

# Modellierung, Optimierung, und technische Integration von Vakuumglas- Elementen

MOTIVE

U. Pont, M. Schuss  
A. Mahdavi, P. Schober  
K. Hauer, C. Lux

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

## 24/2018

**Impressum:**

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

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

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

# MOTIVE

**Modellierung, Optimierung, und technische Integration von  
Vakuumglas-Elementen: Sondierung über die Detaillierung von  
Vakuumgläsern in neuen Holz(Alu)Fenster-Konstruktionen  
Detaillierung, Bau und Simulation**

DI Dr.techn. U. Pont\*,  
Ass.Prof. DDI Dr.techn. M. Schuss,  
Univ.Prof. DI Dr.techn. A. Mahdavi  
TU Wien

Dipl. HTL Ing. P. Schober\*,  
DI (FH) H. Hauer, Dr. C. Lux  
Holzforschung Austria

Wien, 31.10.2017

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms





# Vorwort

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.HAUSderZukunft.at](http://www.HAUSderZukunft.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

1	Einleitung .....	15
1.1	Aufgabenstellung.....	15
1.2	Stand der Technik .....	16
1.3	Präambel zu den technischen Aspekten dieses Berichts .....	19
2	Verwendete Methoden .....	21
2.1	Beschreibung Entwurf und Konstruktionsentwicklung .....	21
2.2	SWOT – Analyse.....	23
2.3	Thermische Performance.....	23
2.3.1	Thermische Simulation mittels numerischer Wärmebrückensimulation.....	25
2.3.2	U-Wert.....	27
	Schallschutz.....	27
2.3.3	Prüfkörper .....	28
2.3.4	Messverfahren Schalldämm-Maß R nach ÖNORM EN ISO 10140-2 .....	30
2.3.5	Einbausituation .....	30
2.4	Gebrauchstauglichkeit.....	32
3	Ergebnisse.....	35
3.1	Konzeptionelle Annäherung .....	35
3.2	Erste Entwurfskonzepte .....	38
3.2.1	Typ A, innen öffnendes Fenster .....	38
3.2.2	Typ B, außen öffnendes Fenster.....	39
3.2.3	Typ C, Schwing-Klappfenster.....	40
3.2.4	Typ D, Vertikal-Schiebefenster .....	42
3.2.5	Typ E, seitlich Dreh-Schwenkfenster .....	45
3.2.6	Typ F, Magnetfenster .....	46
3.2.7	Typ G, Abstell-Fenster .....	47
3.3	Handmuster.....	49
3.3.1	Typ C, Schwing-Klappfenster.....	49
3.3.2	Typ D, Vertikal-Schiebefenster .....	51
3.3.3	Typ E, seitlich Dreh-Schwenkfenster .....	54
3.3.4	Typ F, Magnetfenster .....	56
3.4	Prototypen Fenster.....	58
3.4.1	Typ A1, innen öffnendes Fenster, VG außen .....	58

3.4.2	Typ A2, innen öffnendes Fenster, VG innen.....	61
3.4.3	Typ B, außen öffnendes Fenster.....	66
3.4.4	Typ C, Schwing-Klappfenster.....	72
3.5	Mock-Up Fenster Typ A1, innen öffnendes Fenster, VG außen.....	75
3.5.1	Konstruktion.....	75
3.5.2	Thermische Performance.....	78
3.5.3	Schallschutz.....	88
3.5.4	Gebrauchstauglichkeit.....	93
3.5.5	SWOT Analyse.....	97
4	Schlussfolgerungen.....	98
5	Ausblick und Empfehlungen.....	99
6	Verzeichnisse.....	100
6.1	Abbildungsverzeichnis.....	100
6.2	Tabellenverzeichnis.....	102
6.3	Literaturverzeichnis.....	103



# Kurzfassung

## Ausgangssituation/Motivation

In den Bemühungen um Energieeffizienz des Gebäudesektors werden weltweit verschiedene neuartige Technologien im Gebäudehüllenbereich erforscht und erprobt. So gibt es auch innovative Technologien im Bereich von transparenten Bauelementen. In Österreich gibt es Bestrebungen, die Technologieführerschaft im Bereich transparente Gebäudeelemente mit Vakuumglas anzustreben, bzw. bisherige Erkenntnisse und Technologien weiter vorwärts zu bringen.

## Inhalte und Zielsetzungen

Das Projekt MOTIVE („Modellierung, Optimierung und technische Integration von Vakuumglas-Elementen“) befasst sich mit der Applikation von neuartigen, hochwärmedämmenden Gläsern in neuen Neubau- bzw. Sanierungs-Fenstern und verglasten Bauteilen. In einem bereits abgeschlossenen Vor-Projekt (VIG-SYS-RENO) wurde das Potential von Vakuumgläsern für den Einsatz in Sanierungen und Gebäudemodernisierungen untersucht.

Im gegenständlichen Forschungsvorhaben steht dem gegenüber die Technologieentwicklung rund um die neue Entwicklung „Vakuumgläser“ für neue Bauprodukte (Fenster, Balkontüren, etc.) im Vordergrund. Da Vakuumgläser sowohl aus Sicht der Hochbaukonstruktion, der Bauphysik, wie auch der Statik ein vom typischen Verhalten von herkömmlichen Isoliergläsern abweichendes Verhalten zeigen (Gesamtglasdicke, Randverbund, Einbindung, Abstandhalter, Dauerhaftigkeit), erfordert die Implementierung dieser Technologien ein Hinterfragen der bestehenden Praxis der Fenster-/Türen-/Glasanschlussdetaillierung und Ausführung. Dies betrifft insbesondere den Glaseinstand in Rahmenkonstruktionen, an den bei Vakuumgläsern andere Anforderungen als bei herkömmlichem Isolierglas gestellt werden. Außerdem sollte die Gesamtkonzeption des Fensters als „schwerer Bauteil“ (vergleiche heutige Dreischeibenverglasungsfenster) kritisch hinterfragt werden.

## Methodische Vorgehensweise

Im Zuge dieses Projektes sollen die Anforderungen an die Neukonzeption solcher Konstruktionen und Anschlussdetails erfasst und dokumentiert werden:

Dazu werden zunächst typische Bestandskonstruktionen von hoch effizienten, zeitgemäßen Verglasungsformen auf Ihre Tauglichkeit für Vakuumgläser evaluiert. Darauf aufbauend werden eigene Detaillierungsvarianten für Vakuumverglasungen in Holz- und Holz/Alu-Rahmen entwickelt und unter Zuhilfenahme von State-of-the-Art Technologien und Projektbearbeitungsmethoden (normatives Assessment, Einbeziehung von Fachmeinungen, numerische Wärmebrückensimulation und andere) vorevaluiert und weiter optimiert.

Die vielversprechendsten Ansätze aus diesen Bemühungen sollen in eine ausführbare Konstruktion übertragen werden und in Handmustern, Prototypen und einem Mock-Up gebaut werden. Dieses Mock-Up soll mittels experimenteller und simulationsgestützter Bewertung und Analyse getestet werden. Hierzu gehören thermische und statische Versuche, sowie begleitende numerische 2D- und 3D-Wärmebrückensimulation, um auf das Verhalten der Konstruktion in typischen Belastungsszenarien rückschließen zu können.

## **Ergebnisse und Schlussfolgerungen**

Aufbauend auf den ermittelten Prinzipien und Ergebnissen dieser Studie können bestimmte Empfehlungen für die weitere Forschung und Entwicklung im Bereich „Zeitgemäße Fenster mit Vakuumgläsern“ abgeleitet werden. Dies betrifft sowohl konventionell nach innen oder außen öffnende Fenster wie auch Klapp-Schwing-, Vertikal-Schiebe-, Dreh-Schwenk-Fenster und dgl. mehr. Das Mock-Up und die verschiedenen anderen evaluierten Entwürfe zeigen die Richtung möglicher zukünftiger Entwicklungen auf. Im Rahmen des Sondierungsprojektes konnte an mehreren Beispielen aufgezeigt werden, dass mit Vakuumglas völlig neuartige Konstruktionen ermöglicht werden, die schlanke Profilquerschnitte zulassen, einen ausreichenden Glaseinstand ermöglichen und einen neuen Marktzugang eröffnen.

Wie ursprünglich geplant, konnten für den Prozess namhafte Stakeholder gewonnen werden, deren Meinung in den Entwicklungsprozess in diesem Projekt einfluss. Dies wurde durch mehrfach durchgeführte Projektsitzungen und intensive Diskussionsrunden gewährleistet, in welchen prinzipielle Aspekte für künftige industrielle Umsetzung und Markteinführung von entsprechenden für Vakuumgläser optimierten Fenster- und Verglasungsprodukten auch aus Sicht von Marktkennern erarbeitet wurden.

## **Ausblick**

Das Projekt MOTIVE dient als erster Kristallisationskeim in der weiteren Entwicklung von Vakuumfenstern in Zentraleuropa. In einem Folgeprojekt, das im Moment in der Konzeptionsphase erarbeitet wird, soll eine Fortentwicklung zur Vormarktreife von einem Entwurf/Prototype gestartet werden (unter Umständen inklusive verwandter Konstruktionen). Dies soll auch andere, bis dato nur rudimentär berücksichtigte Aspekte (wie z. B. die Entwicklung entsprechender Beschläge) berücksichtigen.

# Abstract

## Starting point/Motivation

Amongst the numerous concepts to increase the energy efficiency of buildings, ideas and technologies tackling the heat loss of the envelope are considered important. New technologies in the field of transparent and translucent envelope parts are of high importance due to the traditional “role” of these constructions as (thermal) weak spots of the overall envelope. Based on previous efforts, technology incentives in Austria intend to create lighthouse implementations. Such efforts can act as a driving force to enable such new technologies a successful market entry.

## Contents and Objectives

The project MOTIVE („Modellierung, Optimierung und technische Integration von Vakuumglas-Elementen“ → „Modeling, Optimization, and technical Integration of Vacuum-glazing elements“) aims at the application of new, highly-insulating glass products in new buildings and thermal retrofit of windows and glazed façade constructions. In a previous research project (VIG-SYS-RENO) the feasibility of vacuum glazing in retrofit of historic window constructions was examined.

The present research project focuses – in contrast – on the development of vacuum-glazing-accompanying technologies for new building products (windows, transparent / balcony doors, etc.). Vacuum glazing products show a different behavior regarding building construction, building performance aspects and structural/load-bearing behavior than multi-layered isolation glass. For instance, they regularly feature a smaller overall thickness, a highly-sophisticated glass-edge-seal and (distance-holding) pillars. The question of durability for these glass products remains an open question, which will be answered by means of time. All these aspects require a critical assessment of the current practice of window/door/glass-joint constructions, their detailing and manufacturing processes. This is especially true for the glass rebate in frames. Moreover, the impression of transparent building components as heavy-weight constructions needs to be thoroughly discussed.

## Methodology

The present research project aims to take a closer look on the requirements of a new conception of transparent constructions encompassing vacuum glazing. A thorough documentation of needs and potential solutions is a goal of the project.

In a first step, existing constructions of highly-insulating window constructions have been collected, structured, and assessed critically regarding their adaptability for vacuum glazing products. Subsequently, a set of new design ideas for such windows (especially their details) in timber and aluminum/timber construction have been designed, drafted, and conceptualized. To assess them, state of the art technologies (normative assessment, opinion lead of important stakeholders in the window domain, numeric thermal bridge

simulation, etc.) have been deployed. These means were utilized for both principle evaluation and further optimization.

The most promising approaches have been looked at more in detail, and resulted in working models, built design studies, and one was chosen to be built as a mock-up. This mock-up was subjected to detailed assessment (both empirically/experimentally and simulation-based). The performed tests include thermal and structural experiments and numeric 2D and 3D thermal bridge simulation. Based on the tests, the performance under realistic conditions has been approximated.

## **Results**

Based on the principle findings of this research project, specific recommendations for further Research & Development efforts could be derived. Both “conventional” window opening directions (opening direction via rotation to the inside or outside) and more “exotic” opening directions (vertical-swing, garage-door-flap, bus-door-opening) have been considered. The mock-up and also the previously built design studies point in the direction of potential new window products. It can be clearly seen from the outcomes of this research effort that vacuum glazing open a new design space in comparison to conventional glass products: Slim frame profiles that include a sufficient rebate depth potentially are the research and development direction to proceed in.

Different prominent stakeholders joined the opinion leaders’ list of the project (as originally planned), and their opinions and ideas fruitfully influenced the design process of the developments in the project. A number of project meetings were held and in their framework intensive discussions and design workshops were held. Within these meetings, the future industrial realization of window constructions with vacuum glazing and their market potential was thoroughly assessed.

## **Prospects / Suggestions for future research**

The project MOTIVE acts a first crystal nucleus for the upcoming development of vacuum glazing windows in Central Europe. In a follow-up research effort that currently is conceptualized, the next step in development is addressed: A close-to-market development of one (or a s set of) specific prototype(s). Thereby, aspects that could not be considered within this exploratory project, will be included (such as “Beschlagstechnologie”/fittings).

# 1 Einleitung

## 1.1 Aufgabenstellung

Das Sondierungsprojekt MOTIVE verfolgte folgende, prinzipielle Zielsetzungen:

- Analyse, ob und wie bestehende Verglasungs-/Rahmen-Technologien für neue Vakuumgläser als „Role-Model“ dienen können.
- Darauf aufbauend die Entwicklung von Glas/Rahmen/Fensteranschlussdetails (Holz/Holz-Alu-Fenster), die explizit die Notwendigkeiten und physikalischen Eigenschaften von Vakuumglasprodukten berücksichtigen
- Aufzeigen neuer Lösungsansätze für moderne hocheffiziente Fenster, die die ausgetretenen Pfade der Fensterentwicklung der letzten 50 Jahre verlassen.
- Antworten für die Architektur zu großen und schlanken Fenstern suchen und finden.
- Modellierung und (bauphysikalische, hochbautechnisch-konstruktive, statische) Optimierung von entsprechenden Details und Identifikation von einer (oder einigen) Variante(n), die (i) gute Performance erwarten lassen und sich (ii) konstruieren lassen.
- Errichtung von Modellen, Prototypen und eines Mock-Ups eines solchen Holz/Holz-Alu-Fensters und Durchführen von verschiedenen Testserien / Messreihen um mehr über das Verhalten (Thermo-hygrisch / akustisch) und die Spezifika von solchen Konstruktionen zu lernen. Zudem sind die Leistungsdaten in Bezug auf Bedienbarkeit, Funktion und Dauerhaftigkeit zu ermitteln.
- Impact-Analyse bzw. Performance Analyse von neuen – mit Vakuumglas bestückten - Fenstern auf den Markt und auf die zu erwartende thermisch-energetische Gebäudeperformance anhand von etablierten Werkzeugen.
- Modellierung und Simulation von einer (oder mehreren) Variante(n) mittels State-of-the-Art-Werkzeugen (numerische Wärmebrückensimulation,). Diese Simulationen sollen nach Möglichkeit mit dem Mock-Up kalibriert werden. Dadurch eröffnet sich ein großer Entwicklungsraum, der virtuelle (simulationsgestützte) Weiterentwicklung ermöglicht (dies kann als sehr kostengünstige Parametrisierung verstanden werden).
- Voranbringen der Simulationsdomäne: Erforschung, was erforderlich ist, um innovative Bauprodukte wie Vakuumgläser in Simulations- und Berechnungstools richtig abbilden und in Berechnungen richtig integrieren zu können.
- SWOT-Analyse (Strengths – Weaknesses – Opportunities – Threats) der durchgeführten Entwicklungsarbeiten und des Einsatzes von Vakuumgläsern in neuen Fenstern generell: Was ist möglich, was ist wirtschaftlich sinnvoll? Wo liegen die offensichtlichen und weniger offensichtlichen Herausforderungen und Probleme?
- Sammlung und Aufbau einer Knowledge-Base um für entsprechende Stakeholder (Fensterbaubetriebe, Tischlerfirmen, ArchitektInnen, Planende, Academia, Wissenschaftliche Community, SimulationsexpertInnen, Hochbaulehrende- und forschende) Pionierarbeit für die weiteren Entwicklungsarbeiten im Bereich neue Holz/Holz-Alu-Vakuumfenster zu leisten.
- Wissens- und Stakeholderkommunikation zu den Inhalten der Sondierung.

Abbildung 1 illustriert den prinzipiellen Ablauf des Projektes MOTIVE. Begleitet von den Arbeitspaketen 01 und 07 (Projektmanagement und Dissemination) wurde zunächst eine Erfassung und Bewertung typischer zeitgenössischer Fensterdetails durchgeführt und ein Anforderungsprofil, das sich aus der Technik der Vakuumgläser ergibt, definiert (AP 02).

Darauf aufbauend wurden Detaillierungsvarianten und unterschiedliche Szenarien definiert (AP 03), sodass Handmuster und Prototypen realisiert und eine Variante für die Realisierung eines Mock-Ups (AP 04 – Erstellung, Bau und Messung (eines) ausgewählten Mock-Ups) gewählt werden konnte. In Arbeitspaket 05 wurde mittels numerischer thermischer Simulation das Modell der Prototypen und des Mock-Ups sowie darauf aufbauend parametrische Studien davon simuliert und kalibriert. Arbeitspaket 06 befasste sich mit der Auswertung der Ergebnisse, definiert „Lessons learned“ und der Kommunikation dieser an die Praxis.

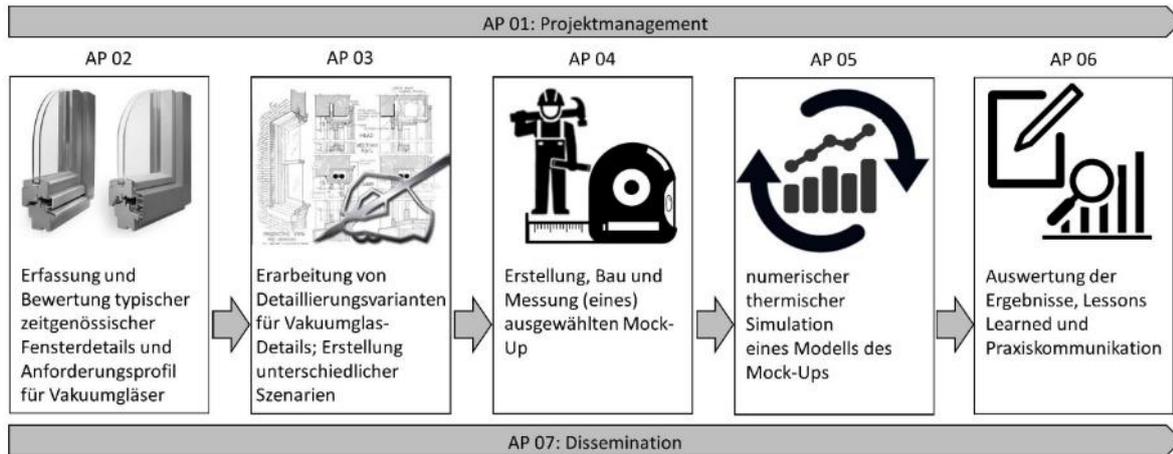


Abbildung 1: Prinzipieller, schematischer Ablauf des MOTIVE-Projektes (eigene Abbildung Team MOTIVE)

## 1.2 Stand der Technik

Zahlreiche Entwicklungen im Bereich von hocheffizienten, transparenten Bauteilen wurden und werden beforscht und entwickelt. Es ist von größter Wichtigkeit festzuhalten, dass es in der Domäne „High-Tech-Fenster und Gläser“ zwei klar voneinander zu trennende Forschungs- und Entwicklungsbereiche gibt: (i) Zum einen die Produktentwicklung von Gläsern (zu unterscheiden von Fenstern), dabei handelt es sich um den reinen transparenten Teil eines Fenster- oder Verglasungssystems, inklusive eines etwaigen mehrschichtigen Aufbaus, applizierter Folien, Gas befüllter oder evakuierter Zwischenräume und etwaiger Randverbünde zum Abschluss der Zwischenräume zwischen Glasschichten (in weiterer Folge als „Glasentwicklung“ bezeichnet); Klar davon zu unterscheiden ist die (ii) Applikation von High-Tech-Gläsern in Fenster- und Verglasungssystemen, d. h. die Gesamtsystem-Entwicklung. Das Zusammenspiel von (gegebenen) transparenten/m Element(en) mit etwaigen, opaken Randeinfassungen und der Verbindung zu umgebenden opaken Bauteilen, wie z. B. Wänden - in weiterer Folge Systementwicklung genannt. Das vorliegende Projekt befasst sich mit der unter (ii) benannten Systementwicklung mit gegebenen Gläsern, genauer gesagt mit der Modellierung, Optimierung und Simulation, sowie technischen Integration von Vakuumgläsern in neuen Holz/Holz-Alu-Fenstern.

Bereits in der Antragsphase wurden für dieses Projekt unmittelbar relevante (größtenteils vom Projektkonsortium durchgeführte, eigene) Vorprojekte genannt. Bezüglich dieser sei auf

das Antragsdokument verwiesen, wo auch ein kurzer Abriss über nationale und internationale Entwicklungen geliefert wurde. Dieser Abriss – der in einer kompakten Form auch nachstehend dokumentiert ist - kann in Anbetracht der Breite des Themas keinesfalls als erschöpfend betrachtet werden und schöpft lediglich einige den Autoren besonders bedeutsam erscheinende Entwicklungen ab (Für die enzyklopädische Auflistung von Entwicklungen sei an dieser Stelle auf die einschlägige Literatur, wie beispielsweise den Glasbauatlas des Instituts für internationale Architekturdokumentation, 2. Auflage, 2006, und der 2016 von Projektkonsortium veröffentlichten „Literatur- Markt und Hintergrundrecherche für innovative Verglasungslösungen mit Fokus auf Vakuumglas“ verwiesen).

### **Glasentwicklung:**

- Vakuumgläser der Fa. SYNERGY, China (<http://www.bjsng.com/ENIntro.aspx>). Diese Vakuumgläser wurden in einem vorrausgehenden Sondierungsprojekt (VIG-SYS-RENO) angesehen, und werden voraussichtlich auch als Startpunkt der Systementwicklungen des MOTIVE-Projektes fungieren. Es handelt sich dabei um industriell gefertigte, evakuierte Gläser in verschiedenen Dicken mit Abstandhaltern, in Glas ausgeführter Glasfritte und einem „Getter“ als Vakuumgarant. Die Gläser werden als erstmalig dauerhafte Vakuumgläser bezeichnet. Detaillierte Betrachtungen dieser Gläser wurden u.a. im später angeführten Projekt VIG-SYS-RENO durchgeführt. Sehr ähnliche Entwicklungen sind auch von koreanischen Firmen bekannt.
- Projekt WINSmart (EU-Projekt, geleitet von Dr. Matthias Koebel, EMPA/Schweiz; <https://www.empa.ch/de/web/s604/fensterwinsmart>): Bei diesem sehr großen, seit 2012 laufenden Projekt handelt es sich um die Entwicklung von, mittels einer Zinnlegierung abgedichteten, Vakuumgläsern.
- Die Firma minusdrei-Glas (<http://www.minusdrei.de/glas.html>) hat auf der Messe glasstech in Düsseldorf 2014 ein zweifach-Isolierglas („Dünnglas“) ausgestellt, bei dem im Scheibenzwischenraum zusätzlich eine „Heat-Mirror“-Folie gespannt ist, die den konvektiven Wärmetransport einschränkt (zwei kleinere thermische Walzen statt einer großen) und auch den Strahlungsaustausch behindert.
- An der Universität Liechtenstein wird intensiv an „Fluidglas“ geforscht: Hierbei handelt es sich um eine Entwicklung, die den Scheibenzwischenraum mit einer Flüssigkeit ausfüllt, mit Hilfe derer Heizung, Kühlung und Sonnenschutz realisierbar sein kann.

### **Fensterentwicklung:**

- Passivhausfenster: Hierbei handelt es sich in der Regel um Dreischeiben-Isolierglas mit Low-E-Coating-Beschichtungen und angepassten hochwärmedämmenden Rahmensystemen. Diese Fenster sind in der Regel schwer, und trotz Optimierung des Rahmens bleibt der Glas/Rahmen-Anschluss in der Regel der Schwachpunkt. Eine Studie zu Wirtschaftlichkeit von Passivhausfenstern (die auch auf die meisten anderen hoch-effizienten Fenstersysteme zutreffen sollte) wurde 2014 von B. Krick / Passivhausinstitut Darmstadt in Wien präsentiert (Fassadenbautagung 2014).
- Viele verschiedene Entwicklungen hinsichtlich Funktionserweiterungen von Fensterrahmen und Systemfenstern werden von Industrie und Research-Institutionen

vorgenommen: Um zwei Beispiele zu nennen: (i) Die Fa. Internorm verfolgt beispielsweise Entwicklungen, die Lüftung, Wärmetauscher und Sonnenschutz in das Fenster integriert; (ii) Tragende Holz-Glaskonstruktionen (z. B. Fa. Petschenig glastec) befassen sich mit der Funktionserweiterung von Verglasungssystemen als eigene „Wandbildner“ zur Lastabtragung.

- International gibt es eine Vielzahl von interessanten Lösungsansätzen für das „neue Fenster“ (siehe nachfolgende Bilder in Abbildung 2). Allerdings konnte keine der gezeigten Entwicklungen eine ausreichende Marktrelevanz erreichen, trotz innovativer Detaillösungen.



Abbildung 2: Interessante internationale Lösungsansätze für das „neue Fenster“ (Quellen: Diverse Messen, diverse Herstellerseiten)

### Impulse aus anderen Fachdisziplinen

Im Rahmen einer Literatur-, Patent- und Internetrecherche wurden Fenstersysteme aus den Bereichen Fahrzeuge (Autotürfenster, Bustür, Zugfenster, Wohnwagenfenster, Schiffsluken, Flugzeugfenster, etc..), Haushalt (Kühlschranktür, Waschmaschinentür, Backofentür, Druckkochtopfdichtung, etc.) und Gebrauchsgüter (Kopfhörer, Ohrstöpsel, Kaminöfen, etc.) analysiert und als Ideengeber verwendet. Nachfolgend sind einige Beispiele in Form Bildern dargestellt (siehe Abbildung 3); die Einzel-Abbildungen verstehen sich symbolisch).

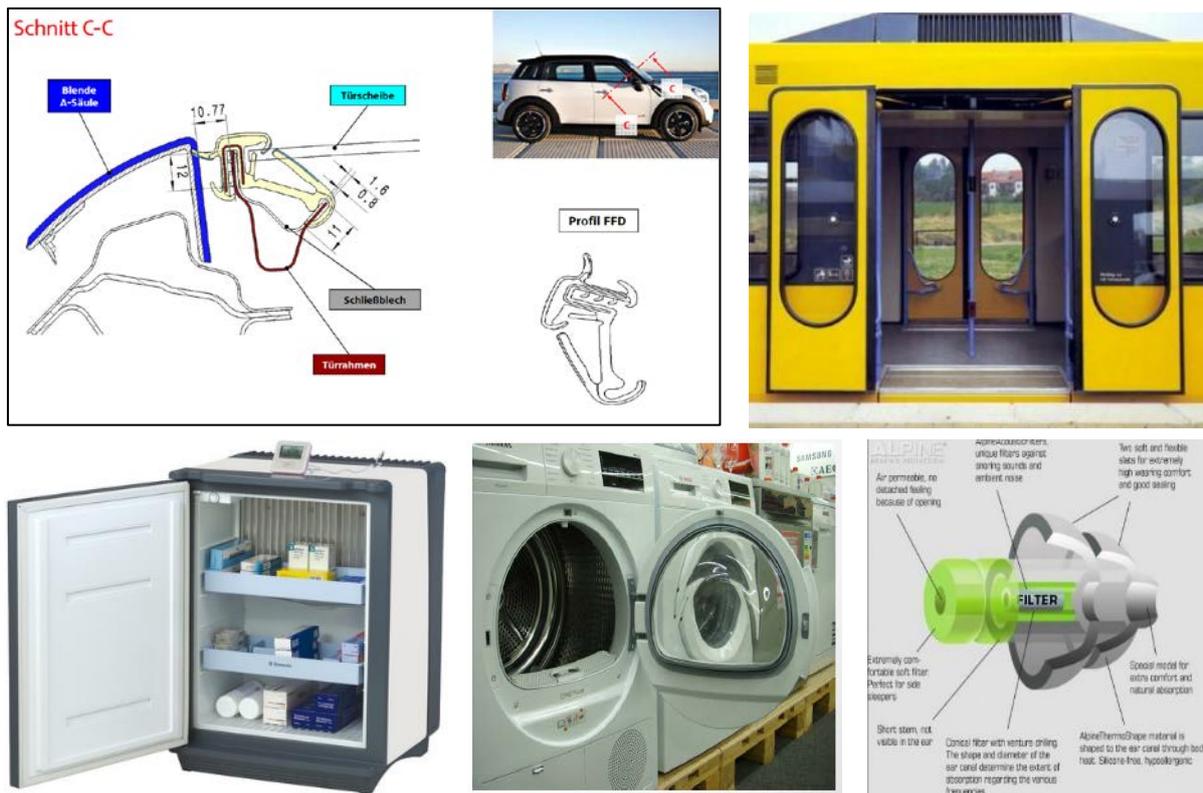


Abbildung 3: Beispiele für Fenster/Türen/Dichtungen aus anderen Fachdisziplinen (Quellen: Diverse Messen, diverse Herstellerseiten, Diverse Konstruktionsskizzen)

Die genannten Projekte und Beispiele zeigen die Vielfalt der Entwicklungen im Glasentwicklungs- und Fensterbereich. In Asien werden Vakuumgläser inzwischen auch für Hochhausfassaden eingesetzt, allerdings vor allem in Curtain-Wall-Verglasungen (Pfosten/Riegel-Systeme) und kaum in Gegenden wo es zu starken Wärmeverlusten über Fassaden kommt (hier geht es eher um Belange des Sonnenschutzes). Es erscheint wichtig, solche innovativen Glasprodukte für zeitgemäße Fensterprodukte einzusetzen. Dennoch scheint es international und national kaum Bemühungen zu geben, Systementwicklung für neue Fenster mit Vakuumgläsern zu betreiben. Diese „Lücke“ will das gegenständliche Projekt besetzen und somit ein Stück europäische Technologieführerschaft sichern.

