



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

# Diplomarbeit

## Fenster der Zukunft

Produktentwicklung eines modularen Fenstersystems,  
im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgedankens  
(Circular Economy)

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

### Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

**Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wolfgang Wimmer**

(Institut für Konstruktionswissenschaften - ECODESIGN)

**Projektass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Rainer Pamminer**

(Institut für Konstruktionswissenschaften - ECODESIGN)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Raphael Kern, BSc**

01327242

Pilgerweg 2

3200 Ebersdorf

Ebersdorf, im Oktober 2019

---

Raphael Kern

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

## **Diplomarbeit**

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters an Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und, dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Ao.Univ.Prof.DI Dr. Wolfgang Wimmer bedanken, welcher in seinen Vorlesungen die Wichtigkeit von Ecodesign im Bereich der Produktentwicklung aufzeigte und mir infolgedessen dieses interessante Thema bereitstellte. Dabei stand er mir mit seinem Rat zur Seite.

Diesbezüglich ergeht mein Dank auch an Herrn Dr. Rainer Pamminer für die begleitende Betreuung. Außerdem ermöglichte er mir Teile meiner Ergebnisse im Zuge des „Circular Futures“ - Workshops „Bauen und Wohnen in der Kreislaufwirtschaft“, sowie des 6. Meetings der von der EU geförderten Wissensallianz zur Kreislaufwirtschaft „KATCH\_e“, zu präsentieren.

Weiters bedanke ich mich bei Herrn Ing. Engelbert König, dem Leiter der Produktentwicklung bei Internorm, für sein äußerst hilfreiches Feedback. Durch seine Expertise konnte ein für die Arbeit wesentlicher Einblick in die Fensterbranche gewonnen werden.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei allen KorrekturleserInnen, welche dafür verantwortlich sind, dass die Anzahl der Grammatik- und Rechtschreibfehler minimiert wurde.

Vor allem aber gilt mein Dank meinen Eltern, welche mir meine bisherige Ausbildung überhaupt erst ermöglichten und mich in meinen Entscheidungen stets bestärkten.

## Gender-Hinweis

Zugunsten der besseren Lesbarkeit wird im weiteren Text das generische Maskulinum (z.B.: Kunde, Nutzer,... ) verwendet. Aus diesem Grund soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass entsprechende Begriffe keine Benachteiligung implizieren und als geschlechtsunabhängig zu verstehen sind.

## Kurzfassung

Die Produktgestaltung ist ein wesentlicher Faktor auf dem Weg zu einer ressourcenschonenden und nachhaltigen Kreislaufwirtschaft (Circular Economy), als Alternative zum heute vorherrschenden linearen Model (Linear Economy). Aus diesem Grund beschäftigt sich diese Arbeit damit, wie die innovativen Aspekte der Kreislaufwirtschaft in der methodischen Produktentwicklung berücksichtigt werden können. Dies soll an einem konkreten Beispiel gezeigt werden, wodurch sich die Entwicklung eines kreislauffähigen Fensters auf Konzeptebene als Zielsetzung ergibt.

Zu Beginn werden die Rahmenbedingungen, basierend auf branchenrelevanter Entwicklungstrends, abgesteckt und die daraus gewonnenen Erkenntnisse in 3 Schritten (Lastenheft, Pflichtenheft und Anforderungsliste) als konkrete Forderungen an das Fenster übersetzt. Dabei wird mit einem Modell, welches die Ansätze der Kreislaufwirtschaft darstellt, gearbeitet. Dieser sogenannte Value Hill wird aus Produktentwicklungssicht neu aufgearbeitet, um daraus entsprechende Maßnahmen für die Kreislauffähigkeit abzuleiten. Anschließend erfolgt eine lösungsneutrale Beschreibung des Produkts, in Form der Funktionsstruktur, als Grundlage für den kreativen Ideenfindungsprozess. Die dabei gesammelten 72 Teillösungen ergeben einen Morphologischen Kasten, aus dem 2 Grobkonzepte abgeleitet werden. Das favorisierte Konzept wird daraufhin näher konkretisiert und weiterentwickelt.

Resultat ist das Konzept eines modularen Fenstersystems, welches durch dessen Rückbaubarkeit, Upgrade- und Anpassungsfähigkeit im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgedankens verwendet werden kann. Des Weiteren ermöglicht die Verschiebung der Schnittstelle zwischen Fenster und Mauerwerk eine erleichterte Montage, sowie die Nutzung der Vorteile des industriellen Bauens. Zur Bewertung der Eignung für eine Kreislaufwirtschaft wird das entwickelte Konzept einem Standardfenster gegenübergestellt. Dieser Vergleich zeigt, dass die Kreislauffähigkeit, mit dem neuen Fenstersystem, von 43% auf 80% gesteigert, und damit eine deutlich effizientere Nutzung der Ressourcen erzielt werden kann.

Die in dieser Arbeit ersichtliche Methodik kann auch für andere Bereiche adaptiert werden, um so die Entwicklung kreislauffähiger Produkte, welche Funktionalität und Nachhaltigkeit vereinen, voranzutreiben.

## Abstract

Product design is an essential factor on the path to a resource-saving and sustainable circular economy, which presents an alternative to the predominant linear economy today. Therefore, this work addresses how innovative aspects of a circular economy can be introduced to the methodological process of product development. The concept will be demonstrated by practical application of these principles to the development process of a window which fulfills the expectations of a circular economy on a conceptual level.

The framework for the project is based on recent trends in development, with the results and insight being used to deduct the requirements for the design of the window. Those requirements are realized within three steps: customer-, target- and requirement specifications. For this purpose, a model depicting the idea of circular economy is used. This so-called value hill is revised from the perspective of product development in order to be able to deduct the corresponding measures that are demanded by the circular approach. As a next step, the product is described independently of possible solutions, by processing its functional structure as the basis for a further creative ideation process. The resulting 72 partial solutions are collected in a Morphological Box, which is then used to derive 2 concept drafts. The preferred concept is then elaborated upon and developed further.

The goal and the effective result of the project is a concept of a modular window system which can be used in the sense of circular economy. Main factors that contribute to fulfill the requirements of a circular economy are the product's upgradeability, adaptability and the ability to be easily dismantled. Furthermore, the newly designed connection between window and masonry facilitates assembly work as well as an integration of the benefits of industrialized construction. To assess its suitability for a circular economy, the developed concept is compared to a standard window. This comparison shows that the performance of the new window system can be increased from 43% to 80% in terms of circular economy aspects. Thus, this concept would result in a much more efficient use of resources.

The methodical approach presented in this paper can also be adapted for other areas in order to promote the development of products for a circular economy, which combine functionality and sustainability.

# Inhaltsverzeichnis

1. Motivation.....	1
1.1 Definition der Kreislaufwirtschaft.....	2
1.1.1 Value Hill - Linear vs. Circular Economy .....	3
1.1.2 Strategien der Kreislaufwirtschaft .....	5
1.2 Stoßrichtung und Entwicklungstrends.....	7
1.3 Zielsetzung.....	9
2. Entwicklungsgrundlagen des Fensters.....	10
2.1 Fenstertypen .....	11
2.2 Konstruktive Entwicklungen des Drehkipfensters .....	11
2.2.1 Fensterbeschläge .....	12
2.2.2 Falzausbildung.....	15
2.2.3 Verglasung.....	16
2.2.4 Materialien .....	20
2.3 Einbausituation .....	25
2.3.1 Anschlagarten.....	25
2.3.2 Blindstock .....	27
2.4 Ausgangssituation am Beispiel Internorm.....	28
2.4.1 Wertschöpfungsphase – Uphill.....	28
2.4.2 Verwendungsphase – Tophill .....	30
2.4.3 Nachnutzungsphase – Downhill .....	32
2.5 Branchenrelevante Entwicklungstrends.....	32
2.5.1 Fensterspezifische Entwicklungstrends.....	32
2.5.2 Industrielles Bauen .....	36
2.6 Ausblick als Entwicklungsgrundlage .....	41
3. Klären der Anforderungen.....	42
3.1 Lastenheft .....	42
3.2 Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft (Circular Economy).....	43
3.2.1 Uphill – Maßnahmen.....	44
3.2.2 Tophill – Maßnahmen .....	45
3.2.3 Downhill – Maßnahmen .....	47

3.3	Pflichtenheft .....	48
3.4	Anforderungsliste .....	50
4.	Funktionsbetrachtung .....	57
4.1	Funktionsanalyse .....	57
4.1.1	Anpassung der Funktionsbegriffe .....	59
4.1.2	Auswahl der relevanten Funktionen .....	60
4.1.3	Kraft-/Stoffflüsse .....	62
4.2	Funktionsstruktur .....	62
5.	Konzeptentwicklung .....	64
5.1.1	Morphologischer Kasten .....	64
5.1.2	Konzept Funktionsrahmen .....	67
5.1.3	Konzept 1 .....	68
5.1.4	Konzept 2 .....	71
5.2	Konzeptauswahl .....	74
5.3	Konzeptkritik .....	74
6.	Finales Konzept .....	76
6.1	Fenstersystemaufbau .....	76
6.1.1	Führungssystem .....	77
6.1.2	Fensterrahmen .....	77
6.1.3	Fensterflügel .....	80
6.1.4	Fensterbeschlag .....	83
6.1.5	Öffnungsmechanismus .....	84
6.2	Montage .....	88
6.3	Konzeptbewertung .....	93
7.	Zusammenfassung und Ausblick .....	100
8.	Literaturverzeichnis .....	102
9.	Abbildungsverzeichnis .....	106
10.	Tabellenverzeichnis .....	108
11.	Abkürzungsverzeichnis .....	109
A.	Anhang .....	110
A.I	Patentrecherche .....	110

