abstand zwischen dem Auflager und der Krafteinleitung misst.

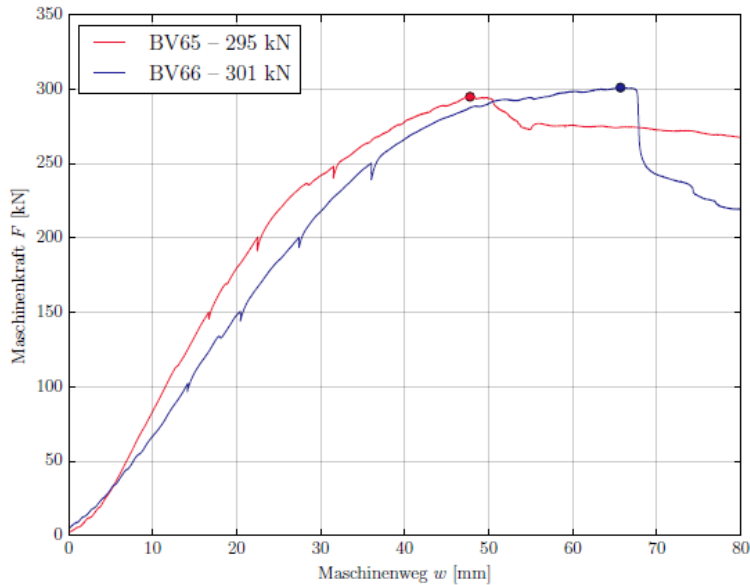


Abbildung 40: Maschinenkraft über Maschinenweg Bauteilversuch BV65 und BV66

Versuchsergebnisse: Abbildung 40 stellt die gemessene Maschinenkraft über dem Maschinenweg der Bauteilversuche BV65 und BV66 dar. Es ist ersichtlich, dass eine Klebung des Schaftes in Bauteilversuch BV65 bzw. eine Entkopplung des Schaftes in Bauteilversuch BV66 bei der Höchstlast der Maschinenkraft von 295 kN und 301 kN zu keinen signifikanten Unterschieden führt. Das leicht steifere Verhalten von Versuch BV65 könnte auf die Klebung des Schaftes und den damit einhergehenden Effekt des Tension-Stiffenings, d.h. Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen, zurückzuführen sein.

In Abbildung 41 der Bauteilversuche BV65 und BV66 wird weiterführend die gemittelte Schraubenkraft der drei Zugschrauben visualisiert. Hier fällt die mittlere erreichte Schraubenhöchstlast bei Bauteilversuch BV65 mit 288 kN gegenüber Bauteilversuch BV66 mit 264 kN höher aus. Dies zeigt, dass der innere Hebelarm d bei Erreichen der Höchstlast abnimmt, da der Beton im Bereich der Druckeinleitung zerstört wird. Interessanterweise können in beiden Versuchen die herkömmlichen Herausziehlasten des verwendeten TOGE Betonschraubenmodells vom Typ HSM-H 22x2200 M24 bei Weitem überschritten werden. Dies deutet darauf hin, dass eine zusätzliche Übertragung von Zugkräften über den Schraubenschaft stattfindet. Während das bei Bauteilversuch BV65 mit geklebtem Schaft nicht verwundert, ist diese Erkenntnis für den ungeklebten Schaft neu. Da die Schubschraube zusätzlich mit Querkraft beansprucht wird, fördert das den Reibwiderstand.

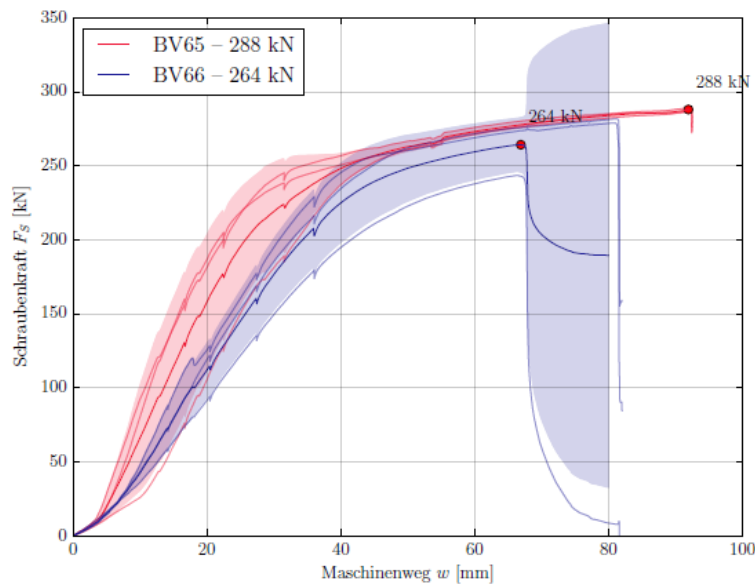


Abbildung 41: Schraubkraft über Maschinenweg Bauteilversuch BV65 und BV66

Das übertragbare Moment ergibt sich unter Zugrundelegung von

- $d_{min} = 105 \text{ mm}$ und
- $d_{max} = 140 \text{ mm}$

für Bauteilversuch BV65 zu

- $M_{min} = 91 \text{ kNm/m}$ und
- $M_{max} = 121 \text{ kNm/m}$ bzw.
- $Q_{min} = 130 \text{ kN/m}$ und
- $Q_{max} = 173 \text{ kN/m}$

