Hochschule Luzern – Technik & Architektur

Abschlussarbeiten der Studienrichtung Gebäudehülle

Kontakt: ccghib@hslu.ch

Foto: Priska Ketterer

1 Preisübergaben durch Viktor Sigrist, Direktor Departement Technik & Architektur, an Christian Agugliaro

Im diesjährigen Frühjahrssemester haben vier Gebäudehülleningenieure den Bachelor in Bauingenieurwesen an der Hochschule Luzern – Technik und Architektur erfolgreich absolviert. Die Bandbreite der einzelnen Arbeiten in der Studienrichtung Gebäudehülle reicht von experimentellen und numerischen Analysen verklebter Glasschwerter, der Untersuchung des Tragverhaltens verrottbarer Pfostenanschlüsse, bis hin zu Themen der Nachhaltigkeit, wie zum Beispiel ein Upcycling alter 2-fach-Isoliergläser zu einem Kastenfenster oder die analytische Auseinandersetzung mit Methoden der Lebenszyklusanalyse von hinterlüfteten Fassaden.

Die letztgenannte Arbeit, von Christian Agugliaro ausgearbeitet, hat den von der Schweizerischen Zentrale Fenster und Fassaden SZFF gestifteten Preis für die beste Abschlussarbeit in der Studienrichtung Gebäudehülle erhalten.

Christian Agugliaro hat mit seiner Arbeit «Lebenszyklusanalyse von hinterlüfteten Fassaden. Vergleich von Wirkungsabschätzungsmethoden für Lebenszyklusanalysen von zwei Ausführungsvarianten» einen sehr wertvollen und brandaktuellen Beitrag zur Handhabung von Nachhaltigkeitsbewertungen im Fassadenbau geleistet. Seine umfassende Auseinandersetzung mit den unterschiedlichen Methoden zur Quantifizierung der potenziellen Umweltauswirkung von hinterlüfteten Fassadenkonstruktionen zeigt die Komplexität der Berechnungsformen, aber auch deren Interpretationsspielraum auf. Die Fragestellung seiner Arbeit konzentrierte sich dabei auf die in der Ökobilanzierung nach EN ISO 14044 vorgegebenen Methoden zur Wirkungsabschätzung eines Produkts bzw. Systems. Dabei werden die sogenannten Wirkungskategorien, das sind Emissionsgruppen, die die Auswirkung diverser Emissionen auf die Umwelt beschreiben, je Methode unterschiedlich berücksichtigt. Ein markanter Unterschied zeigt sich vor allem im Vergleich europäischer und globaler Methoden. Bestimmte Wirkungskategorien, wie zum Beispiel das Eutrophierungspotenzial von Frischwasser, weichen dabei aufgrund unterschiedlicher Gewichtungen markant voneinander ab. Herr Agugliaro leistet mit dem Vergleich der Wirkungsabschätzungen einen umfassenden und in der Tiefe hervorragend ausgearbeiteten Beitrag zur Auseinandersetzung mit Ökobilanzierungen im Fassadenbau. Die BAT-Arbeit besticht durch die strukturierte und methodisch fundierte Vorgehensweise und die Analytik bzw. Interpretation der untersuchten Methoden. Die Erkenntnisse der Arbeit werden im Studiengang Gebäudehülle aufgegriffen und weiter behandelt.

Die Studierenden hatten im Rahmen ihrer Bachelorarbeiten die Möglichkeit, sich selbstständig in ein bestimmtes Themengebiet einzuarbeiten und während des Studiums erworbenes Wissen anzuwenden. Ergänzend zu den Bachelorarbeiten erfolgte auch ein erfolgreicher Abschluss einer Masterarbeit zum Thema Kippverhalten von Glasträgern mit kontinuierlicher, elastischer, seitlicher Halterung an der gezogenen Kante. Einen kurzen Einblick in die Abschlussarbeiten und deren wichtigsten Erkenntnisse präsentieren die Studierenden in den folgenden Poster-Zusammenfassungen.

Mehr Informationen über die an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur angebotene Studienrichtung Gebäudehülle finden Sie unter www.hslu.ch/bauingenieurwesen. Die Poster aller BAT-Arbeiten der letzten vier Jahre finden Sie auch auf dem Blog der Studienrichtung Gebäudehülle (https://blog.hslu.ch/gebaeudehuelle/). Auf diesem können Sie sich ausserdem über aktuelle Aktivitäten, Studierendenprojekte oder eine mögliche Zusammenarbeit informieren.

Bachelor-Thesis Bauingenieurwesen

Lebenszyklusanalyse von hinterlüfteten Fassaden

Vergleich von Wirkungsabschätzungsmethoden für Lebenszyklusanalysen von zwei Ausführungsvarianten