# 1. Motivation

Montag, der 29. Juli 2019 war weltweiter Overshoot Day. Dieser Tag kennzeichnet das Datum, an dem für das laufende Jahr bereits alle natürlichen Ressourcen, welche von der Erde jährlich bereitgestellt werden können, verbraucht wurden. Danach leben wir für das jeweilige Jahr im ökologischen Defizit. Für einen nachhaltigen Ressourcenverbrauch, als Grundlage für ein ökologisches Gleichgewicht, wären derzeit somit 1,75 Erden notwendig. Würden weltweit so viele Naturressourcen in Anspruch genommen werden wie in Österreich, wären dazu sogar 3,5 Erden notwendig. [1]

Gleichzeitig verzeichnet der Statusbericht über die Abfallwirtschaft in Österreich ein in 2016 ermitteltes Abfallaufkommen von 62,08 Millionen Tonnen, Tendenz steigend [2]. Der immer früher stattfindende Overshoot Day und das steigende Müllaufkommen sind Resultat eines linearen Wirtschaftsmodells (Linear Economy, vgl. Abb. 1.1), welches auf einem äußerst ineffizienten Umgang mit Ressourcen basiert.



*Abbildung 1.1 Materialfluss im linearen Wirtschaftsmodell*

Rohstoffe, welche sich über Millionen Jahre bildeten, danach unter hohem Energieaufwand, und teilweise auch unter äußerst fragwürdigen Bedingungen, abgebaut, gefördert und aufbereitet werden, wandelt man in kurzlebige Produkte um. Da diese Produkte meist so gestaltet sind, dass sie gar nicht oder nur sehr aufwändig repariert werden können, landen sie nach nur kurzem Gebrauch im Abfall und werden durch Neuwaren ersetzt. Neben den negativen Auswirkungen auf die angeführten Statistiken bringt dieses immer schnellere Durchschleusen von Ressourcen erhebliche Beeinträchtigungen unserer Ökosysteme mit sich. Dies äußert sich in Form von Bodendegradierung, Wasserknappheit, Verlust der biologischen Vielfalt oder Verstärkung des Klimawandels [3].

Um diesen Folgen und der Wegwerfgesellschaft entgegenzuwirken, müssen Ressourcen sorgsamer und länger verwendet werden. Ein vielversprechender Ansatz dafür ist die Entwicklung von Produkten, welche ganz oder teilweise, im Sinne des Kreislaufwirtschaftsmodells, wiederverwendet und somit möglichst lange genutzt werden können.

## 1.1 Definition der Kreislaufwirtschaft

Im Gegensatz zur linearen Wirtschaft im Durchflussprinzip („take, make, use, waste“) zielt das Konzept der Kreislaufwirtschaft darauf ab, dass Rohstoffe innerhalb eines geschlossenen Kreislafs erneut genutzt und recycelt werden (siehe Abb. 1.2). Durch dieses zunehmende Schließen der Produktlebenszyklen sollen am Ende kaum noch Abfälle entstehen. [4]

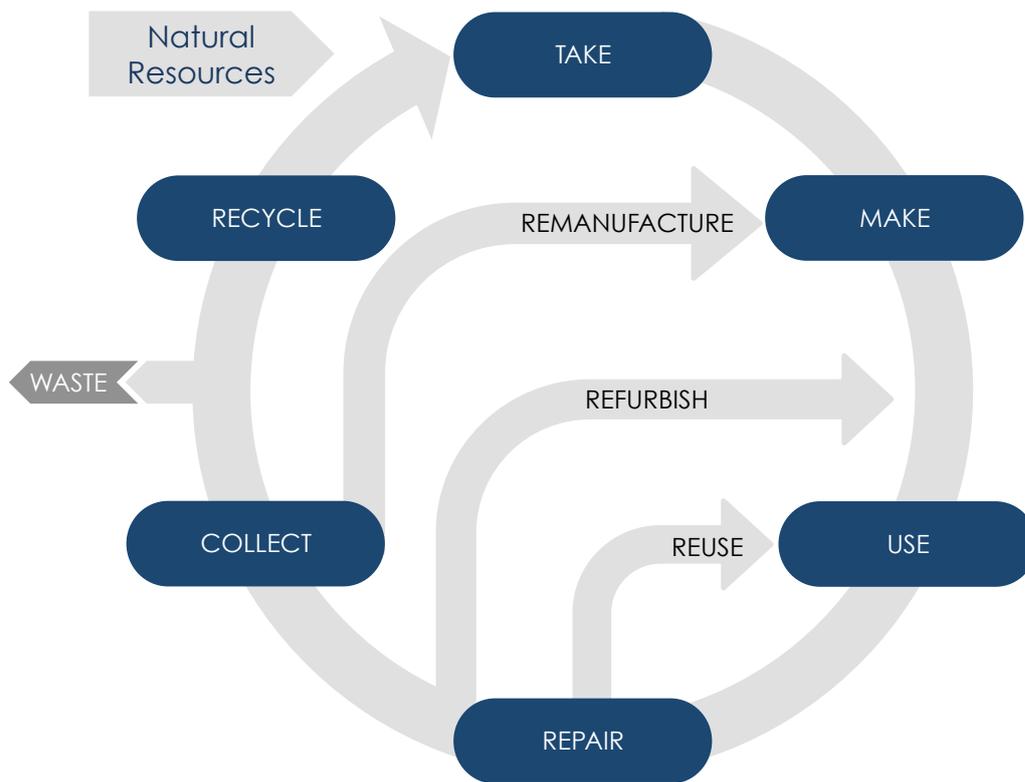


Abbildung 1.2 Materialfluss im Kreislaufwirtschaftsmodell

Hintergrund und somit globales Ziel dieses Modells ist es, den Materialfluss so zu schließen, dass ein möglichst langer Werterhalt der eingesetzten Ressourcen erreicht wird. Um die dafür notwendige Herangehensweise besser zu verstehen, gibt es mit dem Value Hill ein Modell, welches die Unterschiede beider Wirtschaftsformen anhand des Wertverlaufs sehr gut darstellt.

### 1.1.1 Value Hill - Linear vs. Circular Economy

Der Value Hill zeigt den Wertverlauf eines Produkts über dessen Lebenszyklus hinweg. Letzterer wird dabei in die 3 Phasen vor (Uphill), während (Tophill) und nach der Nutzung (Downhill) eingeteilt.

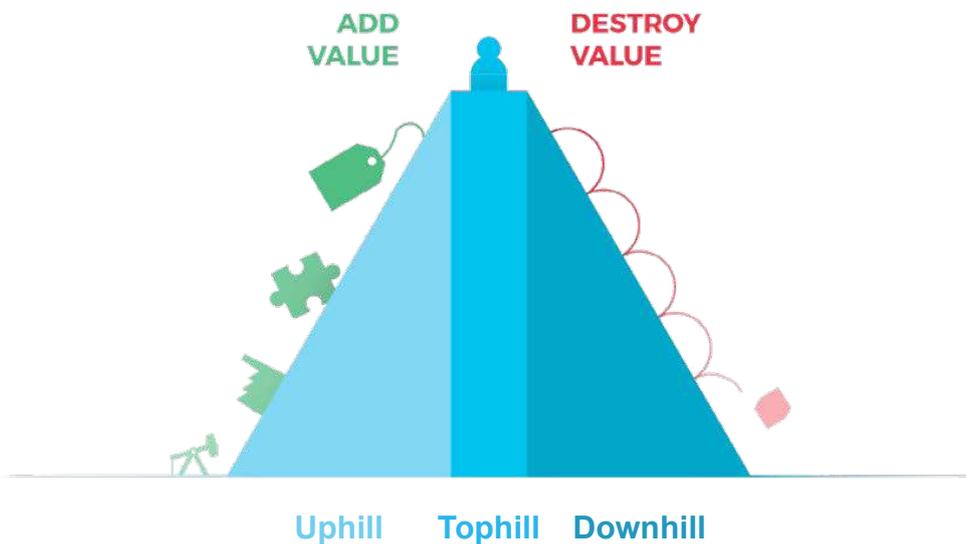


Abbildung 1.3 Value Hill der Linear Economy [5]

Betrachtet man dieses Modell nun am Beispiel der Linear Economy (siehe Abb. 1.3) ist ersichtlich, wie in der Uphill-Phase, durch die Aufbereitung der Rohstoffe, Fertigung, Zusammenbau und Vertrieb der entwickelten Produkte ein durchgängiger Wertaufbau stattfindet. Am Höhepunkt dieser Aufwendungen gelangt das Erzeugnis in den Besitz des Kunden und somit in die Tophill-Phase, bevor es nach der verhältnismäßig kurzen Nutzungsdauer in den Downhill Bereich übergeht. In dieser Phase finden heutige Produkte jedoch meist keine Verwendung mehr und es kommt zu deren Entsorgung, wobei der gesamte im Herstellungsprozess geschaffene Wert meist schlagartig zerstört wird.