und für Bauteilversuch BV66 zu

- $M_{min} = 83 \text{ kNm/m}$ und
- $M_{max} = 111 \text{ kNm/m}$ bzw.
- $Q_{min} = 119 \text{ kN/m}$ und
- $Q_{max} = 158 \text{ kN/m}$.

l_2 ist jeweils mit 700 mm gegeben.

In den Bauteilversuchen BV120, BV121 und BV122 wird eine Maschinenkraft F von 88 kN/m bis 93 kN/m erreicht (siehe Abbildung 42). Der Mittelwert der parameteridenten Versuche entspricht 91 kN/m mit einer geringen Standardabweichung von 2,5 kN/m.

Abbildung 43 visualisiert die gemessenen Schraubkräfte (schwarze Linien) aller Versuche. Da diese je Versuch paarweise belastet werden, kann es aufgrund der statischen Unbestimmtheit des Systems und Schwankungen der angenommenen

Steifigkeiten dazu kommen, dass je Versuch eine der beiden Schrauben größere Kräfte aufnimmt, als deren Pendant. Dies führt zu einer relativ großen Streuung der Messergebnisse. Deshalb wird die mittlere Schraubenhöchstlast über einen mittleren Verlauf aus allen Schrauben (rote Linie) zu 198 kN pro Schraube bestimmt.

Das übertragbare Moment ergibt sich somit unter Zugrundelegung von

- $d_{min,BV120ff} = 85$ mm und
- $d_{max,BV120ff} = 120$ mm zu
- $M_{min} = 34$ kNm/m und
- $M_{max} = 48$ kNm/m.

Damit entspricht die übertragene Querkraft minimal $Q_{min} = 37$ kN/m und $Q_{max} = 53$ kN/m bei $l_2 = 905$ mm.

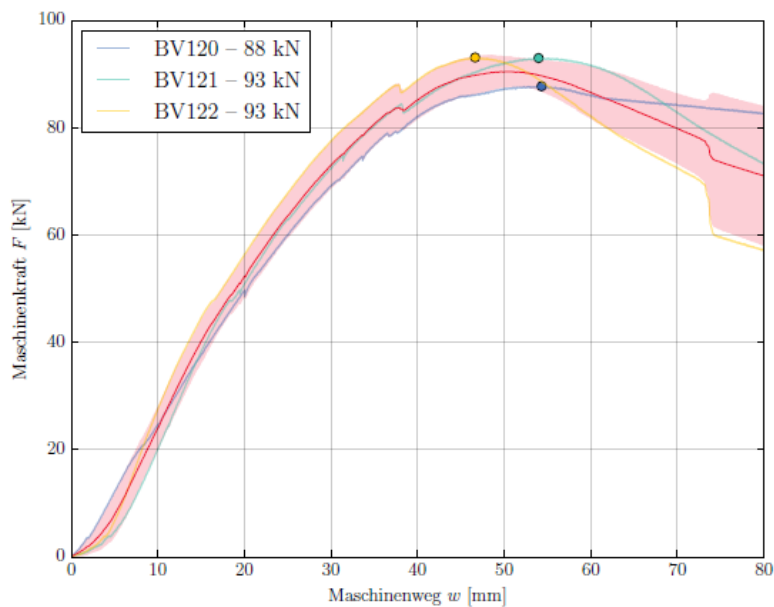


Abbildung 42: Maschinenkraft über Maschinenweg Bauteilversuche BV120, BV121 und BV122