Zu diesem Endbericht gibt es ein zusätzliches Exposé über die jüngsten Entwicklungen hinsichtlich Vakuumglas (von Dr. H. Hohenstein).

Zu den wenigen, international direkt im gleichen Feld wie das Forschungsprojekt MOTIVE stattfindenden Forschungsbemühungen, sei als Beispiel die Publikation *Thermal performance testing for Window with Vacuum Glazing* (präsentiert bei der envIBUILD2017, September 2017, an der TU Wien, Journalpublikation für Jänner 2018 geplant, von I. Chmúrny, D. Szabó und M. Jurigová, alle an der STU Bratislava) verwiesen.

### 1.3 Präambel zu den technischen Aspekten dieses Berichts

In diesem Bericht werden in einigen Abschnitten Berechnungsmethoden, Indikatoren und Bezeichnungen verwendet, die aus den einschlägigen wärmetechnischen, akustischen, oder

auch fensterspezifischen Normenwerken entstammen, bzw. einiges an Domänenwissen erfordern. Auf eine eingehende Erläuterung wird zugunsten eines Verweises auf die jeweilige Literatur verzichtet.

## 2 Verwendete Methoden

### 2.1 Beschreibung Entwurf und Konstruktionsentwicklung

Im Zuge des Projektverlaufs kristallisierte sich rasch heraus, dass zur sinnhaften Exploration des „Design Spaces“ (d. h. der möglichen Konstruktionsvarianten welche von einer Vielzahl von Variablen, wie Öffnungsart und – richtung, Glaseinstand, Dichtungsanzahl, Dichtungsebenen, Konstruktionsmaterialien, Verschlussmechanismen, etc.) ein reduktiver Ansatz erforderlich war.

Um in diesem Entwicklungsprozess auch Aspekte der Fensterhersteller einfließen zu lassen, wurden innovative Unternehmer eingeladen den Prozess aktiv mitzugestalten. Die Firmen Internorm, Katzbeck, Svoboda und Wicknorm, als wesentliche Stakeholder der Branche, unterstützten die zentralen Innovationsschritte durch die Teilnahme an 5 Projektsitzungen, in denen die jeweiligen Entwicklungsschritte diskutiert und optimiert wurden.

Der Entwicklungsprozess ist in Abbildung 4 abgebildet. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

- In einer ersten Findungsphase wurde basierend auf dem jeweiligen Wissenstand betreffend Vakuumgläser, Öffnungsmechanik, Innovationsgrad, sowie Materialität und Verfügbarkeit Konzepte erarbeitet. Diese wurden im Projektteam jeweils kritisch diskutiert und diese **konzeptionellen Annäherungen** zu Papier gebracht. Dabei stellte sich heraus, dass es international nicht „einen“ präferierten Fenstertypus gibt, sondern eine Vielzahl von verschiedenen Konstruktionsformen in unterschiedlichen Regionen eher oder eher weniger Akzeptanz erfährt (z. B. nach außen öffnende Fenster in Skandinavien beliebt, im deutschsprachigen Bereich eher unüblich bzw. wenn überhaupt im denkmalnahen Bestand oder in einzelnen Versuchsbauten). Um die Sichtweisen für Fenster zu erweitern, wurden auch andere Branchen analysiert. Ideen und Anhaltspunkte wurden auch in der Fahrzeugindustrie, der Luftfahrt aber auch im Haushalt und dem Gesundheitswesen identifiziert. In dieser Phase entstanden eine Vielzahl von Designideen, welche zum Teil auch sehr ausgefallenen Charakter hatten, die technisch-wirtschaftliche Machbarkeit bzw. auch Benutzerbarkeit wurde in dieser Phase nur im Ansatz erörtert.
- Die zweite Phase diente dazu, für ausgewählte Ideen **Entwurfskonzepte** auszuarbeiten. Hierbei wurden Aspekte wie Handhabbarkeit, Nützlichkeit, mögliche Probleme bei Planung, Bau, Montage, Nutzung, Reinigung oder Wartung, so wie andere bereits berücksichtigt. Im Zuge dieser Phase wurden auch erste Detailzeichnungen (händisch, zum Teil CAD-Pläne) gearbeitet.
- Die vielversprechendsten Entwurfskonzepte wurden einer eingehenden Prüfung im Projektteam unterzogen und dann zur Erstellung von Handmustern

und Prototypen herangezogen. Diese **Handmuster** berücksichtigen bereits Aspekte der Materialität, der Herstellbarkeit, und letztlich auch der Dichtheit und Benutzbarkeit.

- Aufbauend auf den Entwurfskonzepten und Handmustern wurden von den im Projektteam selektierten Designs nun **Prototypen** erstellt. Diese kommen tatsächlich baubaren Fenstern bereits sehr nahe, dienen aber dennoch lediglich zum Modellstudium der Designs.
- Bis zur Phase der Prototypen wurden für die Gläser lediglich Default-Gläser (in Form von VSG) ohne spezielle Performanceansprüche verwendet. In der letzten Phase, dem Bau des **Mock-Ups**, wird nun für einen ausgewählten Entwurf eine Realisierung mit Verbundglas und mit Vakuumglas angestrebt und durchgeführt.
- Da es sich bei dem Projekt um eine Sondierung (beschränkte zeitliche und wirtschaftliche Möglichkeiten) handelt, konnten nicht alle innovativen Lösungsansätze bis zum Prototypen und Mock-Up weiterentwickelt werden. Dies hat auch zum Teil damit zu tun, dass es für die entwickelten Konzepte noch an entsprechend verfügbarer Beschlagtechnik fehlte. Mit dem Mock-Up werden in weiterer Folge dann verschiedene Standardprüfungen zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit durchgeführt.

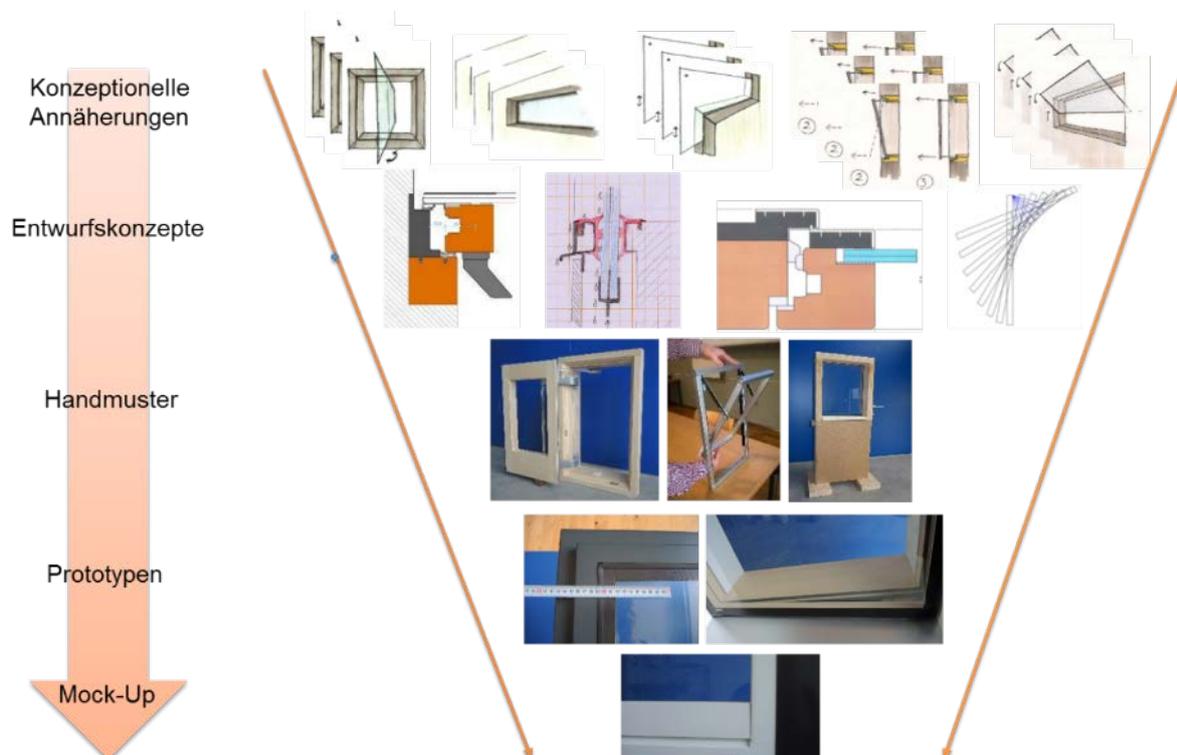


Abbildung 4: Darstellung des durchgeführten Entwicklungsprozesses (eigene Darstellung Team MOTIVE)

## 2.2 SWOT – Analyse

SWOT steht für „Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats“, also sinngemäß Stärken, Schwächen, Möglichkeiten und Bedrohungen. Es handelt sich dabei um ein in der Betriebswirtschaftslehre oft eingesetztes Konzept, um unterschiedliche Möglichkeiten strukturiert zu untersuchen und um kognitiv-nachvollziehbare bzw. „beste“ Entscheidungen treffen zu können.

Die Methode der SWOT-Analyse gilt trotz ihres Wiederaufkommen an der Harvard Business School in Grundzügen als erheblich älter. Sie dient eigentlich zur strategischen Unternehmensplanung. Als Stärken und Schwächen werden die Ergebnisse einer internen Analyse verwendet, während sich Opportunities und Threats im Regelfall aus einer externen Analyse ergeben. (angelehnt an <http://missionitac.pbworks.com/f/swot.pdf>)

Da SWOT-Analysen durchaus auch im Research und Development von großen produzierenden Unternehmen eingesetzt werden, und das Projekt MOTIVE durchaus auch Entwicklungen für Fenster triggern möchte, war es naheliegend dieses Konzept zu verwenden, das auch in den Feldern Produktion, Beschaffung und Logistik weit verbreitet ist.

Die SWOT-Analyse der nicht weiterverfolgten Handmuster, der Prototypen und des Mock-Ups zeigen neben den Vorteilen der jeweiligen Konstruktion auch den notwendigen Verbesserungsbedarf auf. Diese „Kinderkrankheiten“ galt es in Folgeschritten im Projekt sowie in kommenden zukünftigen nächsten Entwicklungsschritten auszumerzen.

Die SWOT-Analysen der späteren Entwicklungsschritte (d. h. für eine Selektion der Entwürfe) finden sich in den nachstehenden Sektionen in tabellarischer Form.

Die SWOT-Analysen wurden bei den meisten der entwickelten Fenster-Typen vorgenommen, dort wo allerdings ein Aussondern in frühen Entwicklungsschritten passiert ist, bzw. die Entwicklungsidee nicht weit genug verfolgt wurde, wurde dies nicht explizit vorgenommen. Die in diesem Bericht integrierten SWOT-Analysen entstammen eigenem Kalkül und Diskussionen im Opinion-Leader-Zirkel.

## 2.3 Thermische Performance

Aus dem Vorprojekt VIG-SYS-RENO war bekannt, dass für eine akzeptable thermische Performance des Glases in Fensterkonstruktionen eine spezielle Betrachtung des Randverbunds zwischen Rahmen und Glas erforderlich ist. Die Abhängigkeit dieses – regulär als Schwachpunkt angesehenen – Verbindungspunktes wird wesentlich von der Länge des Randverbundes (also dem seitlichen „Abschluss“ des Vakuumglases und Verbindungselement zwischen den beiden Glasschalen), sowie dem Glaseinstand, d. h. wie tief das Vakuumglas in einer schützenden und dämmenden Rahmenkonstruktion versenkt werden kann.

Um die thermische Performance der Gläser und damit verbundener Fensterkonstruktionen bewerten zu können, wurde ähnlich wie in VIG-SYS-RENO auf numerische thermische

Wärmebrückensimulation zurückgegriffen. Dazu war es aber zunächst erforderlich, sich Gedanken über die Anwendbarkeit dieser State-of-the-Art-Technologie zu machen

### 2.3.1 Thermische Simulation mittels numerischer Wärmebrückensimulation

Um die Performance der erdachten Konstruktionen in den späteren Phasen (rudimentär ab den Entwurfskonzepten) auf einem raschen und effizienten Wege bewerten zu können, wurde auf den Erfahrungen des Projektes VIG-SYS-RENO hinsichtlich numerischer thermischer Wärmebrückensimulation aufgebaut. Im Detail wurde das zertifizierte Werkzeug AnTherm ([www.antherm.eu](http://www.antherm.eu)) zu diesem Zweck herangezogen. Aufbauend auf den Verifikationsbemühungen aus dem Projekt VIG-SYS-RENO wurden von den relevanten Details (Horizontalschnitte, Vertikalschnitte) der unterschiedlichen Designs zunächst CAD-Zeichnungen angefertigt, diese dann in das Simulationswerkzeug transponiert, mit Materialkennwerten ausgestattet, und entsprechende Simulationen durchgeführt.

Zu den Key Performance Indikatoren (KPIs), die auf diese Weise ermittelt werden können, zählen:

- Temperaturen und Wärmeströme in den Konstruktionen und auf den Oberflächen der Konstruktionen. Diese können als thermische Leitwerte (*Thermal Coupling Coefficients*) ausgedrückt werden, aber auch mit einfacheren Indikatoren, wie dem  $f_{rsi}$ -Wert beschrieben werden. Die Berechnung des  $f_{rsi}$ -Wertes ist in facheinschlägigen Normen, wie z.B. der ÖNORM B 8110 Teil 2 oder der DIN 4108 Teil 3 erklärt.
- Auch wenn der PSI- ( $\Psi$ -) und CHI- ( $\chi$ -) Wert nur eine geringe Aussagekraft hinsichtlich der thermischen Qualität von Bauteilen haben, können diese Werte ganz gut zum Vergleich von Konstruktionen ohne Vakuumglas (d. h. mit herkömmlichen Glas bzw. Isolierglas) und solchen mit Vakuumglas herangezogen werden. Die Erklärung wie diese und andere Wärmebrückenrelevante Kennwerte berechnet werden können ist in facheinschlägigen Normen, wie z.B. der EN ISO 10211 enthalten.
- Letztlich ist die Wasserdampfdiffusion in den Bauteilen, genauso wie mögliche Korrosion-, Kondensat-, oder Schimmelbildungsneigung, mittels der Simulation beschreibbar.

Eine Schlüsselfrage, die bei der Simulation von Vakuumgläsern immer wieder auftritt, ist, inwieweit die Abstandhalter (Pillar) im Zuge der Simulation zu berücksichtigen sind oder nicht. Eine von Pont und Mahdavi (2017) hierzu durchgeführte Modellrechnung hat Simulationen, die dreidimensional durchgeführt werden mit 2D-Simulationen durch das Feld und durch die Abstandhalter verglichen. Dabei stellt sich heraus, dass die Abweichungen von 2D-Simulationen durch das Feld zu 3D-Simulationen infolge der geringen Flächenausdehnung der Abstandhalter vernachlässigbar sind. Siehe Abbildung 5 – Abbildung 8.

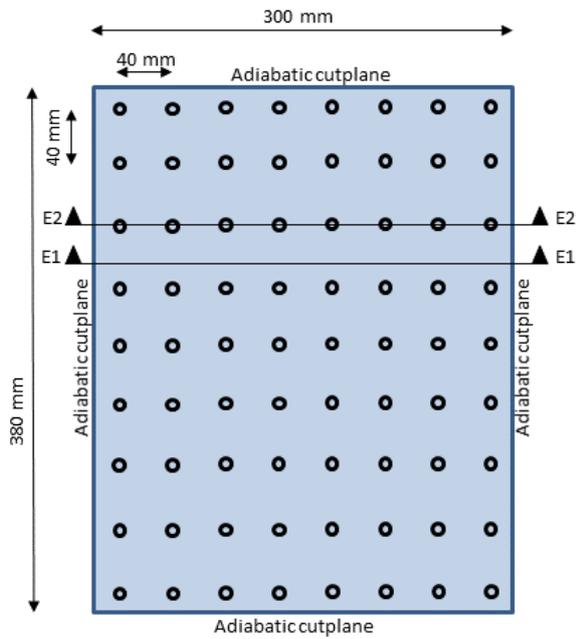


Abbildung 5: Konzeptionelle Darstellung des simulierten Vakuumglases (Plan), entnommen aus Pont & Mahdavi 2017

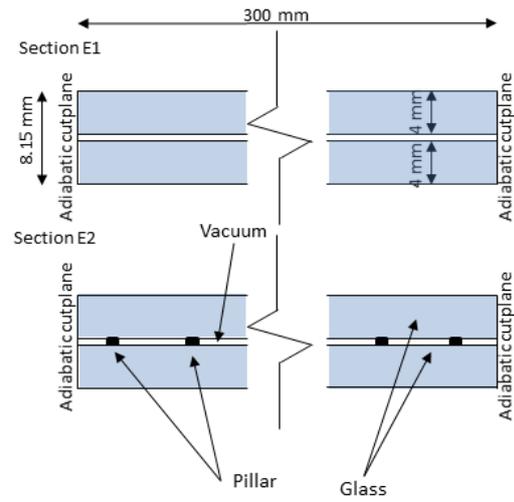


Abbildung 6: Konzeptionelle Darstellung des simulierten Vakuumglases (Schnitte), entnommen aus Pont & Mahdavi 2017

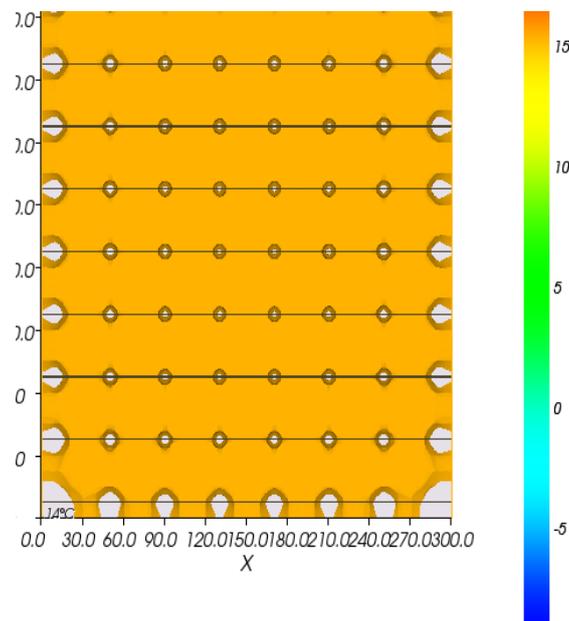


Abbildung 7: Falschfarbenbild der Oberflächentemperaturen, entnommen aus Pont & Mahdavi (2017)

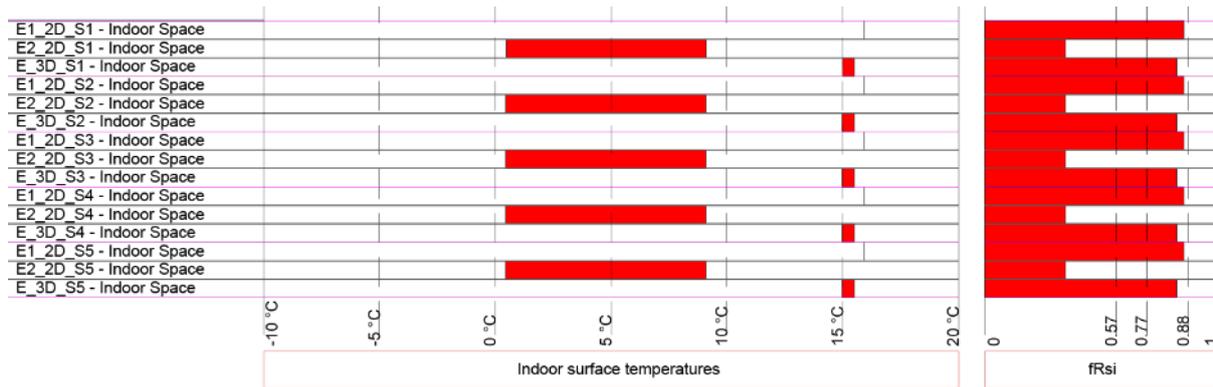


Abbildung 8: Ergebnisspannweiten der Berechnungen, entnommen aus Pont & Mahdavi 2017

Die numerische Wärmebrückensimulation lieferte in diesem Projekt wesentliche Annäherungen, welche auch für die weitere Evaluierung der Konstruktionen sehr brauchbar erschien. Es muss an dieser Stelle jedoch darauf hingewiesen werden, dass im Bereich der Anschlussfuge etwaig auftretende konvektive Effekte, d. h. Effekte die z. B. zur Vermeidung von Kondensation durch Luftbewegung entlang der Oberflächen beitragen kann, nur sehr rudimentär evaluiert werden können. Solche Aspekte erfordern detaillierte CFD (Computational Fluid Dynamics)-Simulationen, welche aufgrund der schwierigen Modellierung und Akquise von Eingangsdaten noch sehr wenig in diesem Bereich verwendet werden. Alternativ dazu müssen bei gebauten Prototypen entsprechende Messungen vorgenommen werden.

### 2.3.2 U-Wert

Die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) erfolgte gemäß der für transparente Bauteile vorgesehenen ÖNORM EN ISO 10077. Allerdings muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass diese Normenserie noch nicht auf die jüngsten Entwicklungen im Bereich Vakuumgläser angepasst wurde. Daher wurden die Verfahren wo notwendig mit den entsprechenden Kennwerten angepasst.

## Schallschutz

In diesem Kapitel werden die verwendeten Prüfkörper (PK), das Messverfahren und die verschiedenen Einbausituationen detailliert beschrieben. Von allen PK wurde das Schalldämm-Maß R im Prüfstand gemäß ÖNORM EN ISO 10140-2:2010 bestimmt.

Am Anfang wurden kleine Verglasungen aus Verbundsicherheitsglas (VSG) und Vakuumglas (VG) untersucht, um das schalltechnische Verhalten bewerten zu können. Im Anschluss daran wurde das entwickelte „Mock-Up Fenster Typ A1“ mit den entsprechenden Verglasungen untersucht, um diese dann noch unter „realen“ Bedingungen im Prüfstand bewerten zu können.

### 2.3.3 Prüfkörper

#### Aufbau Verbundsicherheitsglas (VSG):

Zwischen zwei Floatgläsern wird gewöhnlich eine Folie aus Polyvinylbutyral oder Ethylvinylacetat eingebracht und mittels Walzen ein „Vorverbund“ hergestellt. In Autoklaven wird dann ein dauerhafter Verbund zwischen den Gläsern und der Folie geschaffen. Dadurch entsteht ein VSG Glas das über die ganze Fläche miteinander verbunden (bzw. gekoppelt) ist.

#### Aufbau Vakuumglas (VG):

Über einen gasdichten Randverbund werden zwei vorgespannte Gläser mit einem Glasabstand (bei den untersuchten Verglasungen) der im Bereich 0,2 mm bis 0,15 mm liegt miteinander verbunden. Dieser Scheibenzwischenraum wird dann evakuiert. Nach der Evakuierung liegt der Druck im Bereich unter  $10^{-3}$  hPa d. h. im Hochvakuum. Um zu verhindern dass die Scheiben durch den Umgebungsdruck zusammengedrückt werden und sich dadurch der Scheibenzwischenraum verkleinert, werden Stützen in einem vorgegebenen Raster eingebracht. Bei den untersuchten Scheiben liegt das Raster bei 40 mm x 40 mm.

#### Prüfkörper Eigenschaften:

Im ersten Schritt wurden Verglasungen ein VSG-Glas Typ „VSG 44.2“ und zwei VG-Gläser Typ „TL4 + V + T4“ untersucht (Beispiel siehe Abbildung 9). Alle PK hatten eine Dimension von (Länge x Breite) 1100 mm x 500 mm. Die Abmaße entsprechen nicht den Vorgaben laut ÖNORM EN ISO 10140-1:2016. Für erste orientierende Messungen und zum Ableiten des Verhaltens ist diese Größe ausreichend. Alle untersuchten Verglasungen wurden mit dem Bohle „Glass Buddy Plus“ an zwei Punkten gemessen. Einmal in der Mitte der Scheibe und einmal am rechten oberen Rand. Da die Messergebnisse identisch sind, werden sie für jede Scheibe nur einmal angeführt (siehe Tabelle 1). Die VG-Gläser konnten nicht mit dem Glass Buddy Plus gemessen werden, darum fehlen die Ergebnisse für diese Verglasungen.



Abbildung 9: Verbundsicherheitsglas-Scheibe Typ „VSG 44.2“

Im zweiten Schritt wurden dann zwei der entwickelten Mock-Up Fenster Typ A1 mit einer „VSG 44.2“ Verglasung und einer „TL4 + V + T4“ Verglasung untersucht. Diese Fenster sind baugleich und unterscheiden sich nur anhand der Verglasung. Die Verglasungen im Flügel hat eine Größe von 1390 mm × 1090 mm. Die Größe der Fenster entspricht den Normvorgaben und hat ein Stockaußenmaß von 1480 mm × 1230 mm (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten PK

									Messdaten Glass Buddy Plus				
PK	Typ	Gewicht	Fläche	Flächenmasse	Schließmoment	T Scheibe	Länge	Breite	Dicke	Aufbau	G1.1	Folie	G1.2
		kg	mm	kg/m <sup>2</sup>	dNm	°C	mm	mm	mm		mm	mm	mm
1	VSG 44.2	10,97	0,55	19,9	--	23,8	1100	500	8,4	4_Folie_4	3,8	0,8	3,8
2	TL4 + V + T4 - 5	10,67	0,55	19,4	--	22,5	1100	500	7,9*	--	--	--	--
3	TL4 + V + T4 - 6	10,70	0,55	19,4	--	22,7	1100	500	8,1*	--	--	--	--
4	Mock-Up VSG 44.2	49,04	1,875	26,2	5,8	24,3	1480	1230	8,4	4_Folie_4	3,8	0,8	3,8
5	Mock-Up TL4 + V + T4	47,81	1,875	25,5	6,8	22,0	1480	1230	7,9*	--	--	--	--

\* Die Dicke wurde mit einem Messschieber bestimmt. Aufbau laut Hersteller: 4 mm Glass, 0,15 mm – 0,2 mm Vakuum, 4 mm Glass

### **2.3.4 Messverfahren Schalldämm-Maß R nach ÖNORM EN ISO 10140-2**

Die Luftschallmessungen wurden gemäß ÖNORM EN ISO 10140-2:2010, mit der Messausrüstung Sinus Soundbook MK2\_8L (Inv. Nr. 4400), durchgeführt.

Die Luftschallanregung erfolgte mittels weißem Rauschen mit dem Dodekaeder-Lautsprecher „Infra Qsources omni-directional mid frequency sound source Qom“ (Inv. Nr. 4415) und dem Verstärker „Infra Qsources measurement power amplifier Qam Typ A1314“ (Inv. Nr. 4419).

Die Messung des sende- und empfangsseitigen Schalldruckpegels erfolgte mittels ½“ - Kondensatormikrofonen G.R.A.S. 40AE, mit Vorverstärker G.R.A.S. Typ 26AK (Inv. Nr. 4438 - 4445). Dabei wurden die Schallpegel im Empfangsraum und im Senderraum mit je 4 Mikrofonen und 8 Mikrofonpositionen zu jeweils 3 festen Lautsprecherpositionen (24 Messpositionen pro Raum) gemessen und gemittelt.

Die gesamte Messkette ist geeicht. Vor der Messung erfolgte eine Kalibrierung mit der Prüfschallquelle „Svantek SV 30A“ (Inv. Nr. 4422), nach der Messung wurde die Kalibrierung erneut kontrolliert.

Die Bewertung der Messergebnisse erfolgte nach ÖNORM EN ISO 717-1:2013.

Der Fremdgeräuschpegel wurde ermittelt. Der Empfangsraumpegel wurde nicht gemäß ÖNORM EN ISO 10140-4:2010 Abschnitt 4.3 korrigiert, da nicht erforderlich. Die Maximalschalldämmung des Prüfstandes lag in allen Terzbändern mehr als 15 dB über dem gemessenen Schalldämm-Maß. Eine Korrektur war daher nicht erforderlich.

Die Nachhallzeit wurde mittels Verfahren der integrierten Impulsantwort ermittelt. Dabei werden 3 Lautsprecherpositionen verwendet, mit jeweils 4 festen Mikrofonpositionen und jeweils 4 Pegelabfällen pro Position. Die Ergebnisse werden arithmetisch gemittelt.

Das beschriebene Messverfahren und die verwendete Vorgehensweise wurden bei jeder Messung wiederholt, um konsistente und vergleichbare Messergebnisse zu bekommen.

### **2.3.5 Einbausituation**

#### Fall 1 – Verglasungen:

Da in diesem Fall die normierte Prüföffnung (Fensteröffnung) mit den Abmessungen 1500 mm x 1250 mm zu groß ist, wurde eine hochschalldämmende Prüfwand in die Fensteröffnung eingebaut und das maximale Schalldämm-Maß dieser Konstruktion bestimmt (siehe Abbildung 10). Der Aufbau der Prüfwand ist wie folgt:

- 25 mm Rigips Duotech Vario Gipskartonplatte
- 25 mm Rigips Duraline Duotech Gipskartonplatte
- 50 mm Metallständerprofil mit 50 mm Mineralwolle
- 210 mm Mineralwolle
- 50 mm Metallständerprofil mit 50 mm Mineralwolle

- 25 mm Rigips Duraline Duotech Gipskartonplatte
- 25 mm Rigips Duotech Vario Gipskartonplatte

Die Abdichtung der Prüfwand zur Prüföffnung erfolgte mittels Fensterkitt (Ilbruck OS201), der aufgespritzt wurde. Das maximale Schalldämm-Maß dieser Konstruktion lag bei  $R_w = 61$  dB. Dieses Vorgehen wurde gewählt, um sicherzustellen, dass diese hochschalldämmende Prüfwand eine höhere Schalldämmung aufweist als die zu prüfenden Verglasungen.

Im Anschluss daran wurde die Prüföffnung für die Verglasungen herausgearbeitet. Diese Prüföffnung war Sende- und Empfangsraumseitig gleich groß. Die Dimension ist (Höhe  $\times$  Breite) 1120 mm  $\times$  520 mm, sodass umlaufend eine 10 mm breite Fuge entsteht. Die Verglasungen wurden gemäß ÖNORM EN ISO 10140-1:2016 eingebaut (Abbildung 11). Die Abdichtung erfolgte mittels 25 mm  $\times$  25 mm Glasleisten und Fensterkitt (Ilbruck OS201). Details zum Einbau sind in dieser Norm in Anhang D und auf Bild D.1 – Beispiel für den Einbau einer Glasscheibe zu finden.