Hauptverantwortlich für diesen Ablauf sind die heutigen, in der Regel verkaufsorientierten, Geschäftsmodelle, welche darauf ausgerichtet sind, die Einnahmen durch möglichst hohe Absatzzahlen zu maximieren. Dadurch entsteht der Anreiz, Erzeugnisse mit einer relativ kurzen Lebensdauer zu entwerfen, um kontinuierlich neue Produkte zu verkaufen. [5] Die Erträge werden somit einzig und allein am Ende der Uphill-Phase durch den Verkauf von Neuwaren erzielt.

Dass es jedoch auch in anderen Lebenszyklusphasen möglich ist, Profit zu machen, zeigen die Geschäftsmodelle der Kreislaufwirtschaft. Hier geht der Beginn der Nutzungsphase nicht ausschließlich mit dem Kauf eines Produktes einher, sondern kann beispielsweise auch durch eine Miete im Zuge eines Sharing-Modells gestartet werden. Da sich die tatsächliche Nutzungsdauer dadurch verlängert, macht sich dies auch im Value Hill durch die breitere Tophill-Phase bemerkbar (siehe Abb. 1.4).

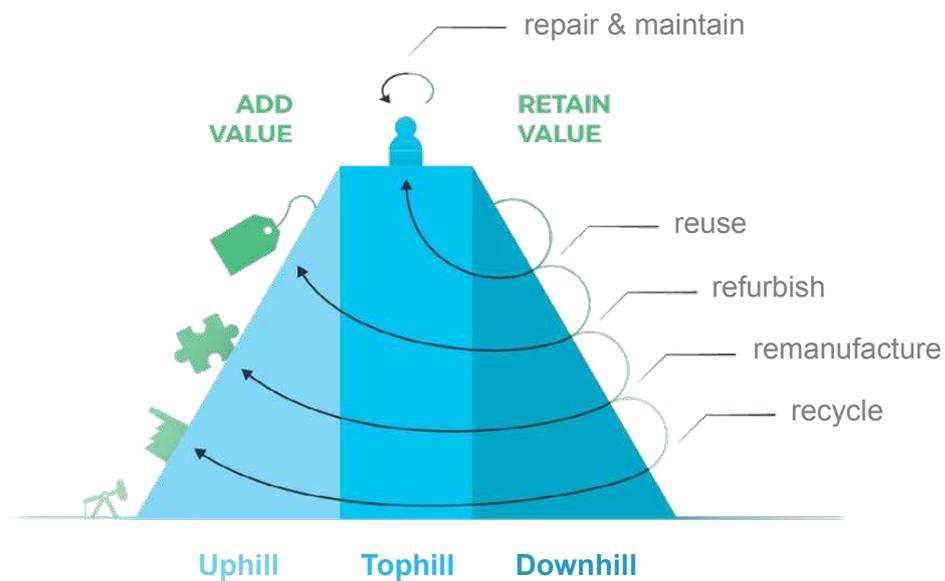


Abbildung 1.4 Value Hill der Circular Economy (in Anlehnung an [5])

Selbst wenn ein Produkt in den Besitz eines Käufers übergeht, bietet die Kreislaufwirtschaft Wege, den aufgebauten Wert, entsprechend obiger Darstellung, länger zu nutzen. Dies geschieht in solchen Fällen über ein zugehöriges Wartungs- und Reparaturangebot und die daraus resultierende Verlängerung der Lebensdauer. Außerdem stellen solche Dienstleistungen eine weitere Einnahmemöglichkeit dar, was wiederum das betriebswirtschaftliche Interesse an dieser Wirtschaftsform erhöht. Dieser zusätzliche Anreiz geht auch in der Nachnutzung nicht verloren, da hier der ökologisch motivierte Werterhalt des Materialflusses nicht nur Ressourcen, sondern auch Kosten einspart.

Anstelle des schlagartigen Wertverlusts versucht man im Downhill, die nicht mehr genutzten Produkte oder deren Komponenten einer der früheren Lebenszyklusphasen rückzuführen. Die zugehörigen, im Value Hill dargestellten, Schleifen können dabei mehrmals durchlaufen werden. Um diese Verwertung möglichst effizient zu gestalten, und so den Rohstoffeinsatz zu optimieren, ist bei den einzelnen Durchläufen eine gewisse Priorisierung zu berücksichtigen. So ist die Wieder- und Weiterverwendung vor oder nach einer Aufbereitung des ganzen Erzeugnisses (Abb. 1.4 - reuse & refurbish) der Weiterverwertung, bei der einzelne Komponenten erneut in den Herstellungsprozess von neuen Produkten einfließen (Abb. 1.4 - remanufacture), vorzuziehen.

Erst, wenn diese Methoden nicht mehr möglich sind, sollte die stoffliche Wiederverwertung (Abb. 1.4 – recycle) verfolgt werden. Dabei ist zu beachten, dass rezyklierte Materialien mit zunehmender Anzahl von Verwendungszyklen funktionelle Verluste aufweisen können. Diesen Aspekt berücksichtigend schlägt das in Deutschland gültige Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) daher eine Kaskadennutzung vor. Dabei wird eine Nutzungshierarchie entsprechend der Anforderungen an die

Materialeigenschaften für das jeweilige Einsatzgebiet aufgestellt. Während Primärrohstoffe dort Anwendung finden, wo die höchsten Ansprüche gelten, werden die Rezyklate mit abnehmender Qualität den nächsten Stufen innerhalb der Kaskade zugeführt. Im Idealfall kann somit erreicht werden, dass die eingesetzten Ressourcen den Zyklus aus Produktion, Nutzung und Aufbereitung mehrfach durchlaufen bevor sie aus dem Verwendungszyklus ausscheiden. Dies geschieht in Form von energetischer Verwertung oder im ungünstigsten Fall durch Deponierung. [6]

Voraussetzung für diese Rückführbarkeit, während und nach der Nutzung, ist eine vorausschauende Entwicklung im Zuge der Uphill-Phase. Der hier festgelegte Produktaufbau, sowie die Auswahl von Materialien und Verbindungen bestimmen maßgeblich die Lebensdauer, die Reparaturfähigkeit und die Verwertbarkeit der Produkte [6]. Wie sich die bisher maßgebenden Anforderungen (Funktionalität, Design und Preis) mit diesem Aspekt der Kreislauffähigkeit eines Produkts erweitern lassen, kann entwicklungspezifisch von allgemein formulierten Strategien abgeleitet und erarbeitet werden.

### 1.1.2 Strategien der Kreislaufwirtschaft

Der Übergang zur Kreislaufwirtschaft muss in allen 3 Phasen des Lebenszyklus erfolgen. Dabei lässt sich für Up-, Top und Downhill jeweils eine eigene Zielsetzung formulieren. Dies lässt sich in Form der Abb. 1.5 zusammenfassen.

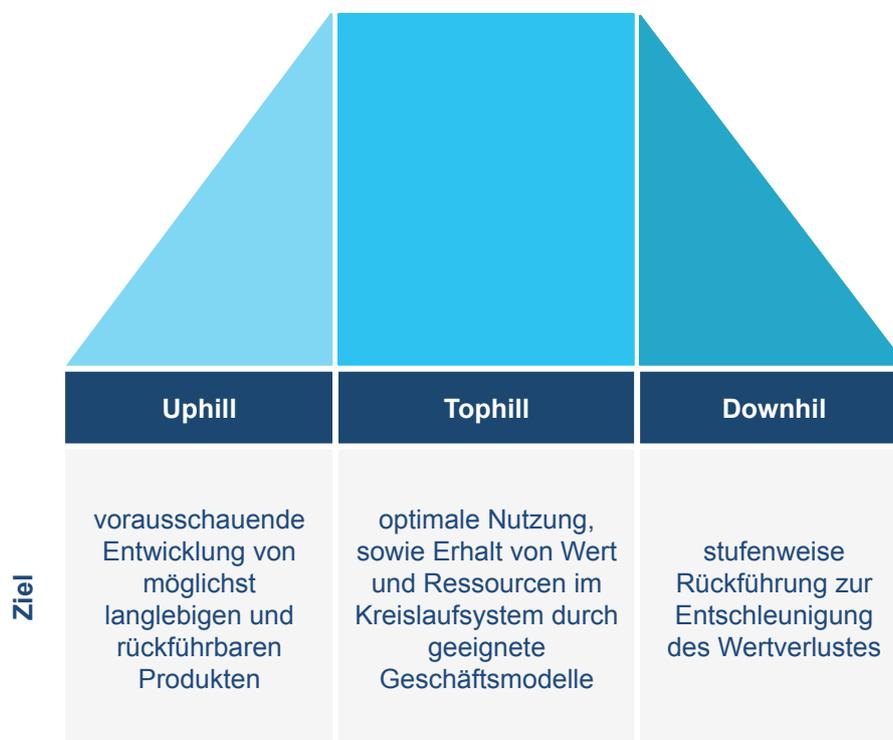


Abbildung 1.5 Zielsetzungen beim Übergang zur Kreislaufwirtschaft

Welche Vorgehensweisen zur Erreichung des jeweiligen Ziels möglich sind, beschreiben allgemein formulierte CE-Strategien, welche wie folgt interpretiert und erläutert werden können:

*Tabelle 1.1 Erläuterung der CE-Strategien*

	Strategie	Beschreibung
<b>UPHILL</b>	ressourceneffiziente Produktion	Verschwendungen vermeiden, damit die Aufwendungen im Verhältnis zur Nutzungsdauer stehen
	Kreislaufmaterialien	Materialien, welche sich für die Weiter- & Wiederverwertung eignen
	Kreislaufdesign	Produktaufbau, welcher die Rückführbarkeit in den einzelnen Schleifen ermöglicht
	Zusatznutzen	ergänzende Funktionen, welche zu einer längeren Nutzungsdauer des Produkts führen
	Langlebigkeit	Produktaufbau, dessen Komponenten auf eine lange Lebensdauer abgestimmt sind und lebensdauererlängernde Maßnahmen zulässt
<b>TOPHILL</b>	Lebensdauererlängerung	Beratungs-, Wartungs- und Reparaturangebot für eine optimale Nutzung
	produktorientierte PDL <sup>1</sup>	Verkauf des Produkts, sowie zusätzlicher Dienstleistungen zur Lebensdauererlängerung (z.B.: Rückkaufoption zum Erhalt des Erzeugnis im Kreislauf)
	nutzerorientierte PDL	Vermietung des Produkts, wodurch die Ressourcen nicht in den Besitz des Nutzers übergehen
	ergebnisorientierte PDL	Verkauf des Ergebnisses, unabhängig von dessen Umsetzung als Produkt (zugehöriges Produkt bleibt dem Kreislauf erhalten)
<b>DOWNHILL</b>	Gebrauchtmarkt	Wieder- oder Weiterverwendung von gebrauchten Produkten
	Wiederaufbereitung	Wieder- oder Weiterverwendung von aufbereiteten bzw. generalüberholten Produkten
	Remanufacturing	Weiterverwertung einzelner Komponenten zur Erstellung neuer Erzeugnisse
	Materialwiedergewinnung und -vertrieb	sortenreine Materialtrennung
	Recycling	stoffliche Wiederverwertung zur Herstellung neuer Erzeugnisse

<sup>1</sup> Produktdienstleistung

Dass diese Strategien aus Tab. 1.1 und das Modell der Kreislaufwirtschaft auch erfolgreich umgesetzt werden können, zeigen Beispiele aus der Praxis, sowie politisch gesetzte Rahmenbedingungen.

## 1.2 Stoßrichtung und Entwicklungstrends

Ein Beispiel für einen erfolgreichen Übergang zur Kreislaufwirtschaft stellt in der Elektronikbranche das Fairphone dar. Neben dem namensgebenden Aspekt, dass fair gehandelte Materialien unter fairen Arbeitsbedingungen zu einem Smartphone umgewandelt werden, findet man die Ansätze der Kreislaufwirtschaft über alle 3 Phasen des Value Hills wieder. Grundlage dafür ist der in Abb. 1.6 gezeigte modulare Produktaufbau, welcher die Reparaturfähigkeit und somit die Langlebigkeit fördert. So können nicht nur der Akku, sondern auch einzelne fehlerhafte Module vom Nutzer selbst ausgetauscht werden.



Abbildung 1.6 modulares Smartphone - Fairphone 3 [7]

Zusätzlich soll die Anschaffung eines neuen Geräts weiter hinausgezögert werden, indem sich beispielsweise die Kamerafunktion durch einen Wechsel des zugehörigen Moduls upgraden und so auf den neuesten Stand der Technik bringen lässt. Der dafür benötigte Schraubenzieher wird als einziges Zubehör mitgeliefert. Kopfhörer oder Ladekabel, welche in den meisten Haushalten bereits mehrfach vorhanden sind, werden standardmäßig bewusst nicht mitgeliefert, was wiederum zur Ressourceneinsparung im Uphill beiträgt. Doch auch die Nachnutzung wird nicht vernachlässigt. Dazu wirbt Fairphone mit eigens initiierten Programmen, welche Elektromüll reduzieren und das Recycling fördern sollen. Als Beispiel erhält man bei einem Neukauf für ein zurückgegebenes Handy zwischen 20 € und 40 € gutgeschrieben. [7]

Dass ein Produkt nicht immer in den Besitz des Nutzers übergehen muss und auch ergebnisorientierte Geschäftsmodelle realistisch sind, zeigt Philips mit seinem „Pay-Per-Lux“ Programm in Kooperation mit dem Architekturbüro RAU. Statt der Anschaffungskosten muss in diesem Modell nur die genutzte Menge an Licht (Lux) bezahlt werden. Außerdem kann die zur Berechnung eingesetzte Messtechnik für die

Optimierung des Lichtverbrauchs herangezogen werden. Gleichzeitig profitiert auch Philips, da die Lichtprodukte am Ende der Vertragslaufzeit eingesammelt und so die zurückgewonnenen Komponenten, sowie Rohmaterialien zur Herstellung neuer Lichanlagen verwendet werden können. [8] Es wird also ersichtlich, dass der Umsatz mit der Langlebigkeit und Effizienz der entwickelten Produkte steigt. Dadurch ergibt dieses Geschäftsmodell der Kreislaufwirtschaft die Motivation, sich selbst bzw. das werterhaltende Schließen der Kreisläufe weiter zu verbessern.

Dieser Anreiz zur Umstellung auf die Kreislaufwirtschaft kann jedoch auch von außen erfolgen, indem von der Politik die entsprechenden gesetzlichen Rahmenbedingungen geschaffen werden. Dass dieser Weg auch verfolgt wird, zeichnete sich bereits im Dezember 2015 mit der Annahme des Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft durch die Europäische Kommission ab. Ziel ist es, neue Impulse für Arbeitsplätze, Wachstum und Investitionen zu geben, sowie eine CO<sub>2</sub>-neutrale, ressourceneffiziente und wettbewerbsfähige Wirtschaft zu entwickeln. Die zugehörigen 54 Maßnahmen wurden kürzlich oder werden derzeit bzw. über 2019 hinaus abgeschlossen. So hat die Kommission beispielsweise für einen beschleunigten Übergang zur Kreislaufwirtschaft im Zeitraum von 2016 bis 2020 öffentliche Mittel in Gesamthöhe von über 10 Mrd. Euro bereitgestellt. Überwacht wird die Umsetzung der Maßnahmen durch 10 regelmäßig aktualisierte Schlüsselindikatoren, welche jede Phase des Lebenszyklus von Produkten sowie Aspekte der Wettbewerbsfähigkeit abdecken. Wie in Abb. 1.7 ersichtlich ist, zeigt dieser EU-Überwachungsrahmen bereits die ersten positiven Auswirkungen durch den Übergang zu einer kreislaforientierten Wirtschaft. [9]



Abbildung 1.7 Auswirkungen der CE auf: Beschäftigung, Wertschöpfung und Investitionen [10]

Allein im Jahr 2016 wurden im Rahmen von Reparaturen, Wiederverwendung und Recycling fast 147 Mrd. € an Wertschöpfung generiert und private Investitionen von 17,5 Mrd. € getätigt. Außerdem wurde zwischen 2012 und 2016 in den relevanten Sektoren ein Beschäftigungsanstieg von 6% verzeichnet. [9]

Trotz dieser positiven Tendenzen wird der Handlungsbedarf im Bericht über die Umsetzung des Aktionsplans von 2019 weiterhin als groß eingestuft. Unter anderem

werden neue Maßnahmen bzgl. der Konzipierung von Produkten und Dienstleistungen für die Kreislaufwirtschaft gefordert. Zu diesem Zweck wurden die europäischen Normungsinstitutionen bereits mit der Entwicklung von Kriterien beauftragt, mit denen die Haltbarkeit, Reparierbarkeit, Wiederverwendbarkeit und Recyclingfähigkeit gemessen werden können. [9] In diesem Zusammenhang wird im Arbeitsprogramm der Ökodesign-Richtlinien, dessen Schwerpunkt bisher auf der Energieeffizienz von Produkten lag, die Möglichkeit zur Festschreibung der zuvor genannten Kriterien als produktspezifische Anforderungen aufgezeigt. [11] Dies unterstreicht die Absicht, dass die dort verfolgten Ökodesign Maßnahmen ebenfalls zur Schaffung einer europäischen Kreislaufwirtschaft beitragen sollen.

Es wird also ersichtlich, dass die Kreislauffähigkeit im Zuge der Produktentwicklung immer weiter an Bedeutung gewinnen wird, wodurch sich die Motivation ergibt, die Aufgabenstellung dieser Arbeit aus diesem Bereich zu wählen.