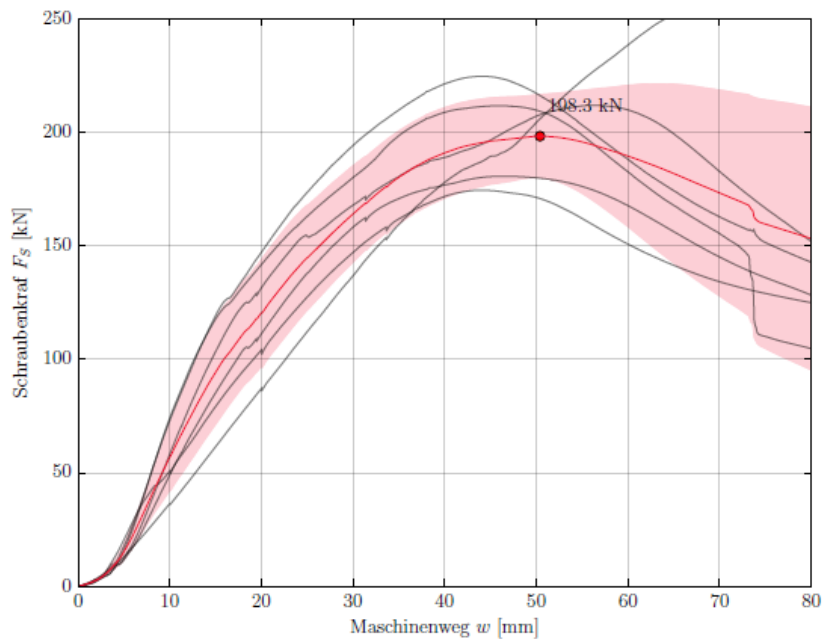


Abbildung 43: Schraubenkraft über Maschinenweg der Bauteilversuche BV120, BV121 und BV122 (jeweils zwei Schrauben pro Versuch)

Ergebniszusammenfassung und Schlussfolgerungen: In den vorliegenden Versuchen kann jeweils die gesamte Herausziehlast der Betonschrauben mobilisiert werden. Da diese in Bauteilversuch BV65 und BV66 noch weit überschritten wird, kann darauf geschlossen werden, dass neben dem Verbund des Verbundstücks auch Zugkräfte über Reibung bzw. Verbund bei geklebtem Schaft in das Bauteil eingetragen werden.

Die im Labor gegebenen geometrischen Einschränkungen des Prüfrahmens führen zu einer sub-optimalen Prüfanordnung. Da nicht der Balkon direkt belastet wird, ist die auf ihn wirkende Last unbekannt. Kombiniert mit der statischen Unbestimmtheit des zugrundeliegenden mechanischen Systems ist eine Berechnung der im Bereich der thermischen Entkopplung wirkenden Biegemomente und zugehörige Querkräfte schwierig und kann nur in einer Bandbreite mit Minimal- und Maximalwert angegeben werden. Wünschenswert wäre somit die Durchführung der Versuche auf einem Aufspannboden, bei dem der Versuch nicht geometrisch beengt wird.

2 Ergebnisse⁴

Die Montage des THERM-opti-BALKON „System II“ startet nach Verzögerungen am 28. Oktober 2016. In einem ersten Arbeitsschritt wird ein Arbeitsgerüst aufgestellt (siehe Abbildung 44a). Anschließend kann in Arbeitsschritt zwei die Stirnseite der Betondecke freigelegt werden. Das ist notwendig, weil am Bestandsgebäude ein Holzbalkon an punktuell auskragenden Stahlstehern befestigt war. Dazu wird mit einem Winkelschleifer mit eingesetztem Diamantschneideblatt die thermische Gebäudehülle aus Dämmputz an der betreffenden Stelle aufgeschnitten (siehe Abbildung 44a). Anschließend wird die Oberfläche mit einem Flachmeißel abgespeckt (siehe Abbildung 44b). Um diese zu glätten kommt ein kleiner Winkelschleifer mit Diamantschleiftopf zum Einsatz (siehe Abbildung 44c). Die Herstellung einer für die Druckübertragung ausreichend planen Oberfläche gelingt mit dieser Methode nicht.



(a) Aufschneiden der thermischen Gebäudehülle



(b) Abspecken der Betonoberfläche



(c) Schleifen der Oberfläche

Abbildung 44: Freilegen der Stirnseite der Betondecke des Bestandsgebäudes

Im Arbeitsschritt drei erfolgt die Herstellung der Bohrlöcher am 28. Oktober 2016. Mit dem Bewehrungssuchgerät PS 1000 X-Scan-System gemäß Abbildung 13 soll dafür die oberflächennahe Bügelbewehrung ermittelt werden. Das gelingt nicht, da das Gerät für den ausgeschnittenen Bereich zu groß ist. Somit wird ausgehend vom freigelegten Bereich gemäß Abbildung 14 der Bügelabstand von 15 cm auf der Deckenstirnseite mit Maßband und Bleistift abgeschlagen. Auf dieser Basis erfolgt die Festlegung der sieben notwendigen Verankerungspunkte zwischen den angenommenen Bügelpositionen. Um die Bohrführung zu setzen, bedarf es einer Hilfsbohrung in der ein Spreizdübel eingebracht wird. Nach einstecken des Bohrers in die Bohrführung kann diese mit dem Spreizdübel über ein Adapterstück vom M14 Gewinde des Spreizdübels auf einen GEWI-Stab kraftschlüssig mit einer GEWI-Mutter verschraubt werden. Die horizontale Ausrichtung der Bohrführung (siehe Abbildung 45b) mit einer Wasserwaage erfolgt mit Futterblechen. Die vier dafür an der eigens entwickelten Bohrführung vorgesehenen Stellschrauben erweisen sich als nicht zweckmäßig.