Abbildung 10: Hochschalldämmende Prüfwand in der Fensteröffnung



Abbildung 11: Hochschalldämmende Prüfwand in der Fensteröffnung mit eingebauter Scheibe

### Fall 2 - Mock-Up Fenster Typ A1:

Die Fenster wurden auf der Senderraumseite in die normierte Prüföffnung (Fensteröffnung) mit den Abmessungen 1500 mm  $\times$  1250 mm eingebaut. Die Prüföffnung befindet sich in einer doppelschaligen Prüfwand bestehend aus zwei 19 cm dicken Stahlbetonwänden, welche durch einen 30 mm dicken, mit Mineralwolle ausgedämmten, Spalt Körperschallbrückenfrei getrennt sind. Auf der Empfangsraumseite beträgt die Prüföffnung 1620 mm  $\times$  1310 mm.

Das Fenster wurde so in die Fensteröffnung eingebaut, dass umlaufend eine 10 mm Fuge entsteht. Dafür wurde das Fenster auf zwei Kunststoff Klotzpunkte auf der unteren Fensterleibung gestellt. Diese Klotzpunkte hatten eine Höhe von 10 mm, um die geforderte

Fuge einzustellen. Jetzt wurde das Fenster eingerichtet und an der oberen Fensterlaibung verklotzt gegenüber den unteren Klotzpunkten. Damit wird sichergestellt, dass das Fenster vor der Prüfung 5-mal geöffnet und geschlossen werden kann, da die Funktionsfähigkeit während der Prüfung erhalten bleiben muss. Der noch freie Spalt wurde über die gesamte Rahmendicke mit Mineralwolle ausgestopft und zum Schluss beidseitig mit Fensterkitt (Ilbruck OS201) abgedichtet (siehe Abbildung 12). Vor der Schallprüfung wurde noch das Schließmoment und die Oberflächentemperatur der jeweiligen Verglasung gemessen.



Abbildung 12: Einbausituation Mock-Up Fenster Typ A1

## 2.4 Gebrauchstauglichkeit

Neben theoretischen Überlegungen in allen Entwicklungsschritten wurde das umgesetzte Mock-Up entsprechenden Untersuchungen zur Leistungsüberprüfung von Fenstern unterzogen. Dazu zählten insbesondere:

- Bedienkräfte gemäß ÖNORM EN 12046-1 und ÖNORM EN 13115
- Luftdurchlässigkeit gemäß ÖNORM EN 1026 und ÖNORM EN 12207
- Schlagregendichtheit gemäß ÖNORM EN 1027 und ÖNORM EN 12208
- Windwiderstandsfähigkeit gemäß ÖNORM EN 12211 und ÖNORM EN 12210
- Mechanische Festigkeit gemäß ÖNORM EN 14608, ÖNORM EN 14609 und ÖNORM EN 13115
- Dauerfunktion gemäß ÖNORM EN 1191 und ÖNORM EN 12400

Diese Untersuchungen dienen in erster Linie zur Abschätzung inwieweit das Mock-Up tatsächlich die Anforderungen eines Fensters erfüllen kann. Dabei ist aber immer zu berücksichtigen, dass es sich um ein erstes Mock-Up (siehe Abbildung 13) handelt und um kein Vorserienmodell oder Standardfenster.



Abbildung 13: Mock-Up im Versuchsstand für Fenstertests an der Holzforschung Austria

Im Folgenden sind die Untersuchungen kurz beschrieben.

Vor den Versuchen war das Fensterelement für mindestens 4 Stunden bei einem Klima von min. 10 °C bis max. 30 °C bei min. 25 % bis max. 75 % relativer Luftfeuchte gelagert. Für die durchgeführten Teilprüfungen wurde der Fassadenprüfstand Inventar Nr. 4079 und der der Dauerfunktionsprüfstand Inventar Nr. 4046 der Holzforschung Austria herangezogen. Diese Versuchseinrichtungen erlauben den Einbau des Fensterelements und die Durchführung der verschiedenen Untersuchungen entsprechend den Anforderungen der oben genannten Normen.

Bedienungskräfte gemäß ÖNORM EN 12046-1 und ÖNORM EN 13115:

Bei diesem Versuch wurde die statische Mindestkraft bzw. das statische Mindestdrehmoment gemessen, die/das für die Freigabe bzw. Verriegelung der Beschläge, für die Einleitung der Öffnungsbewegung und für das vollständige Schließen des Flügels erforderlich ist.

Die Bedienkräfte des Fensterelements wurden mittels Drehmomentschlüssel und Kraftmessgerät ermittelt.

Luftdurchlässigkeit gemäß ÖNORM EN 1026 und ÖNORM EN 12207:

Es wurde eine bestimmte Anzahl von Druckstufen (positiv und negativ) aufgebracht und bei jedem Prüfdruck die Luftdurchlässigkeit des Fensterelements gemessen. Zur Erfassung der, durch den Versuchsstand bzw. durch die Einspannung des Fensterelements, bedingten Undichtheiten wurde eine Nullmessung mit einer vorgehängten Folie durchgeführt. Nach Entfernen der Folie wurde die Gesamtluftdurchlässigkeit (d. h. Versuchsstand und Fensterelement) gemessen. Die Differenz dieser beiden Werte ergab die Luftdurchlässigkeit des Fensterelements. Die Klassifizierung erfolgte gemäß ÖNORMEN 12207 und ÖNORM EN 14351-1 (Mittelwert aus positiven und negativen Prüfdrücken).

Die Untersuchung der Luftdurchlässigkeit wurde vor und nach der Untersuchung der Widerstandsfähigkeit bei Windlast durchgeführt.

Schlagregendichtheit gemäß ÖNORM EN 1027 und ÖNORM EN 12208:

Das Fensterelement wurde auf der Außenseite (= bewitterte Seite) mit einer definierten Wassermenge besprüht. In den ersten 15 min wurde kein Druck aufgebracht. Danach sollte bei gleichzeitiger Beregnung positiver Prüfdruck in Form aufeinanderfolgender ansteigender definierter Druckstufen in gleichmäßigen Abständen aufgebracht werden. Aufgrund von Wassereintritt innerhalb der ersten 15 min wurde auf die weiterführende Beregnung bei Druckanstieg verzichtet. Bei Wassereintritt ist die Prüfung laut Norm beendet und es wurde der Prüfdruck sowie der Ort des Wassereintritts aufgezeichnet. Die Klassifizierung erfolgt auf Basis jenes maximalen Prüfdrucks, bis zu dem das Fensterelement dicht bleibt.

Windwiderstandsfähigkeit gemäß ÖNORM EN 12211 und ÖNORM EN 12210:

Die Untersuchung der Windwiderstandsfähigkeit besteht aus folgenden drei Teilprüfungen:

- Prüfdruck P1 - Prüfung der Durchbiegung – zur Messung der Durchbiegung von Prüfkörperteilen. Für die Klassifizierung ausschlaggebend, ist die relative frontale Durchbiegung des am stärksten verformten Rahmenteils des Fensterelements.
- Prüfdruck P2 - Prüfung bei wiederholtem Druck – stoßweiser Prüfdruck (abwechselnd positiv und negativ), aufgebracht in 50 Zyklen zur Einschätzung des Leistungsvermögens unter wiederholten Windlasten.
- Prüfdruck P3 - Sicherheitsprüfung – zur Einschätzung der Sicherheit des Fensterelements unter extremen Bedingungen.

Zur Klassifizierung des Fensterelements werden, je nach Teilprüfung (P1, P2, P3), Anforderungen an die Durchbiegung, an die Luftdurchlässigkeit nach Windlast sowie bezüglich etwaiger Mängel (z. B. Schäden, Funktionsstörungen) gestellt.

Lasten in Flügelebene und statische Verwindung gemäß ÖNORM EN 14608 und ÖNORM EN 14609 und ÖNORM EN 13115:

Zur Feststellung der mechanischen Festigkeit, wurde das Fensterelement zum einen mit Lasten in Flügelebene beaufschlagt und zum anderen statischer Verwindung unterzogen. Dazu wurde der Flügel sowohl in Kipp- als auch in Drehstellung belastet. Die Lasten wurden nacheinander aufgebracht. Je Belastungsart werden die maximale und die bleibende Verformung aufgezeichnet und etwaige Schäden dokumentiert. Zur Klassifizierung des Fensterelements werden Anforderungen an die Bedienungskräfte nach der Prüfung sowie bezüglich etwaiger Schäden gestellt.

Dauerfunktion gemäß ÖNORM EN 1191 und ÖNORM EN 12400:

Zur Bestimmung der Widerstandsfähigkeit des Fensterelements bei wiederholtem Öffnen und Schließen wurde dieses einer definierten Anzahl von Öffnungs- und Schließzyklen unterzogen. Die Bedienungsfunktionen Kippen und Drehen wurden einzeln nacheinander untersucht.

Zur Klassifizierung des Fensterelements werden Anforderungen an die Bedienungskräfte nach der Prüfung sowie bezüglich etwaiger Schäden gestellt.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Konzeptionelle Annäherung

Zu Zwecken einer allgemeinen konzeptionellen Annäherung wurden mehrere parallele Entwicklungsbemühungen gestartet:

- Die Literatur-, Patent- und Internetrecherche im Bereich Fenster/Türen und in anderer Fachdisziplinen brachte einen ausführlichen Überblick über nationale und internationalen Entwicklungen und diente auch als Inspiration und Ideengeber für die Konzeptfindung im Bereich neues Vakuumglas-Fenster.
- Zum einen wurde von Projektbeginn an im eigentlichen Projektteam mit eigenen Skizzen, Entwürfen und Arbeitsmodellen gearbeitet. Hier konnte auf den breiten Wissensstand hinsichtlich Fensterkonstruktionen von beiden Projektpartnern zurückgegriffen werden. Der darauf aufbauende Diskurs wurde auch in einem späteren Schritt im Zuge der SWOT-Analysen zu Papier gebracht und finalisiert. Aspekte wie Montage, Konstruktionsform und prinzipielle Funktionsweise sind hier soweit berücksichtigt worden, wie sie den Entwurf ermöglichen bzw. verunmöglichen, wurden jedoch nicht im Detail ausgearbeitet – dies war Inhalt späterer Zugänge.
- Wesentliche Aspekte der Konstruktionen wurden auch in einer Ideenfindungsphase im akademischen Umfeld der TU Wien erarbeitet. Dabei wurden in entsprechenden innerfakultären Diskussionen mit anderen Lehrenden aus dem Architekturmilieu Entwurfsaspekte der Vakuumgläser diskutiert. Ebenso wurde innerhalb der Holzforschung Austria eine solche Diskussion mit KollegInnen aus anderen Fachbereichen geführt. Hierbei wurde versucht fundamentale Gedanken über die Applikationsmöglichkeiten von High-Tech-Gläsern entsprechend anzusprechen und die generelle Meinung der KollegInnen zu erfahren.
- Darüber hinaus wurden die Entwurfsideen des Projektteams auch mit interessierten Studierenden diskutiert und so dann Meinungen junger und unvoreingenommener, fachlich interessierter Personen eingeholt. Diese Annäherungen wurden unter den Titel: „Fenster – neu gedacht“ gestellt, welche zum Großteil Variationen der im Projektteam bereits erarbeiteten Ideen darstellte. Hier wurden auch Inspirationen aus verschiedenen anderen Domänen, welche im Bereich transparente Komponenten eine Rolle spielen (Automotive und Transport, Haushaltgeräte, etc.) bezogen.

Die Ergebnisse dieser Phase wurden zum Großteil mit Handskizzen dokumentiert (siehe Abbildung 14), und zum Teil mit einfachen Arbeitsmodellen spielerisch illustriert (dies vor allem daher, weil Aspekte der Öffnungen von transparenten Bauteilen aus kinematischer Sicht bei komplexeren Öffnungsmechanismen besser als mit Skizzen ausprobiert werden

konnten). Da bei einigen Entwürfen die bloße „kognitive“ Erarbeitung nicht hinreichend Informationen lieferte, wurden bereits hier vereinzelt, vereinfachte Simulationsannäherungen durchgeführt und ausprobiert.

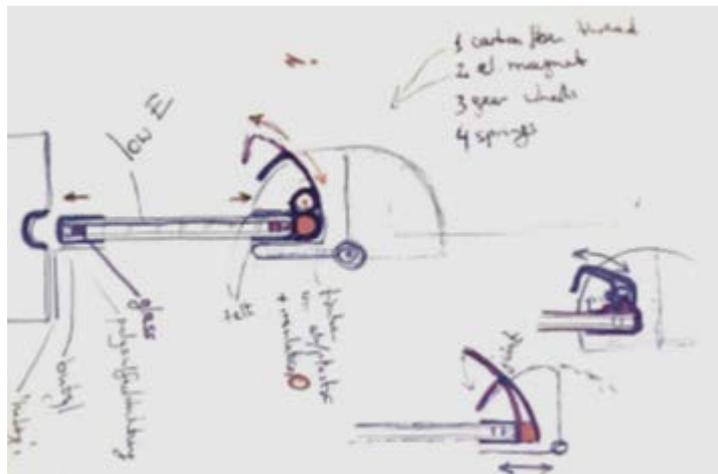
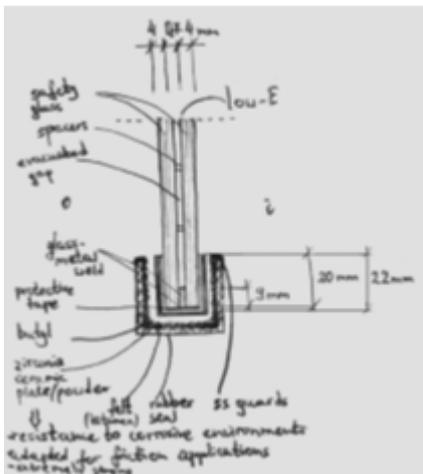
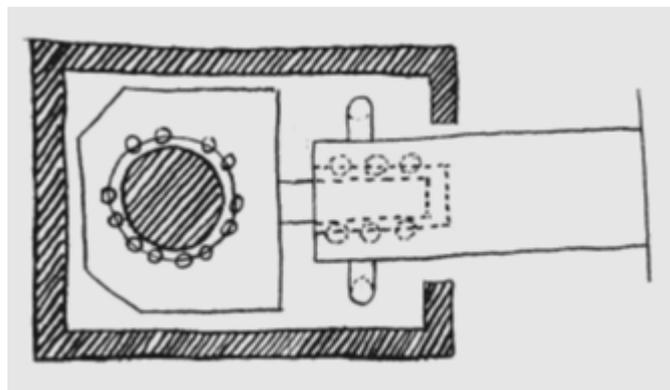
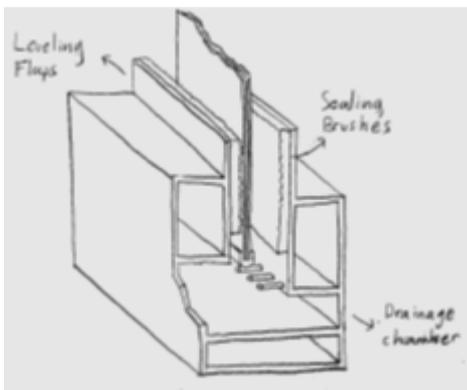
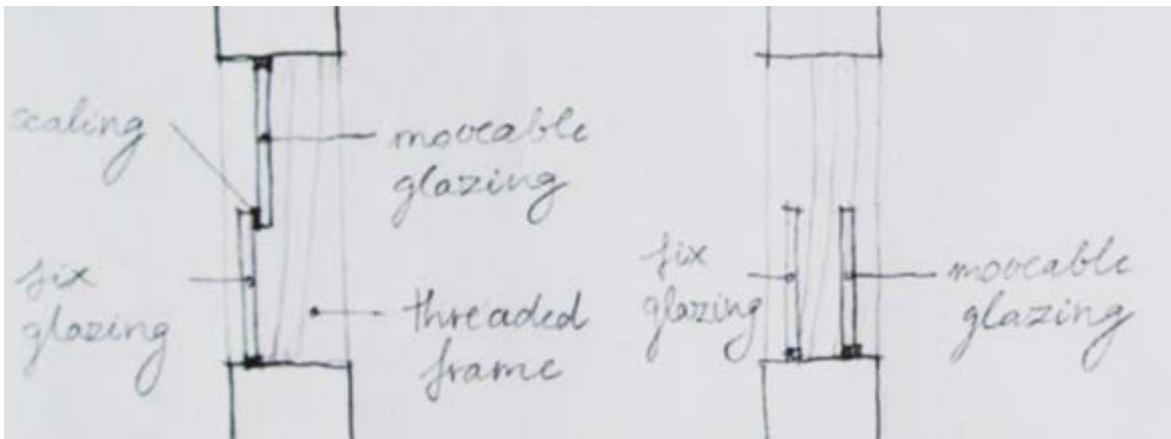
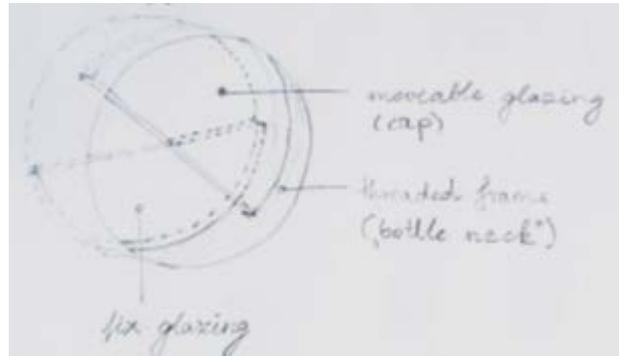
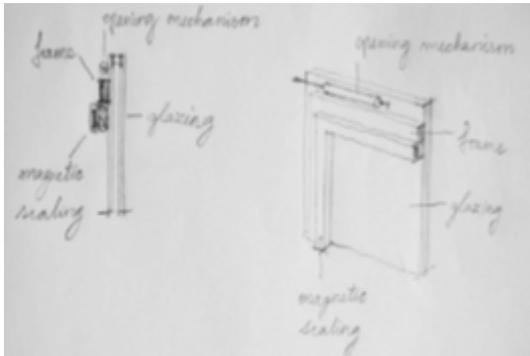


Abbildung 14: Auswahl von Handskizzen die während der konzeptionellen Annäherung entstanden sind

## 3.2 Erste Entwurfskonzepte

### 3.2.1 Typ A, innen öffnendes Fenster

Innen öffnende Fenster mit Isolierverglasung (IV-Fenster) wurde in den 1960er Jahren entwickelt und stellen bis heute den Stand der Technik im zentraleuropäischen Raum dar. Diese Art der Fenster sind in der Regel mit Dreh-Kippbeschlägen ausgestattet und werden in allen Rahmenmaterialien in ähnlicher Art und Weise gefertigt.

Ziel des Entwurfkonzeptes ist es, diese millionenfach bewährte Fensterart für Vakuumglas zu adaptieren. Insbesondere das extrem dünne Vakuumglas, in der Regel 8 mm bis 10 mm dick, ist für eine Rahmenkonstruktion die für Isolierglas von heute mehr als 48 mm ausgelegt ist, nicht geeignet. Dazu kommt das Vakuumglas einen deutlich größeren Glaseinstand braucht, um seine gute thermische Performance ausspielen zu können.

Ein wenig revolutionärer Ansatz ist, das Vakuumglas außen, wie bei einem Integralfenster zu applizieren, wodurch aber schlankere Profile möglich sind. Auch wäre das Flügelprofil durch die Glasscheibe vollständig vor Bewitterung geschützt. Vorteil dieses Systems ist, dass alle notwendigen Systemkomponenten wie z. B. Beschläge, Dichtungen, Aluminiumprofile vorhanden sind.

Einen innovativeren Ansatz liefert die Applizierung der Vakuumglasscheibe ganz innen, möglichst flächenbündig in Ganzglasoptik. Die außenliegenden Profilquerschnitte sind dabei allerdings frei bewittert und sollten durch Aluprofile abgedeckt werden. Durch diesen Ansatz können ebenfalls extrem schlanke Profilquerschnitte erreicht werden, die Abdeckung des Randverbundes scheint ausreichend groß zu sein und darüber hinaus könnten alle wesentlichen Komponenten vom IV-Fenster übernommen werden (siehe Abbildung 15). Allerdings ergibt sich dadurch innenseitig ein völlig neuartiges Erscheinungsbild eines Ganzglasfensters, dessen Akzeptanz beim Kunden ungewiss ist.

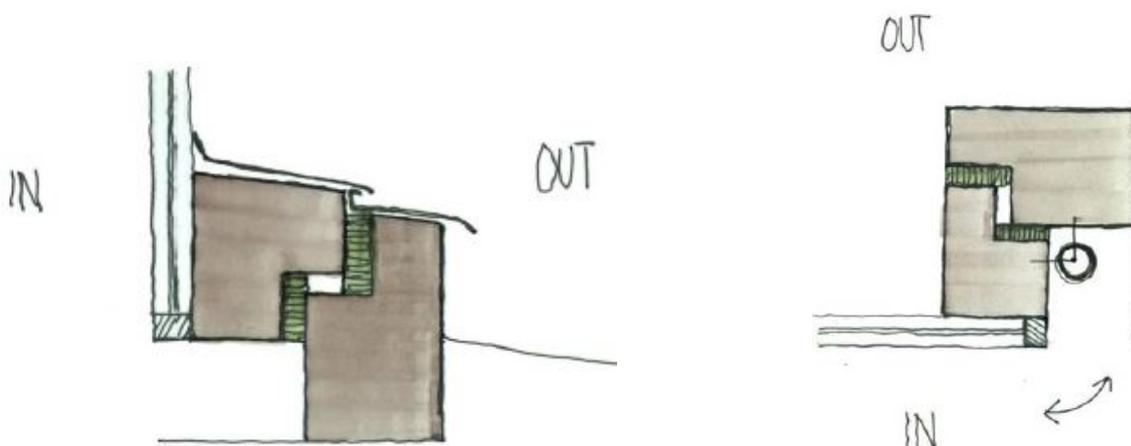


Abbildung 15: innen öffnendes Fenster mit innenliegendem Vakuumglas

**Fazit:** Aufgrund dessen, dass notwendige Systemkomponenten wie z. B. Beschläge, Dichtungen, Aluminiumprofile vorhanden sind, soll dieser Ansatz, nach Diskussion in der Projektgruppe, in Form eines Prototyps umgesetzt werden. Siehe dazu Abschnitt 3.4.1. und 3.4.2

### 3.2.2 Typ B, außen öffnendes Fenster

Ein nach außen öffnendes Fenster stellt in Zentraleuropa eine absolute Novität dar. Lediglich Beispiele wie das „Altwiener Kastenfenster“ aus der Mitte des 19. Jahrhunderts zeigen (bis heute) solche Öffnungsarten. Aus Komfortgründen wurde diese Konstruktionsart bei uns sehr rasch durch innenöffnende Konstruktionen ersetzt.

Anders im nordeuropäischem Raum: Dort sind außenöffnende Fenster bis heute teil moderner Fensterkonstruktionen, insbesondere aufgrund ihrer Eigenschaft, das bei höheren Winddrücken die Dichtheit zunimmt. Allerdings ist außen kein Sonnenschutz möglich, was in Nordeuropa auch nicht unbedingt notwendig ist. Auch dem Nachteil der schlechten Möglichkeit der Reinigung der Außenfläche der Glasscheibe wurde durch spezielle Konstruktionen begegnet.

Erste Überlegungen zeigten bereits die Möglichkeit, dass bei solchen Konstruktionsvarianten in Kombination mit Vakuumglas sehr schlanke und einfache Profilgeometrien umsetzbar sein müssten. Darüber hinaus wurden Entwurfskonzepte erarbeitet, bei welchen die Leibungslichte gleich der Stocklichte, der Flügellichte und der Glaslichte ist (siehe Abbildung 16). Dieses Entwurfskonzept ergibt neue Gestaltungsmöglichkeiten und architektonisch besonders reizvolle leibungsbündige Ausführungen.

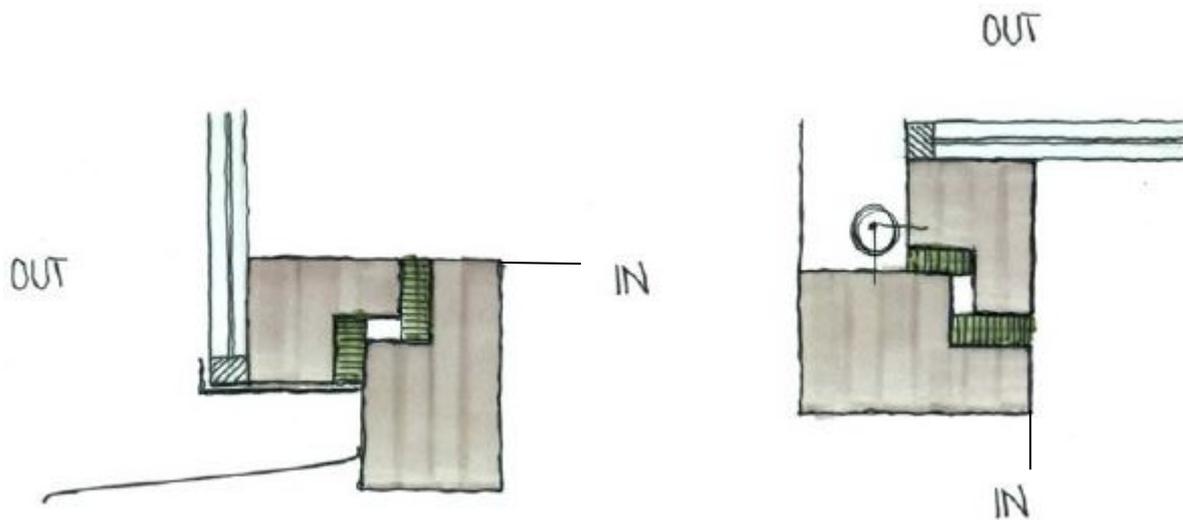


Abbildung 16: außen öffnendes Fenster in flächenbündiger Ausführung

**Fazit:** Aufgrund dessen, dass notwendige Systemkomponenten wie z. B. Beschläge, Dichtungen, Aluminiumprofile vorhanden sind, wurde nach ausführlicher Diskussion in der Projektgruppe entschieden, dass dieser Ansatz in Form eines Prototyps umgesetzt werden soll. Siehe dazu Abschnitt 3.4.3.

### 3.2.3 Typ C, Schwing-Klappfenster

Dieser Lösungsansatz orientiert sich an den Garagentoren der 60er und 70er Jahre. Das Prinzip beruht darauf einen Bauteil so nach oben zu bewegen, dass der untere Teil des Bauteiles sich nach außen und der obere Teil nach innen bewegt (siehe Abbildung 17).



Abbildung 17: Grundprinzip des Schwing-Klappfenster

Auch die Möglichkeit das Fenster nur nach innen schwingen zu lassen wurde überprüft (siehe Abbildung 18), aber auf Grund der hohen Flügelgewichte und Momente die über das Führungsgestänge aufgenommen werden müssen wieder verworfen.

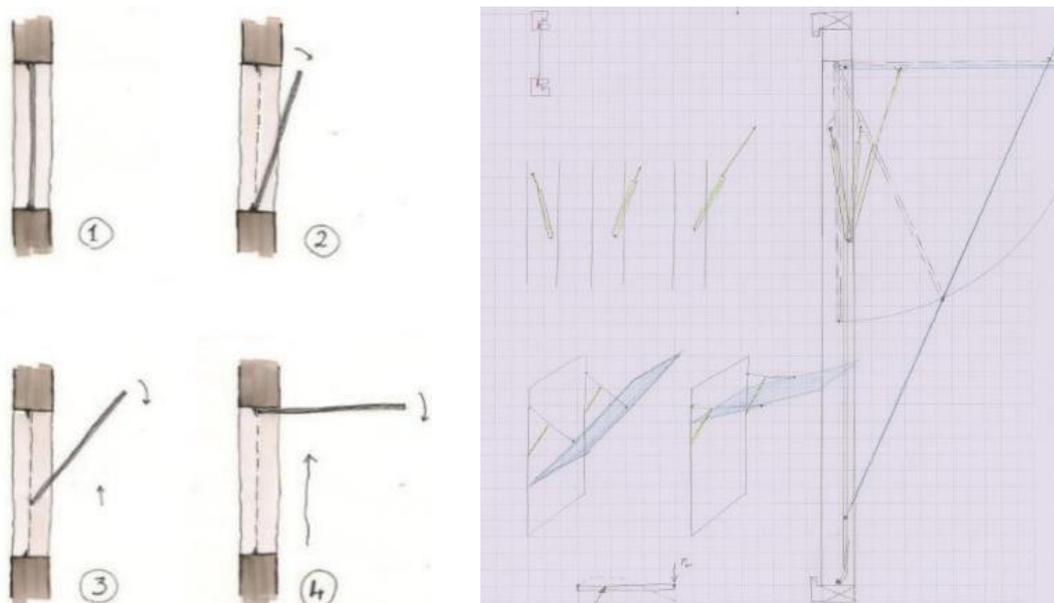


Abbildung 18: Schwing-Klappfenster, bei dem der Flügel nur nach innen schwingt

Dadurch dass der untere Teil des Fensterflügels nach außen und der obere Teil nach innen geführt wird muss ein Drehpunkt definiert werden. Dieser sollte ca. im Schwerpunkt bzw. einige Zentimeter darunter liegen um eine gute Gewichtsverteilung zu erhalten und die Mechanik schlank halten zu können (siehe Abbildung 19). Der Antrieb für ein solches Bewegungssystem ist besonders für motorische Antriebe geeignet, da dadurch viele mechanische Teile und Gegengewichte eingespart werden können.