### 1.3 Zielsetzung

Aufgrund der betrachteten Entwicklungen zu einer kreislauffähigen und somit nachhaltigen Wirtschaft ergibt sich der zugehörige Handlungsbedarf, die Produktgestaltung, als für den weiteren Lebenszyklus wegweisende Rolle, um den Aspekt der Kreislauffähigkeit zu erweitern. Als entsprechendes Werkzeug stehen hierfür die allgemeinen, anhand des Value Hills formulierten, CE-Strategien zur Verfügung. Wie diese Ansätze in die methodische Vorgehensweise bei der Produktentwicklung einfließen können, soll im Zuge dieser Arbeit anhand eines konkreten Beispiels erarbeitet und gezeigt werden.

Mit dem Fenster fällt die Wahl auf ein Produkt aus dem Bereich der bebauten Umwelt. Dieser Branche wird im Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft, neben anderen Bereichen, eine hohe Umweltbelastung und ein hohes Kreislaufpotential zugeschrieben [9]. Außerdem kann beim Fenster durch jahrelange Entwicklung auf seine bereits sehr ausgereifte Technologie zurückgegriffen werden. Dadurch wird es zwar schwieriger, funktionale Verbesserungen zu treffen, jedoch ist eine beständige Technologie der Grundstein für die Entwicklung eines langlebigen und kreislauffähigen Produkts. Somit ergeben sich gute Randbedingungen für die Produktentwicklung, deren Zielsetzung sich wie folgt formulieren lässt:

Die Entwicklung eines modularen Fensters, sodass dieses auf hoher Werteebene im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgedankens wiederverwendet werden kann.

## 2. Entwicklungsgrundlagen des Fensters

Aufgrund funktioneller Anforderungen wie Belichtung oder Belüftung von Bauwerken werden Aussparungen in Wänden, Decken oder Dächern benötigt, welche man als Öffnungen bezeichnet. Fenster bilden den Abschluss dieser Öffnungen und müssen daher, am Beispiel der Wand, einerseits als Wandöffnung und andererseits als Außenwand fungieren, wodurch sich ein sehr breites und konträres Anforderungsprofil ( [12], [13] ) ergibt:

- Lichteintrittsfläche im Verhältnis zur Raumgröße
- Sichtbezug nach außen
- Beständigkeit gegen Witterungsbeanspruchung von außen
- Beständigkeit gegen Wasserdampfbeanspruchung von innen
- Öffnungs- / Lüftungsmöglichkeit
- Luftdichtheit im geschlossenen Zustand
- mechanische Festigkeit zur Aufnahme der Windlast
- Wärmeschutz
- Schallschutz
- Blendschutz
- Brandschutz
- Einbruchsschutz

Ausgehend vom Holzfenster mit Einfachverglasung wurde daher im Laufe der Zeit versucht, diesem Anforderungsspektrum immer besser gerecht zu werden.

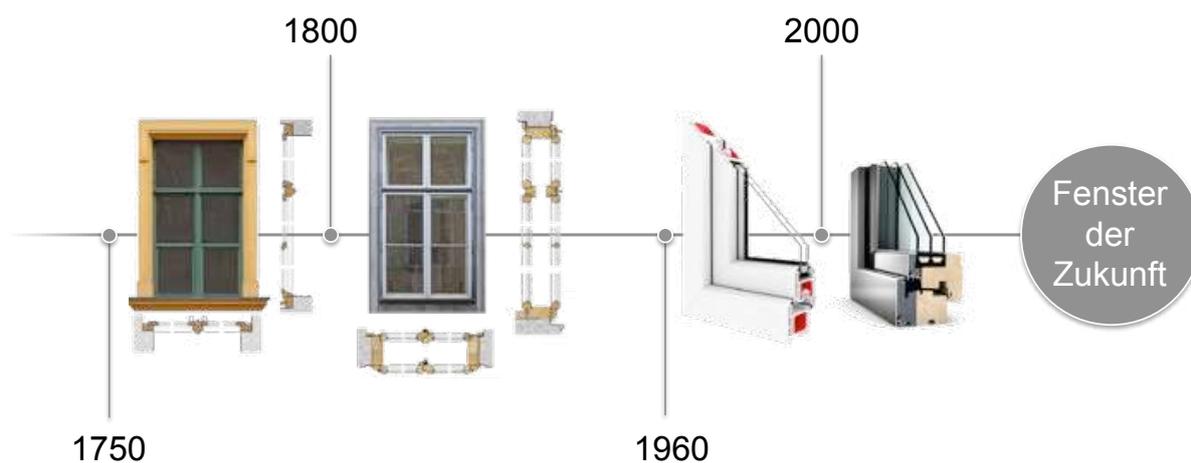


Abbildung 2.1 Fensterentwicklung

Resultat dieser stetigen Weiterentwicklung gemäß Abb. 2.1 sind die verschiedensten Ausführungen, welche sich durch die Öffnungsart, in der Konstruktion und bei den verwendeten Materialien unterscheiden.

## 2.1 Fenstertypen

Der prinzipielle Fenstertyp wird durch die mögliche(n) Öffnungsart(en) bestimmt, welche sich wiederum durch die Art der Verbindung (Beschlagart) zwischen dem Fensterflügel und dem Fensterrahmen ergeben. So gibt es, neben dem feststehenden Flügel, die verschiedensten Ausführungen, bei denen ein Drehen, Kippen, Klappen, Schwingen, Wenden oder Schieben des Fensterflügels erfolgen kann. Außerdem werden diese Bewegungsarten oft auch in einem Fensterelement kombiniert, um so eine bestmögliche Belüftung zu erzielen [13]. Dabei entstandene Kombinationen sind beispielsweise der Drehkipp- und faltflügel.

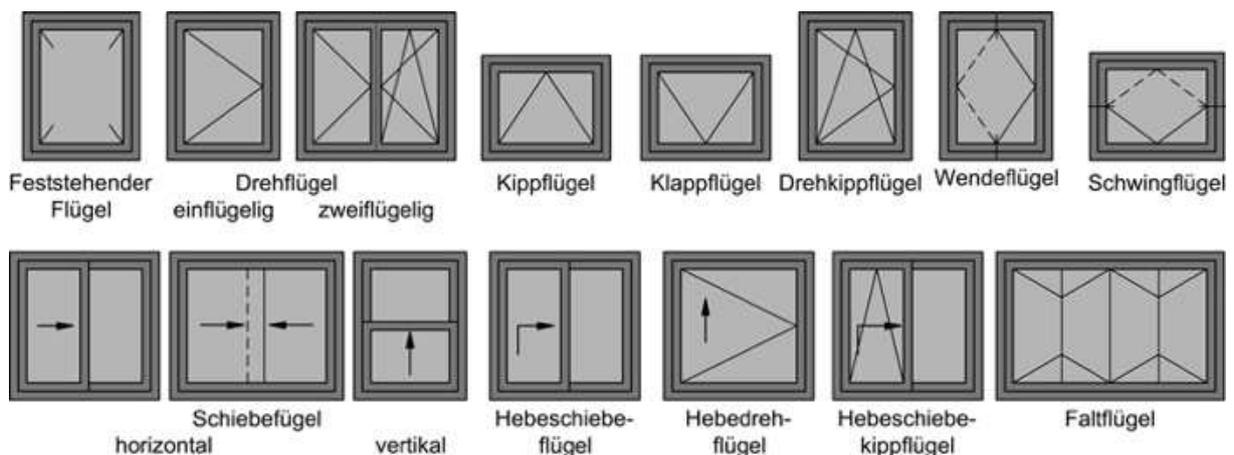


Abbildung 2.2 Flügelöffnungsarten nach ÖNORM B 5306

Weiters scheinen bei dieser Auflistung gemäß Abb. 2.2 Varianten auf, bei denen zu den bereits genannten Bewegungen noch ein Heben des zu öffnenden Flügels notwendig ist. Solche Hebeschiebe-, Hebedreh-, und Hebeschiebekippflügel kommen hauptsächlich bei Fenstertüren zum Einsatz. Dabei sorgt die notwendige Hebebewegung beim Öffnen dafür, dass die Luft- und Schlagregendichtheit, welche gegenüber konventionellen Türkonstruktionen prinzipiell in einem höheren Maße erfüllt wird, im unteren Bereich der Fenstertür noch weiter verbessert wird. [13]

Dieser Überblick zeigt die breite Produktvielfalt, welche über die Jahre entwickelt wurde und sich heute unter dem Überbegriff Fenster sammelt. Es ist also ersichtlich, dass im Zuge dieser Diplomarbeit ein Typ ausgewählt werden muss, welcher dann die Ausgangsbasis für die weitere Recherche und die folgende Produktentwicklung darstellt. Hierfür wird das Drehkipfenster herangezogen, da dieses den am weitverbreitetsten Typ darstellt.

## 2.2 Konstruktive Entwicklungen des Drehkipfensters

Das Drehkipfenster gehört zu den zu öffnenden Fenstern und besteht daher zumindest aus einem beweglichen, verglasten Fensterflügel<sup>2</sup> und einem in die

<sup>2</sup> Der Fensterflügel setzt sich wiederum aus der Verglasung und dem Flügelrahmen zusammen.