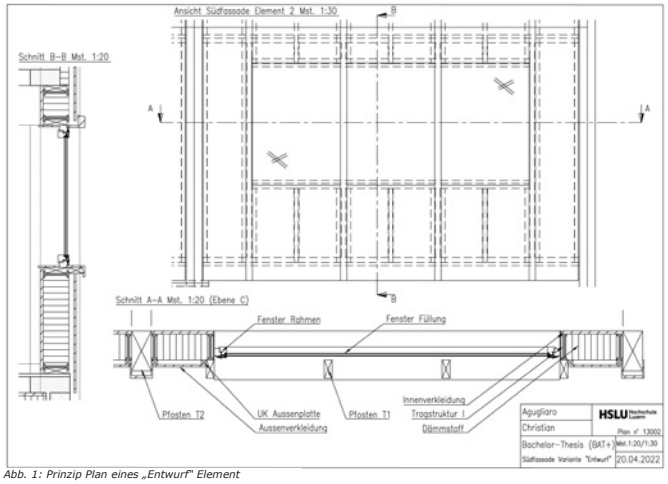

Abb. 1: Prinzip Plan eines „Entwurf" Element

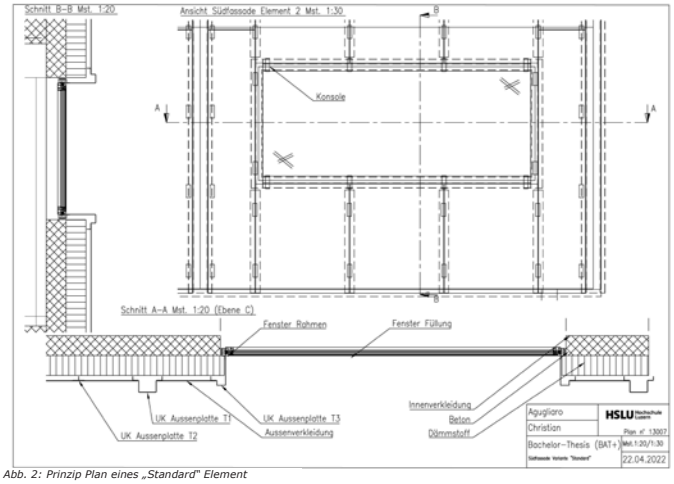

Abb. 2: Prinzip Plan eines „Standard" Element

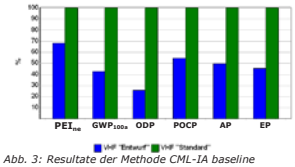

Abb. 3: Resultate der Methode CML-IA baseline

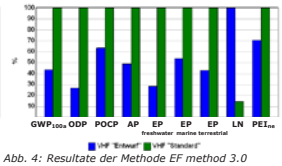

Abb. 4: Resultate der Methode EF method 3.0

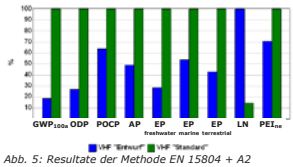

Abb. 5: Resultate der Methode EN 15804 + A2

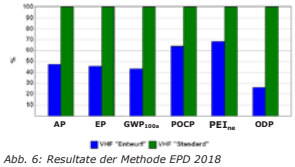

Abb. 6: Resultate der Methode EPD 2018

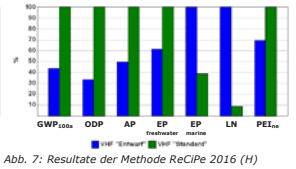

Abb. 7: Resultate der Methode ReCiPe 2016 (H)

Wirkungskat. \ Methode	CML-IA	EF method	EN 15804 + A2	EPD (2018)	ReCiPe 2016
Primärenergieinhalt nicht erneuerbar	68%	71%	71%	68%	69%
Treibhauspotenzial	43%	44%	19%	43%	44%
Ozonabbaupotenzial	26%	27%	27%	26%	33%
Versauerungspotenzial	50%	49%	49%	47%	50%
Eutrophierungspotenzial (freshwater)	45%	29%	29%	45%	62%
Eutrophierungspotenzial (marine)	-	54%	54%	-	39%
Eutrophierungspotenzial (terrestrial)	-	43%	43%	-	-
Photochemisches Ozonbildungspotenzial	55%	64%	64%	64%	51%
Landnutzung	-	14%	14%	-	9%

Abb. 8:Vergleich „Entwurf" und „Standard"

Methode	Substanz
CML-IA baseline und EPD (2018)	Ammonia Ammonium, ion COD (Chemical Oxygen Demand) Dinitrogen monoxide Nitrate Nitrogen oxides Phosphate Phosphorus
EF 3.0 und EN 15804	Phosphate Phosphorus
ReCiPe 2016 Midpoint (H)	BOD5 (Biological Oxygen Demand) COD (Chemical Oxygen Demand) Phosphate Phosphorus

Abb. 9:Auflistung der betrachteten Substanzen bei Kategorie $EP_{freshwater}$ pro Methode

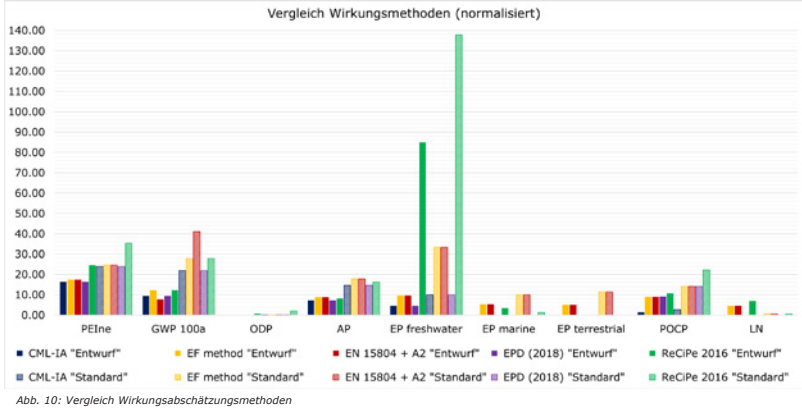

Abb. 10: Vergleich Wirkungsabschätzungsmethoden

Problemstellung

Die Kundschaft verfolgt zunehmend das Ziel, nachhaltiger zu bauen. Um Bewertungen und Vergleiche zu ermöglichen, werden Ökobilanzierungen durchgeführt. Diese haben mehrere Methoden zur Auswahl, um die Auswirkung" (=Fachwort `Wirkungskategorie') zu beurteilen. Für die Wahl der passenden Methode ist es notwendig zu verstehen, wie solche Methode konzipiert sind und wie sie funktionieren.

Das Ziel der Arbeit ist es, die Unterschiede der Wirkungsabschätzungsmethoden zu erkennen und den Grund der Differenzierungen zu verstehen.