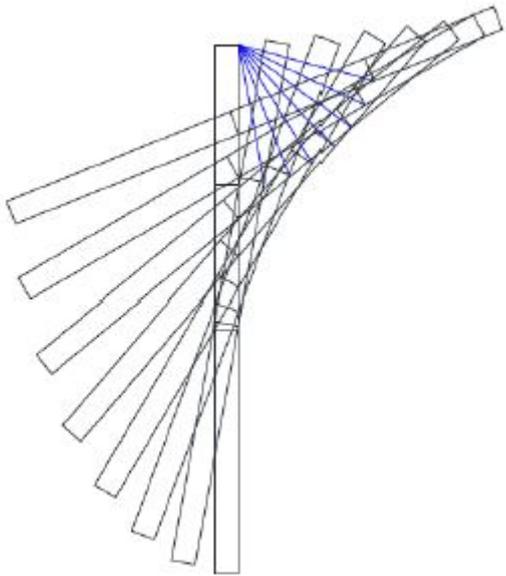


Abbildung 19: Bewegungsmodell und Gleitkurven für das Schwing-Klappfenster

Das Konzept des Schwing-Klappfensters beinhaltet auch Türen sowie Ausführungen bei denen der untere nach außen schwingende Flügelabschnitt opak ausgeführt wird, um eine Beschattung automatisch zu gewährleisten (siehe Abbildung 20).

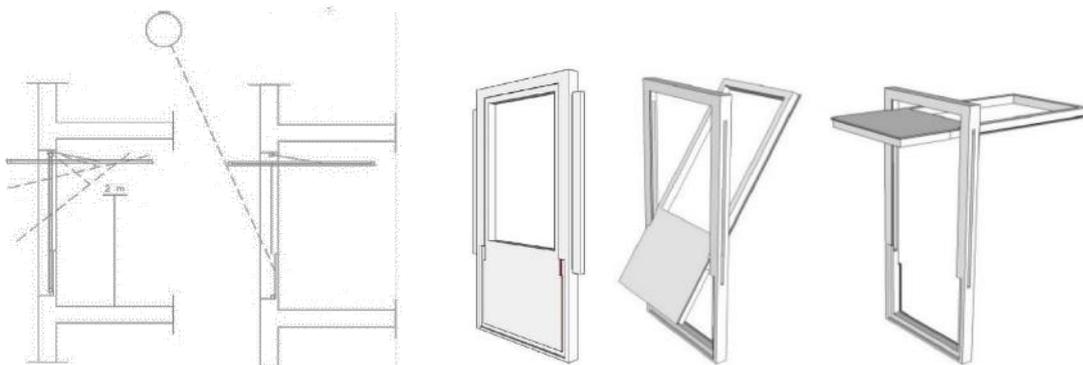


Abbildung 20: Schwing-Klappfenster mit opakem Flügelabschnitt zur Beschattung

**Fazit:** Im Projektteam wurde entschieden, dass diese Idee eines Schwing-Klappfenster in Form eines Handmusters umgesetzt werden soll, um die technische Machbarkeit besser abschätzen zu können. Siehe dazu Abschnitt 3.3.1.

### 3.2.4 Typ D, Vertikal-Schiebefenster

Schiebefenster erfreuen sich in den letzten Jahren immer größerer Beliebtheit. Dabei handelt es sich aber in erster Linie um großformatige Hebe-Schiebtüren. Sehr selten kommen auch Schiebefenster zum Einsatz, wobei in der Regel der Innenflügel nach oben geschoben wird.

Das neue Konzept beruht auf dem Ansatz - das Autofenster für das Bauwesen. Folgt man diesem Ansatz, so wird eine Glasscheibe in einem Dichtungsprofil nach unten geführt (siehe Abbildung 21). Genau dieses Konzept soll für ein Vertikal-Schiebefenster umgesetzt werden.

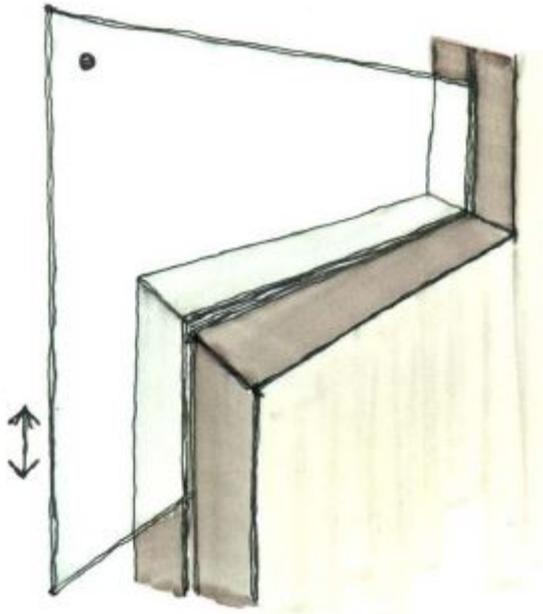


Abbildung 21: Grundprinzip des Vertikal-Schiebefenster

Die Idee beruht darauf, dass in eine geschoßhohe Wandöffnung ein Fensterrahmen gesetzt wird, in dem eine Verglasung in das darunterliegende Parapet geschoben wird. Die Verglasung kann dabei aus Gründen der Fensterhöhe zur Parapethöhe nicht immer vollständig in das Parapet eingefahren werden, wodurch ein Herausfallen von Gegenständen, die am Fensterbrett stehen, verhindert wird.

Als Antrieb kommen unterschiedlichste System in Frage, wie sie im Fahrzeugbau oder der Hebertechnik Verwendung finden aber auch ganz einfache Handantriebe durch Kurbeln (Beispiel siehe Abbildung 22).

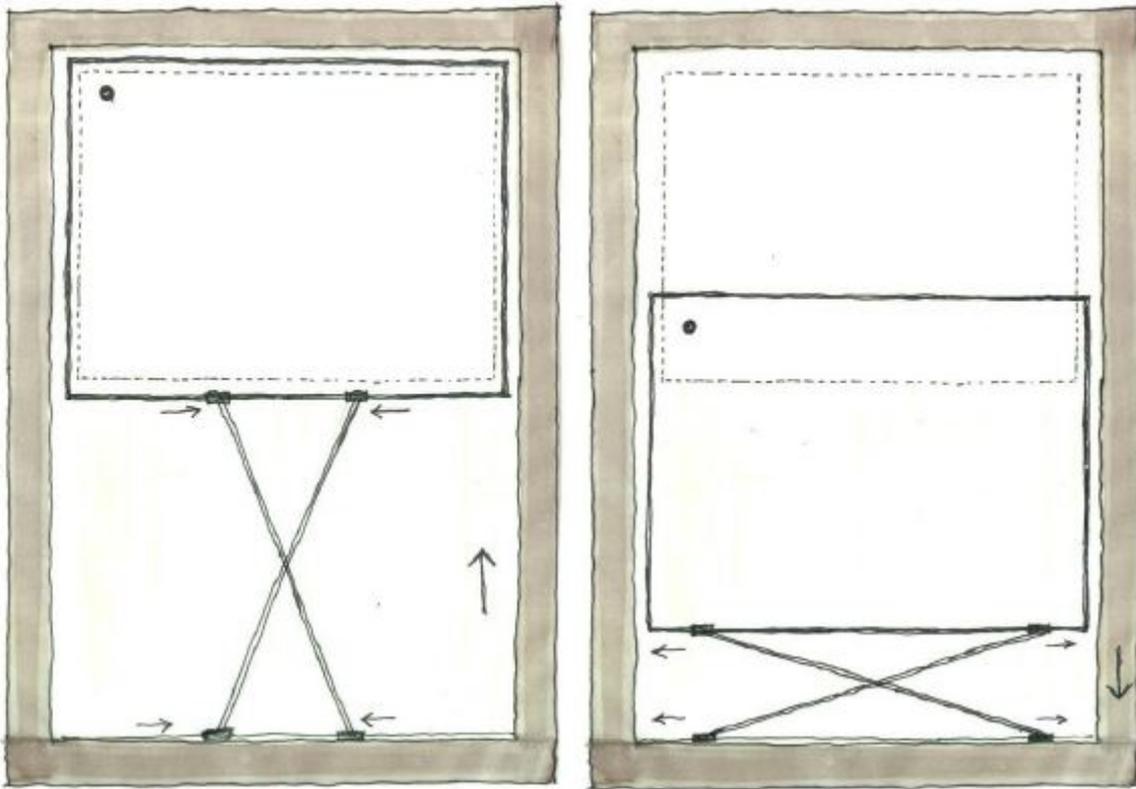


Abbildung 22: Beispiel eines einfachen Bewegungsmechanismus für das Öffnen und Schließen eines Vertikal-Schiebefensters

Die Verglasung wird ohne Rahmen direkt in einer Dichtung geführt. Das Vakuumglas ist dafür besonders geeignet da es sehr dünn ist (in der Regel 8 mm bis 10 mm), die Glaskanten geschliffen und nicht durch Dichtmassen verunreinigt sind und ein geringes Gewicht aufweisen. Die Dichtung selbst ist der Fahrzeugtechnik entnommen, d. h. um ein geräuschloses und leichtes Gleiten in der Dichtung auf Dauer sicher zu stellen, sind die Gleitflächen beschichtet oder beflocht. Dies wiederum bedeutet dass keine 100%-ige Schlagregendichtheit zu erreichen sein wird und Regenwasser in die Konstruktion eindringen wird. Dies ist konstruktiv zu lösen, indem Regenwasser kontrolliert durch die Fensterkonstruktion geführt und am unteren Ende wieder nach außen geleitet wird (siehe Abbildung 23 links).

Um die thermische Performance der Vakuumverglasung ausschöpfen zu können, ist der Einfluss des Randverbundes möglichst gering zu halten. Zu diesem Zweck ist ein Glaseinstand von ca. 4 cm erforderlich. Dazu sind spezielle Dichtungssysteme zu entwickeln die einerseits diesen großen Glaseinstand ermöglichen, andererseits der Glasscheibe auch ausreichend Halt und Führung in der Dichtung geben. Eine erste Idee für eine solche Dichtung ist in Abbildung 23 rechts dargestellt.

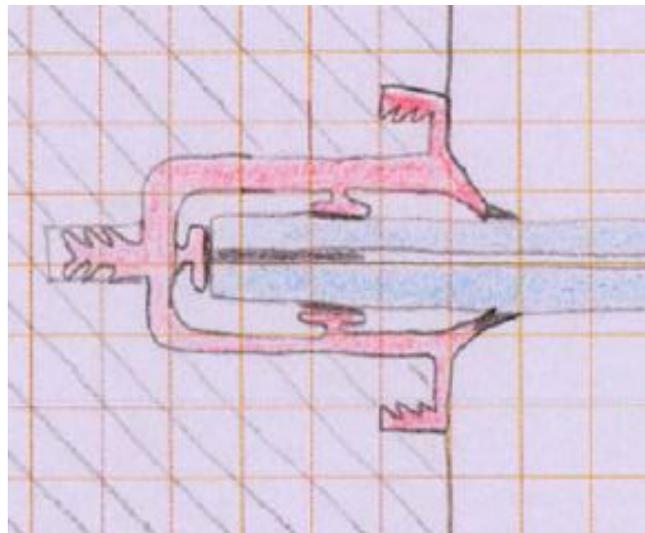
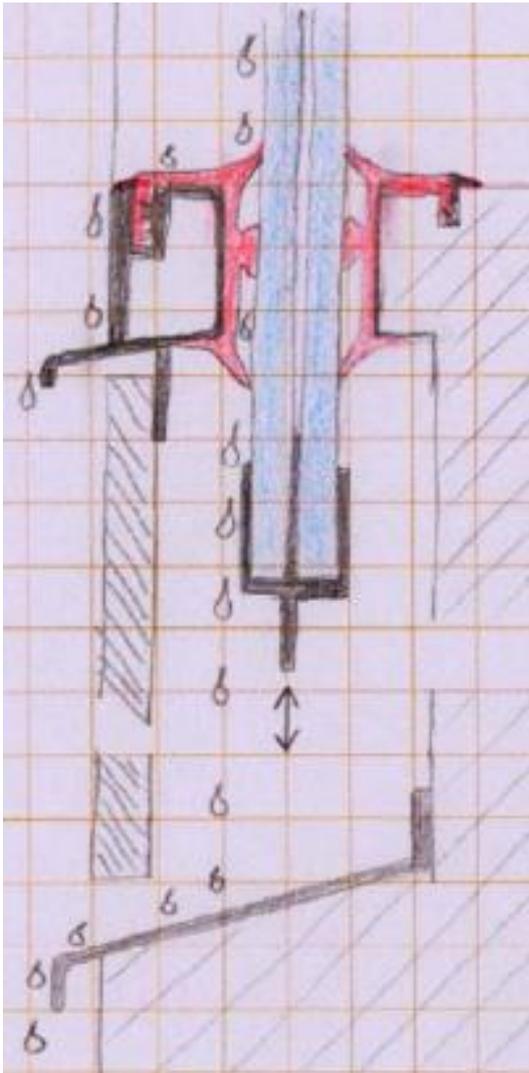


Abbildung 23: Links: Konstruktionsprinzip eines Vertikal-Schiebefensters, indem Regenwasser kontrolliert durch die Fensterkonstruktion geführt wird.

Rechts: Dichtungssystem für großen Glaseinstand und Führung und Halt für die Glasscheibe

**Fazit:** Gemeinsam wurde in der Projektgruppe festgelegt, dass dieses Konzept eines Vertikal-Schiebefensters in Form eines Handmusters umgesetzt werden soll, um die technische Machbarkeit besser beurteilen zu können. Siehe dazu Abschnitt 3.3.2.

### 3.2.5 Typ E, seitlich Dreh-Schwenkfenster

Solche Dreh-Schwenksysteme kennt man von Autobussen oder der Möbelindustrie bei großen Kleiderschränken (siehe Abbildung 24). Das Prinzip beruht darauf, dass die Tür nach außen, vor den danebenliegenden Bauteil durch eine Drehbewegung geschwenkt wird.



Abbildung 24: Beispiel einer Bus- und Schranktür in Dreh-Schwenkausführung

Dieser Ansatz wäre für ein Fenster insofern interessant, da kein Fensterflügel in den Raum ragt und der Fensterflügel außen an der Fassade „abgestellt“ wird wodurch er auch gut vor Windangriff geschützt ist. Erste Überlegungen zum Bewegungsablauf wurden zeichnerisch dargestellt und die Bewegung teilweise auch durch Gasdruckdämpfer unterstützt (siehe Abbildung 25).

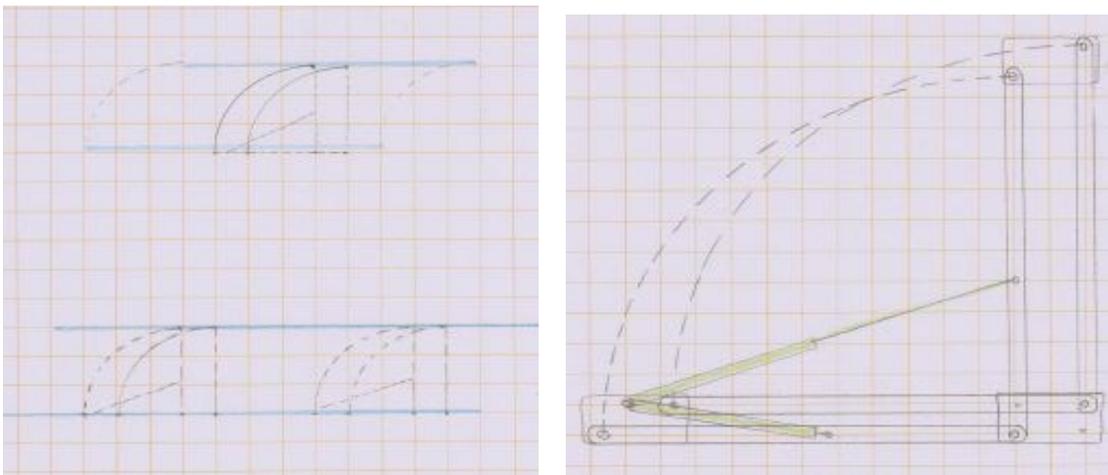


Abbildung 25: Bewegungsstudien für ein seitliches Dreh-Schwenkfenster

Neben eigenen Überlegungen wurden auch bestehende Konzepte analysiert und unterschiedliche Beschlagsysteme identifiziert. Im Bereich der Möbelbeschläge wurde ein italienisches System gefunden das für ein erstes Handmuster als geeignet erschien.

**Fazit:** Mit diesem Beschlag sollte ein erstes Handmuster gefertigt werden, siehe dazu Abschnitt 3.3.3.

### 3.2.6 Typ F, Magnetfenster

Basierend auf der klassischen Kühlschranktür sollte dieser Lösungsansatz auf ein Fenster bzw. Haustür übertragen werden. Die Kühlschranktür wird „nur“ durch die Magnetdichtung in seiner geschlossenen Position gehalten. Zum Öffnen muss die Haltekraft der Magnetdichtung überwunden werden.

Übertragen auf das Fenster bzw. die Außentüre sind folgende Fragestellungen vor einer Konstruktionsentwicklung zu klären:

- Ist mit einer Magnetdichtung eine ausreichende Dichtheit insbesondere in Bezug auf die Schlagregendichtheit zu erreichen?
- Wie groß ist die Haltekraft der Magnetdichtung? Kann diese beim Öffnen leicht überwunden werden?
- Ist ein zusätzliches Verriegelungssystem notwendig?

Im ersten Schritt wurden Magnetdichtungshersteller kontaktiert und mögliche geeignete Dichtungssysteme identifiziert. Die Vielfalt solcher Dichtungssysteme ist sehr groß, besonders was die Profilgeometrie, die Haltekraft und die Befestigungsart betrifft. Für die ersten Versuche wurde eine Dichtung mit eingelegtem Magnetstreifen und zum Aufstecken auf ein Metallprofil gewählt (siehe Abbildung 26).



Abbildung 26: Magnetdichtung mit eingelegtem Magnetstreifen und zum Aufstecken auf ein Metallprofil

Um die Wasserdichtheit der Magnetdichtung abschätzen zu können wurde diese auf einer Metalplatte so montiert, dass Wasser zugeführt und über einen längeren Zeitraum das stehende Wasser beobachtet werden konnte (siehe Abbildung 27). Die Versuche zeigten dass über einen Zeitraum von 10 min bis max. 15 min kein Wasserdurchtritt erfolgt. Da im Fensterbau in der Regel mit keinem stehenden Wasser zu rechnen ist, kann dieses Dichtungssystem auch für den Fensterbau geeignet sein. Dies wäre aber durch eine echte Schlagregendichtheitsprüfung nachzuweisen.



Abbildung 27: Links, auf einer Metalplatte applizierte Magnetdichtung. Rechts, der Anschlussbereich wurde mit Wasser gefüllt und über länger Zeit beobachtet.

**Fazit:** Das Entwurfskonzept zeigt, dass es durchaus möglich wäre, Fenster mit Magnetdichtungen auszuführen. Um die oben erwähnten Fragestellungen näher betrachten zu können, sollte ein Handmuster in Form einer Türe hergestellt werden. Siehe dazu Abschnitt 3.3.4.

### 3.2.7 Typ G, Abstell-Fenster

Dieser Lösungsansatz verfolgt die Idee, dass das Fenster an den 4 Eckpunkten gehalten wird und motorisch in jede gewünschte Öffnungsrichtung bewegt werden kann. Dies bedeutet, dass die Öffnungspositionen gekippt, geklappt, links geöffnet, rechts geöffnet oder parallel abgestellt an ein und demselben Fenster realisiert werden können (Siehe Abbildung 28).

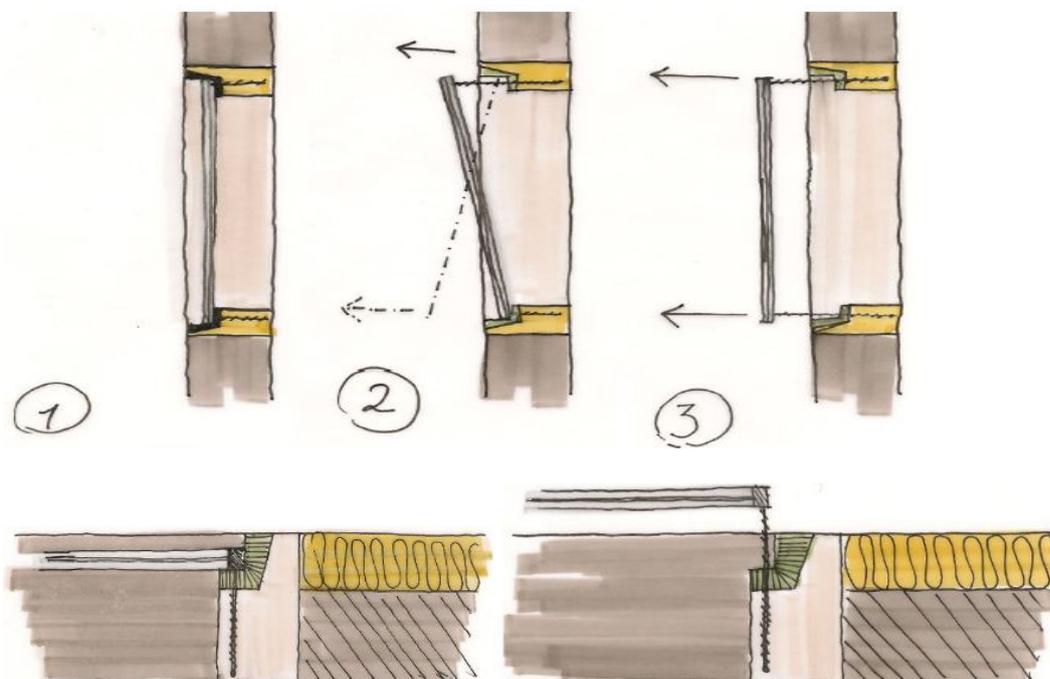


Abbildung 28: Abstell-Fenster in unterschiedlichen Öffnungspositionen

Konkret war angedacht das Fenstersystem so zu gestalten, dass ein umlaufend 4seitig gleiches Stockprofil in die Wandöffnung montiert wird und außen flächenbündig mit der Fassade abschließt. Die Vakuumverglasung ist in einem schanken Flügelprofil montiert das mittels 4 Stellmotoren mit Kugelköpfen beliebig vom Stock abgehoben werden kann (siehe Abbildung 29). Die Dichtheit soll über innenliegende Dichtprofile erreicht werden, auf die der Flügel mittels der 4 Stellmotore gedrückt wird. Da es sich um ein außenöffnendes Fenster handelt, nimmt die Dichtheit mit zunehmendem Winddruck zu.

Neben den handelsüblichen relativ großen Stellmotoren wurde auch ein sehr schlankes Modell nach dem Prinzip Rohr in Rohr folgend, mittels Schraubhülse und Schraubdorn angedacht (siehe Abbildung 30).

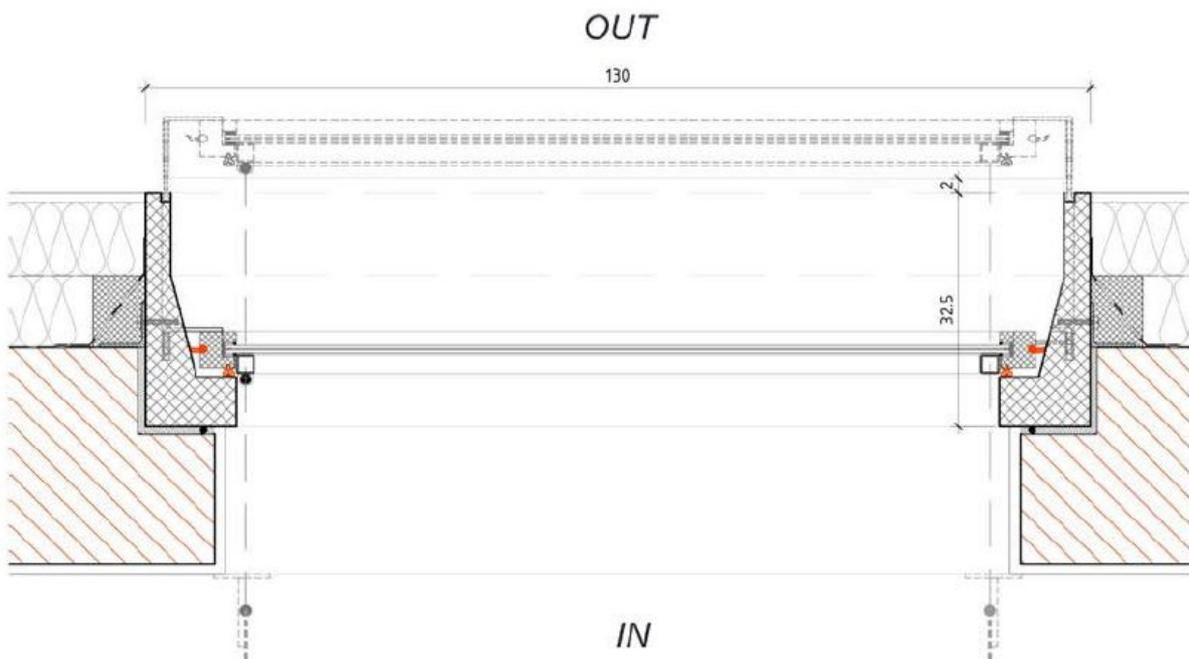


Abbildung 29: Abstell-Fenster Grundsystem in der Wand montiert



Abbildung 30: Entwurf eines Stellmotors mit Schraubhülse und Schraubdorn

**Fazit:** Nach sehr intensiver Diskussion in der Projektgruppe wurde der Entwurf trotz reizvoller Öffnungsmöglichkeiten verworfen, da insbesondere die Aspekte der Fenstereinigung, Lüftung und schwierigen Außenverschattung dem entgegenstanden. Darüber hinaus lässt sich das Fenster nicht vollständig öffnen, wodurch die Akzeptanz bei Kunden fehlen dürfte und ein Einsatz als Tür unmöglich ist. Dieser Ansatz wurde nicht weiterverfolgt.

### **3.3 Handmuster**

In diesem Entwicklungsschritt wurden an 4 eher ausgefallenen Konstruktionsentwürfen versucht, durch entsprechende Handmuster, die technische Machbarkeit aufzuzeigen.

#### **3.3.1 Typ C, Schwing-Klappfenster**

Die Konzeption des Handmusters für ein Schwing-Klappfenster beruht darauf, dass die Bewegung ausschließlich durch Anheben der beiden Gleitpunkte ausgelöst wird (siehe Abbildung 31). Die Gleitpunkte sollten dabei den Flügel zuerst aus den Schließteilen der Verriegelung heben. Diese sollten nur etwa einen Eingriff von 10 mm haben, um den Flügel baldmöglichst frei zu geben. Die ersten 10 mm sollte der Flügel durch die „lose“ Lagerung in den Schwenkarmen nur senkrecht angehoben werden. Um dies auch beim Schließvorgang zu gewährleisten, sind in den Schwenkarmen Federn vorgesehen. Die grundsätzliche Auslegung des Systems ist auf eine motorische Betätigung ausgerichtet. Die mechanische Betätigung erfordert wesentlich mehr mechanische Bauteile, und wird daher eher teurer.

Besondere Herausforderung dabei ist der Übergangsbereich zwischen nach außen und nach innen schwenkend dicht zu bekommen (Wechsel der Dichtungsebenen), sowie die einfache Verriegelung des Flügels. Dies wurde dadurch gelöst, dass der Flügel zuerst einige Zentimeter angehoben wird, bevor die Schwenkbewegung einsetzt. Dadurch wird einerseits der Drehpunkt nach oben verschoben, wodurch eine konstruktive Abdeckung des Drehpunktes ermöglicht wird. Andererseits werden durch das Anheben beim Öffnen bzw. Absenken beim Schließen die Schließzapfen automatisch aus bzw. in die Schließstücke geführt, wodurch keine beweglichen Schließteile erforderlich sind.

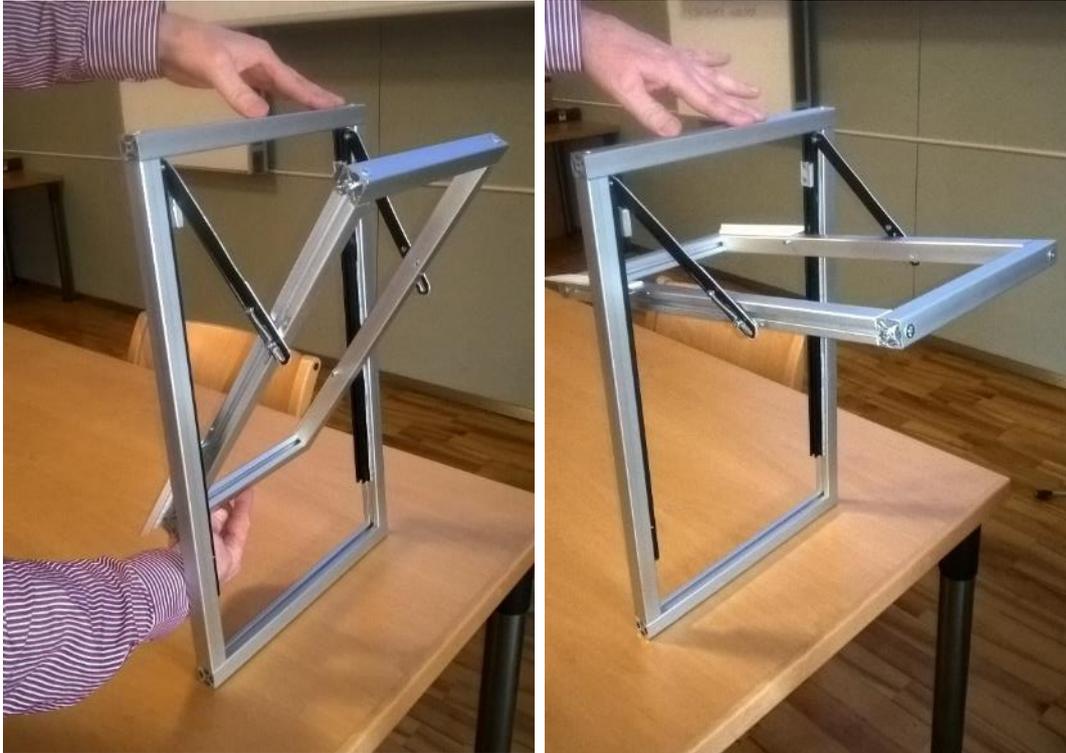


Abbildung 31: Handmuster des Schwing-Klappfensters

Anhand des Handmusters konnte gezeigt werden, dass mit diesem System ein effizientes Öffnen und Schließen auch von großen Fenstern möglich ist. Voraussetzung ist aber ein motorischer Antrieb. Auch die Eignung für eine Balkontür ist durchaus gegeben.