Öffnung fest eingesetzten Fenster- bzw. Stockrahmen. Der untere waagrechte Teil der Maueröffnung wird dabei Brüstung genannt, während die obere waagrechte Begrenzung als Sturz und die senkrechten seitlichen Schnittflächen im Mauerwerk als Laibung bezeichnet werden (vgl. Abb. 2.3). Über der Brüstung befindet sich die Fensterbank, welche außen Niederschlagwasser ableiten soll. Je nach Einbausituation des Fensterstocks ergibt sich ein unterschiedlicher Anschlag (vgl. Abb. 2.3), welcher die Kontaktfläche zwischen Fenster und Bauwerk beschreibt. [13]

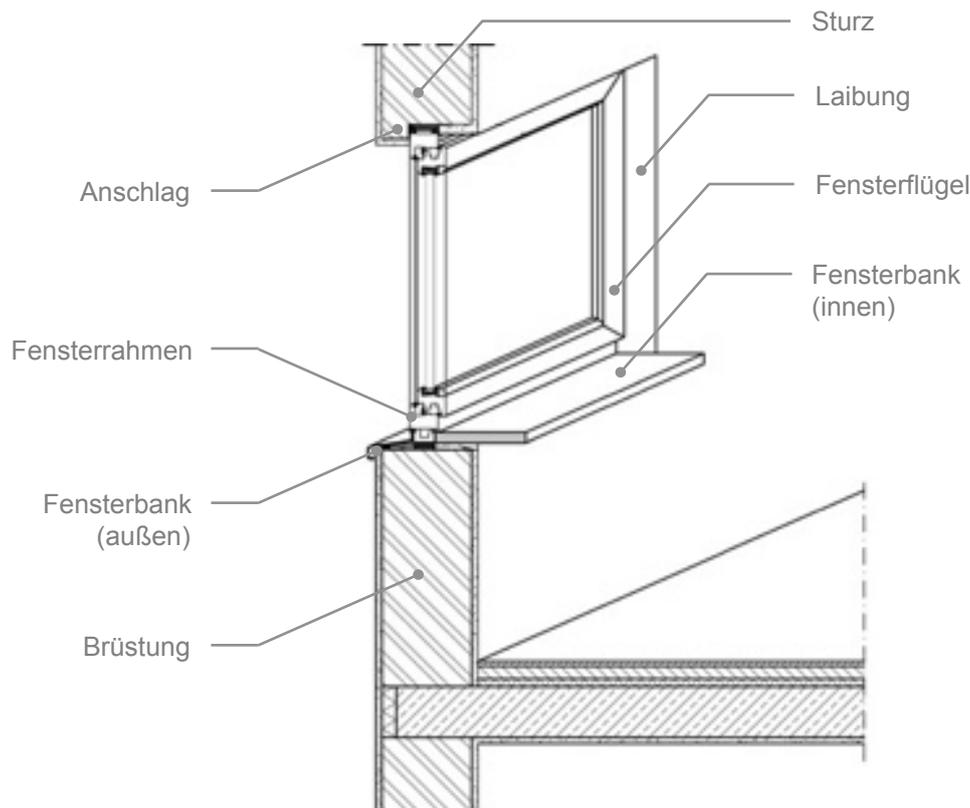


Abbildung 2.3 Prinzipieller Aufbau einer Fensterkonstruktion (in Anlehnung an [13])

Neben dieser Bedeutung wird der Begriff „Anschlag“ im Fensterbau auch noch in einem anderen Zusammenhang verwendet. Denn der Sitz der Fensterscharniere wird dadurch beschrieben, an welcher Seite das Fenster „angeschlagen“ ist. Wenn also von einem links angeschlagenen Fenster gesprochen wird, befinden sich die Scharniere, bei Blickrichtung entgegengesetzt der Öffnungsrichtung, auf der linken Seite.

Die Scharniere sind Teil des Fensterbeschlags, ohne dessen Weiterentwicklung die Realisierung eines Dreh-Kipp-Fensters nicht möglich gewesen wäre.

### 2.2.1 Fensterbeschläge

Der verwendete Fensterbeschlag legt nicht nur die möglichen Öffnungsarten des Fensters fest, sondern ist auch mitbestimmend wie dicht es schließt und unter

welchem Kraftaufwand es sich wieder öffnen lässt. Dadurch ergibt sich ein großer Einfluss auf den Wärme-, Schall- und Einbruchschutz.

Ursprünglich bestand der Beschlag nur aus einem Bedienelement (Riegel) und den Scharnieren, welche im Fachjargon Bänder genannt werden und mit denen der Fensterflügel am Stockrahmen eingehängt ist. Diese grundsätzlichen Bestandteile findet man auch noch heute in modernen Beschlagsystemen vor. Jedoch entwickelte sich über die Jahre hinweg ein umfangreicherer und komplexerer Aufbau, welcher sich wie folgt gliedern lässt:

#### ▪ Fenstergriff (Olive)

Ausgangspunkt der Entwicklung und verantwortlich für die alternative Namensgebung (Olive) war ein Verriegelung, welche durch einen Griff mit einem ovalen Kopf betätigt wurde. Heutzutage erfolgt die Bedienung über einen Drehgriff, der sich bei einem Dreh-Kipp-Fenster in der Regel um 180° drehen lässt. Dabei dient die 90° Stellung zum Öffnen und die 180° Stellung zum Kippen des Fensterflügels. [14]



Abbildung 2.4 Beispiele für Fensteroliven [13]

Anders als früher findet man dabei die unterschiedlichsten Formen vor, welche im Inneren alle einen genormten Vierkantzapfen (vgl. Abb. 2.4 – 2. Darstellung von rechts) aufweisen. Diese einheitliche Antriebsstelle stellt sicher, dass mit unterschiedlichsten Oliven der gleiche Beschlagstyp gesteuert werden kann. Ausgehend von dieser Schnittstelle wird ein Schiebegerüst zur Verriegelung bewegt. [13]

#### ▪ Verriegelung

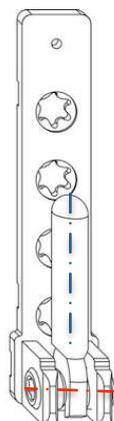
Unter der Verriegelung werden die formschlüssigen Verbindungselemente zwischen Flügel und Fensterrahmen verstanden. Dafür sind am, vom Drehgriff gesteuerten, beweglichen Gestänge Verriegelungszapfen befestigt, welche in die dafür vorgesehenen Schließen (Verankerungen) im Stockprofil eingreifen. Zu Beginn war

nur ein Gestänge auf der Seite des Griffes vorhanden. Erst Ende der 1970er Jahre entstand die Erfindung der mechanisierten umlaufenden Verriegelung, welche die Grundlage des Drehkipfensters darstellte. Dafür wird das Gestänge mithilfe eines Federstahlteiles um 90° umgelenkt, wodurch auch die horizontalen Flügelteile von einem Bedienpunkt aus verriegelt werden können. Dieses einfache Prinzip wurde auf vielfältige Weise weiterentwickelt. So entstanden zusätzliche Mechanismen, welche die Einbruchssicherheit verbessern oder auch Fehlbedienungen, wie das Drehöffnen in gekippter Stellung, verhindern.

Die zugehörige kombinierte Kinematik des Drehkipfensters wurde durch die Weiterentwicklung eines weiteren Funktionselements, den Bändern, realisiert.

#### ▪ Bänder

Definitionsgemäß verbinden die Bänder den Fensterflügel mit dem Stockrahmen [14]. Ursprünglich wurde diese Verbindung mittels einfachem Drehband (ähnlich dem Scharnier) hergestellt, wodurch nur eine einfache Drehbewegung möglich war. Ausgehend davon entstand das Drehkipband, welches erst die Dreh-Kippbewegung ermöglichte. [13] Zentraler Bestandteil ist dabei das Ecklager, welches sich auf der unteren Anschlagseite befindet und gemäß Abb. 2.5 funktioniert.



- · — · Rotationsachse der Drehöffnungsbewegung
- · — · Rotationsachse der Kippbewegung

*Abbildung 2.5 Funktionsprinzip eines Ecklagers (in Anlehnung an [15])*

Beim Bedienen des Fensters ruht ein Großteil des Flügelgewichts auf diesem Element, weswegen die Trag- und Haltekraft wichtige Faktoren des Ecklagers darstellen. [16] Ein weiteres tragendes Element ist das im beschlagseitigen oberen Bereich liegende Scherenlager, woran die Funktionsschere (vgl. Abb. 2.6) angebunden ist. Letztere dient dabei zur Begrenzung des Öffnungswinkels in der Kippstellung.

Die Kombination der beschriebenen Funktionselemente bildet die Basis für die heutigen Einhand-Drehkippsbeschläge, welche entsprechend der Anforderungen weiterentwickelt wurden und so Ausführungen mit einem noch komplexeren Aufbau entstanden.