Lösungsweg

Die Arbeit stützt sich auf die vier Phasen der Ökobilanzierung der EN ISO 14044.

In einem ersten Schritt werden das Ziel und der Untersuchungsrahmen festgelegt. Dabei werden folgende Aspekte festgestellt: das System und seine Funktionen, die funktionelle Einheit, die Systemgrenze, die Allokationsverfahren, die Methode für die Wirkungsabschätzung und die Wirkungskategorien, die Anforderungen an die Daten und die Annahmen.

In einem zweiten Schritt wird die Sachbilanz von zwei Fassadenvarianten erstellt. Dafür werden Pläne der Varianten vorbereitet (Abb. 1 und 2). Zudem werden Mengenauszüge hergestellt, um die Modellierung in der Ökobilanzierungssoftware SimaPro durchführen zu können.

In einem dritten Schritt werden die Wirkungsabschätzungsmethoden ausgewählt. Im Rahmen dieser Arbeit werden Wirkungsabschätzungsmethoden, die problemorientiert sind und keinen monetärer Aspekt beinhalten, angewendet. Mit Hilfe von SimaPro werden vier europäischen Methoden (CML-IA, EF method, EN 15804 + A2, EPD (2018)) und eine globale Methode (ReCiPe 2016) eingesetzt. Die Resultate der Bilanzierungen sind in Abb.3 bis 7 dargestellt.

In einem vierten und letzten Schritt wird anhand der Beitrags– und Sensitivitätsanalyse die Auswertung und der Vergleich zwischen den Methoden durchgeführt (Abb. 8).

Fazit

Die Vergleichsanalyse zeigt, dass die europäischen Methoden sich ähnlich verhalten und die globale Methode von diesen abweicht. Bei der Wirkungskategorie Eutrophierungspotenzial freshwater (Überdüngung von Frischwasser, $EP_{freshwater}$) gibt es markante Unterschiede, dies wegen den unterschiedlich betrachteten Substanzen und des Berechnungsverfahrens (Abb.8 und 10). In Abb.9 sind die Substanzen für die Kategorie $EP_{freshwater}$ pro Methode dargestellt. Bei der globale Methode sind die Emissionen ca. 3.5-mal höher und der Normalisierungsfaktor ist 2.5-mal grösser als bei "EF 3.0" und "EN 15804+A2".

Christian Agugliaro

Betreuer:
Dr.–Ing. Susanne Gosztonyi

Experte:
Stefan Eggimann

Bachelor-Thesis Bauingenieurwesen

Upcycling alter 2-fach Isoliergläser

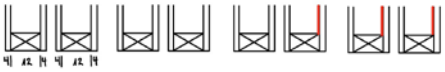

Abbildung 1: Verglasungsdimension und Varianten verschiedener Low-E Beschichtungen

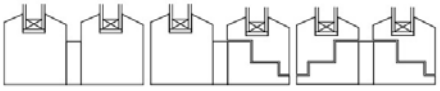

Abbildung 2: Varianten der Fenstertypen

Abbildung 3: Varianten der Abstände

Abbildung 4: Varianten der Fensterrahmen Materialien[1]

[1] Profile von: Fenstermaxx24 GmbH, HUECK System GmbH & Co. KG, Verband österreichischer Ziegelwerke, Neuffer Fenster + Türen GmbH

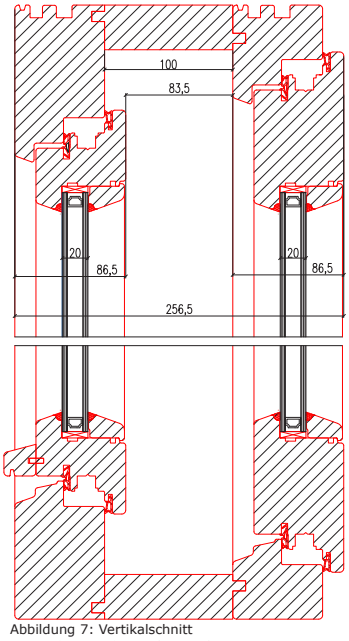

Abbildung 7: Vertikalschnitt Entwurf-Kastenfensterkonstruktion[2]

[2] Profile von Neuffer Fenster + Türen GmbH

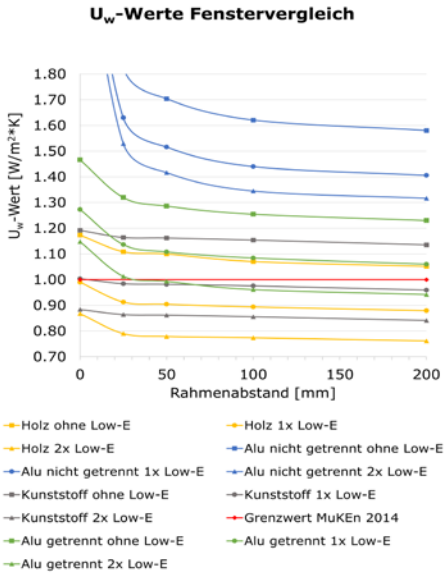

Abbildung 6: Resultate U_w-Werte der Vergleichsstudie

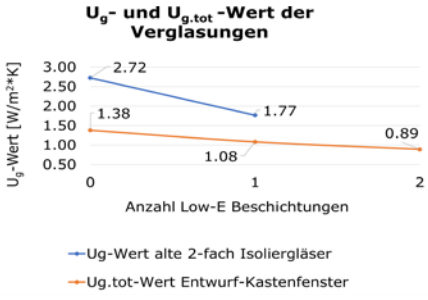

Abbildung 5: Resultate $U_{g.tot}$-Werte der verschiedenen Beschichtungen

	Entwurf Kastenfenster	Kastenfenster WindowBona [3]	Holzfenster-Classic IV78 [4]
Hersteller		Fenster Ludwig GmbH	Neuffer Fenster + Türen GmbH
Rahmenmaterial	Holz	Holz	Holz
Verglasung	2x 2-fach Isolierglas	4mm Float und 2-fach Isolierglas	3-fach Isolierglas
U_f-Wert	0.6	-	1.24
$U_{g.tot}$-Wert	0.8	-	0.6
U_w-Wert [W/m²*K]	0.88	1.0 - 1.21	0.91
g-Wert [-]	0.4	-	-