Wesentliche Aspekte für das Fenstersystem:

- Prinzipieller gleichförmiger umlaufender Profilquerschnitt (Rahmenstärke abhängig von Statik, Dämmung, Material, ...)
- Vorteil des Vakuumglases ist das geringe Gewicht
- Öffnen durch Anheben = Entriegeln, bevor Schwingbewegung möglich wird
- erfordern neue, aber sehr einfache Beschläge
- Drehachse bewegt sich nahe des Schwerpunktes nur entlang der Hochachse
- Konzept scheint für Motorgetriebe sehr geeignet
- Notwendiger Dichtungswechsel im Drehpunkt erscheint durch das anheben nicht extrem problematisch

**Fazit:** Prinzipielle Funktionalität des Konzeptes und des Bewegungsprinzips scheint allen Projektpartnern möglich zu sein. Ein Prototyp sollte erstellt werden, siehe Abschnitt 3.4.4.

### 3.3.2 Typ D, Vertikal-Schiebefenster

Das dünne Vakuumglas wird ohne Flügelrahmen direkt in einer Dichtung im Rahmen geführt und wird händisch oder motorisch angetrieben, wobei das Konzept vom Ansatz besonders für einen Motorantrieb geeignet ist. Durch das Handmuster wurde ersichtlich das sich auch motorische Antrieb wie bei Rollläden, mit einfachen Motoren und Wickelsystemen eignen würden.

Im Handmuster wurde zur Führung des Vakuumglases (ohne Flügelrahmen) eine konventionelle einfache Autodichtung, in beflockter Ausführung zur Verbesserung der Gleiteigenschaften, verwendet (siehe Abbildung 32). Um den thermischen Randeinfluss zu verbessern, muss der Glaseinstand in die Dichtung deutlich erhöht werden. Dazu sind spezielle Dichtungen zu entwickeln die einerseits einen möglichst schlagregen und luftdichten Anschluss zulassen, andererseits ein Absenken des Vakuumglases durch deren Eigengewicht zulassen.

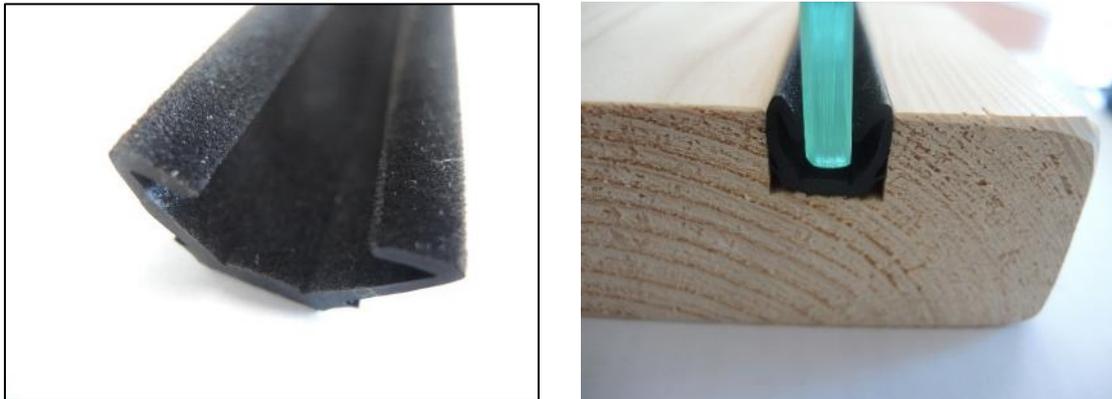


Abbildung 32: Links beflockte Dichtung aus der Autoindustrie; Rechts in eingebauten Zustand mit eingesetztem Glas

Für das Handmuster (siehe Abbildung 33) wurde ein ganz einfacher Lösungsansatz gewählt, welcher lediglich die Machbarkeit demonstrieren sollte. So wurde als Führungssystem ein einfacher Holzrahmen mit Autodichtung gewählt und der Antrieb über einen Gurt und Handaufwicklung gelöst. Das Konzept der Gurtwicklung wird bei Rollläden und Raffstoren, auch mit motorischem Antrieb, seit vielen Jahren im Fensterbau erfolgreich eingesetzt. Die Innenfensterbank kann für Servicearbeiten am Antrieb abgenommen werden.



Mit Hilfe des Handmusters konnte eindrucksvoll das Funktionsprinzip und die technische Umsetzbarkeit des Lösungsansatzes nachgewiesen werden. Gemeinsam mit den Projektpartnern wurde einer SWOT Analyse (Tabelle 2) das das Potential eines solchen Fenstersystems aufgezeigt.

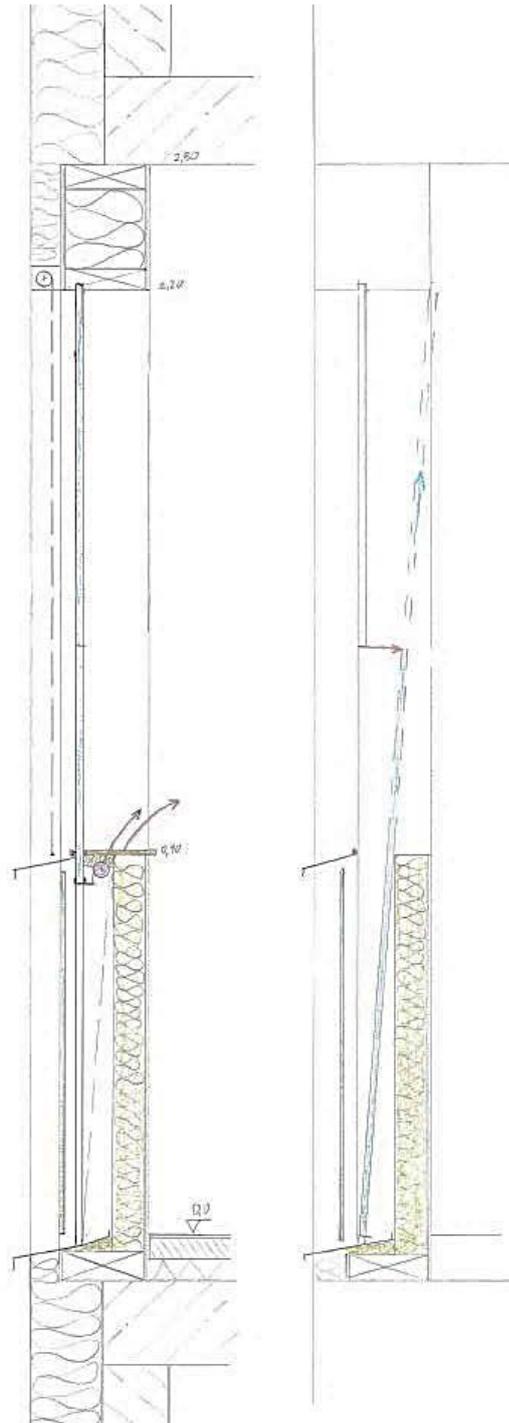


Abbildung 33: Handmuster des Vertikal-Schiebefensters; Links oben Ansicht von innen mit geschlossener Glasscheibe; Links unten Ansicht von außen mit geöffneter Glasscheibe; In beiden Bildern ist der händische Kurbelantrieb zu erkennen. Rechts: Konstruktionsprinzip mit der Möglichkeit den Antrieb über die Innenfensterbank zu Warten und der Möglichkeit des Glastausches.

Tabelle 2: SWOT Typ D

SWOT-Analyse Vertikal- Schiebefenster		Interne Analyse	
		Stärken (Strengths)	Schwächen (Weaknesses)
Externe Analyse	<b>Chancen (Opportunities)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Bewegungsart</li> <li>_ Kein Flügel, nur Glas</li> <li>_ einfache Mechanik</li> <li>_ einfacher Antrieb</li> <li>_ Sonnenschutz außen</li> <li>_ Fensterbank nutzbar (Absturzsicherung)</li> <li>_ EH gegeben</li> <li>_ Lüftung</li> <li>_ viele Formate möglich</li> <li>_ gleiche Optik fix und öffenbar</li> <li>_ Glaslichte = Architekturlichte = Leibungslichte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Marktakzeptanz (wie Autofenster?)</li> <li>_ Bewegung nur nach unten</li> <li>_ Tür schwierig</li> <li>_ Teil der Wand</li> <li>_ Bautechnisch zu berücksichtigen</li> <li>_ unten opak</li> <li>_ Wärmedämmung im Parapet</li> <li>_ Dichtungsnuten</li> <li>_ Verschmutzung/Reinigen</li> <li>_ Wartung des Antriebes</li> </ul>
	<b>Risiken (Threats)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ nicht Flächenbündig</li> <li>_ nur mit Motorantrieb</li> <li>_ Glastauch</li> <li>_ Verriegelungssystem (notwendig?)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Reinigung</li> <li>_ Notbetrieb bei Stromausfall</li> </ul>
<b>Ergebnis/Fazit</b>		Interessante Architektur und Bewegungsart!	
<b>Optimierung</b>		Optimierung Glaseinstand, Glastauch, Antriebstechnik Parapet aus VG, öffenbares VG außen, Antrieb oben, schlanke Profile	

**Fazit:** Trotz des mehr als interessanten Ansatzes konnte dieser im Rahmen der vorliegenden Sondierung nicht weiterverfolgt werden. In einem Folgeprojekt wäre ein Dichtungs- und Antriebssystem sowie eine Prototypenkonstruktion zu entwickeln. Es wurde in der Projektgruppe entschieden diesen Ansatz in diesem Sondierungsprojekt nicht weiter zu verfolgen.

### 3.3.3 Typ E, seitlich Dreh-Schwenkfenster

Um ein erstes Handmuster eines seitlichen Dreh-Schwenkfenster realisieren zu können, wurde der Möbelbeschlag eines italienischen Herstellers verwendet. Dieser wird für große Schranktüren eingesetzt und wurde für das Fenster adaptiert eingesetzt.

Abbildung 34 und Abbildung 35 zeigen das gefertigte seitliche Dreh-Schwenkfenster und einige wesentliche Konstruktionsmerkmale.



Abbildung 34: Öffnen des seitlich Dreh-Schwenkfenster von außen betrachtet



Abbildung 35: Dreh-Schwenkfenster mit dem massiven Dreh-Schwenkbeschlag

Dieses Beschlagsystem ermöglicht das nach außen Schwenken des Fensterflügels in einer Drehbewegung, so dass der Fensterflügel außen an der Fassade „abgestellt“ wird. Der massive Drehschwenkbeschlag ist auf Grund der Flügelgewichte notwendig und wäre unten unter der Fensterbank bzw. oben im Sturzbereich zu integrieren. Nichtsdestotrotz bleibt die Bewegungsstange sichtbar, die in dieser Form wohl kaum vom Kunden akzeptiert werden würde.

Mit Hilfe des Handmusters konnte das Funktionsprinzip und die technische Umsetzbarkeit des Lösungsansatzes mit gewissen Einschränkungen nachgewiesen werden. Gemeinsam mit den Projektpartnern wurden in einer SWOT-Analyse (Tabelle 3) das Potential eines solchen Fenstersystems analysiert.

Tabelle 3: SWOT Typ E

SWOT-Analyse seitlich Dreh- Schwenkfenster		Interne Analyse	
		Stärken (Strengths)	Schwächen (Weaknesses)
Externe Analyse	<b>Chancen (Opportunities)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ anders als üblich</li> <li>_ kein Platzbedarf für Flügel innen</li> <li>_ öffnen nach außen</li> <li>_ auch für Türen anwendbar</li> <li>_ Lüftungsstellung (mit Arretierung) möglich</li> <li>_ Ganzglasoptik außen</li> <li>_ Fensterbank innen nutzbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Erklärungsbedarf der anderen Bedienung</li> <li>_ großer Beschlag (Optik)</li> <li>_ Beschlag in der Leibung verstecken</li> <li>_ Sonnenschutz</li> <li>_ seitliches Abstellen beschränkt</li> </ul>
	<b>Risiken (Threats)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Beschlagsart - Akzeptanz</li> <li>_ Belastung</li> <li>_ Reinigung von großen Flügeln</li> <li>_ keine größeren Flügel</li> <li>_ Absturzsicherung des Glases notwendig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ sichtbare Beschlagsstange</li> <li>_ außen flächenbündiger Wandeinbau</li> </ul>
<b>Ergebnis/Fazit</b>		ungewöhnliche, aber interessante Öffnungsart	
<b>Optimierung</b>		Beschlagsoptik verbessern, für schwerere und größere Fensterflügel Motorantrieb	

**Fazit:** Trotz des interessanten Ansatzes konnte dieser im Rahmen der vorliegenden Sondierung nicht weiterverfolgt werden. Es wäre ein für Fenster geeignetes Beschlagsystem von Grund auf neu zu entwickeln. Es wurde in der Projektgruppe entschieden diesen Ansatz nicht weiterzuverfolgen.

### **3.3.4 Typ F, Magnetfenster**

Um die Eignung einer Magnetdichtung im Fensterbau besser beurteilen zu können wurde eine Türe mit einer Durchgangslichte von 850 mm x 2000 mm entsprechend modifiziert. Im Bereich des Türstockes wurde eine Leiste zur Aufnahme der Magnetdichtung angebracht und im Türblatt ein Metallstreifen mit den Abmessungen 15 mm x 1 mm in eine Nut eingeklebt (siehe Abbildung 36).



Abbildung 36: Links ist das geöffnete Türblatt mit einem Teil des Türstockes ersichtlich, der Metallstreifen im Türblatt ist an den zwei Längskanten und oben quer gut zu erkennen.  
Rechts oben: Beim Schließen der Tür finden sich Magnetdichtung und Metallstreifen.  
Rechts unten: Blick von unten auf Türstock und Türblatt mit komprimierter Magnetdichtung.



Die Versuche an diesem Türblatt zeigten, dass sich beim Schließen der Tür die Magnetdichtung im Türstock und der Metallstreifen im Türblatt selbst finden und anziehen und sogar Verformungen der Tür von mehreren Millimetern leicht ausgleichen. Die Tür wird am Ende des Schließvorganges selbsttätig zugezogen. Beim Öffnen der Tür muss ein ungewohnt hoher Kraftaufwand erfolgen, um die Haltekraft der Dichtung zu überwinden. Diese kann zwar durch die Variation des Magnetstreifens verändert werden, liegt aber immer im Spannungsfeld zwischen zu hoher Öffnungskraft und zu geringer Haltekraft. Die Haltekraft der Magnetdichtung ist aber in jeder Ausführungsvariante so gering, dass ein zusätzliches Sperrsystem jedenfalls erforderlich ist. Ein Verzicht auf das Sperrsystem wäre unter Umständen bei Innentüren möglich.

**Fazit:** Insgesamt hat sich der Lösungsansatz eines Fensters mit Magnetdichtung als wenig zielführend herausgestellt und es wurde in der Projektgruppe entschieden, diesen Ansatz nicht weiterzuverfolgen.

## 3.4 Prototypen Fenster

Gemeinsam mit den Wirtschaftspartnern wurden aus der Entwurfsphase und der Analyse der Handmuster 4 Konstruktionsüberlegungen ausgewählt, die in Form erster Prototypen umgesetzt wurden.

Alle gezeigten Prototypen wurden bereits vor Ihrer Konstruktion mittels numerischer thermischer Simulation simuliert. Dabei ging es vor allem um „Fault Detection“, d. h. mögliche problematische Bereiche in der Konstruktion zu ermitteln.

Da die jeweiligen Scheibenformate für die einzelnen Ausführungsvarianten in China bestellt werden müssen, wurden zu rascherer Umsetzung der verschiedenen Ausführungsvarianten anstelle des 8 mm Vakuumglases, in Hinblick auf gestalterische und statische Aspekte, gleichwertige 8 mm VSG Scheiben verwendet. Vakuumglas kam beim abschließend ausgeführten Mock-Up zum Einsatz.

### 3.4.1 Typ A1, innen öffnendes Fenster, VG außen

#### 3.4.1.1 Konstruktion

Dieser Konstruktionsansatz folgt dem Prinzip des Integralfensters. Die Vakuumglasscheibe wird außen vor den Flügelrahmen geklebt und schützt diesen dadurch vor direkter Bewitterung. Der Glaseinstand sollte dabei, zur Reduktion des Randeinflusses der Vakuumglasscheibe, ca. 30 mm betragen. Innenseitig wurde eine flächenbündige Ausführung gewählt, die den aktuellen Designwünschen entspricht und eine schmalere Stockansicht ergibt. Systemkomponenten wie z. B. Beschläge, Dichtungen, Aluminiumprofile und dgl. konnten aus konventionellen Fensterkonstruktionen entnommen werden.

In den nachfolgenden Bildern ist das Prototypfenster in seiner Außenansicht dargestellt sowie einigen Konstruktionsdetails (siehe Abbildung 37 und Abbildung 38). Das Glas muss zur Abdeckung des Flügelrahmens und der Glasklebung aus optischen Gründen außen eine

Emallierung ausweisen. Diese schwarze Emallierung ist auch bei geschlossenem Fenster sichtbar. Im ausgeführten Prototyp wurde diese durch ein schwarzes Klebeband nachgestellt.



Abbildung 37: Außenansicht des Fensters, am Glas ist die schwarze Emallierung sichtbar.



Abbildung 38: Links: Innensicht von Stock und Flügel (flächenbündig) und Fenstergriff. Rechts: Geöffneter Fensterflügel, außenseitig ist die aufgeklebte Glasscheibe ersichtlich.

Aus bautechnischer Sicht ein gut und relativ einfach umzusetzender Entwurf, der alle wesentlichen bautechnischen Wünsche an ein modernes Fenster erfüllt. Die ungeschützte

Glaskante (nicht abgedeckt im geöffneten Zustand) birgt ein gewisses Beschädigungsrisiko beim Schließen des Fensters.

### 3.4.1.2 Thermische Performance

Eine ausführliche Diskussion von vielen Varianten der Details der thermischen Performance des Entwurfs A1 befindet sich in der nächsten Sektion des Endberichts (ab 3.5.2). Wesentlichste Änderung zum vorliegendem Prototyp ist, dass der Glaseinstand durch einen größeren Stockfalz verbessert wurde und dadurch die Stocklichte = Glaslichte = Flügellichte ist.

### 3.4.1.3 SWOT Analyse

Tabelle 4: SWOT Typ A1

SWOT-Analyse innen öffnendes Fenster, VG außen		Interne Analyse	
		Stärken (Strengths)	Schwächen (Weaknesses)
Externe Analyse	Chancen (Opportunities)	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ gewohnte Optik</li> <li>_ schlanke Profile</li> <li>_ Flügel durch Glas geschützt</li> <li>_ Reinigung außen sehr gut</li> <li>_ innen flächenbündig</li> <li>_ Sonnenschutz außen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Glaskante kaum geschützt</li> <li>_ Stocklichte ≠ Glaslichte</li> <li>_ Emailrand sichtbar</li> </ul>
	Risiken (Threats)	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Emaillierung notwendig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ relativ konventioneller Ansatz</li> </ul>
Ergebnis/Fazit		Von außen Integralfenster, innen Standardfenster → relativ konventioneller Ansatz, sehr gute thermische Qualität	
Optimierung		Glaseinstand durch größeren Stockfalz verbessern, dadurch Stocklichte = Glaslichte = Flügellichte	

### 3.4.2 Typ A2, innen öffnendes Fenster, VG innen

#### 3.4.2.1 Konstruktion

Dieser Konstruktionsansatz entspricht einem Holz-Alufenster mit innenliegender Glasscheibe. Die Profilquerschnitte wurden auf ein Minimum reduziert und die Glasscheibe innen flächenbündig in den Flügelrahmen geklebt. Durch die zur Bedienung notwendige Griffolive musste die max. Glasgröße angepasst werden. Durch ein Zwischengetriebe konnte die Griffolive zwar ganz an den Flügelrand positioniert werden, trotzdem ergab sich eine verbleibende Holzbreite von ca. 40 mm. Die Griffolive durch eine Bohrung im Glas auf das Fenster zu montieren ist derzeit mit Vakuumglas nicht möglich. Die Glaskannte ist bei dieser Ausführung allerdings gut geschützt.

In den nachfolgenden Bildern ist das Prototypfenster in seiner Außenansicht dargestellt sowie einigen Konstruktionsdetails (siehe Abbildung 39). An der Innenansicht ist deutlich die flächenbündig eingeklebte Glasscheibe zu erkennen und das für die Griffolive ein Restquerschnitt des Holzflügelrahmens notwendig ist (siehe Abbildung 40). Der Übergang vom Glas zum Holz wurde mit einer Dichtung abgedeckt, dieses Konstruktionsdetail wäre noch zu optimieren.



Abbildung 39: Außenansicht des Fensters



Abbildung 40: Innenansicht des Fensters, die Glasscheibe ist flächenbündig in den Flügel gesetzt

Die ursprünglich gewünschte innenseitige Ganzglasoptik konnte auf Grund der derzeit verfügbaren Vakuumglasausführungen und Beschlagkomponenten nicht umgesetzt werden. Vakuumgläser mit einer Lochbohrung, um die Griffolive montieren zu können, sind derzeit nicht herstellbar. Das Verriegelungssystem in den Stock zu verlegen ist mit dem am Markt befindlichen Komponenten ebenfalls nicht möglich, und mechatronische System befinden sich bestenfalls im Entwicklungsstadium. Für eine innenseitige Ganzglasoptik wäre also ein neues Beschlagsystem zu entwickeln.

Der geringe Glaseinstand von 20 mm bei den umgesetzten Prototypen bewirkt auch eine starke Wärmebrücke im Bereich des Glasrandverbundes, die durch die innenseitige Ganzglasoptik behoben werden könnte.

Aus bautechnischer Sicht wäre jedenfalls eine Entwicklung mit innenliegender Ganzglasoptik erforderlich.

### 3.4.2.2 Thermische Performance

Exemplarisch wird die thermische Performance am seitlichen Schnittdetail gezeigt. Dichtungen wurden vereinfacht als Blöcke modelliert und die Beschlagsnut wurde als nicht ausgefräst (d. h. Holz) angenommen. Es wurde die Ganzglasoptik-Detaillierung simuliert.

Betreffend die thermischen Kennwerte der verwendeten Baustoffe wurden folgende Annahmen getätigt:

<b>Material</b>	<b>Wärmeleitfähigkeit [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]</b>
Glas (inklusive Glasrandverbund/Glasfritte)	1,00
Gummi / Kautschuk (Dichtungen)	0,20
Holz	0,11
Kitt/Silikonphase	0,35
Kleber	0,50
Kunststoff	0,20
Vakuumpalt	0,00000975
Luftschicht ruhend / eingeschlossene Luft	0,10

Zusätzlich wurden folgende Randbedingungen festgelegt:

Temperatur Randbedingungen:

- Innenraum(luft)temperatur 20 °C
- Außenlufttemperatur -10°C

Wärmeübergangswiderstand:

- R<sub>si</sub>: 0,25 m<sup>2</sup>.K.W<sup>-1</sup>
- R<sub>se</sub>: 0,04 m<sup>2</sup>.K.W<sup>-1</sup>

**Ergebnisse:** Die Simulation ergibt einen längenbezogenen thermischen Leitwert von 0,135425 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, was per se keinen schlechten Wert darstellt. Der fR<sub>si</sub> – Wert beträgt bei dem Detail 0,58 und liegt damit deutlich unter den Limits von 0,69 bzw. 0,71. Die geringste Oberflächentemperatur ergibt sich am Ende der Glasscheibe (außen) auf der Innenseite und beträgt 7,35 °C. Nachstehend sind die Ergebnisse als tabellarische Darstellung aufgeführt (Tabelle 5).

Tabelle 5: Resultate Typ A2

Variante	Breite Glasrandverbund [mm]	Annahme Wärmeleitfähigkeit der eingeschlossenen Luft [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	Materialität in der Beschlagsnut	Längenbezogener thermischer Leitwert [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	fRsi [-]	Temperatur am kältesten Punkt der Innenoberfläche [°C]	Grenzfeuchte rel. Luftfeuchtigkeit [%]	Ort der kältesten Temperatur / Innenoberfläche
Typ B	5	0,10	Holz	0,135425	0,58	7,35	43,90	Ende des Glases / Innenraum

Es ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass die thermische Simulation eine erste Annäherung an die tatsächliche Detaillierung darstellt. Durch das innenliegende Glas wird der typische Schwachpunkt Glas/Rahmenkante geschützt. Leider ist durch die Glaslängsleitung nun der Endpunkt der außenliegenden Scheibe ein Schwachpunkt. Aus architektonischer Sicht ist die innenliegende Ganz-Glasoptik reizvoll, leider ist allerdings bei dieser Detaillierung kaum zu verhindern, dass das Glas an der inneren Kante sehr kalt wird. Es ist daher bei diesem Detail eine veränderte Detaillierung/Abdeckung der innenliegenden Kanten anzudenken.

### 3.4.2.3 SWOT Analyse

Die vorliegende SWOT-Analyse (Tabelle 6) bezieht sich auf die Konstruktionsvariante mit innenseitiger Ganzglasoptik.

Tabelle 6: SWOT-Analyse Typ A2

SWOT-Analyse innen öffnendes Fenster, VG innen		Interne Analyse	
		Stärken (Strengths)	Schwächen (Weaknesses)
Externe Analyse	<b>Chancen (Opportunities)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ glatte Innenoptik</li> <li>_ schlanke Profile</li> <li>_ Reinigung innen</li> <li>_ bewährte Konstruktion</li> <li>_ Sonnenschutz außen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Sonnenschutz auch am Flügel möglich</li> <li>_ Stock flächenbündig einbauen</li> <li>_ motorischer Antrieb</li> </ul>
	<b>Risiken (Threats)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Ganzglasoptik innen (Akzeptanz)</li> <li>_ Sonnenschutz am Flügel</li> <li>_ Sonnenschutz in Stock integriert</li> <li>_ Reparaturverglasungen</li> <li>_ Emaillierung notwendig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Position der Griffolive</li> <li>_ punktuelle Wärmebrücke durch Beschlagschrauben außen</li> <li>_ neues Beschlagkonzept</li> </ul>
<b>Ergebnis/Fazit</b>		interessanter Konstruktionsansatz, noch nicht ganz fertiggedacht (Ganzglasoptik),	
<b>Optimierung</b>		Ganzglasoptik innen (Glas über den ganzen Flügel innen), Beschlag in den Stock verlegen, flächenbündig innen/außen	

### 3.4.3 Typ B, außen öffnendes Fenster

#### 3.4.3.1 Konstruktion

Im Zuge der Prototypenentwicklung sollte aus architektonischer Sicht erreicht werden, dass die Lichte der Innenleibung jener der Stock-, Flügel- und Glaslichte entspricht. Dazu war es notwendig Stock und Flügel exakt hintereinander zu platzieren und in die Rahmenprofile Beschlag und Dichtungen so zu integrieren, dass eine flächenbündige Ausführung möglich wurde. Das wandseitige Stockprofil wurde so gestaltet, dass es von der Rauminnenseite bis zur Glasaußenseite reicht (zum Schutz der Glaskante im geschlossenen Zustand) und unten einen Wasserablauf zulässt. Als Material für dieses dünne und mechanisch hoch beanspruchte Material ist ein Sperrholzstreifen vorgesehen. Der Stock wird jedenfalls vollständig in das Wandsystem integriert (Abbildung 41 und Abbildung 42).

Da nach außen öffnende Fenster außen keine vernünftige Verschattung zulassen, wurde innenseitig ein Sonnen- und Blendschutz integriert. Dabei handelt es sich zur Effizienzsteigerung um einen motorisch Angetriebenen und mit Fernbedienung steuerbare Kassettenrollo.



Abbildung 41: Außenansicht des nach außen öffnenden Fensters, in Ganzglasoptik



Abbildung 42: Innenansicht des Fensters bei dem die Lichte der Innenleibung jener der Stock-, Flügel- und Glaslichte entspricht und mit versenkbarer Griffolive

Für den Drehbeschlag wurde eine nordeuropäische Ausführung gefunden, bei der der Flügel nicht nur eine Drehbewegung vollzieht, sondern sich beim Öffnen auch zur Fenstermitte bewegt, wodurch ein Putzspalt erzielt wird. Darüber hinaus wurde ein Öffnungsbegrenzer integriert, wodurch einerseits eine Lüftungsstellung und andererseits eine Kindersicherung gegeben ist (siehe Abbildung 43 und Abbildung 44). Außerdem wurde auch eine versenkbare Griffolive montiert.



Abbildung 43: Geöffnetes Fenster mit seitlichem Putzspalt



Abbildung 44: Links: Drehbeschlag; Rechts: Öffnungsbegrenzer

Insgesamt wurde ein hocheffizientes und architektonisch anspruchsvolles Fenster entwickelt das von allen Projektpartnern, trotz der einen oder anderen Schwäche, bejaht wird.

### 3.4.3.2 Thermische Performance

Exemplarisch wird die thermische Performance am seitlichen Schnittdetail gezeigt. Die Modellierung wurde in eine Wand gesetzt, deren Wärmeleitfähigkeit so gesetzt wurde, dass die thermische Performance des Fensteranschlusses/Fensterrahmendetails hervortritt (sehr kleiner Lambda-Wert der opaken Wandteile). Dichtungen wurden vereinfacht als Blöcke modelliert und die Beschlagsnut wurde als nicht ausgefräst (d. h. Holz) angenommen.

Betreffend die thermischen Kennwerte der verwendeten Baustoffe wurden folgende Annahmen getätigt:

<b>Material</b>	<b>Wärmeleitfähigkeit [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]</b>
Aluminium	15
Glas (inklusive Glasrandverbund/Glasfritte)	1,00
Gummi / Kautschuk (Dichtungen)	0,20
Holz	0,11
Kitt/Silikonphase	0,35
Kleber	0,50
Kunststoff	0,20
Vakuumpalt	0,00000975
Luftschicht ruhend / eingeschlossene Luft	0,10

Zusätzlich wurden folgende Randbedingungen festgelegt:

Temperatur Randbedingungen:

- Innenraum(luft)temperatur 20 °C
- Außenlufttemperatur -10°C

Wärmeübergangswiderstand:

- $R_{si}$ : 0,25 m<sup>2</sup>.K.W<sup>-1</sup>
- $R_{se}$ : 0,04 m<sup>2</sup>.K.W<sup>-1</sup>

**Ergebnisse:** Die Simulation ergibt einen längenbezogenen thermischen Leitwert von 0,213 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>, was per se keinen schlechten Wert darstellt. Der fRsi – Wert beträgt bei dem Detail 0,65 und liegt damit knapp unter den Limits von 0,69 bzw. 0,71. Die geringste Oberflächentemperatur ergibt sich an der Kontaktstelle zwischen Glas und Rahmen, und beträgt 9,59 °C. Nachstehend sind die Ergebnisse als tabellarische Darstellung (Tabelle 7) aufgeführt.