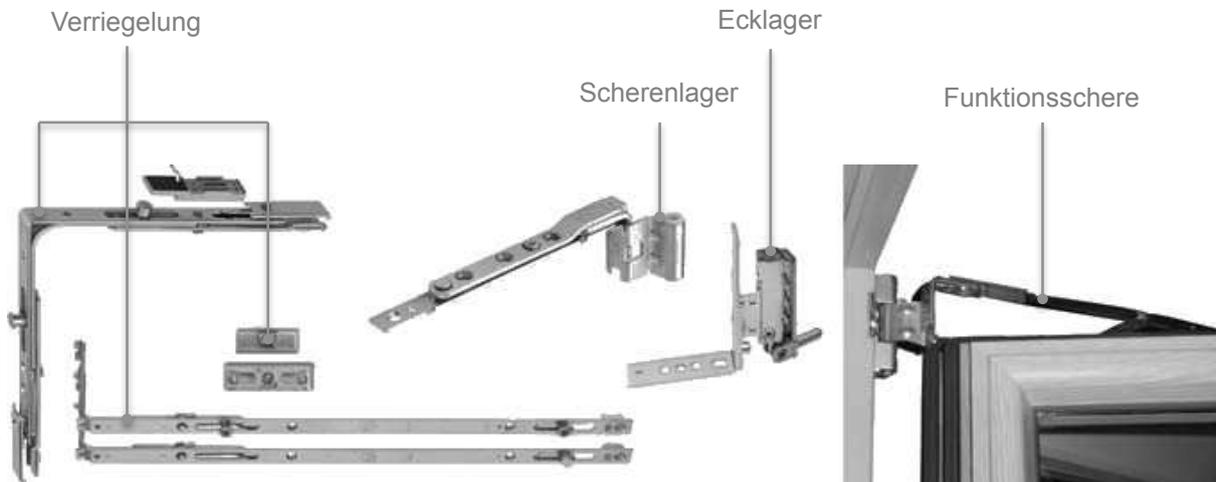


Abbildung 2.6 Beispiel eines Drehkipfensterbeschlags (in Anlehnung an [13])

Am geschlossenen Fenster ist diese große Teilevielfalt jedoch nicht mehr ersichtlich, da Bänder und Verriegelung nicht mehr wie früher sichtbar an den Profiltteilen montiert sind. Im Gegensatz zu diesen „offenen Beschlägen“ kommen seit Beginn der 1970er Jahre hauptsächlich nur noch „verdeckte Beschläge“ zum Einsatz, bei denen Beschlagteile im Falz verdeckt eingebaut sind.

### 2.2.2 Falzausbildung

Der Falz beschreibt die konstruktive Ausbildung des Übergriffes zwischen Flügel- und Fensterrahmen [13]. Ursprünglich war dieser Übergang als stumpfer Stoß ausgeführt, wodurch das Fenster zwar beidseitig geöffnet werden konnte, aber der für die Bewegung des Flügels notwendige Spalt eine Schwachstelle bzgl. der Dichtheit darstellte. Um die Wärme- und Schlagregendichtheit des Fensters zu verbessern, entwickelte man Flügel- und Stockprofile, welche eine ineinandergreifende Abstufung aufweisen.

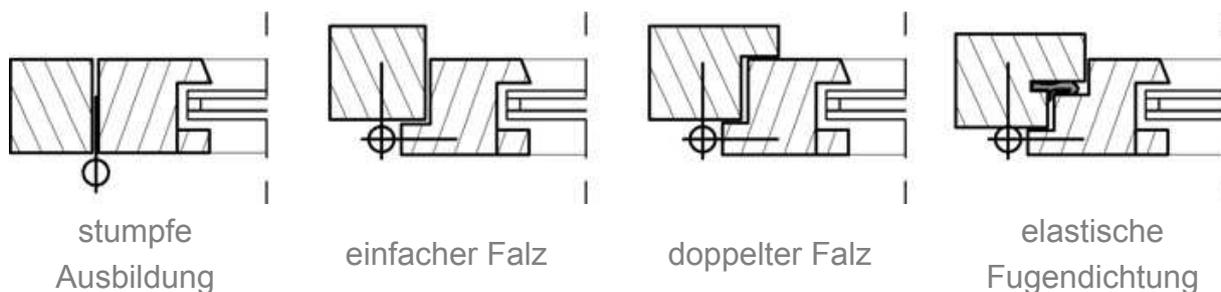


Abbildung 2.7 Entwicklung der Falzausbildung (in Anlehnung an [13])

Bei diesen Konstruktionen ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Falzausbildung Fertigungstoleranzen, wie auch die materialbedingten Toleranzen zwischen Flügel und Fensterstock, ausgleichen muss. Letzteres ist vor allem bei Holzwerkstoffen zu beachten, da diese zum Quellen und Schwinden neigen. Da beim doppelten Falz bereits zwei Übergriffe zwischen Flügel und Rahmen vorhanden sind und nicht von absolut maßhaltigen Bauteilen ausgegangen werden kann, weist auch dieser noch keine einwandfreie Dichtfunktion auf. Aus diesem Grund wurden zum Toleranzausgleich der material- und fertigungsbedingten Abweichungen Dichtsysteme entwickelt (vgl. Abb. 2.7 – elastische Fugendichtung). [13]

Obwohl diese Dichtsysteme in erster Linie dazu da sind, damit das Fenster eine hohe Dichtheit erlangt, muss trotzdem eine gewisse Luftdurchlässigkeit (früher Fugendurchlässigkeit) garantiert bleiben, welche entsprechend einer Norm (DIN EN 12207) klassifiziert wird. Das Ziel ist ein kontrollierter Luftaustausch zwischen Flügel und Stock. Allerdings sollte die Luftdurchlässigkeit nicht zu hoch sein, da sonst ein hoher Wärmeverlust und Luftströme im Gebäude herrschen. Außerdem besteht bei einem zu großen Luftaustausch die Gefahr, dass beim Aufeinandertreffen der kalten Außenluft mit der warmen Innenluft Kondenswasser entsteht, welches sich an den Oberflächen absetzt und so zu Schimmelbildung führen kann. [17]

Im Fensterflügel selbst befindet sich ein weiterer Falz. Dieser sogenannte Glasfalz beschreibt eine Aussparung im Flügel zur Fixierung der Verglasung, welche mittlerweile weit komplexer als die ursprüngliche Einfachverglasung ausfallen kann.

### 2.2.3 Verglasung

Eine ab ca. 1950 verwendete Form der Verglasung ist die Einfachverglasung, bei der nur eine Glasscheibe im Flügelrahmen eingepasst ist. Diese Form bietet jedoch kaum Wärme- und Schallschutz und erfüllte somit nicht mehr die Mindestanforderungen, welche in der Wärmeschutzverordnung<sup>3</sup> festgelegt wurden. Dadurch sind Einfachverglasungen bei Neubauten nicht mehr zulässig und es mussten Alternativen mit höheren Dämmwerten entwickelt werden (siehe Abb. 2.8).

---

<sup>3</sup> Verordnung, welche bauliche Maßnahmen und Richtlinien zur Erreichung eines energiesparenden Wärmeschutzes festlegte. Trat in Deutschland erstmals 1977 und in Österreich 1980 in Kraft und wurde mehrmals aktualisiert. Mittlerweile wurde diese Verordnungen durch eine EU-Richtlinie, die Energieeinsparverordnung (EnEV), abgelöst.

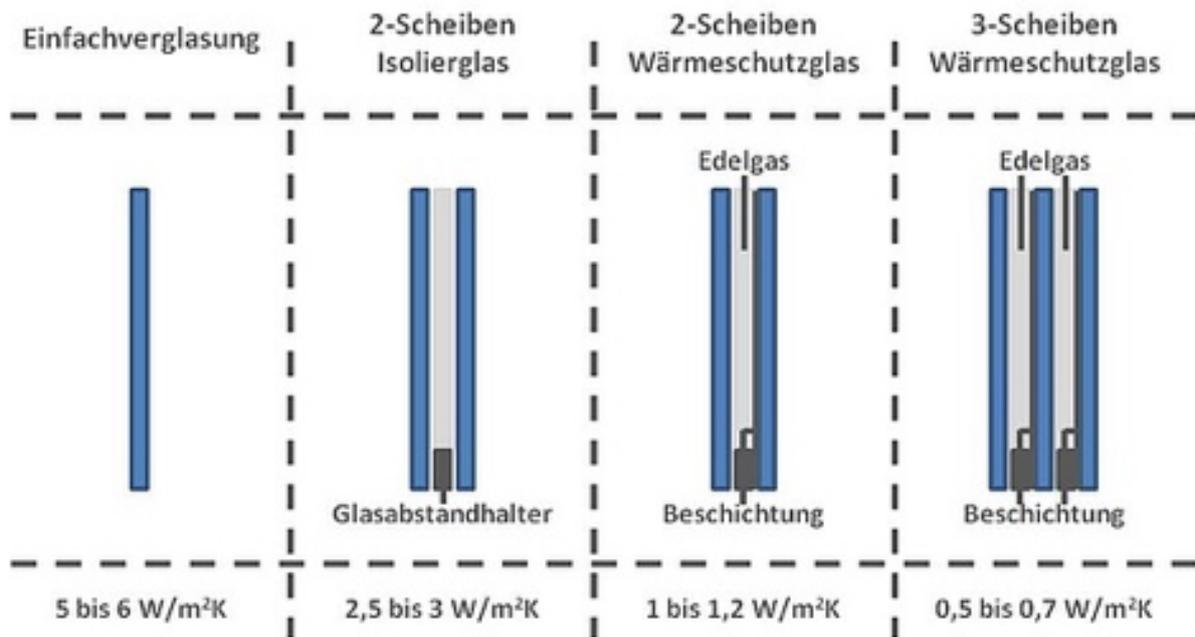


Abbildung 2.8 Entwicklung der Verglasung von Einfachfenstern [18]

#### ▪ Isolierglas:

Ein Isolierglas besteht aus mindestens zwei einzelnen Glasscheiben, welche mit einem gewissen Abstand zueinander fest zusammengesetzt werden. Zwischen den Scheiben entsteht somit ein Luftpolster, welches als Schall- und Wärmedämmung fungieren soll [19]. Das somit angestrebte Wirkprinzip wurde dabei von einer viel älteren Konstruktion, dem Kastenfenster, übernommen.