[3] Werte aus dem technischen Beschrieb des WindowBona (Fenster Ludwig GmbH)

[4] Werte aus dem technischen Beschrieb des Classic IV78 (NEUFFER FENSTER + TÜREN GMBH, 2022b)

Tabelle 1: Vergleich bauphysikalischer Daten mit vergleichbaren und marktverfügbaren Fensterkonstruktionen

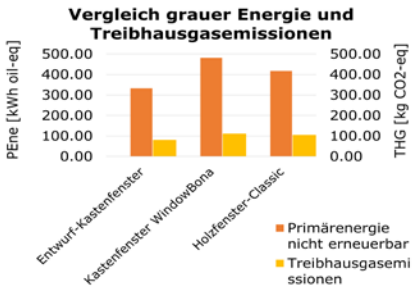

Abbildung: 8: Vergleich grauer Energie und Treibhausgasemissionen mit vergleichbaren und marktverfügbaren Fensterkonstruktionen

Problemstellung

Fensterkonstruktionen sind heute hochtechnisierte Bauteile, welche einen hohen Energieverbrauch in der Herstellung haben. Durch ein Wiederverwenden der Verglasung können graue Energie und Treibhausgasemissionen eingespart werden. Eine alternative Fensterkonstruktion, bei welcher alte 2-fach Isoliergläser wiederverwendet werden, soll den CO_2-Ausstoss des Bausektors verringern.

Vorgehensweise

Es wurde eine Variantenstudie durchgeführt. Es wurden verschiedene Low-E Beschichtungen, Fenstertypen, Abstände und Materialien verglichen (Abbildung 1-4).
Die Entwurf-Kastenfensterkonstruktion muss die Nachweise der SIA 331 und 380/1 erfüllen.
Die graue Energie und die Treibhausgasemissionen der Enwurf-Kastenfensterkonstruktion wurden mit vergleichbaren und marktverfügbaren Fenstern verglichen.

Lösungsvorschlag

Die Auswertung der $U_{g.tot}$-Werte hat ergeben, dass eine Konstruktion mit zwei 2-fach Isoliergläser mit je einer Low-E Beschichtung das grösste Potenzial hat (Abbildung 5). Ebenso verbessern sich Konstruktionen ab einem Rahmenabstand von 50mm wärmetechnisch nur im 10^{-1} Bereich. Holzrahmen eignen sich ihrer tiefen Wärmeleitfähigkeit wegen am besten für die Rahmenkonstruktion. Auf diese Weise sind Konstruktionen möglich, welche deutlich unter dem heutigen U_w-Grenzwert von 1W/m²*K liegen (Abbildung 6 und Tabelle 1).

Diese Erkenntnisse führen zur Entwurf-Kastenfensterkonstruktion. Sie hat als Füllung zwei alte 2-fach Isoliergläser, welche je eine Low-E Beschichtung besitzen. Die Rahmenkonstruktion ist aus Holz und mit einem Verbindungstück aus zwei Rahmen zusammengesetzt. Die beiden Fensterrahmen weisen unterschiedliche Masse auf, um beide Fensterflügel nach innen öffnen zu können (Abbildung 7).

Fazit

Der Vergleich der Entwurf-Kastenfensterkonstruktion mit einer modernen Fensterkonstruktion, dem Holzfenster-Classic, zeigt, dass die bauhysikalischen Kennwerte beinahe identisch sind. Im Vergleich zu einem vergleichbaren Kastenfenster, dem WindowBona, liegen die Werte sogar noch tiefer (Tabelle 1).
Auch der Vergleich der grauen Energie und der Treibhausgasemissionen zeigt, dass es sich lohnt die alten Isoliergläser wiederzuverwenden (Abbildung 8).

Philipp Lustenberger

Betreuerin:
Dr.-Ing. Susanne Gosztonyi

Experte:
Stefan Eggimann

Bachelor-Thesis Bauingenieurwesen

Tragverhalten unverrottbarer Pfostenanschlüsse

Analyse der Auswirkungen der neuen SIA 271:2021 auf den Lastabtrag bei hölzernen Pfosten-Riegel-Konstruktionen

[1] Problemstellung

Abb.1: Pf-Ri-Fassade (Quelle: 4B AG, 2021)

[2] Vergleich vor & nach Normänderung

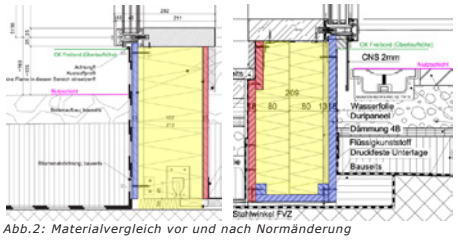

Abb.2: Materialvergleich vor und nach Normänderung

Objekt	Material aussen (blau)		Isolation (Schraffur)		Pfosten (gelb)		Material innen (rot)	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
Schweighof-platz, Krienz	Okumé 15mm	verrottbar	Mineralwolle	verrottbar	Amerikanische Eiche natur lasiert	verrottbar	Okumé 15mm	verrottbar
Centralstrasse 34, Sursee	Duripanel 18mm	unverrottbar	Flumroc Typ 3	unverrottbar	Weisstanne lasiert	unverrottbar	Duripanel 18mm	≤ 15mm verrottbar / > 15mm unverrottbar