Tabelle 7: Ergebnisse Typ B

Variante	Breite Glasrandverbund [mm]	Annahme Wärmeleitfähigkeit der eingeschlossenen Luft [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	Materialität in der Beschlagsnut	Längenbezogener thermischer Leitwert [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	fRsi [-]	Temperatur am kältesten Punkt der Innenoberfläche [°C]	Grenzfeuchte rel. Luftfeuchtigkeit [%]	Ort der kältesten Temperatur / Innenoberfläche
Typ B	5	0,10	Holz	0,21282	0,65	9,59	51,08	Glas-Rahmenkontakt

Es ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass die thermische Simulation eine erste Annäherung an die tatsächliche Detaillierung darstellt. Durch das außenliegende Glas kommt es zu einer guten thermischen Einleitung ins Glas, welche den kritischen Innenoberflächenpunkt erklärt. Auch ein Ansetzen von 0,13 als Oberflächenwiderstand auf der Innenseite resultiert in ähnlich niedrigen Oberflächentemperaturen, was auf den Effekt der Glaslängsleitung rückschließen lässt. Ein Überdecken des Glases an der Kante ist anzudenken, jedoch wäre eine Anbringung einer solchen Schutzüberdeckung dem architektonischen Konzept der Nur-Glasoptik wenig dienlich.

### 3.4.3.3 SWOT Analyse

Tabelle 8 zeigt die SWOT-Analyse des Typs B.

Tabelle 8: SWOT-Analyse Typ B

SWOT-Analyse 3.4.3 Typ B, außen öffnendes Fenster		Interne Analyse	
		Stärken (Strengths)	Schwächen (Weaknesses)
<b>Externe Analyse</b>	<b>Chancen (Opportunities)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Architektur, Erscheinung</li> <li>_ Glaslicht = Stocklichte = Leibungslichte</li> <li>_ schlanker, glatter, flächenbündiger Rahmen</li> <li>_ Stock und Flügel vollständig in Wand integriert</li> <li>_ 4-seitig flächenbündig mit der inneren Leibung</li> <li>_ kein Beschlag inkl. Olive sichtbar</li> <li>_ Kindersicherung</li> <li>_ Feststellung für Spaltlüftung</li> <li>_ Fensterbank innen nutzbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ große Flügel nur mit Motorantrieb denkbar</li> <li>_ außenliegender Sonnenschutz eingeschränkt</li> <li>_ Anströmung Glas unten</li> <li>_ Tür mit verdeckten Bändern</li> <li>_ Beschlag teilweise bewittert</li> <li>_ Verriegelung nur durch Schubstange</li> <li>_ Kondensatrisiko am Glasanschluss</li> <li>_ Dichtheit der Bürstendichtung</li> </ul>
	<b>Risiken (Threats)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Akzeptanz Öffnung nach außen</li> <li>_ kein Dreh-Kippfenster</li> <li>_ Reinigung möglich aber eingeschränkt</li> <li>_ Material des Stockprofils</li> <li>_ Sichtschutz und Lichtlenkung innen</li> <li>_ Absturzsicherung des Glases notwendig</li> <li>_ Emaillierung notwendig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Schließen von großen Flügeln händisch schwierig</li> <li>_ Sonnenschutz innen, schlechtere Wirkung</li> </ul>
<b>Ergebnis/Fazit</b>		Konzept steht, Umsetzung möglich, Produktentwicklung nächster Schritt	
<b>Optimierung</b>		Motorantrieb, 4-seitige Verriegelung in den Stock z. B. mit Maco M-Lock, Optimierung/Ersatz der Bürstendichtung, Sonnenschutz	

### **3.4.4 Typ C, Schwing-Klappfenster**

#### **3.4.4.1 Konstruktion**

Aufbauend auf dem Entwurfskonzept und dem Handmuster wurde ein Prototyp entwickelt, welcher durch einfache Konstruktionselemente umgesetzt werden konnte.

Die Bewegung des Flügels in der ersten Phase des Öffnens (anheben) erfordert eine sehr flache Gestaltung der äußeren Überschlagsleiste. Die Innere Überschlagsleiste ist hier eher unproblematisch. Im Unteren Querschnitt kann eine Hinterhakung über die gesamte Fensterbreite für eine sehr gute Schlagregendichtheit und Einbruchsschutz sorgen. Die senkrechte Abdichtung hat zwar im Gleitpunktbereich einen Wechsel, welcher aber durch die großen Übergänge und die am Schluss senkrechte Bewegung gute Rahmenbedingungen für eine Dauerhaft gute Abdichtung bietet.

Lediglich die Dichtungen müssen mit Gleitbelägen (Teflonbeschichtung oder Beflockung) ausgeführt werden, um die Gleitbewegung, ähnlich wie bei Schiebe-Türen, auch langfristig gewährleisten zu können.

Für den geplanten Bewegungsablauf, zuerst das Anheben des Flügels und dann das Ausschwingen des Flügels (siehe Abbildung 45) ist jedenfalls ein Antrieb erforderlich. Dieser Antrieb wurde ganz einfach umgesetzt (Handantrieb), könnte aber auch durch 2 Synchronmotoren durchgeführt werden.

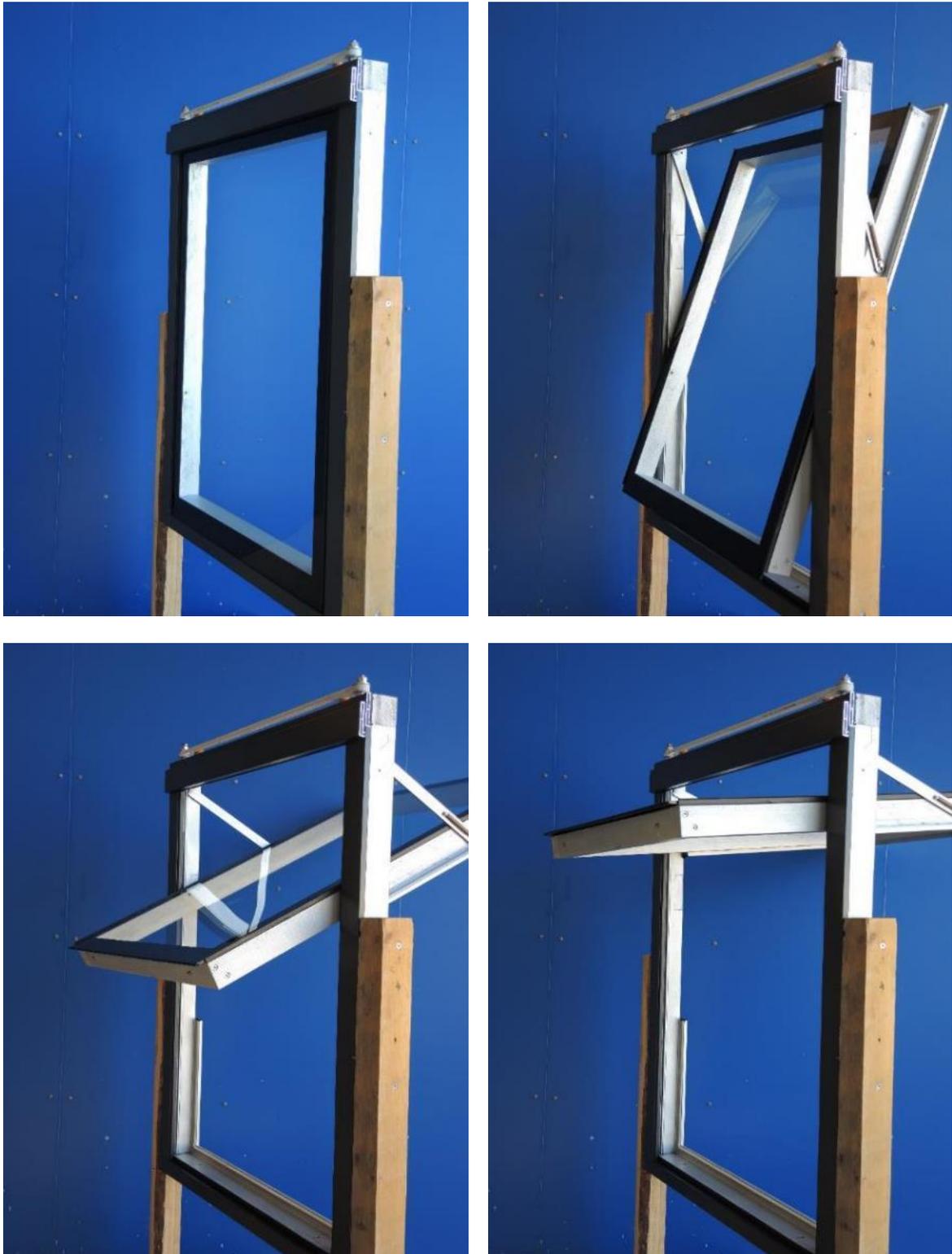


Abbildung 45: Bewegungsstudie des Schwing-Klappfenster

Zusammenfassend ist festzustellen dass es gelungen ist den Prototyp des Schwing-Klappfenster mit einfachsten Mittel zu realisieren. Insbesondere das Anheben des Fensters beim Öffnen und das Absenken beim Schließen eröffnen einen neuen Ansatz in Hinblick auf die Verriegelung des Fensters und der Schlagregendichtheit.

### 3.4.4.2 Thermische Performance

Da es sich bei Typ C um eine ähnliche Profilierung wie bei Typ B, jedoch mit stark veränderter Öffnungsrichtung handelt, kann folgendes festgehalten werden:

- Per se ist eine ähnliche Performance wie bei Typ B zu erwarten, jedoch ist durch die Überdeckung der äußeren Kante mit einem Aluminiumprofil (in dem aber Außenluftbedingungen herrschen) die Möglichkeit gegeben, die thermische Glaslängsleitung zu reduzieren.
- Erste Simulationsstudien haben ergeben, dass ein fRsi-Wert von 0,67 erreicht werden kann (gleiche Materialitätsannahmen wie bei Typ B). Der kälteste Oberflächenpunkt ist ebenfalls im Glas/Rahmen-Bereich.
- Der Dichtungswechsel bzw. die unterschiedliche Schwenkrichtung bedingt einen thermischen Schwachpunkt im Bereich des Drehpunktes, welcher im geschlossenen Zustand bei entsprechender Qualität der Dichtungen entschärft werden könnte. Es ist allerdings hierfür erforderlich sich mit den thermischen Qualitäten der entsprechend beschichtet/beflockten Dichtungen näher auseinanderzusetzen. Die Dichtungsdetaillierung ist zur Weiterentwicklung dieses Typus erforderlich.

### 3.4.4.3 SWOT Analyse

Tabelle 9 zeigt die SWOT-Analyse des Typs C.

Tabelle 9: SWOT-Analyse Typ C

SWOT-Analyse Schwing-Klappfenster		Interne Analyse	
		Stärken (Strengths)	Schwächen (Weaknesses)
Externe Analyse	<b>Chancen (Opportunities)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ motorischer Antrieb</li> <li>_ wenige Beschlagsteile</li> <li>_ einfache Verriegelung</li> <li>_ Fensterbank nutzbar</li> <li>_ Lüftungsstellung (oben+unten)</li> <li>_ große Formate möglich</li> <li>_ kein Flügel steht im Weg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Marktakzeptanz</li> <li>_ neue Beschlagsmechanik</li> <li>_ Tür schwierig</li> <li>_ Schwingstellung erhöht Lärm (Lärm von der Straße)</li> <li>_ „Überkopfverglasung“</li> <li>_ Sicherheitsanforderungen motorisch angetriebener Türen</li> </ul>
	<b>Risiken (Threats)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Gleitdichtungen</li> <li>_ nur mit Motorantrieb vernünftig</li> <li>_ Reinigung</li> <li>_ Wartung des Antriebes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Sonnenschutz innen/außen</li> </ul>
<b>Ergebnis/Fazit</b>		Coole Lösung, interessante Optik	
<b>Optimierung</b>		Verriegelungstechnik, Antriebstechnik, Sicherheitstechnik	

## **3.5 Mock-Up Fenster**

### **Typ A1, innen öffnendes Fenster, VG außen**

Die Entscheidung welches Prototypfenster als Mock-Up umgesetzt werden sollte wurde im gesamten Projektteam ausführlich diskutiert. Die Diskussion war einerseits geprägt von Wünschen nach innovativen Lösungen und andererseits von der Möglichkeit tatsächlich ein Fenster zu bauen, welches auch am Prüfstand bestehen könnte. Die Zeit in diesem Sondierungsprojekt ist auch zu kurz um tatsächlich neue Konstruktionsdetails zu entwickeln und bauen zu können. Aus diesen Gründen wurde entschieden ein Fenster umzusetzen welches eine gute thermische Performance zeigt und damit die Möglichkeiten mit Vakuumverglasung aufzuzeigen. Die Entscheidung fiel auf das innen öffnende Fenster mit Vakuumglas außen. Das Glas mit  $U_g$  0,57 W/m<sup>2</sup>K und einer Dicke von 8 mm wurde in China bei der Fa. Synergy bestellt und mit der Fensterkonstruktion verklebt.

#### **3.5.1 Konstruktion**

Die Konstruktion des Mock-Up wurde gegenüber den Entwürfen weiter optimiert, insbesondere wurde der Glaseinstand erhöht und außenseitig durch einen tiefen Falz im Stock abgedeckt. Auch die Regenschutzschiene unten musste entsprechend erhöht werden. Damit wurde erreicht dass die Stocklichte gleich groß wie die Flügellichte ist. Das Mock-Up Fenster wurde als 1-flügeliges Dreh-Kippfenster in den Standard-Stockaußenmaßen 1,23 m x 1,48 m hergestellt.

Eine Herausforderung stellt der tiefe Falz des Stocks insofern dar, als dass es durch Änderung der Holzfeuchtigkeit zu keinen größeren Verformungen kommt, so dass die Dichtheit des Fensters darunter leiden könnte. Durch eine entsprechende Holz Auswahl kann dem begegnet werden. Durch die Erhöhung des Falzes wird auch die Außenansicht des Fensterstockes vergrößert (siehe Abbildung 46 und Abbildung 47). Um die Ansichtsbreite des Stockes hintanhaltend zu können, ist der Fensterstock in einen Leibungsanschlag der Wand zu montieren.



Abbildung 46: Außenansicht des innen öffnenden Fensters mit Vakuumglas außen. Schwarz abgeklebt ist jener Bereich welcher in den Leibungsanschlag der Wand reicht.



Abbildung 47: Innenansicht des Fensters, rechts ist der tiefe Falz des Stockes deutlich zu erkennen (zwischen den beiden schwarzen Dichtungen)

Das Vakuumglas wurde außen auf den Flügel mittels Klebebänder verklebt und überdeckt den gesamten Flügel (siehe Abbildung 48). Um den Randverbund und die Verklebung abzudecken ist eine Emaillierung des Glases in diesem Bereich notwendig. Alle anderen Komponenten konnten von herkömmlichen Fenstern in adaptierter Art und Weise verwendet werden.

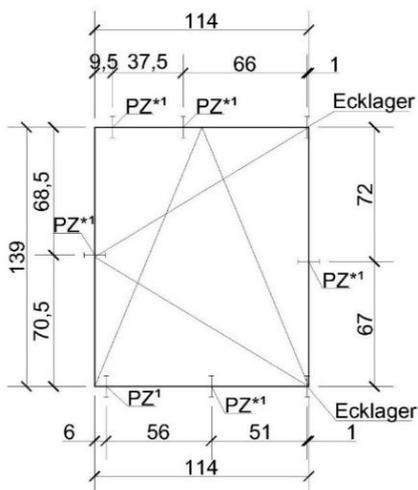


Abbildung 48: Außenansicht bei leicht geöffnetem Flügel. Der schwarze Glasrand wird bei geschlossenem Fenster vollständig vom Stock abgedeckt.

Für die Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit war das Mock-Up statt mit einer Vakuumverglasung mit Verbundsicherheitsglas (VSG: 4 / 0,76 mm Folie / 4) ausgestattet. Diese Verglasung entspricht in Bezug auf deren statischen Eigenschaften jener einer Vakuumverglasung (dies wurde bereits in anderen Untersuchungen nachgewiesen).

Für die Untersuchungen zum Thema Wärmeschutz und Schallschutz war das Mock-Up mit einer 8 mm dicken Vakuumverglasung ( $U_g$  0,57 W/m<sup>2</sup>K) ausgestattet.

In Abbildung 49 sind die Verriegelungspunkte des Mock-Up's dargestellt.



Alle in der Zeichnung angegebenen Maße in cm.

zur Befestigung der Schließzapfen verwendete Schrauben im Flügel: 33 Schrauben  $\varnothing$  4 x 30 mm

<sup>1</sup> = Schließstück befestigt mit 2 Schraube  $\varnothing$  4 x 40 mm

PZ = Pizzapfen mit Sicherheitsschließstück, PZ\* = Pilzzapfen mit Dichtheitschließstück

Abbildung 49: Verriegelungspunkte des Mock-Ups

### 3.5.2 Thermische Performance

Die Annäherungen an diesen Typus hinsichtlich thermischer Performance konnten anhand der tatsächlichen Ausführungsdetailierung nun vertieft werden, und sind nachstehend abgebildet.

Nachstehend wird dies sowohl für den Schnitt durch den seitlichen / oberen Glas-Flügel-Rahmen-Anschluss (siehe 3.5.2.1.), wie auch für den unteren Anschluss (siehe 3.5.2.2.) dokumentiert. Es wurden in Summe für jedes dieser beiden Details 20 Grund-Simulationen (nachstehend als Varianten 1 – 4 mit Subkategorisierung A, B, C, D, E bezeichnet) durchgeführt. Dabei wurde die Breite des Glasrandverbunds, die Annahme betreffend der Wärmedämmfähigkeit der eingeschlossenen Luft in Dichtungen und im Zwischendichtungsbereich (Variantenkennung 1, 2, 3, 4), sowie die Materialität in der Beschlagnut (Variantenkennung A, B, C, D, E, siehe nachstehende Abbildung 50) folgendermaßen variiert:

- Variante 1A: Glasrandverbund 15 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Eisen (emuliert den thermischen „worst case“, eines hochwärmeleitenden Materials in der Beschlagnut-).
- Variante 1B: Glasrandverbund 15 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Holz (emuliert das nicht Vorhandensein dieser Nut – dies vor allem aus Gründen, da auch in diesem Status des Projektes nicht 100%ig festgelegt ist, wie sich die Beschlagtechnologie für solche Fenster entwickeln wird)
- Variante 1C: Glasrandverbund 15 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Luft (Annahme, dass die Nut vorhanden ist, aber kein Beschlag eingelegt ist; die Luft vergrößert den stehenden Lufteinschluss im Dichtungszwischenraum).
- Variante 1D: Glasrandverbund 15 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Luft, mit abdeckendem Metallstreifen (Eisen).
- Variante 1E: Glasrandverbund 15 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Eisen, inklusive abdeckendem Metallstreifen (Eisen)
- Variante 2A: Glasrandverbund 15 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,17 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Eisen (emuliert metallische Beschläge)
- Variante 2B: Glasrandverbund 15 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,17 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Holz (emuliert das nicht Vorhandensein dieser Nut – dies vor allem aus Gründen, da auch in diesem Status des Projektes nicht 100%ig festgelegt ist, wie die Beschlagstechnologie für solche Fenster entwickeln wird)
- Variante 2C: Glasrandverbund 15 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,17 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Luft (Annahme, dass die Nut vorhanden ist, aber kein Beschlag eingelegt ist; die Luft vergrößert den stehenden Lufteinschluss im Dichtungszwischenraum).
- Variante 2D: Glasrandverbund 15 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,17 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Luft, mit abdeckendem Metallstreifen (Eisen).
- Variante 2E: Glasrandverbund 15 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,17 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Eisen, inklusive abdeckendem Metallstreifen (Eisen)
- Variante 3A: Glasrandverbund 5 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Eisen (emuliert metallische Beschläge)

- Variante 3B: Glasrandverbund 5 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Holz (emuliert das nicht Vorhandensein dieser Nut – dies vor allem aus Gründen, da auch in diesem Status des Projektes nicht 100%ig festgelegt ist, wie die Beschlagstechnologie für solche Fenster entwickelt wird)
- Variante 3C: Glasrandverbund 5 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Luft (Annahme, dass die Nut vorhanden ist, aber kein Beschlag eingelegt ist; Sie Luft vergrößert den stehenden Lufteinschluss im Dichtungszwischenraum).
- Variante 3D: Glasrandverbund 5 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Luft, mit abdeckendem Metallstreifen (Eisen).
- Variante 3E: Glasrandverbund 5 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Eisen, inklusive abdeckendem Metallstreifen (Eisen)
- Variante 4A: Glasrandverbund 5 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,17 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Eisen (emuliert metallische Beschläge)
- Variante 4B: Glasrandverbund 5 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,17 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Holz (emuliert das nicht Vorhandensein dieser Nut – dies vor allem aus Gründen, da auch in diesem Status des Projektes nicht 100%ig festgelegt ist, wie die Beschlagstechnologie für solche Fenster entwickelt wird)
- Variante 4C: Glasrandverbund 5 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,17 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Luft (Annahme, dass die Nut vorhanden ist, aber kein Beschlag eingelegt ist; Sie Luft vergrößert den stehenden Lufteinschluss im Dichtungszwischenraum).
- Variante 4D: Glasrandverbund 5 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,17 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Luft, mit abdeckendem Metallstreifen (Eisen).
- Variante 4E: Glasrandverbund 5 mm, Annahme betreffend der Wärmeleitfähigkeit von eingeschlossenen Luftkammern:  $0,17 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , Materialität in der Beschlagnut: Eisen, inklusive abdeckendem Metallstreifen (Eisen)

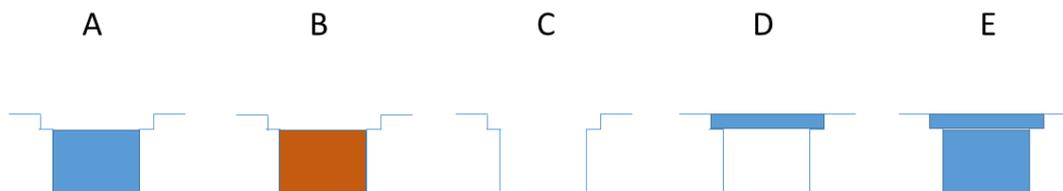


Abbildung 50: Schemadarstellung unterschiedlicher Beschlags-Nut-Ausführungen

*Anmerkung: neben den jeweils 20 Grundsimulationen wurden zusätzliche Simulationen durchgeführt, die eine Weiterentwicklung / weiterführende Analyse der vorliegenden Details darstellen – diese sind jeweils in den entsprechenden Sektionen erklärt.*

Grundsätzlich lagen allen Simulationen folgende Annahmen zugrunde:

Temperatur Randbedingungen:

- Innenraum(luft)temperatur  $20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Außenlufttemperatur  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$

Wärmeübergangswiderstand:

- $R_{si}$ :  $0,25 \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$
- $R_{se}$ :  $0,04 \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$

Anmerkung: Die  $0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  sind eine „Worst-Case“-Annahme, die in den einschlägigen – mit Oberflächenkondensat bzw. Wärmebrücken befassten Normen (DIN 4108-3, ÖNORM B8110-2, EN ISO 10211) angeregt wird.

Thermische Kennwerte der verwendeten Baustoffe / Materialien:

<b>Material</b>	<b>Wärmeleitfähigkeit [<math>\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}</math>]</b>
Eisen	75,00
Glas (inklusive Glasrandverbund/Glasfritte)	1,00
Gummi / Kautschuk (Dichtungen)	0,20
Holz	0,11
Kitt/Silikonphase	0,35
Kleber	0,50
Kunststoff	0,20
Vakuumsplatt	0,00000975
Luftschicht ruhend / eingeschlossene Luft	0,10 (Varianten 1,3) / 0,17 (Varianten 2,4)

In Sektion 3.5.2.3. wird der U-Wert der Konstruktion berechnet.

### 3.5.2.1 Ergebnisse – seitlichen / oberen Glas-Flügel-Rahmen-Anschluss

Nachstehende Tabelle 10 bietet einen Überblick über die Ergebnisse der Simulationen des seitlichen Glasanschlusses. Die detaillierten Berechnungsblätter, Grafiken zur inneren Oberflächentemperatur des Fensterprofils und Isolinienfalschfarbenbilder liegen bei den Projektpartnern auf.

Tabelle 10 : Überblick über die Ergebnisse der Simulationen des seitlichen Glas-Flügel-Rahmen-Anschlusses (**Fett** die Ergebniskohorte mit den besten Ergebnissen, d. h. höchsten Oberflächentemperaturen)

Variante	Breite Glasrandverbund [mm]	Annahme Wärmeleitfähigkeit der eingeschlossenen Luft [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	Materialität in der Beschlagsnut	Längenbezogener thermischer Leitwert [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	fRsi [-]	Temperatur am kältesten Punkt der Innenoberfläche [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Grenzfeuchte rel. Luftfeuchtigkeit [%]	Ort der kältesten Temperatur / Innenoberfläche
1A	15	0,10	Eisen	0,183491	0,67	10,24	53,36	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
1B	15	0,10	Holz	0,180177	0,67	10,15	53,05	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
1C	15	0,10	Luft	0,180055	0,67	10,15	53,04	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
1D	15	0,10	Eisenabdeckung vor Lufteinschluss	0,183259	0,67	10,22	53,26	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
1E	15	0,10	Eisen + Eisenabdeckung	0,184670	0,68	10,26	53,43	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
2A	15	0,17	Eisen	0,188874	0,67	10,09	52,84	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
2B	15	0,17	Holz	0,185670	0,67	10,01	52,55	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
2C	15	0,17	Luft	0,186187	0,67	10,02	52,59	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
2D	15	0,17	Eisenabdeckung vor Lufteinschluss	0,188901	0,67	10,08	52,79	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
2E	15	0,17	Eisen + Eisenabdeckung	0,190036	0,67	10,11	52,91	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
<b>3A</b>	<b>5</b>	<b>0,10</b>	<b>Eisen</b>	<b>0,163943</b>	<b>0,72</b>	<b>11,47</b>	<b>57,93</b>	<b>Flügel-Stock-Fuge (Holz)</b>
<b>3B</b>	<b>5</b>	<b>0,10</b>	<b>Holz</b>	<b>0,160749</b>	<b>0,72</b>	<b>11,50</b>	<b>58,05</b>	<b>Flügel-Stock-Fuge (Holz)</b>
<b>3C</b>	<b>5</b>	<b>0,10</b>	<b>Luft</b>	<b>0,160629</b>	<b>0,72</b>	<b>11,50</b>	<b>58,05</b>	<b>Flügel-Stock-Fuge (Holz)</b>
3D	5	0,10	Eisenabdeckung vor Lufteinschluss	0,163791	0,71	11,44	57,79	Flügel-Stock-Fuge (Holz)
3E	5	0,10	Eisen + Eisenabdeckung	0,165146	0,72	11,45	57,85	Flügel-Stock-Fuge (Holz)
4A	5	0,17	Eisen	0,168973	0,71	11,34	57,43	Flügel-Stock-Fuge (Holz)
4B	5	0,17	Holz	0,165887	0,71	11,39	57,61	Flügel-Stock-Fuge (Holz)
4C	5	0,17	Luft	0,166389	0,71	11,38	57,59	Flügel-Stock-Fuge (Holz)
4D	5	0,17	Eisenabdeckung vor Lufteinschluss	0,169070	0,71	11,29	57,22	Flügel-Stock-Fuge (Holz)
4E	5	0,17	Eisen + Eisenabdeckung	0,170152	0,71	11,30	57,26	Flügel-Stock-Fuge (Holz)

Anhand der Ergebnistabelle ist gut ersichtlich, dass die Breite des Glasrandverbunds den größten Einfluss auf die Performance der Konstruktion hat. Die Kombination mit 5 mm Glasrandverbund kann als thermisch tauglich befunden werden. Dabei spielt die Annahme der Dämmwirkung der Luft infolge des dichten Abschlusses der eingeschlossenen Lufträume

(in Dichtungen und in Zwischenräumen) eine zwar sichtbare, jedoch nur untergeordnete Rolle (zweite Nachkommastelle bei  $f_{Rsi}$ , Nachkommastellen bei der Oberflächentemperatur). Es darf nicht vergessen werden, dass die Simulationen mit einem sehr hohen  $f_{Rsi}$ -Wert durchgeführt wurden, welcher nur bei sehr kritischen Situationen der Realität entsprechen dürfte. Daher kann durchaus festgehalten werden, dass die seitliche Detaillierung hinsichtlich thermischer Performance und betreffend Oberflächenkondensat tauglich ist.

### **3.5.2.2 Ergebnisse – unterer Glas-Flügel-Rahmen-Anschluss**

Nachstehende Tabelle 11 bietet einen Überblick über die Ergebnisse der Simulationen des unteren Glasanschlusses. Die detaillierten Berechnungsplätter, Grafiken zur inneren Oberflächentemperatur des Fensterprofiles und Isolinienfalschfarbenbilder liegen bei den Projektpartnern auf.