⁴ Übernommen aus (N. Fleischhacker, 2017 (lfd)) und nachbearbeitet.



(a) Hilfsbohrung mit eingesetztem Spreizdübel



(b) Ausrichten der Bohrführung



(c) Herstellung des Bohrlochs mit der Bohrführung

Abbildung 45: Herstellung der Bohrlöcher

Um zu verhindern, dass der Bohrer aufgrund leichter Schiefstellung an der Deckenoberseite austreten kann, wird – wie bei den Bauteilversuchen – eine Tendenz nach unten in der Bohrführung eingerichtet. Die anschließende Herstellung des Bohrlochs erfolgt stufenweise. So wird zuerst mit einem Durchmesser 22 mm Bohrer mit einer Arbeitslänge von 850 mm vorgebohrt (siehe Abbildung 45c). Dabei kommt es gleich beim ersten Bohrloch zu einem Bewehrungstreffer, der aber „durchbohrt“ werden kann. Anschließend wird mit einem Bohrer mit einer Arbeitslänge von 1200 mm weitergebohrt. Zuletzt kommt ein durch Reibschweißung verlängerter Bohrer mit 2000 mm Arbeitslänge zum Einsatz. Mit diesem wird das Bohrloch auf 1900 mm Tiefe gebohrt. Aufgrund der eingesetzten Betonschraube HMS-H 22x2200 M24 (siehe Abbildung 46a) muss das Bohrloch anschließend aufgebohrt werden. Dafür kommt ein Bohrer mit Durchmesser 25 mm zum Einsatz. Aufgrund der Bewehrungstreffer im oberen Bereich des Bohrlochs mit 22 mm Durchmesser gestaltet sich die Bohrung schwierig und zeitaufwändig. Daher wird bei folgenden Bohrlöchern von Beginn an ein Bohrloch mit Durchmesser 25 mm erstellt. Nur das letzte Stück, in dem das Betonschraubengewinde verankert ist, wird mit einem Durchmesser 22 mm Bohrer zu Ende gebohrt. Um ein zentrisches Bohren zu ermöglichen, wird eine Hülse aus Klebeband unmittelbar nach der Bohrkrone befestigt. Aufgrund der zahlreichen Bewehrungstreffer beim Bohren lässt sich ableiten, dass der Abstand der Oberseite der Plattenstirnseite mit 80 mm zu gering angenommen wurde.

Im Arbeitsschritt vier werden die Verbundankerschrauben am 11. November 2016 gesetzt. Dazu wird das erstellte Bohrloch mit einer Drahtbürste mit verlängertem Stiel (Gewindestange M8) dreimal gebürstet und ausgeblasen. Anschließend erfolgt die Einbringung des Verbundmörtels. Aufgrund der bereits winterlichen Außentemperaturen gestaltet sich die Einbringung des Klebers mit einer händischen Kartuschenpresse schwierig (siehe Abbildung 46b). Um den Reibwiderstand des 2 m langen Injektions-Schlauchs zu minimieren, wird dieser durch einen größeren Durchmesser mit ½ Zoll getauscht. Zudem empfiehlt sich eine Vorkonditionierung der Klebekartuschen bei Raumtemperatur. Nach Einbringung des Verbundmörtels kann die verlängerte Spezial-Schraube gemäß Abbildung 46a gesetzt werden. Dafür wird diese ins Bohrloch eingedrückt bzw. mit einem Hammer eingeklopft, bis der Bereich mit Durchmesser 22 mm vom Betonschraubengewinde erreicht ist.



(a) Spezial-Betonschraube TOGE HMS-H 22x2200 M24 mit teilweise entkoppeltem Schaft



(b) Einbringung Verbundmörtels mit händischer Kartuschenpresse



(c) Montage der Betonschraube – Eindrehen der mit einem Tangentialschlagschrauber



(d) Gesetzte Ankerpunkte abgelängt für die anschließende Montage des Entkopplungselements



(e) Einbetten des thermischen Entkopplungselements „System II“ im Mörtelbett

Abbildung 46: Setzen der Verbundankerschraube

Ab diesem Punkt wird die Betonschraube mit einem Tangentialschlagschrauber eingedreht, bis der Schraubenfuß das Bohrlochende erreicht und die Drehmomentbegrenzung des Tangentialschraubers greift (siehe Abbildung 46c). Zuletzt werden die montierten Anschlussgewinde M24 auf die erforderliche Länge mit einem Winkelschleifer mit einer Trennscheibe für Stahl abgeschnitten (siehe Abbildung 46d).