Tab.1: Materialvergleich vor und nach Normänderung

[3] Druckversuche

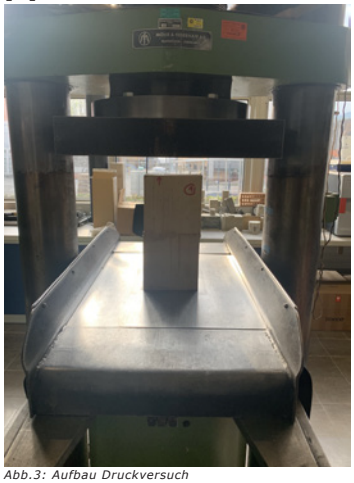

Abb.3: Aufbau Druckversuch

Prüfkörper	Holzfeuchte [%]	maximale Druckkraft [kN]	Druckfestigkeit [N/mm²]
D-01-Fi/Fi	10.1	301.1	43.01
D-02-Fi/Fi	11.5	323.5	46.21
D-03-Fi/Fi	11.5	331.6	47.37

Prüfkörper	Holzfeuchte [%]	maximale Druckkraft [kN]	Druckfestigkeit [N/mm²]
D-01-Fi/Purenit	10.5	72.2	10.31
D-02-Fi/Purenit	10.4	81.6	11.65
D-03-Fi/Purenit	10.9	62.8	8.97

Tab.2: Ergebnisse Druckversuche

Abb.4: Bruchbild Fi/Purenit

Abb.5: Bruchbild Fi/Fi

[4] Biegeversuche

Abb.6: Aufbau Biegeversuch

Abb.7: Bruchbild Biegeversuch Fi/Purenit

Prüfkörper	Holzfeuchte [%]	maximales Moment [kNm]	Biegefestigkeit [N/mm²]
B-01-Fi/Fi	10.6	3.605	22.06
B-02-Fi/Fi	10.4	3.502	21.43
B-03-Fi/Fi	11.6	5.209	31.89

Prüfkörper	Holzfeuchte [%]	maximales Moment [kNm]	Biegefestigkeit [N/mm²]
B-01-Fi/Purenit	10.8	0.453	2.77
B-02-Fi/Purenit	10.9	0.572	3.50
B-03-Fi/Purenit	10.5	0.361	2.21

Tab.3: Ergebnisse Biegeversuche

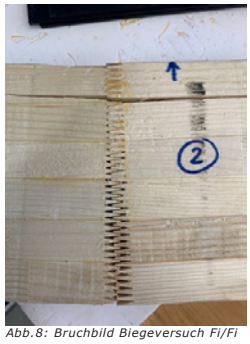

Abb.8: Bruchbild Biegeversuch Fi/Fi

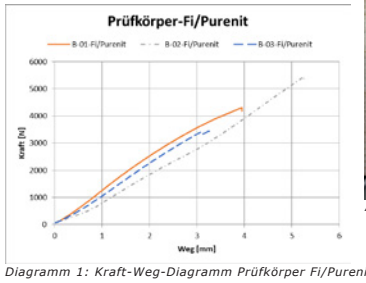

Diagramm 1: Kraft-Weg-Diagramm Prüfkörper Fi/Purenit

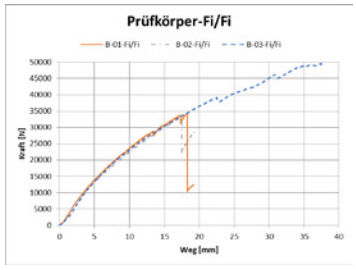

Diagramm 2: Kraft-Weg-Diagramm Prüfkörper Fi/Fi

Problemstellung
Die Norm SIA 271, „Abdichtungen im Hochbau", wurde im November 2021 überarbeitet. Die Normrevision erfolgte, da im Sockelbereich der Gebäudehüllen aufgrund von undichten Anschlüssen und verrotteten Holzteilen vermehrt Schäden entstanden sind. Dies hat zur Folge, dass der Pfosten einer Pfosten-Riegel-Fassade nicht mehr aus ein– und demselben Holz gefertigt werden kann, sondern es müssen im bodennahen Bereich unverrottbare Materialien eingesetzt werden[1]. Der Pfosten muss daher im Sockelbereich gestossen oder ausgenommen und verkleidet werden. In der vorliegenden Arbeit sind die Auswirkungen dieser Normänderung auf den Sockelbereich eines Pfostens zu prüfen. Dafür werden die konstruktiven sowie die statischen Aspekte betrachtet.

Lösungskonzept
In einem ersten Schritt werden verschiedene ausgeführte oder sich in der Ausführung befindende Sockelanschlüsse verglichen[2]. Dabei soll aufgezeigt werden, was für Materialien vor und nach der Normänderung verbaut werden.

In einem weiteren Schritt sind drei unterschiedliche Verbindungsmöglichkeiten erarbeitet worden, um den verrottbaren Pfostenanteil mit dem unverrottbaren Teil zu verbinden. Diese drei Varianten werden anhand von fünf verschiedenen Kriterien bewertet. An einer Verbindung von Holz und Purenit® (isotroper Baustoff auf Basis von PU-Hartschaum) mit Keilzinken („U-KZV"), welche am besten abgeschlossen hat, werden unterschiedliche Versuche durchgeführt.

Die Universal-Keilzinkenverbindungen der Prüfkörper wurden anhand von Biegeversuchen[4] und Druckversuchen [3] geprüft. Die einen Prüfkörper bestehen aus BSH Fichte und BSH Fichte, die anderen aus BSH Fichte und Purenit®. Um Vergleichswerte zu den Versuchsergebnissen zu erhalten sind zudem analytische Berechnungen durchgeführt worden.