Tabelle 11: Überblick über die Ergebnisse der Simulationen des unteren Glas-Flügel-Rahmen-Anschlusses (**Fett** die Ergebniskohorte mit den besten Ergebnissen, d. h. höchsten Oberflächentemperaturen)

Variante	Länge Glasrandverbund [mm]	Wärmeleitfähigkeit der eingeschlossenen Luft [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	Materialität in der Beschlagsnut	Längenbezogener thermischer Leitwert [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ]	fRsi [-]	Temperatur am kältesten Punkt der Innenoberfläche [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Grenzfeuchte rel. Luftfeuchtigkeit [%]	Ort der kältesten Temperatur / Innenoberfläche
1A	15	0,10	Eisen	0,242542	0,57	6,95	42,71	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
1B	15	0,10	Holz	0,235408	0,57	6,96	42,73	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
1C	15	0,10	Luft	0,235148	0,57	6,96	42,73	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
1D	15	0,10	Eisenabdeckung vor Lufteinschluss	0,241902	0,56	6,94	42,67	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
1E	15	0,10	Eisen + Eisenabdeckung	0,245036	0,56	6,94	42,68	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
2A	15	0,17	Eisen	0,251283	0,56	6,85	42,41	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
2B	15	0,17	Holz	0,244289	0,56	6,86	42,45	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
2C	15	0,17	Luft	0,245397	0,56	6,86	42,44	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
2D	15	0,17	Eisenabdeckung vor Lufteinschluss	0,251410	0,56	6,84	42,38	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
2E	15	0,17	Eisen + Eisenabdeckung	0,253902	0,56	6,84	42,38	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
3A	5	<b>0,10</b>	<b>Eisen</b>	<b>0,219490</b>	<b>0,64</b>	<b>9,28</b>	<b>50,05</b>	<b>Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt) (aber nahezu gleiche Temperatur in Flügel-Stock-Fuge (Holz)).</b>
3B	5	<b>0,10</b>	<b>Holz</b>	<b>0,212528</b>	<b>0,64</b>	<b>9,30</b>	<b>50,11</b>	<b>Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt) (aber nahezu gleiche Temperatur in Flügel-Stock-Fuge (Holz)).</b>
3C	5	<b>0,10</b>	<b>Luft</b>	<b>0,212256</b>	<b>0,64</b>	<b>9,30</b>	<b>50,11</b>	<b>Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt) (aber nahezu gleiche Temperatur in Flügel-Stock-Fuge (Holz)).</b>
3D	5	<b>0,10</b>	<b>Eisenabdeckung vor Lufteinschluss</b>	<b>0,219061</b>	<b>0,64</b>	<b>9,28</b>	<b>50,02</b>	<b>Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt) (aber nahezu gleiche Temperatur in Flügel-Stock-Fuge (Holz)).</b>
3E	5	<b>0,10</b>	<b>Eisen + Eisenabdeckung</b>	<b>0,222059</b>	<b>0,64</b>	<b>9,26</b>	<b>49,98</b>	<b>Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt) (aber nahezu gleiche Temperatur in Flügel-Stock-Fuge (Holz)).</b>
4A	5	0,17	Eisen	0,228928	0,63	8,88	48,71	Flügel-Stock-Fuge (Holz) (aber nahezu gleiche Temperatur in Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt))
4B	5	0,17	Holz	0,222040	0,64	9,14	49,58	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt) (aber nahezu gleiche Temperatur in Flügel-Stock-Fuge (Holz)).
4C	5	0,17	Luft	0,223151	0,64	9,14	49,55	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt) (aber nahezu gleiche Temperatur in Flügel-Stock-Fuge (Holz)).
4D	5	0,17	Eisenabdeckung vor Lufteinschluss	0,229240	0,62	8,74	48,23	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt) (aber nahezu gleiche Temperatur in Flügel-Stock-Fuge (Holz)).
4E	5	0,17	Eisen + Eisenabdeckung	0,231641	0,62	8,69	48,09	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt) (aber nahezu gleiche Temperatur in Flügel-Stock-Fuge (Holz)).

Anhand der Ergebnistabelle ist gut ersichtlich, dass die Stärke des Glasrandverbunds den größten Einfluss auf die Performance der Konstruktion hat. Die Kombinationen mit 5 mm Glasrandverbund zeigen deutlich bessere thermische Performance, wobei die  $f_{Rsi}$ -Werte unter dem Limit von 0,69 bzw. 0,71 liegen. Die kältesten Oberflächenpunkte sind beim unteren Anschluss an der Stulpfuge (Flügel-Stock-Füge), sowie am Glasanschluss (Abdichtung) zu finden, sind in den meisten Fällen jedoch nahezu gleich temperiert. Jene Varianten mit 15mm Glasrandverbund zeigen deutlich schlechtere Performance, hier ist immer der Punkt am Glasanschluss der kritischste.

Zur Kontrastierung wurden die Varianten 3A – 3E noch mit einem Rsi von 0,13 gerechnet (das ist jener Wärmeübergangswiderstand, der bei nicht kritischen Wärmebrückensituationen angesetzt wird, z. B. U-Wert-Berechnungen). Diese Varianten wurden mit 3Av2, 3Bv2, 3Cv2, 3Dv2 und 3Ev2 bezeichnet. Darauf aufbauend wurden diese Varianten noch mit einer zusätzlichen Kunststoff-Hülle um die Glasstirnseite, sowie die Glasaußenseite unterhalb des Aluminiumprofils gerechnet (3Av3 – 3Ev3). Nachstehende Tabelle 12 zeigt die Ergebnisse.

Tabelle 12: Überblick über die Ergebnisse der Simulationen des unteren Glas-Flügel-Rahmen-Anschlusses, modifizierte Versionen 3

Variante	Länge Glasrandverbund [mm]	Annahme Wärmeleitfähigkeit der eingeschlossenen Luft [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]	Materialität in der Beschlagsnut	Längenbezogener thermischer Leitwert [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]	$f_{Rsi}$ [-]	Temperatur am kältesten Punkt der Innenoberfläche [ $^{\circ}C$ ]	Grenzfeuchte rel. Luftfeuchtigkeit [%]	Ort der kältesten Temperatur / Innenoberfläche
3Av2	5	0,10	Eisen	0,247567	0,73	12,01	60,01	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
3Bv2	5	0,10	Holz	0,238913	0,73	12,00	59,97	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
3Cv2	5	0,10	Luft	0,238597	0,73	12,00	59,97	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
3Dv2	5	0,10	Eisenabdeckung vor Lufteinschluss	0,247096	0,73	11,99	59,96	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
3Ev2	5	0,10	Eisen + Eisenabdeckung	0,250821	0,73	12,00	59,97	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
3Av3	5	0,10	Eisen	0,239137	0,73	11,97	59,86	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
3Bv3	5	0,10	Holz	0,236415	0,74	12,13	60,50	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
3Cv3	5	0,10	Luft	0,239137	0,73	11,97	59,86	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
3Dv3	5	0,10	Eisenabdeckung vor Lufteinschluss	0,244436	0,74	12,13	60,51	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)
3Ev3	5	0,10	Eisen + Eisenabdeckung	0,248072	0,74	12,14	60,53	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt)

Es zeigt sich, dass bei Annahme eines niedrigeren  $R_{si}$ -Wertes, und bei geringfügigen Ertüchtigungsmaßnahmen auch der untere Anschluss bei den Versionen mit einem Glasrandverbund von 5 mm eine taugliche hygro-thermische Performance zeigt!

**Fazit:** Die Ergebnisse der Vorsektionen zeigen, dass die Mock-Up Konstruktion durchaus den Anforderungen von thermo-hygrischen Detail-Assessments standhält. Oberflächenkondensat ist bei normalen Anströmungsverhältnissen unwahrscheinlich (d. h. die Neigung dazu laut stationärer Wärmebrückensimulation gering), bei extremeren Annahmen ( $R_{si}=0,25$ ) höchstens im unteren Anschlussdetail ein Thema, dies kann durch eine weitere konstruktive Optimierung allerdings sicherlich in den Griff bekommen werden.

### 3.5.2.3 Ergebnisse – Fazit & U-Wert-Berechnung.

Hierzu wird das Prüfnormmaß 1,23 x 1,48 herangezogen, sowie die normativen Festlegungen aus der DIN EN ISO 10077 Teil 1 und Teil 2:

Zieht man die Formel, welche zur U-Wert Berechnung eines einscheibenverglasten Fensters verwendet wird, heran

$$U_W = \frac{\sum A_g \times U_g + \sum A_f \times U_f + \sum l_g \psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$

dann lässt sich ein U-Wert für die Mock-Up Konstruktion überschlagen.

Der U-Wert des Glases im Feld alleine ist (unter Vernachlässigung der Abstandhalter)

$$\frac{1}{U_g} = 0,13 + \frac{0,004}{1} + \frac{0,00015}{0,00000975} + \frac{0,004}{1} + 0,04 \implies U_g = 0,064 \text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}$$

Dieser Wert ist jedoch rein rechnerisch für ein in jede Richtung unlimitiertes Vakuum entstanden. Der Effekt der Abstandhalter schlägt sich in einem höheren U-Wert nieder, wie von der Fa. Synergy (Hersteller) angegeben etwa 0,57 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>. Da dieser Wert höchstwahrscheinlich auf Messdaten der Hersteller basiert, kann er als valide Basis für die Weiterberechnung herangezogen werden.

Der U-Wert des Rahmens lässt sich durch einen Schnitt durch die Rahmenkonstruktion abschätzen. Der Einfachheit halber nehmen wir 6,5 cm Holz (Wärmeleitfähigkeit 0,11 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>) an. Dann ist der U-Wert des Rahmens:

$$\frac{1}{U_f} = 0,13 + \frac{0,06}{0,11} + 0,04 \implies U_f = 1,40 \text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}$$

Um zum längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\psi$  zu gelangen, wenden wir nachstehende Formel an:

$$\psi = L_{\psi}^{2D} - U_f \times b_f - U_g \times b_g$$

Wir ziehen hier den  $L_{\psi}^{2D}$  Wert des unteren Anschlusses (Fall 3A: 0,219490 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>) heran. Allerdings muss dabei klar sein, dass die Wärmebrückensimulation als solche nicht für die Berechnung des U-Wertes konzipiert war, sondern lediglich zur Abschätzung der Kennzahlen der Wärmebrücken (wie Oberflächentemperatur,  $f_{rsi}$ -Wert, u.dgl.) Die Längen für  $b_f$  und  $b_g$  nehmen wir mit  $b_f = 0,1085$  m und  $b_g = 0,19$  m heran. Letzter Wert stellt die Mindestlänge für das Glas laut Norm dar. Das nachstehende Berechnungsergebnis ist dadurch verfälscht, weil die Glaslänge hier nicht 19 cm betrug, sondern geringer war. Dennoch erscheint dieser Fehler akzeptabel klein zu sein:

$$\text{Unter den genannten Bedingungen ist } \psi = 0,219490 - 1,3977 \times 0,1085 - 0,57 \times 0,19 = -0,04046045$$

Nehmen wir nun eine umlaufende Rahmenbreite von 0,1085 m an, so erhalten wir

$$A_f = 2 * 1,23 * 0,1085 + 2 * (1,48 - 2 * 0,1085) * 0,1085 = 0,540981$$

$$A_g = 1,23 * 1,48 - 0,540981 = 1,279419$$

Und damit

$$U_W = \frac{1,279419 * 0,57 + 0,540981 * 1,3977 - 0,04046045}{1,23 * 1,48} = 0,80 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Ohne Berücksichtigung des negativen PSI-Wertes ergibt sich immer noch ein  $U_W$ -Wert von

$$U_W = \frac{1,279419 * 0,57 + 0,540981 * 1,3977}{1,23 * 1,48} = 0,82 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Diese U-Werte können, trotz des sehr schlanken Rahmens, als niedrig angesehen werden, im Vergleich zu den rechtlichen Rahmenbedingungen in Österreich ( $U_{W,\min} = 1,4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  im Wohnbau), und durchaus auch im Bereich von guten Dreischeibenverglasungen.

Es ist jedoch zu beachten, dass hier lediglich sehr grobe Annahmen für die U-Wert-Berechnung herangezogen wurden, da eine Berechnungsnorm für den U-Wert von Vakuumglasfenstern im Moment nicht existiert.

Um hier eine erhöhte Genauigkeit zu erzielen, wurde die oben verwendete Detailsimulation nochmals herangezogen und für die Erfordernisse der U-Wert-Berechnung adaptiert. Dies ist vor allem die Verlängerung der sichtbaren Glaslänge auf 19 cm (dem akzeptablen Minimum für die U-Wert-Berechnung bzw. PSI-Berechnung laut EN ISO 10077). Dieses Modell wurde 3A\_MOD19 genannt. Die Ergebnis-Daten und das Kantenprofil sind nachstehend (Tabelle 13) gezeigt.

Tabelle 13: Überblick über die Ergebnisse der Simulationen des unteren Glas-Flügel-Rahmen-Anschlusses, Version 3A\_MOD19 (verwendet in der U-Wert-Berechnung)

Variante	Länge Glasrandverbund [mm]	Annahme Wärmeleitfähigkeit der eingeschlossenen Luft [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	Materialität in der Beschlagsnut	Längenbezogener thermischer Leitwert [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	fRsi [-]	Temperatur am kältesten Punkt der Innenoberfläche [°C]	Grenzfeuchte rel. Luftfeuchtigkeit [%]	Ort der kältesten Temperatur / Innenoberfläche
3A_MOD19	5	0,10	Eisen	0,228187	0,65	9,38	50,39	Glas-Rahmen-Kontakt (Kitt) (aber nahezu gleiche Temperatur in Flügel-Stock-Fuge (Holz)).

Unter den Bedingungen aus 3A\_MOD19 ist  $\psi = 0,228781 - 1,3977 \times 0,1085 - 0,57 \times 0,19 = -0,03116945$

Glasfläche und Rahmenfläche sind analog zu oben gleichgeblieben, nämlich:

$$A_f = 2 * 1,23 * 0,1085 + 2 * (1,48 - 2 * 0,1085) * 0,1085 = 0,540981$$

$$A_g = 1,23 * 1,48 - 0,540981 = 1,279419$$

Und damit

$$U_W = \frac{1,279419 * 0,57 + 0,540981 * 1,3977 - 0,03116945}{1,23 * 1,48} = 0,79855 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$$

Ohne Berücksichtigung des negativen PSI-Wertes ergibt sich immer noch ein  $U_W$ -Wert von

$$U_W = \frac{1,279419 * 0,57 + 0,540981 * 1,3977}{1,23 * 1,48} = 0,81598 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$$

Der Fehler durch die geringe Glaslänge ist also im berechneten Fall fast vernachlässigbar.

**Fazit:** Es lässt sich festhalten, dass das Fenster als solches einen **U-Wert von rund 0,80 W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>** hat.

### 3.5.3 Schallschutz

In diesem Kapitel werden Ergebnisse der Schallschutzmessungen in Tabelle 14 angeführt. Angegeben werden das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$  sowie die zugehörigen Spektrum-Anpassungswerte  $C$  und  $C_{tr}$ . In den folgenden Unterkapiteln werden die Messerkurven in Diagrammen dargestellt um die Kurven der einzelnen Messungen direkt vergleichen zu können. Die Unterschiede im Kurvenverlauf werden dadurch ersichtlich und können diskutiert werden. Um eine bessere Übersichtlichkeit zu gewährleisten, werden für die Kurven immer gleiche Farben verwendet, die auch in Tabelle 14 angeführt sind. Die facheinschlägige Terminologie wird als für den Leser bekannt angenommen, bzw. kann leicht in der entsprechenden Fachliteratur (ÖNORM B 8115, OIB-Richtlinie 5, Fachbücher wie z.B. Fasold, Veres – Schallschutz und Raumakustik in der Praxis, Beuth ISBN 978-3-410-24305-2) nachgeschlagen werden.

Tabelle 14: Ergebnisse der Schallschutzmessungen

PK	Typ	Diagramm- farbe	R <sub>w</sub> [dB]	C [dB]	C <sub>tr</sub> [dB]
1	VSG 44.2	Schwarz	34	-1	-4
2	TL4 + V + T4 - 5	Rot	35	-2	-4
3	TL4 + V + T4 - 6	Grün	34	-1	-3
4	Mock-Up VSG 44.2	Dunkelblau	36	-2	-4
5	Mock-Up TL4 + V + T4	Cyan	35	-2	-3

Der bewertete Bereich wird in den nachfolgenden Diagrammen mit gestrichelten Linien dargestellt und liegt zwischen 100 Hz und 3150 Hz. Gemessen wurde aber der erweiterte Bereich von 50 Hz bis 5000 Hz, da dieser immer mehr an Bedeutung gewinnt. Die Betrachtungen beziehen sich momentan nur auf den bewerteten Bereich.

### 3.5.3.1 Vergleich Verglasung: VSG versus VG

In Abbildung 51 sind die gemessenen Kurven aus den Schallschutz-Untersuchungen der Verglasungen dargestellt. Fensterscheiben (z. B. Einfachglas) verhalten sich im Schallschutz wie einschalige Bauteile und können mit dem Berger'schen Massengesetz beschrieben werden. Dadurch kann das Verhalten in drei grundlegende Frequenzbereiche eingeteilt werden:

1. Platteneigenschwingungen (tiefer Frequenzbereich)
2. Massengesetz (mittlerer Frequenzbereich)
3. Koinzidenzbereich (oberer Frequenzbereich).

In Bereich eins treten Eigenschwingungen auf die in Abbildung 51 bei 125 Hz erscheinen. Das ist ersichtlich durch den Einbruch des Schalldämm-Maßes der dort vorliegt. Sowohl bei dem VSG-Glas wie auch bei den VG-Gläsern ist dieses Verhalten zu beobachten. Bei einem Einfachglas mit 8 mm dicke ist dieser Einbruch ebenfalls ersichtlich. Die VG-Gläser sind durch die inneren Stützen so gekoppelt, dass sie sich bei den Eigenschwingungen wie ein Einfachglas mit 8 mm verhalten. Das vollflächig zusammengeklebte VSG-Glas zeigt das gleiche Verhalten.

Im zweiten Bereich „Massengesetz“ folgt ein Anstieg der mit  $\leq 6$  dB pro Oktave beschrieben werden kann. Eine Oktave entspricht einer Frequenzverdoppelung, egal von welcher Grundfrequenz ausgegangen wird. Dies ist für ein einschaliges Bauteil ein normales Verhalten. In diesem Bereich ist bei den untersuchten Verglasungen kein Unterschied zu erkennen.

Der dritte und letzte Bereich ist der Koinzidenzbereich in dem die Koinzidenzfrequenz liegt. Bei dieser Frequenz erfolgt ein Einbruch im Kurvenverlauf. Bei dem VSG-Glas liegt dieser

bei 2000 Hz. Bei einem 8 mm Einfachglas ist dieser Einbruch bei 1500 Hz. Die Kurve des 8 mm Einfachglases wird nicht in einem Diagramm angeführt, sondern nur beschrieben. Der Koinzidenzeinbruch dem VSG-Glas bezogen auf das Einfachglas verschiebt sich, da sich die dynamische Steifigkeit der Scheibe ändert. Das liegt daran, dass zwei mit einander verklebte Scheiben für die Verglasung benutzt werden. Das heißt sie wird weicher bezogen auf das Einfachglas und somit verschiebt sich die Koinzidenzfrequenz zu höheren Frequenzen. Bei der Vakuumscheibe verschiebt sich dieser Einbruch noch weiter zu höheren Frequenzen (3150 Hz) ist aber stärker ausgeprägt im Vergleich zum VSG-Glas. Das lässt die Vermutung zu, dass sich die dynamische Steifigkeit bei der Vakuumscheibe noch weiter verringert und sich die Koinzidenzfrequenz deshalb weiter nach oben verschiebt. Bei der Vakuumscheibe sind die zwei 4 mm Gläser durch einen geringen Abstand getrennt aber durch Stützen sind die Gläser miteinander gekoppelt. Das kann der Grund dafür sein, dass der Koinzidenzeinbruch stärker ausgeprägt ist, da keine Verstimmung erfolgt. Verstimmung bedeutet, dass zwei verschieden dicke Gläser verwendet werden.

Die rechnerisch ermittelte Koinzidenzfrequenz bei einer 4 mm Scheibe liegt bei 3000 Hz.

**Fazit:** Die kleinen untersuchten Verglasungen weisen bis auf den Koinzidenzbereich keine großen Unterschiede im Frequenzverlauf auf. Dies legt die Vermutung nahe, dass das Verhalten in einem Mock-UP Fenster ähnlich sein wird. Auch im bewerteten Schalldämm-Maß  $R_w$  und den zugehörigen Spektrum-Anpassungswerten  $C$  und  $C_{tr}$  sind nahezu keine Unterschiede ersichtlich (siehe Tabelle 14 und Abbildung 51). Teilweise entspricht das Verhalten der untersuchten Verglasungen dem Verhalten einer Einzelscheibe mit 8 mm Dicke.

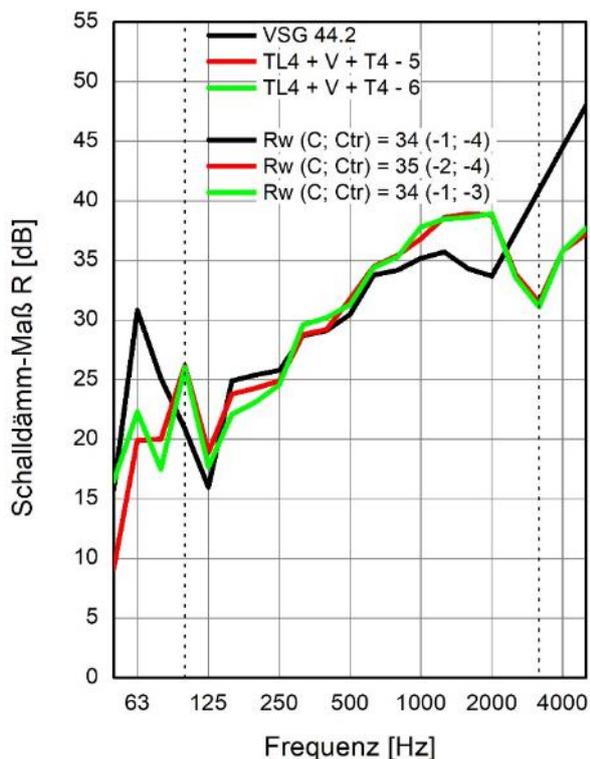


Abbildung 51: Frequenzverlauf Scheiben VSG versus VG

### 3.5.3.2 Vergleich Mock-UP: VSG versus VG

In Abbildung 52 sind die gemessenen Kurven aus den Schallschutz-Untersuchungen der Mock-Up Fenster Typ A1 mit den jeweiligen Verglasungen dargestellt. Die untersuchten Fenster zeigen keine großen Unterschiede im Frequenzverlauf untereinander, bis auf den Koinzidenzbereich in dem Verschiebungen auftreten. Dies war aus den Pilotmessungen der reinen Verglasungen zu erwarten. Die Fenster zeigen ein analoges Verhalten wie die Verglasungen, die Eigenschwingung verschiebt sich nicht und bleibt bei den Fenstern bei der gleichen Frequenz und ist vergleichbar stark ausgeprägt.

Der Bereich in dem das Massegesetz zum Tragen kommt ist bei den Fenstern auch vergleichbar und weist keine prägnanten Unterschiede auf.

Im Koinzidenzbereich der Fenster ist es so wie bei den reinen Verglasungen, dass sich diese aufgrund der unterschiedlichen Verglasungen in den Fenstern unterscheiden. Das liegt vermutlich an den vorher in Kapitel 3.5.3.1 angeführten Gründen.

**Fazit:** Wie aus den Pilotversuchen mit den Verglasungen zu erwarten war unterscheiden sich die Ergebnisse aus den Fenstermessungen nur im Koinzidenzbereich voneinander. Ansonsten sind die Unterschiede gering. Dies zeigt sich auch im bewerteten Schalldämmmaß  $R_w$  und den zugehörigen Spektrum-Anpassungswerten  $C$  und  $C_{tr}$  (siehe Tabelle 14 und Abbildung 52).

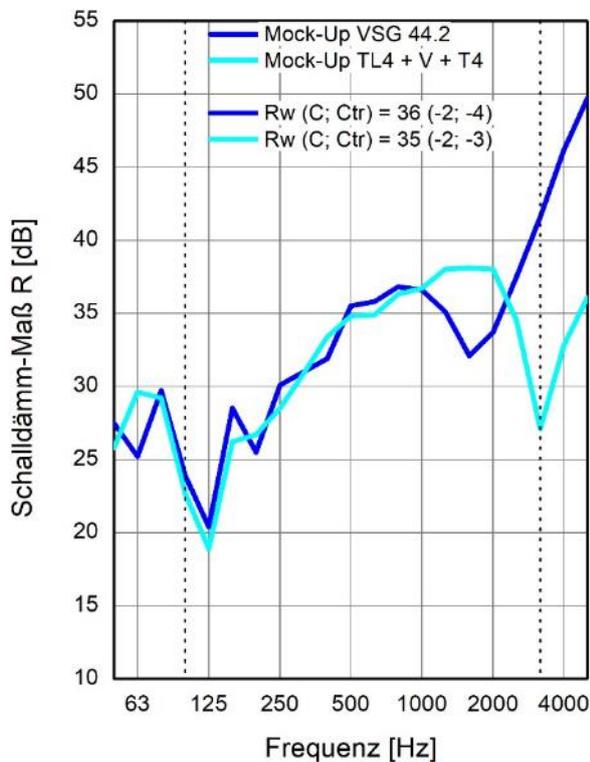


Abbildung 52: Frequenzverlauf Mock-Up Fenster Typ A1 VSG versus VG

### 3.5.3.3 Vergleich VSG und VG: Verglasung versus Mock-UP

Im diesem Abschnitt werden die Messergebnisse der reinen Verglasungen mit den Ergebnissen der Mock-Up Fenster Typ A1 verglichen und analysiert. Bei dem Fenster mit dem VSG-Glas ist im Vergleich zum reinen VSG-Glas ersichtlich, dass es einen ähnlichen Frequenzverlauf gibt (siehe Abbildung 53). Prinzipiell ist es so, dass die Messkurve des Fensters gegenüber der Scheibe im unteren und mittleren Frequenzbereich nach oben verschoben ist. Diese Verschiebung kommt wahrscheinlich aus der Kombination der Verglasung mit dem Fensterrahmen. Zum einen ist das VSG-Glas im Fenster größer als das reine VSG-Glas und zum anderen wird der Fensterrahmen mit bewertet. Dieser hat natürlich einen Einfluss auf das Messergebnis, da sich das Verhalten der Scheibe im Rahmen ändert im Vergleich zur reinen Verglasung. In diesem Bereich hat der Fensterrahmen vermutlich den größten Einfluss. Die Koinzidenzfrequenz verschiebt sich leicht von 2000 Hz auf 1600 Hz. Dies kann eine Auswirkung der Verglasungsgröße sein und/oder der Befestigung der Verglasung im Fensterflügel. Ab diesem Bereich verliert der Fensterrahmen seinen Einfluss und der Einfluss der Scheibe überwiegt.

Bei dem Vergleich des Mock-Up Fenster Typ A1 VG-Glas mit dem reinen VG-Glas zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei den VSG-Varianten (siehe Abbildung 54). Im unteren bis mittleren Frequenzbereich ist die Messkurve etwas nach oben verschoben. Dies hat vermutlich dieselben Gründe wie bei der VSG-Variante. In diesem Fall scheint aber der Fensterrahmen eher an Einfluss zu verlieren nämlich schon ab 800 Hz. Ab diesem Punkt scheint die Scheibe hauptsächlich für den Verlauf der Kurve ausschlaggebend zu sein. Der Koinzidenzeinbruch ist bei dem Fenster nicht verschoben wie bei der VSG-Variante aber dafür stärker ausgeprägt. Diese Ausprägung kann vermutlich auf die Größe der Verglasung zurückgeführt werden.

**Fazit:** Prinzipiell ist es so, dass die Messungen an den kleinen Scheiben unterschätzt werden. Das heißt die Mock-Up Fenster Typ A1 zeigen eine höhere Schalldämmung als die reinen Scheiben. Dies kann vermutlich auf die Größe der reinen Verglasungen und den Einfluss des Rahmens bei den Fenstern zurückgeführt werden. Der grundsätzliche Verlauf der Messkurven bleibt bei allen Varianten erhalten und verschiebt sich, je nach Messsituation, nach oben oder unten.

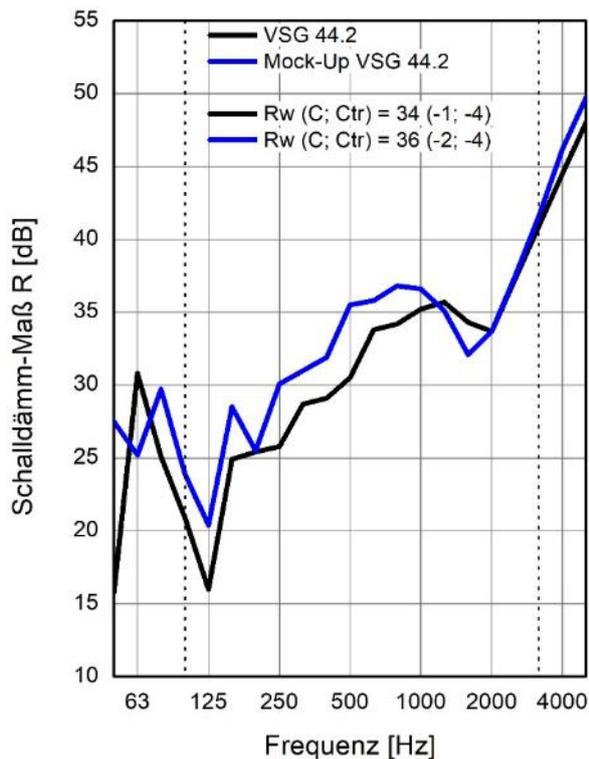


Abbildung 53: Frequenzverlauf Mock-Up Fenster Typ A1 VSG versus VSG-Glas

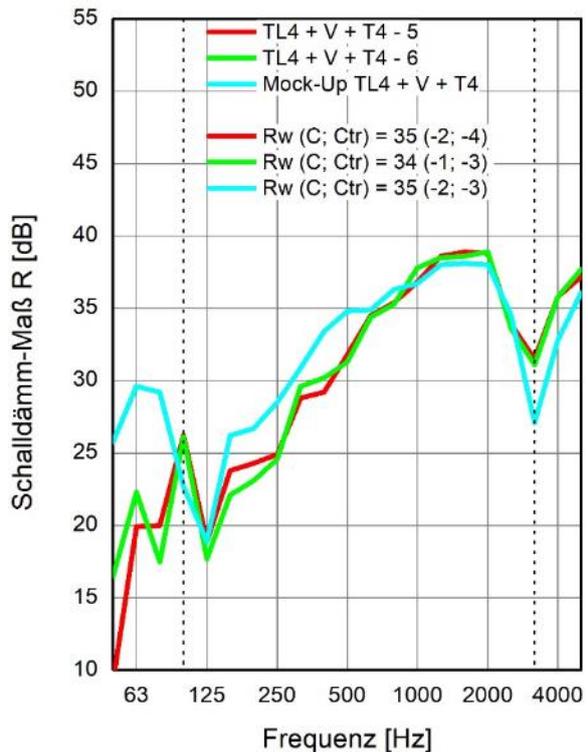


Abbildung 54: Frequenzverlauf Mock-Up Fenster Typ A1 VG versus VG-Glas

### 3.5.4 Gebrauchstauglichkeit

Bei der Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit des Mock-Up's, einem 1-flügeligen Holz/Aluminiumfenster in Dreh-Kippausführung mit einem Stockaußenmaß von 1230 x 1480 mm (HFA-Lieferschein Nr. 485/2017), wurden folgende Klassifizierungen ermittelt.