Im Arbeitsschritt fünf erfolgt die Montage des thermischen Entkopplungselements „System II“, das die Lasten des Balkons in die Bestandsdecke durch die thermische Gebäudehülle überleitet, am 17. November 2016. Da wie bereits erwähnt die Planheit der Oberfläche für die Stahl Druckplatte nicht ausreichend ist, erfolgt die Montage der Verankerungspunkte in einem Mörtelbett. Dabei kommt der Ausgleichmörtel Sika MonoTop 412N mit einer Mindest-28-Tage-Druckfestigkeit von 50 MPa zur Anwendung (siehe Abbildung 46e).



(a) tragfähige Plattform für die Schalung des Balkons



(b) Einheben der vorgefertigten Schalung mit einem Teleskopkran

Abbildung 47: Installation der Balkon-Schalung

Im Arbeitsschritt sechs am 21. November 2016 wird für die Schalung des Balkons eine tragfähige Plattform gemäß Abbildung 47a mit Betonstehern errichtet. Diese Konstruktion wird ausreichend ausgesteift und verankert. Auf diese Plattform wird die vorgefertigte Schalung durch den Anlieferungs-LKW mit dessen Teleskopkran eingehoben (siehe Abbildung 47b).

Im Arbeitsschritt sieben erfolgt der Einbau der Bewehrung des Balkons im Zeitraum vom 25. bis 27. November 2016. Dabei kommen 30 Stück Bügel mit Durchmesser 10 mm Bewehrungsstahl vom Typ B550B zum Einsatz. Zusätzlich werden wie bei einachsigen gespannten Decken Quereisen mit Durchmesser 10 mm und einer Menge von 20 % der Längsbewehrung eingeflochten (siehe Abbildung 48a und b). Weiters wird die deckenseitige Abschalung hergestellt (siehe Abbildung 48b). Diese ist im Falle einer zuvorigen Dämmmaßnahme nicht notwendig.

Im Arbeitsschritt acht am 28. November 2016 erfolgt die Betonage. Dafür wird die Arbeitsplattform um ein Geländer und eine Standplattform zum sicheren Arbeiten erweitert (siehe Abbildung 49a). Zum Einsatz kommt Beton mit Weißzement nach Architekturvorgabe. Da die Betonkonsistenz bei Anlieferung zu „flüssig“ ist, werden vom leitenden Betontechnologen Kurzfasern beigemischt. Die Einbringung des Betons erfolgt mit einer Fahrmischerbetonpumpe gemäß Abbildung 49b. Der eingebaute Beton wird mit einer Rüttelflasche ausreichend verdichtet (siehe Abbildung 49c). Anschließend wird der Beton wie in Abbildung 49d ersichtlich plan abgezogen. Zwei Stunden nach der Betonage wird die Oberfläche des leicht angesteiften Betons mit einem sogenannten „Besenstrich“ nach Architekturvorgabe versehen (siehe Abbildung 49e). Der „Besenstrich“ verleiht der Oberfläche ausreichende Rutschfestigkeit auch bei Nässe. Wenige Stunden später wird die Betonoberfläche mit XPS-Dämmplatten abgedeckt, um diese vor Frost zu schützen.



(a) Einflechten der Bewehrung des Balkons



(b) Fertig eingebaute Bewehrung und Abschalung

Abbildung 48: Binden der Bewehrung des Balkons und Errichten der Abschalung



(a) Vorbereitung Betonage



(b) Einbringen des Betons mit einer Fahrmischerbeton-pumpe



(c) Rütteln des Betons mit einer Rüttelflasche



(d) Abzogener Beton



(e) Herstellung Besenstrich

Abbildung 49: Betonage des Balkons

Am 19. Dezember 2016 wird der Balkon ausgeschalt. Dazu werden zuerst die Randelemente abgenommen und anschließend die Schalung mit einem Flaschenzug abgelassen (siehe Abbildung 50a). Um bis zur 28-Tage-Festigkeit zeitabhängigen Verformungen auszuschließen, werden gemäß Abbildung 50c zwei Betonsteher unterstellt. Diese werden erst am 15. Jänner 2017 entfernt.

Nach einer Reinigung des feuerverzinkten Stahlkranzes von Betonresten erfolgt die Montage des Geländers ebenso am 19. Dezember 2016. Dazu werden vorgesehene Gewindestangen in den Stahlkranz eingeschraubt und gekontert. Anschließend werden die Seitenelemente des Balkongeländers auf den Balkon gehoben. Im nächsten Schritt wird das Frontelement des Geländers mit Seilen auf den Balkon gezogen und in den zuvor eingeschraubten Gewindestangen eingehängt. Anschließend können die Seitenelemente des Geländers mit dem Frontelement verschraubt werden.