Fazit
Während axiale Druckkräfte von den Keilzinkenverbindungen für die praktische Anwendung ausreichend aufnehmbar sind, zeigen die Versuche einen geringeren Widerstand gegen Biegebeanspruchung. Dies ist auf das spröde, wenig biegefeste Material Purenit® und die unterschiedliche Qualität der Keilzinken zurückzuführen. Ist der Abstand zwischen der Unterkante des Pfostens und des Stosses klein und dadurch auch das einwirkende Moment aus horizontalen Lasten wie Wind, so ist die U-KZV eine denkbare Verbindung. Wird das Moment grösser und somit auch der Abstand des Stosses zur Unterkante des Pfostens, ist die Universal-Keilzinkenverbindung mit Purenit® nicht verwendbar.

Luca Mirto Colleoni

Betreuer:
Dr.-Ing. Thiemo Fildhuth

Experte:
Ives Schüpfer

Industriepartner:
4B AG

Bachelor-Thesis Bauingenieurwesen

Strukturell verklebte Glasschwerter

Experimentelle und numerische Charakterisierung der Tragwirkung und -kraft

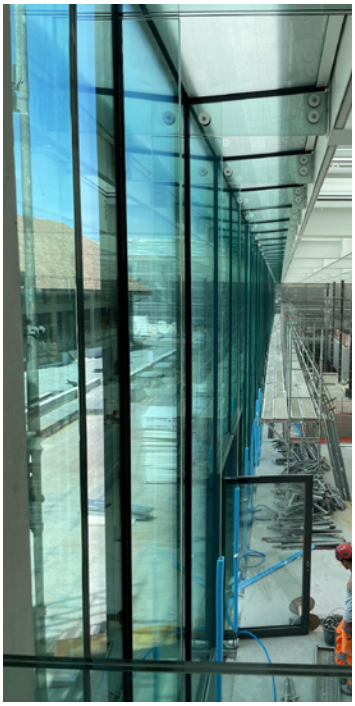

Abb. 1: Realisierte Fassade mit dem untersuchten System (Andreas Ruch, 2022)