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| • Bedienkräfte gemäß ÖNORM EN 13115                                      | Klasse 1              |
| • Luftdurchlässigkeit gemäß ÖNORM EN 12207                               | Klasse 4              |
| • Schlagregen gemäß ÖNORM EN 12208                                       | keine Klassifizierung |
| • Windwiderstandsfähigkeit gemäß ÖNORM EN 12210                          | Klasse C5             |
| • Luftdurchlässigkeit nach Windwiderstandsfähigkeit gemäß ÖNORM EN 12207 | Klasse 4              |
| • Vertikallasten gemäß ÖNORM EN 13115                                    | Klasse 2              |
| • Statische Verwindung gemäß ÖNORM EN 13115                              | Klasse 2              |
| • Dauerfunktion gemäß ÖNORM EN 12400                                     | keine Klassifizierung |

Im Folgenden wird diese Bewertung für jede einzelne Leistungseigenschaft kurz erläutert. Die detaillierten Protokolle liegen bei den Projektpartnern auf.

Das Fensterelement ist bezüglich der Eigenschaft Bedienkräfte gemäß EN 13115 Klasse 1 zuzuordnen (Kraft zum Ein- bzw. Ausklinken der Beschläge kleiner 10 Nm; Kraft zum Einleiten der Öffnungs- bzw. Schließbewegung kleiner 100 N). Da das Mock-Up-Fenster mit einem handelsüblichen Dreh-Kipp-Beschlag ausgestattet war, war dies zu erwarten. Eine Klassifizierung der Bedienkräfte mit Klasse 1 entspricht auch der Leistungsfähigkeit marktüblicher Holz/Aluminiumfenster in Dreh-Kippausführung.

Das Mock-Up erzielte bei der Eigenschaft Luftdurchlässigkeit gemäß EN 12207 die Klasse 4. Auch bei der Wiederholung der Luftdurchlässigkeit nach dem Windwiderstandsfähigkeitsversuch konnte die Klasse 4 gemäß EN 12207 bestätigt werden. Klasse 4 ist gemäß ÖNORM EN 12207 die beste Klassifizierung (geprüft bis Differenzdruck +/-600 Pa). Die Ausführung mit vier Dichtungsebenen (Flügelüberschlagdichtung (4-seitig), Flügelalzdichtung (4-seitig), Stockaußendichtung (4-seitig), 2. Stockdichtung (3-seitig)) sowie mit handelsüblichem Dreh-Kipp-Beschlag trug zur guten Luftdurchlässigkeit des Fensterelements bei. Die Luftdurchlässigkeit von vergleichbaren marktüblichen Holz/Aluminiumfenstern ist etwa auf gleichem Niveau.

Bei der Untersuchung der Schlagregendichtheit wurde bereits nach ca. 6,5 min Wassereintritt zwischen Flügel und Stock in der linken unteren Ecke festgestellt. In diesem Zeitraum war kein Differenzdruck zwischen Innen- und Außenraum aufgebracht. Das Mock-Up konnte gemäß ÖNORM EN 12208 nicht klassifiziert werden. In einem zweiten Wiederholungsversuch wurden die relativ kleinen Entwässerungsöffnungen etwas aufgebohrt (2 Langlöcher mit je ~ 30 x 4,5 mm), mit dem Ziel, den Wasserabfluss zu verbessern. Diese Maßnahme war aber offensichtlich nicht ausreichend, da es neuerlich nach wenigen Minuten zum Wassereintritt kam. Somit wurde die Prüfung abgebrochen. Zur Verbesserung der Schlagregendichtheit wären weitere konstruktive Maßnahmen (z. B. Vergrößerung der Entwässerungsöffnungen) am Mock-Up erforderlich. Es ist anzumerken, dass es sich bei der für die Entwässerung der Konstruktion entscheidenden Regenschutzschiene um ein erstes selbst hergestelltes Handmuster handelt. Dafür wurden vorhandene Komponenten mit einfachsten Mitteln adaptiert. Die Wasserablaufwege konnten dabei aus herstellungstechnischen Gründen nicht ausreichend groß dimensioniert werden. Dies wäre aber in einer entsprechenden Produktentwicklung jedenfalls zu realisieren.

Bezüglich seiner Windwiderstandsfähigkeit ist das Mock-Up gemäß ÖNORM EN 12210 Klasse C5 zuzuordnen (Differenzdruck P1 +/-2000 Pa, P2 +/-1000 Pa, P3 +/-3000 Pa). Klasse C5 ist die beste der Standard-Klassen laut ÖNORM EN 12210. Es ist anzumerken, dass sich die Größe des untersuchten Fensterelements wesentlich auf die zu erwartende Klassifizierung der Windwiderstandsfähigkeit auswirkt. Kleinere Fenster, wie das untersuchte, sind hier also begünstigt. Die Windwiderstandsfähigkeit von vergleichbaren marktüblichen Holz/Aluminiumfenstern liegt etwa auf gleichem Niveau. In diesem Zusammenhang ist aber zu berücksichtigen, dass die Flügeldicke, die einen wesentlichen Beitrag zum Durchbiegungsverhalten des Flügels leistet, beim Mock-Up mit 46 mm, deutlich geringer ist als jene von klassischen Holz/Aluminiumfenstern. Es ist anzunehmen, dass sich die Klebung der Verglasung mit dem Flügel positiv auswirkt.

Die Festigkeitseigenschaften (Vertikallasten, Statische Verwindung) des Mock-Ups sind gemäß ÖNORMEN 13115 Klasse 2 zuzuordnen. Zur Klassifizierung werden laut ÖNORMEN 13115 Anforderungen an die Bedienungskräfte nach der Prüfung sowie bezüglich etwaiger Schäden gestellt. Diese Anforderungen wurden vom Mock-Up erfüllt. Darüber hinaus wurden bei diesen Untersuchungen Verformungen gemessen, die teilweise relativ hoch waren (siehe Tabelle 15). Dies ist den sehr schlanken Profilen geschuldet. Das Mock-Up für die Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit war statt mit Vakuumglas mit Verbundsicherheitsglas (VSG) ausgestattet. Grundsätzlich wirken sich die Lagerung der Verglasung und auch die Verglasung selbst auf die Mechanischen Festigkeitseigenschaften aus. Laut gängiger Lehrmeinung liegen Vakuumglas und Verbundsicherheitsglas bezüglich ihrer Steifigkeit auf einem ähnlichen Niveau, weshalb diese Untersuchungen durchaus zur Beurteilung dieser Konstruktion herangezogen werden können.

Tabelle 15: Untersuchung der Mechanischen Festigkeit: maximale relative Verformung bei Last

	Lasten in Flügalebene		Verwindung	
	Drehen	Kippen	Drehen	Kippen
Last	400 N	400 N	250 N	250 N (400 N)
max. relative Verformung bei Last	1,7 mm	a: 5,8 mm b: 2,1 mm	a: 70,8 mm b: 79,3 mm	a: 57,9 mm (400 N) b: 12,9 mm (250 N)

Beim Dauerfunktionstest wurden die beiden Bedienfunktionen Kippen und Drehen nacheinander getestet. Dabei wurde das Mock-Up zuerst 10.000 Kippzyklen unterzogen. Die Anforderungen laut ÖNORMEN 12400 wurden dabei erfüllt. Anschließend sollte die Drehfunktion untersucht werden. Nach 2.999 Drehzyklen (statt 10.000 Zyklen) streifte der Flügel unten (Griffseite) jedoch am Stock. Um das Prototypfenster nicht zu beschädigen wurde der Test abgebrochen.

Diese Problematik ist der Tatsache geschuldet, dass es sich um einen Prototypen handelt, in dem einerseits neue konstruktive Ansätze umgesetzt wurden, jedoch mangels Alternative ein Standard-Beschlag verwendet wurde, der aber für diese Konstruktion nicht optimal geeignet war. Der Dauerfunktionstest zeigte, dass ein optimal angepasster Beschlag erforderlich, und eine entsprechende Produktentwicklung von Nöten wäre.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass mit der Konstruktion des Mock-Ups bereits gute Ergebnisse in Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit erzielt wurden, auch wenn punktuelle Optimierungen noch notwendig sind. Das Vakuumglas ist in dieser Anwendung gut geeignet und bringt keinerlei Einschränkungen in Bezug auf die Konstruktion mit sich.

Die Protokolle mit allen Details zu den Untersuchungen der Gebrauchstauglichkeit sind in Anhang 3 enthalten.

### 3.5.5 SWOT Analyse

Tabelle 16 zeigt die SWOT-Analyse des Mock-Ups / Typs A1.

Tabelle 16: SWOT-Analyse des Tys A1/des Mock-UPs.

SWOT-Analyse Mock-UP		Interne Analyse	
		Stärken (Strengths)	Schwächen (Weaknesses)
Externe Analyse	<b>Chancen (Opportunities)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Stocklichte = Glaslichte</li> <li>_ gewohnte Optik innen</li> <li>_ außen kein Flügel sichtbar</li> <li>_ Flügel außen durch Glas geschützt</li> <li>_ Reinigung außen (nur Glas)</li> <li>_ innen flächenbündig</li> <li>_ voll verdeckte Beschläge</li> <li>_ 3x 4seitig umlaufende Dichtungen</li> <li>_ Sonnenschutz außen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ breites Stockprofil außen (einputzen!)</li> <li>_ (noch) kein Holz-Alufenster</li> </ul>
	<b>Risiken (Threats)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Emaillierung notwendig</li> <li>_ äußerer Stockfalz sehr groß (44 mm) Verformung?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ relativ konventioneller Ansatz</li> </ul>
<b>Ergebnis/Fazit</b>		Von außen Integralfenster, innen Standardfenster, sehr gute thermische Qualität → Produktentwicklung kann/soll gestartet werden	
<b>Optimierung</b>		-----	

## 4 Schlussfolgerungen

Die gezeigten Entwicklungen deuten auf ein hohes Potential der Vakuumglasscheiben für zeitgemäße Fensterkonstruktionen hin. Da die Entwicklung der Fensterrahmentechnologie zwar stete Fortschritte zeigte, die jedoch nur in sehr kleinräumigen Domänen bei gleichbleibender Gesamterscheinung der Fensterkonstruktion stattfanden, bieten die – hoffentlich auch in Zentraleuropa bald verfügbaren - Vakuumgläser hier eine historische Chance, Fenster als Gesamtbauteil neu zu konzipieren und zu realisieren. Die traditionelle Annahme, dass Fenster ein Schwachpunkt in der Gebäudehülle sind, könnte bei entsprechenden Realisierungen stark abgemildert werden. Es muss allerdings an dieser Stelle – wie auch schon beim Projekt VIG-SYS-RENO – auf die Limiten dieser Sondierungsstudie hinsichtlich Aussagekraft hingewiesen werden.

All die gezeigten Konstruktionen basieren auf der Annahme, dass die Vakuum-Gläser ein dauerhaftes Vakuum bieten, bzw. der evakuierte Spalt im Vakuumglas nur sehr langsam in seiner thermischen Dämmwirkung nachlässt (vergleichbar mit Argon/Krypton/Xenon-Isolierverglasungen). Dieser Aspekt ist allerdings im Bereich „Glasentwicklung“ angesiedelt, während die vorliegende Studie sich der Applikation von solchen Gläsern annahm.

Basierend auf den Resultaten dieser Sondierungsstudie kann folgendes festgehalten werden:

- Mit den Vakuumgläsern können sehr schlanke Konstruktionen mit guter Gesamtenergieperformance (Passivhausstandard) erstellt werden. Der Hauptknackpunkt besteht darin, die Wärmelängsleitung im Glas und die damit verbundene Wärmebrückenwirkung durch entsprechende Rahmenkonstruktionen abzufangen. Die gezeigten Entwürfe zeigen hier gute Ergebnisse.
- Die Schlankheit der Profile lässt sich bis auf Profilquerschnitte von alten Kastenfenstern reduzieren, wobei dann immer noch die statischen und thermischen Anforderungen, unterstützt durch das dünne und tragfähige Vakuumglas, erfüllt werden können.
- Die deutlich schlankeren Fenster ergeben bei gleichen Stockaußenmaß eine größere Glaslichte und damit auch einen höheren Licht- und Energieeintrag. Dem Thema Beschattung ist dabei besonderes Augenmerk zu schenken.
- Technologieentwicklung im Bereich Verschlussmechanismen, Beschläge und Dichtungen, sowie Motorisierung und Steuerung ist nicht nur wünschenswert, sondern auch erforderlich, wenn man konsequent einen neuen Weg in der Fensterentwicklung gehen mag.
- Öffnungs- und Bewegungsrichtungen, die von dem gewohnten mitteleuropäischen Fenster abweichen, sind hinsichtlich Innovationsgrad oftmals etwas bereits Dagewesenes, was sich aus verschiedenen (technischen) Gründen nicht

durchgesetzt hat. Die Vakuumglastechnologie bietet aber Chancen (geringes Gewicht, gute thermische Performance) um hier solche Ideen neu zu etablieren.

- Auch Überlegungen in Hinblick auf die Akzeptanz neuer Konstruktion, Reinigung, Motorisierung und Einsatzmöglichkeiten im Neubau und Sanierung dürfen nicht vernachlässigt werden.
- Es besteht seitens bedeutender Stakeholder ein großes Interesse an neuen Glastechnologien und deren Applikation in Fenstertechnologien, wenngleich eine gesunde Skepsis betreffend der Dauerhaftigkeit der Gläser vorliegt. Daher sind weiterführende F&E-Bemühungen, die gewissermaßen mit relativ kleinem Risiko durch akademische und non-akademische Forschungsinstitutionen durchgeführt werden, ob ihrer Neutralität sehr gefragt und es besteht ein Interesse hier weiterführend zu arbeiten.

## 5 Ausblick und Empfehlungen

Um die Technologieentwicklung voranzubringen sind in näherer Zukunft mehrere unterschiedliche Forschungsbemühungen empfehlenswert:

- Die in VIG-SYS-RENO und auch in MOTIVE erarbeiteten Konzepte sollten im Realeinbau einem langzeitigen und intensiven Monitoring unterzogen werden. Eine solche F&E-Bemühung kann gewährleisten, dass Bedenken hinsichtlich der Dauerhaftigkeit und Performance der Gläser und Fensterkonstruktionen mit fundierter wissenschaftlicher Methodik adressiert und gegebenenfalls verifiziert oder falsifiziert werden können. Hierzu existiert ein fertiges Konzept, welches lediglich in die Realität umgesetzt werden müsste.
- Zur Marktannäherung von Vakuumglasfenstern ist eine – über den Maßstab der vorliegenden Sondierung hinausgehende – Annäherung erforderlich. Diese Forschungs- und Entwicklungsbemühung muss nicht allein eine Weiterentwicklung der bestehenden und vorgestellten Fensterentwürfe gewährleisten, sondern muss unter Einbeziehung der Zulieferindustrie (Beschläge, Dichtungen, etc.) einen holistischen Ansatz verfolgen, der gewährleistet, dass ein solches Fenster in jeglicher Hinsicht mit bestehenden und langjährig etablierten Technologien konkurrieren kann, bzw. diese übertreffen kann. Nur so wird die Anwendung der High-Tech-Gläser eine zusätzliche Beschleunigung erfahren und Zentraleuropa langfristig gegenüber den in Asien stattfindenden Entwicklungen konkurrenzfähig halten können.

## 6 Verzeichnisse

### 6.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prinzipieller, schematischer Ablauf des MOTIVE-Projektes (eigene Abbildung Team MOTIVE) .....	16
Abbildung 2: Interessante internationale Lösungsansätze für das „neue Fenster“ (Quellen: Diverse Messen, diverse Herstellerseiten) .....	18
Abbildung 3: Beispiele für Fenster/Türen/Dichtungen aus anderen Fachdisziplinen (Quellen: Diverse Messen, diverse Herstellerseiten, Diverse Konstruktionsskizzen) .....	19
Abbildung 4: Darstellung des durchgeführten Entwicklungsprozesses (eigene Darstellung Team MOTIVE) .....	22
Abbildung 5: Konzeptionelle Darstellung des simulierten Vakuumglases (Plan), entnommen aus Pont & Mahdavi 2017 .....	26
Abbildung 6: Konzeptionelle Darstellung des simulierten Vakuumglases (Schnitte), entnommen aus Pont & Mahdavi 2017 .....	26
Abbildung 7: Falschfarbenbild der Oberflächentemperaturen, entnommen aus Pont & Mahdavi (2017).....	26
Abbildung 8: Ergebnisspannweiten der Berechnungen, entnommen aus Pont & Mahdavi 2017 .....	27
Abbildung 9: Verbundsicherheitsglas-Scheibe Typ „VSG 44.2“ .....	29
Abbildung 10: Hochschalldämmende Prüfwand in der Fensteröffnung .....	31
Abbildung 11: Hochschalldämmende Prüfwand in der Fensteröffnung mit eingebauter Scheibe.....	31
Abbildung 12: Einbausituation Mock-Up Fenster Typ A1 .....	32
Abbildung 13: Mock-Up im Versuchsstand für Fenstertests an der Holzforschung Austria ...	33
Abbildung 14: Auswahl von Handskizzen die während der konzeptionellen Annäherung entstanden sind .....	37
Abbildung 15: innen öffnendes Fenster mit innenliegendem Vakuumglas .....	38
Abbildung 16: außen öffnendes Fenster in flächenbündiger Ausführung .....	39
Abbildung 17: Grundprinzip des Schwing-Klappfenster .....	40
Abbildung 18: Schwing-Klappfenster, bei dem der Flügel nur nach innen schwingt .....	40
Abbildung 19: Bewegungsmodell und Gleitkurven für das Schwing-Klappfenster .....	41
Abbildung 20: Schwing-Klappfenster mit opaken Flügelabschnitt zur Beschattung.....	41
Abbildung 21: Grundprinzip des Vertikal-Schiebefenster .....	42
Abbildung 22: Beispiel eines einfachen Bewegungsmechanismus für das Öffnen und Schließen eines Vertikal-Schiebefensters .....	43
Abbildung 23: Links: Konstruktionsprinzip eines Vertikal-Schiebefensters, indem Regenwasser kontrolliert durch die Fensterkonstruktion geführt wird. Rechts: Dichtungssystem für großen Glaseinstand und Führung und Halt für die Glasscheibe.....	44
Abbildung 24: Beispiel einer Bus- und Schranktür in Dreh-Schwenkausführung .....	45
Abbildung 25: Bewegungsstudien für ein seitliches Dreh-Schwenkfenster .....	45

Abbildung 26: Magnetdichtung mit eingelegtem Magnetstreifen und zum Aufstecken auf ein Metallprofil .....	46
Abbildung 27: Links, auf einer Metalplatte applizierte Magnetdichtung. Rechts, der Anschlussbereich wurde mit Wasser gefüllt und über länger Zeit beobachtet. ....	47
Abbildung 28: Abstell-Fenster in unterschiedlichen Öffnungspositionen .....	47

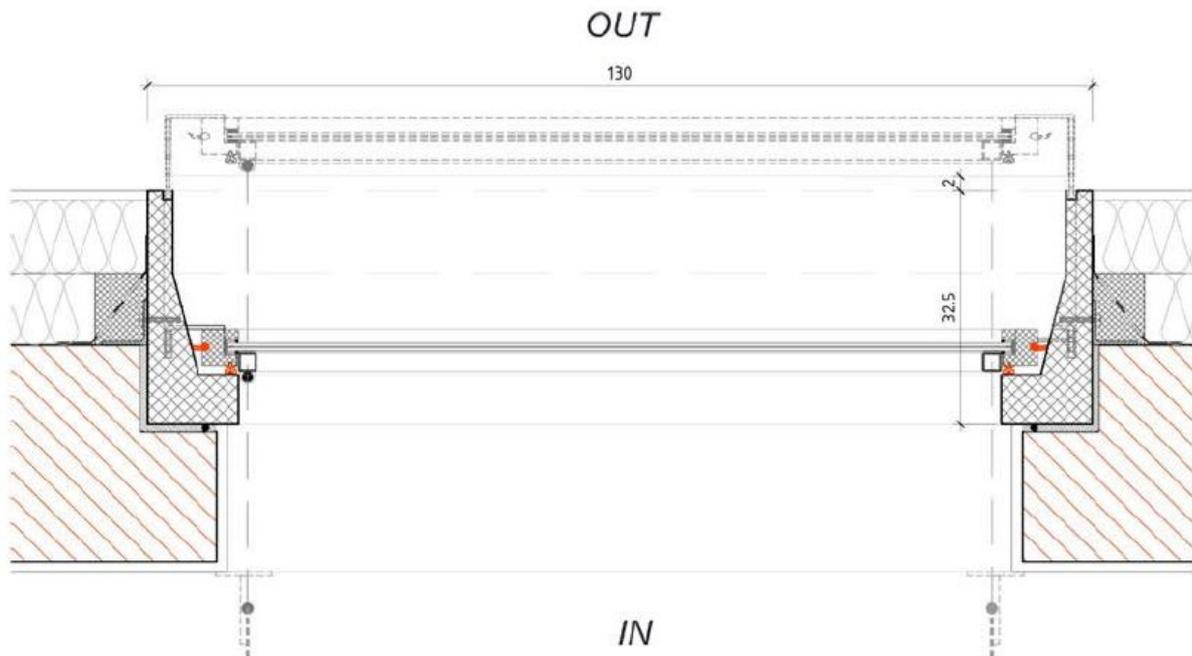


Abbildung 29: Abstell-Fenster Grundsystem in der Wand montiert .....	48
Abbildung 30: Entwurf eines Stellmotors mit Schraubhülse und Schraubdorn.....	48
Abbildung 31: Handmuster des Schwing-Klappfensters .....	50
Abbildung 32: Links beflockte Dichtung aus der Autoindustrie; Rechts in eingebauten Zustand mit eingesetztem Glas.....	51
Abbildung 33: Handmuster des Vertikal-Schiebefensters; Links oben Ansicht von innen mit geschlossener Glasscheibe; Links unten Ansicht von außen mit geöffneter Glasscheibe; In beiden Bildern ist der händische Kurbelantrieb zu erkennen. Rechts: Konstruktionsprinzip mit der Möglichkeit den Antrieb über die Innenfensterbank zu Warten und der Möglichkeit des Glasaustausches.....	52
Abbildung 34: Öffnen des seitlich Dreh-Schwenkfenster von außen betrachtet.....	54
Abbildung 35: Dreh-Schwenkfenster mit dem massiven Dreh-Schwenkbeschlag.....	54
Abbildung 36: Links ist das geöffnete Türblatt mit einem Teil des Türstockes ersichtlich, der Metallstreifen im Türblatt ist an den zwei Längskanten und oben quer gut zu erkennen. Rechts oben: Beim Schließen der Tür finden sich Magnetdichtung und Metallstreifen. Rechts unten: Blick von unten auf Türstock und Türblatt mit komprimierter Magnetdichtung. ....	57
Abbildung 37: Außenansicht des Fensters, am Glas ist die schwarze Emaillierung sichtbar. ....	59
Abbildung 38: Links: Innansicht von Stock und Flügel (flächenbündig) und Fenstergriff. Rechts: Geöffneter Fensterflügel, außenseitig ist die aufgeklebte Glasscheibe ersichtlich...	59
Abbildung 39: Außenansicht des Fensters .....	61

Abbildung 40: Innenansicht des Fensters, die Glasscheibe ist flächenbündig in den Flügel gesetzt .....	62
Abbildung 41: Außenansicht des nach außen öffnenden Fensters, in Ganzglasoptik .....	66
Abbildung 42: Innenansicht des Fensters bei dem die Lichte der Innenleibung jener der Stock-, Flügel- und Glaslichte entspricht und mit versenkbarer Griffolive .....	67
Abbildung 43: Geöffnetes Fenster mit seitlichem Putzspalt.....	67
Abbildung 44: Links: Drehbeschlag; Rechts: Öffnungsbegrenzer.....	68
Abbildung 45: Bewegungsstudie des Schwing-Klappfenster .....	73
Abbildung 46: Außenansicht des innen öffnenden Fensters mit Vakuumglas außen. Schwarz abgeklebt ist jener Bereich welcher in den Leibungsanschlag der Wand reicht.....	76
Abbildung 47: Innenansicht des Fensters, rechts ist der tiefe Falz des Stockes deutlich zu erkennen (zwischen den beiden schwarzen Dichtungen).....	76
Abbildung 48: Außenansicht bei leicht geöffnetem Flügel. Der schwarze Glasrand wird bei geschlossenem Fenster vollständig vom Stock abgedeckt.....	77
Abbildung 49: Verriegelungspunkte des Mock-Ups.....	77
Abbildung 50: Schemadarstellung unterschiedlicher Beschlags-Nut-Ausführungen.....	79
Abbildung 51: Frequenzverlauf Scheiben VSG versus VG .....	90
Abbildung 52: Frequenzverlauf Mock-Up Fenster Typ A1 VSG versus VG .....	91
Abbildung 53: Frequenzverlauf Mock-Up Fenster Typ A1 VSG versus VSG-Glas .....	93
Abbildung 54: Frequenzverlauf Mock-Up Fenster Typ A1 VG versus VG-Glas .....	93

## 6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten PK .....	29
Tabelle 2: SWOT Typ D .....	53
Tabelle 3: SWOT Typ E .....	55
Tabelle 4: SWOT Typ A1 .....	60
Tabelle 5: Resultate Typ A2 .....	64
Tabelle 6: SWOT-Analyse Typ A2 .....	65
Tabelle 7: Ergebnisse Typ B .....	70
Tabelle 8: SWOT-Analyse Typ B .....	71
Tabelle 9: SWOT-Analyse Typ C .....	74
Tabelle 10 : Überblick über die Ergebnisse der Simulationen des seitlichen Glas-Flügel-Rahmen-Anschlusses ( <b>Fett</b> die Ergebniskohorte mit den besten Ergebnissen, d. h. höchsten Oberflächentemperaturen) .....	81
Tabelle 11: Überblick über die Ergebnisse der Simulationen des unteren Glas-Flügel-Rahmen-Anschlusses ( <b>Fett</b> die Ergebniskohorte mit den besten Ergebnissen, d. h. höchsten Oberflächentemperaturen) .....	83
Tabelle 12: Überblick über die Ergebnisse der Simulationen des unteren Glas-Flügel-Rahmen-Anschlusses, modifizierte Versionen 3 .....	84
Tabelle 13: Überblick über die Ergebnisse der Simulationen des unteren Glas-Flügel-Rahmen-Anschlusses, Version 3A_MOD19 (verwendet in der U-Wert-Berechnung).....	87

Tabelle 14: Ergebnisse der Schallschutzmessungen.....	89
Tabelle 15: Untersuchung der Mechanischen Festigkeit: maximale relative Verformung bei Last.....	96
Tabelle 16: SWOT-Analyse des Tys A1/des Mock-UPs. ....	97

### 6.3 Literaturverzeichnis

U. Pont, A. Mahdavi:

"A comparison of the performance of two- and three-dimensional thermal bridge assessment for typical construction joints";

Vortrag: Building Simulation Applications - 3rd IBPSA-Italy Conference Bozen-Bolzano 8.2.17 - 10.2.17, Bozen, Italien; 08.02.2017 - 10.02.2017; in: "*Building Simulation Applications Proceedings*", M Baratieri, V. Corrado, A. Gasparella, F. Patuzzi (Hrg.); bu.press (publisher of the Free University of Bozen-Bolzano), 3. (2017), ISSN: 2531-6702; Paper-Nr. 75, 8 S.

I. Chmúrny, D. Szabó und M. Jurigová: „*Thermal performance testing for Window with Vacuum Glazing*“ presented at the 12<sup>th</sup> international EnviBUILD Conference, September 2017, Vienna.

ÖNORM B 5300:2007-11, Fenster – Anforderungen – Ergänzungen zur ÖNORM EN 14351-1

ÖNORM EN 14351-1:2016-11, Fenster und Türen – Produktnorm, Leistungseigenschaften – Teil 1: Fenster und Außentüren

ÖNORM EN 12046-1:2004-04, Bedienungskräfte – Prüfverfahren – Teil 1: Fenster

ÖNORM EN 13115:2001-11, Fenster – Klassifizierung mechanischer Eigenschaften – Vertikallasten, Verwindung und Bedienkräfte

ÖNORM EN 1026:2016-08, Fenster und Türen – Luftdurchlässigkeit – Prüfverfahren

ÖNORM EN 12207:2017-02, Fenster und Türen – Luftdurchlässigkeit – Klassifizierung

ÖNORM EN 1027:2016-08, Fenster und Türen – Schlagregendichtheit – Prüfverfahren

ÖNORM EN 12208:2000-02, Fenster und Türen – Schlagregendichtheit – Klassifizierung

ÖNORM EN 12211: 2016-10, Fenster und Türen – Widerstand gegen Windlast – Prüfverfahren

ÖNORM EN 12210:2016-08, Fenster und Türen – Widerstandsfähigkeit bei Windlast – Klassifizierung

ÖNORM EN 14608:2004-09, Fenster – Ermittlung der Widerstandsfähigkeit gegen Lasten in der Flügelebene (Racking)

ÖNORM EN 14609:2004-09, Fenster – Ermittlung der Widerstandsfähigkeit gegen statische Verwindung

ÖNORM EN 1191:2013-04, Fenster und Türen – Dauerfunktionsprüfung – Prüfverfahren

ÖNORM EN 12400:2003-02, Fenster und Türen – Mechanische Beanspruchung – Anforderungen und Einteilung