Die Endmontage und Installation des Monitoringsystems erfolgt am 23. Jänner 2017. Dafür wird für die beiden Verformungsmessungen jeweils eine Messplattform gemäß Abbildung 51a errichtet. Abbildung 51b zeigt den montierten Wegaufnehmer im Detail. Ausgeführt wird die Messplattform in Holz. Diese sowohl einfach zu realisierende als auch kostengünstige Lösung kann auch mit geringen Verformungen zufolge Temperatureinwirkung aufwarten und wird daher einer Lösung aus Stahl vorgezogen. Neben Verformungsmessungen werden auch Temperatur und Luftfeuchtigkeit miterfasst. Die Messdaten laufen dafür in einem zentralen Anschlusskasten zusammen, der die Messwandler beinhaltet. Von diesem aus werden über Ethernet die Messdaten an einen Messrechner übertragen und von der Messsoftware RealView 3.0 (RealView 3.0 2017) aufgezeichnet. Bei Abschluss dieser Arbeit liegen noch keine Langzeitmessergebnisse vor.

3 Schlussfolgerungen⁵

3.1 Erkenntnisse

Im Zuge des gegenständlichen Forschungsprojektes wird aufbauend auf den Ergebnissen des vorangegangenen Projektes THERM-opti-BALKON die thermische Entkopplung „System II“ entwickelt. In experimentellen Untersuchungen auf Bauteilebene als Vorstufe der Pilotanwendung wird die statische Tragfähigkeit des „Systems II“ nachgewiesen. Zudem ermöglichen die durchgeführten Bauteilversuche einen ersten Vergleich mit vorhandenen Marktlösungen. So kann neben den mechanischen Eigenschaften, wie z.B. der Höchstlast und dem Verformungsverhalten, auch der Montageaufwand und somit die zu erwartenden Montagekosten von „System II“ mit denen herkömmlicher Marktlösungen verglichen werden. Parallel setzen thermische numerische Simulationen für Wärmebrücken-Verlustkoeffizienten des „Systems II“ mit jenen der Marktlösungen in Vergleich. Darin kann bei Anwendung des „Systems II“ sowohl der Montageaufwand deutlich gesenkt werden und die thermische Performance des thermischen Entkopplungssystems durch größere mögliche Dämmstärken von bis zu 200 mm erheblich gesteigert werden. Bei der anschließenden Umsetzung der In-Situ-Versuchsanlage können wichtige Erkenntnisse für eine praxistaugliche Anwendung abgeleitet werden. Weitere Aussagen zur Dauerhaftigkeit der Lösung werden in den kommenden Jahren vorliegen.

⁵ Übernommen aus (N. Fleischhacker, 2017 (lfd)) und nachbearbeitet



(a) Ablassen der Schalung mit einem Flaschenzug



(b) Endmontage der Photovoltaik-Paneele am Geländer des Balkons nach Rücksprache des Schlossers Florian Pernlochner mit dem Architekten DI Gerhard Hauser am 25. November 2016



(c) Unterstützen des Balkons



(d) Erste Aufnahmen vom THERM-opti-BALKON „System II“



(e) Erste Aufnahmen vom THERM-opti-BALKON „System II“

Abbildung 50: Ausschalen des Balkons



(a) Montage der Wegaufnehmer auf einer Messplattform aus Holz



(b) Detailbild des Wegaufnehmers



(c) Gesamtansicht THERM-opti-BALKON „System II“ mit installiertem Monitoringsystem

Abbildung 51: Installation Monitoringsystem

3.2 Relevante Zielgruppen der Projektergebnisse

Die Projektergebnisse sind von Interesse für Hersteller von thermischen Entkopplungsprodukten, die ihr Produktangebot um Systemlösungen für die Sanierung erweitern möchten. Dies kann nur in Verbindung mit leistungsfähigen Befestigungsmitteln wie z.B. der Beton- bzw. Verbundankerschraube passieren. Baufirmen, die sich auf die Sanierung von Bauwerken spezialisiert haben, ermöglichen die vorliegenden Projektergebnisse den Einblick in die Funktionsweise von thermischen Entkopplungen für den Sanierungsfall. Die Ergebnisse können des Weiteren als Grundlage für Planer dienen, welche die dargestellten Systemlösungen anwenden möchten.

3.3 Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten

Die wissenschaftlich erlangten Erkenntnisse aus dem Projekt THERM-opti-BALKON-P2 werden in einer Dissertation (N. Fleischhacker, 2017 (lfd)) und Publikationen verwertet.

4 Ausblick und Empfehlungen⁶

4.1 Weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

Die im Projekt errichtete In-Situ-Versuchsanlage wird nach Beendigung des Projektes THERM-opti-BALKON-P2 weiter überwacht, um das Langzeitverhalten des Systems beurteilen zu können.