Abb. 2: CAS Abfüllanlage GYSO

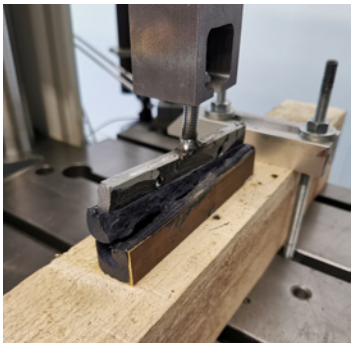

Abb. 3: Vorversuch Auszugskraft

Abb. 4: Auszugsversuch Typ 7 150 01

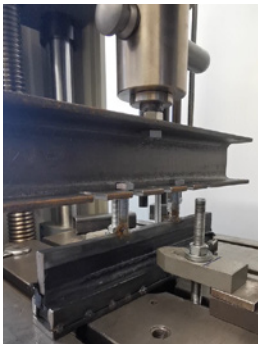

Abb. 6: Auszugsversuch Typ 2 300 01

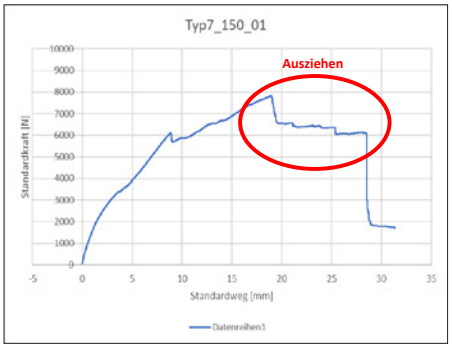

Abb. 5: Kraft-Weg Diagramm Auszugsversuch Typ 7

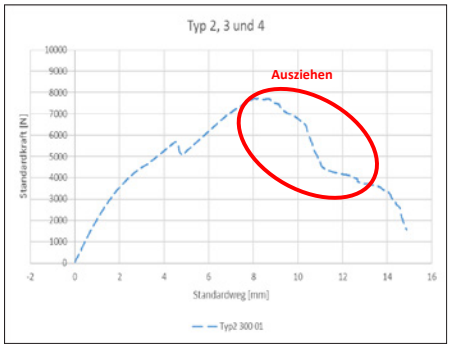

Abb. 7: Kraft-Weg Diagramm Auszugsversuch Typ 2

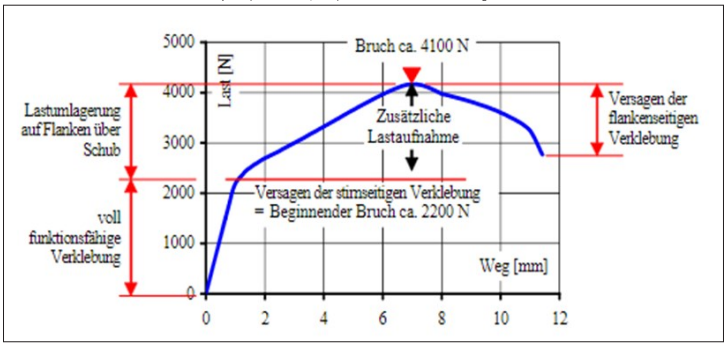

Abb. 10: Typisches Kraft-Weg Diagramm nach A. Hagl

Abb. 8: Auszugsversuch Typ 7 300 01

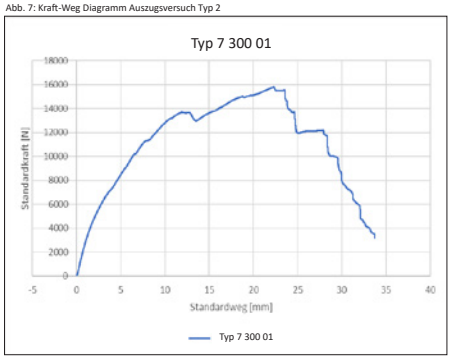

Abb. 9: Kraft-Weg Diagramm Auszugsversuch Typ 7

Problemstellung

Die Bestrebungen nach neuen und immer exklusiveren Bauobjekten betrifft vor allem die Fassadenbranche. Dabei werden von den Architekten und Bauherren immer anspruchsvollere und transparentere Bauten gewünscht. Um diesen Wünschen Rechnung zu tragen, hat Andreas Ruch (Ruch AG) ein eigenes Ganzglasfassadensystem mit Glasschwertern entwickelt (Abb. 1), bei welchem die maximale Transparenz im Vordergrund steht. Um dieses Vorhaben umsetzten zu können, wird an den Schwertern eine lastabtragende dreiseitige Silikonfuge („Dreiflankenhaftung") verwendet. Diese Art der Fugen wird jedoch nach dem heutigen Stand der Technik in allen Normen ausgeschlossen. Damit ein Produkt in der Schweiz an einem Bauwerk eingesetzt werden darf, muss der Unternehmer die Tragfähigkeit und Sicherheit des oben genannten Systems mit Versuchen oder Berechnungen nachweisen können.

Lösungskonzept

Um das Lastabtragsverhalten und die Belastungsgrenzen der Verbindung zu ermitteln, werden Bauteilversuche an Prüfkörpern unterschiedlicher Verklebungsgeometrie im Massstab 1:1 durchgeführt (Abb. 4, 6, 8). Mit diesen Versuchen soll das reale Verhalten unter Last untersucht werden (Abb. 5, 7, 9). Für die Versuche wurden Stahlprofile mit den Abmessungen der Fugen aus dem System von Andreas Ruch produziert und anschliessend mit DowSil 993 (2-K strukturelles Silikon) verklebt. Die stirnseitige Verklebung konnte aufgrund der Systemvorgaben nicht in der Breite geändert werden. Bei den Flanken beschränkt das System die Fugenhöhe, jedoch nicht die Breite.

Die Versuche zeigen die Leistungsfähigkeit der Klebeverbindung (Abb. 5, 7, 9) sowie den Einfluss der Klebeparameter. So ergibt sich z.B. für eine 150mm lange Verklebung doppelte Höhe die gleiche Bruchlast wie für 300mm mit einfacher Höhe (Abb. 5, 7). Anhand dieser Ergebnisse konnte ein ungefährer mitwirkender Einflussradius von 150mm des beanspruchten Klebstoffs festgelegt werden und somit eine Abschätzung über die maximal aufnehmbaren Kräfte. Parallel dazu wurden in ANSYS noch Modellierungen vorgenommen um ein parametrisiertes Modell zu erstellen. Jedoch gab es im Vergleich zu den Bauteilversuchen sehr hohe Unterschiede bezüglich der Leistungsfähigkeit.

Fazit

Bei Belastung der U-Fuge reissen zuerst die stirnseitigen Zugverklebungen. Dadurch fehlt bei der nächsten Belastung dieser Steifigkeitsanteil, die verbleibende Flankenverklebung agiert auf Schub elastischer / weicher. Ein schlagartiges Versagen der Verklebung ist ausschliessbar, solange die Flanken des Trägermaterials genügend steif sind.

Thomas Knecht

Betreuer:
Dr. Thiemo Fildhuth

Experte:
Yves Schüpfer

Industriepartner:
RUCH AG, Knecht GmbH

Master-Thesis Engineering, Fachgebiet CivilEngineering and Building Technology

Kippverhalten von Glasträgern mit kontinuierlicher elastischer seitlicher Halterung an der gezogenen Kante

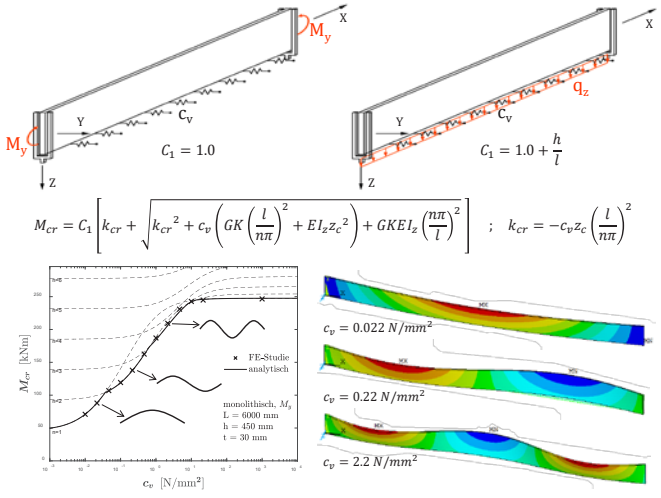

Bild 1: Statisches System der betrachteten Glasträger mit seitlicher Halterung und der Formel für das ideelle Kippmoment. (oben) Einfluss der seitlichen Halterung auf das ideelle Kippmoment und die erste Eigenform. (unten)

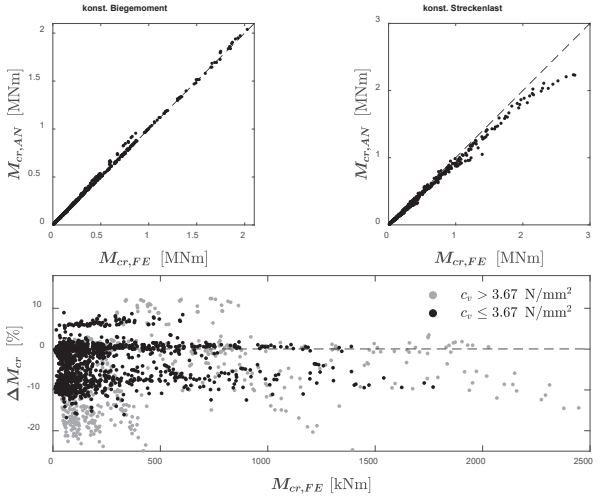

Bild 2: Vergleich der analytisch und numerisch berechneten ideellen Kippmomente für beide Belastungsarten und unterschiedlich steife Halterungen.