Das gegenständliche Projekt legt den Grundstein zur Entwicklung eines praxistauglichen und kostengünstigen thermischen Entkopplungssystems. Vor allem für die Entwicklung einer marktreifen Lösung mit großtechnischer Fertigung gibt es noch in mehreren Bereichen Forschungsbedarf. So ist aus technischer Sicht die derzeitige Lösung bzw. Lage der Schwarz-Weiß-Verbindung gemäß Abschnitt 1.3.5 nicht ideal. Zum einen ist der Aufwand für die Schweißung viel zu hoch und damit mit viel zu hohen Kosten verbunden. Diese Variante ist somit für eine großtechnische Fertigung ungeeignet. Zum anderen bedarf die umgesetzte Lösung eines weiteren Montageschrittes, um die Korrosionsbeständigkeit über eine Verzinkung zu ermöglichen. Das birgt zusätzliche Kosten.

Auf gestalterischer Ebene bleibt das generelle Problem bestehen, dass sich Gebäudedecke und Balkon aufgrund unterschiedlich hoher Fußbodenaufbauten auf unterschiedlichen Niveaus befinden. Somit ist im Bereich des Ausgangs auf den Balkon eine Stufe vorhanden. Damit ist mit der derzeitigen Lösung kein barrierefreier Zugang auf den Balkon gegeben.

4.2 Potenzial für Demonstrationsvorhaben

Mit den Projekten THERM-opti-BALKON-P1 und THERM-opti-BALKON-P2 sind die Grundlagen des THERM-opti-BALKON Systems erforscht. Erste Zwischenergebnisse zur Dauerhaftigkeit des Systems liegen vor. Unter Einbeziehung der oben genannten Aspekte kann die Systemlösung Basis eines größeren Demonstrationsvorhabens sein.

⁶ Übernommen aus (N. Fleischhacker, 2017 (lfd)) und nachbearbeitet

5 Verzeichnisse

5.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: THERM-opti-BALKON-P2 – thermische Entkopplung „System II“	11
Abbildung 2: Endenergieeinsatz 1962 bis 2015 und Ressourceneinsatzszenario zur Erreichung der Energie- und Klimaziele des Landes Tirol. (Tirol Land, 2017).....	14
Abbildung 3: Modell des realen mechanischen und thermischen Systems	15
Abbildung 4: „System II“ – 3D Visualisierungen der Entwicklungsstufen.....	18
Abbildung 5: Exemplarische Darstellung Schöck Isokorb KXT mit 120 mm Dämmstärke (Beton/Beton-Konstruktionen. Schöck Isokorb OR 120 mm. 2016).....	21
Abbildung 6: Schöck Isokorb Typ RK	21
Abbildung 7: Systemlösungen von Halfen und AVI.....	22
Abbildung 8: Grundrisse des Bestandsgebäude	25
Abbildung 9: Ansicht Ost des Bestandsgebäudes mit Bestandsbalkon.....	25
Abbildung 10: Planunterlage der Fußbodenaufbauten des Bestandsgebäudes	27
Abbildung 11: Punktuelle Freilegung Deckenstirnseite	27
Abbildung 12: Anschluss-Skizze (Wand und Deckenaufbau)	28
Abbildung 13: Zerstörungsfreie und zerstörungsbehaftete Untersuchungen zur Bestimmung der Betondeckung	29
Abbildung 14: Lokale Freilegung der Bewehrung	29
Abbildung 15: Messraster Rückprallmessung	29
Abbildung 16: Übersicht ausgewählter Aufnahmen	31
Abbildung 17: Aufnahme HILTI PS 1000 Deckenoberseite durch Fußbodenaufbau	32
Abbildung 18: Messplattform und Rastermessung an der Deckenunterseite	33
Abbildung 19: HILTI PS 1000 Deckenunterseite Position N/W	34
Abbildung 20: Position S/O.....	34
Abbildung 21: Position S/W	34
Abbildung 22: Position N – Test verdrehte Messung: Generell viel schlechtere Qualität.....	35
Abbildung 23: Trajektorienbilder – in roten Bereichen herrscht Druck vor und in blauen Bereichen Zug.....	35
Abbildung 24: Architektenentwurf Ausführungsplan.....	37
Abbildung 25: Ausführungsplan des Architekten DI Gerhard Hauser.....	38
Abbildung 26: thermisches Entkopplungselement in Ausführung System IIc	39
Abbildung 27: Bewehrung Balkonseite	40
Abbildung 28: Versuchsergebnisse System II.....	41
Abbildung 29: Nicht geglückte Probeschweißung zur Entwicklung der Schweißanweisung ..	42
Abbildung 30: Explosionsdarstellung der Schraubverbindung mit grüner GFK-Buchse und	

Scheibe	43
Abbildung 31: Mechanisches Versuchssystem	44
Abbildung 32: Konstruktionszeichnung der thermischen Entkopplung System SIIId	46
Abbildung 33: Thermische Entkopplung System SIIId aus einer Baustahl- Edelstahlkombination	47
Abbildung 34: Bewehrungskörbe	47
Abbildung 35: Präzisionsbohrführung	48
Abbildung 36: Montage Rückverankerungssystem und thermische Entkopplung System SIIId	49
Abbildung 37: Versuchsaufbau Bauteilversuche BV65 und BV66.....	51
Abbildung 38: Versuchsaufbau Bauteilversuche BV120, BV121 und BV122	52
Abbildung 39: Ermittlung des inneren Hebelarmes d (Maße in mm)	53
Abbildung 40: Maschinenkraft über Maschinenweg Bauteilversuch BV65 und BV66.....	55
Abbildung 41: Schraubenkraft über Maschinenweg Bauteilversuch BV65 und BV66.....	56
Abbildung 42: Maschinenkraft über Maschinenweg Bauteilversuche BV120, BV121 und BV122	57
Abbildung 43: Schraubenkraft über Maschinenweg der Bauteilversuche BV120, BV121 und BV122 (jeweils zwei Schrauben pro Versuch)	58
Abbildung 44: Freilegen der Stirnseite der Betondecke des Bestandsgebäudes	59
Abbildung 45: Herstellung der Bohrlöcher	60
Abbildung 46: Setzen der Verbundankerschraube.....	61
Abbildung 47: Installation der Balkon-Schalung.....	62
Abbildung 48: Binden der Bewehrung des Balkons und Errichten der Abschalung.....	63
Abbildung 49: Betonage des Balkons	63
Abbildung 50: Ausschaln des Balkons.....	66
Abbildung 51: Installation Monitoringsystem.....	67

5.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Messergebnisse an drei Prüfflächen P1 und P2 - Deckenstirnseite - und P3 - Deckenunterseite	30
Tabelle 2: Versuchsprogramm.....	48

5.3 Literaturverzeichnis

- Beton/Beton-Konstruktionen. Schöck Isokorb OR120 mm. (2016). URL: https://www.schoeck.at/de_at/produktloesungen/beton-beton-120-mm-107 (abgerufen im August 2017)
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2017). *Die österreichische Klima- und Energiestrategie*. URL: <https://mission2030.info> (abgerufen im August 2017)
- Fleischhacker Ernst (2016): *Tiroler Energiemonitoring*. URL: http://www.ressourcenmanager.at/index.php/Energiemonitoring_Tirol (abgerufen am 07. 11. 2015)
- Fleischhacker Nikolaus (2019): *Ein neues Verfahren zur nachträglichen thermisch entkoppelten Montage von Stahlbetonbalkonen*. Dissertation.
- Fleischhacker Nikolaus (2016a): Potential nichtmetallischer Bewehrung zur Verringerung konstruktiver Wärmebrücken am Beispiel Balkonkragplatte. Masterarbeit.
- Fleischhacker Nikolaus (2016b): *THERM-opti-BALKON-P2 - Thermisch optimierte Balkonsanierung Phase 2: In-Situ-Versuchsanlage*. URL: <http://www.hausderzukunft.at/results.html/id8163>. (abgerufen im August 2017)
- Steel for you GmbH (2015): *Prüfbericht Oberflächenrissprüfung THERM-opti-Balkon-P2*. Prüfbericht.
- HIT ISO-Element (2015). URL: <http://www.halfen.com/>. (abgerufen im August 2017)
- NIRO-Thermokorb (2015). URL: <http://www.avi.at/>. (abgerufen im August 2017)
- ÖNORM EN 1992-1-1 (2015 02 15): *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau* (konsolidierte Fassung).
- RealView 3.0 (2017). URL: <http://www.abacom-online.de/html/realview.html>. (abgerufen im August 2017)
- Schöck Bauteile Ges.m.b.H (2013): *Technische Information Schöck Isokorb R*. Produktdatenblatt.
- Schöck Bauteile Ges.m.b.H (2016): *Schöck Isokorb R für Beton/Beton-Konstruktionen* URL: https://www.schoeck.at/de_at/produktloesungen/beton-beton-213?tab=rk#rk. (abgerufen im August 2017)
- Sippel Thomas M. (2012): *Beton-Kalender 2012: Verankerungs- und Bewehrungstechnik*. Ernst und Sohn.


Tirol Land (2017): *Energiestrategie*. URL:

<https://www.tirol.gv.at/umwelt/energie/energiestrategie/> (abgerufen am 06.01.2017).

Schöck Bauteile Ges.m.b.H (2016): *Wärmedämmung – Die tragenden*

Wärmedämmelemente von Schöck minimieren Wärmebrücken auf höchstem Niveau. URL:

https://www.schoeck.at/de_at/produktloesungen/waermedaemmung-2.
(abgerufen im August 2017)



Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
[bmvit.gv.at](https://www.bmvit.gv.at)