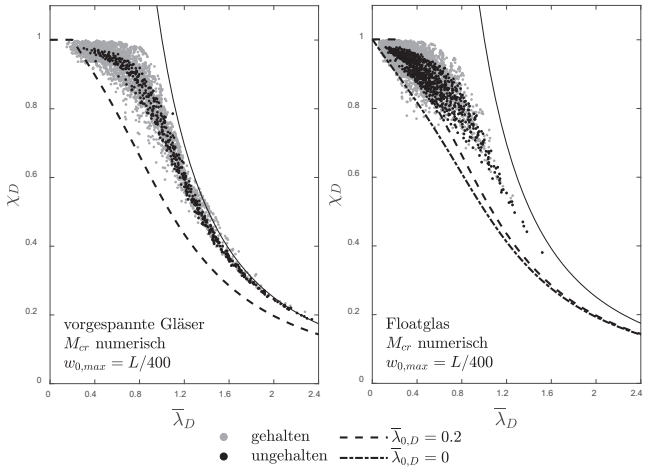

Bild 3: Kippspannungsdiagramme für gehaltene und ungehaltene Glasträger aus thermisch vorgespanntem Glas (links) und Floatglas (rechts) mit der Bemessungskurve nach SIA 2057.

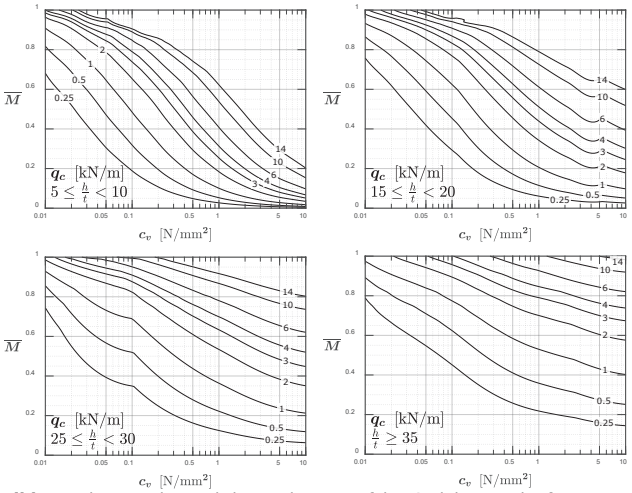

Bild 4: Belastung der seitlichen Halterung infolge Stabilisationskräfte in Abhängigkeit der Steifigkeit der Halterung und des bezogenen Biegemoments $\bar{M} = M_E/M_{cr}$ für verschiedene Querschnittsschlankheiten.

Problemstellung
Glas findet immer häufiger Anwendung als strukturelle Bauteile wie Fassadenpfosten. Solche Glasträger sind aus konstruktiven Gründen mit der Fassadenebene verbunden, häufig in Form einer strukturellen Silikonfuge. Diese Verbindung die auch als seitliche Halterung wirkt erhöht den Kippwiderstand der Glasträger, wird jedoch aufgrund fehlender analytischer Berechnungskonzepte beim Nachweis in der Regel nicht berücksichtigt. Dies führt zu einer konservativen und unwirtschaftlichen Bemessung. Das Kippverhalten von Glasträgern mit gehaltener Kante ist demnach detaillierter zu betrachten. In dieser Arbeit in Form einer kontinuierlichen elastischen seitlichen Halterung an der gezogenen Trägerkante.

Ausserdem ist unklar welche Lasten die seitliche Halterung aufgrund von Stabilisationskräften erfährt. Sollte die seitliche Halterung für den Stabilitätsnachweis berücksichtigt werden, ist diese zusätzliche Belastung für den Nachweis der Fuge zu kennen.

Lösungskonzept
Einerseits ist ein analytisches Berechnungsmodell zur Ermittlung des ideellen Kippmoments von Glasträgern mit kontinuierlicher elastischer seitlicher Halterung zu suchen, was in Form einer teilempirischen Formel für Träger unter konstantem Biegemoment und konstanter Streckenlast gefunden wird. Zur Validierung des analytischen Modells dienen numerische Simulationen an knapp 2000 unterschiedlichen Trägern (siehe Bild 1 & 2).

Andererseits soll mit der FE-Studie überprüft werden, ob das bestehende Bemessungskonzept der SIA 2057 auch für gehaltene Glasträger anwendbar ist. Es zeigt sich, dass die Bemessungskurve der SIA 2057 den Kippwiderstand bei Floatglas sowohl bei gehaltenen als auch bei ungehaltenen Trägern überschätzt. Eine Anpassung des Schlankheitsbeiwerts mit $\bar{\lambda}_{0,D} = 0$ führt auch bei Floatglas zu einer konservativen Bemessung (siehe Bild 3).

Die nichtlineare numerische Simulation der gehaltenen Träger ermöglicht es, die Belastung der seitlichen Halterung in Abhängigkeit der Fugensteifigkeit und des bezogenen Biegemoments abzubilden. Die Stabilisationskräfte unterscheiden sich hauptsächlich anhand der Querschnittsschlankheit. Aufgrund dieser Erkenntnis kann die Belastung der seitlichen Halterung mit Bemessungsdiagrammen für verschiedene Querschnittsabmessungen ermittelt werden (Bild 4).

Jan Commerell

Betreuer:
Prof. Dr. Andreas Luible
Dipl. Ing. Bruno Kassnel-Henneberg