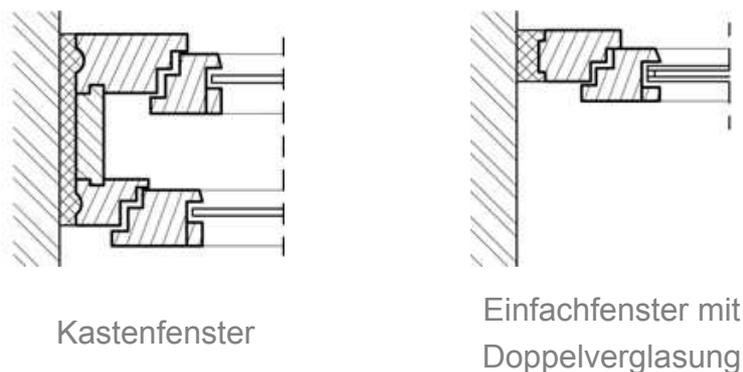


Abbildung 2.9 Entwicklung der Doppelverglasung (in Anlehnung an [13])

Diese modernere Art der Verglasung unterscheidet sich neben der kompakteren Bauweise aber vor allem darin, dass der mit Luft gefüllte Hohlraum mit einem sogenannten Randverbund, welcher gleichzeitig als Abstandhalter fungiert, luftdicht abgeschlossen wird. So soll verhindert werden, dass im Scheibenzwischenraum (kurz: SZR) weder Luft austreten noch Feuchtigkeit entstehen kann. Fenster mit dieser klassischen Doppelverglasung erzielen im besten Fall jedoch nur einen

Wärmedurchgangskoeffizienten<sup>4</sup> von 2,5 W/m<sup>2</sup>K, was seit ca. 1995 nicht mehr die Mindestanforderungen erfüllt. [19]

Um die geforderten niedrigeren Werte erzielen zu können, wurden weitere konstruktive Verbesserungsmaßnahmen unternommen, wodurch das Wärmeschutzglas entstand.

#### ▪ Wärmeschutzglas

Eine der wesentlichen Weiterentwicklungen dieser Verglasung ist der Einsatz von Low-E-Glas (Low-Emissivity-Glas), welches eine wärmereflektierende (niedrigemittierende) Schicht aufweist. So wird beispielsweise die im Scheibenzwischenraum liegende Seite der raumseitig verbauten Fensterscheibe beschichtet. Die verwendete Beschichtung aus Metall oder Metalloxid sorgt dafür, dass Wärmestrahlung in den Raum reflektiert wird, wodurch eine Minderung der Wärmeverluste durch die Verglasung erreicht wird. [20]

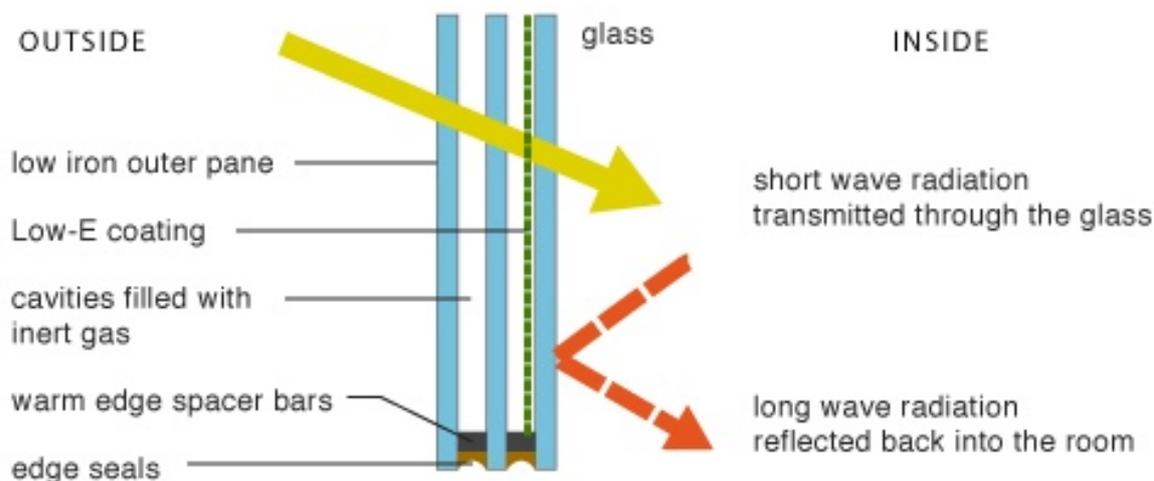


Abbildung 2.10 Funktionsprinzip einer Wärmeschutzverglasung [20]

Zusätzlich wird die Luftfüllung im SZR mit einer Edelgasfüllung ersetzt. Dazu werden hauptsächlich Argon oder Krypton verwendet, da diese eine niedrigere Wärmeleitung als Luft aufweisen. Außerdem kommen, wie im Funktionsprinzip abgebildet, nicht mehr nur 2-fach, sondern auch 3-fach Verglasungen vor, wodurch die Wärmedämmwirkung entsprechend Abb. 2.11 weiter verbessert wird. [20]

<sup>4</sup> Angabe über den Wärmeverlust in Form des Wärmestroms pro Fläche und Temperaturunterschied.

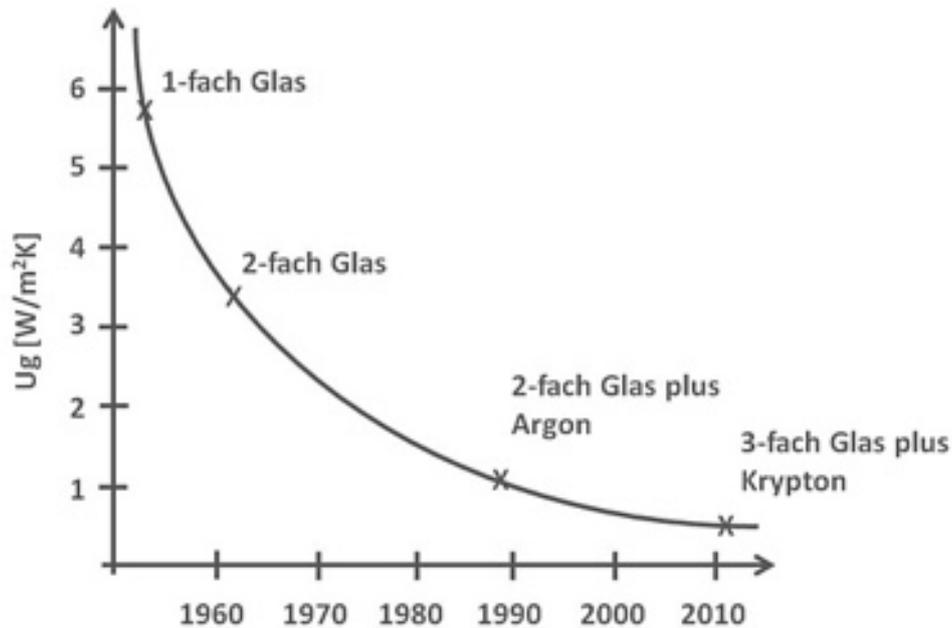


Abbildung 2.11 Entwicklung der Verglasung und deren Wärmedurchgangskoeffizienten [18]

An diesem gezeigten Trend ist ersichtlich, dass die Fenstertechnologie im Bereich der Verglasung bereits sehr ausgereift ist und bezogen auf die Wärmedämmung nur noch wenig Verbesserungspotential vorhanden ist.

Trotzdem wird mit der sogenannten Vakuum-Verglasung bereits ein nächster Innovationsschritt verfolgt. Dabei soll der Wärmeverlust von 2-fach Verglasungen durch das Evakuieren des Scheibenzwischenraums auf bis zu  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$  reduziert werden. Jedoch bringt das Erhalten des Vakuums Probleme mit sich, da im Bereich des Randverbundes extreme Gasdichtigkeit gefordert ist. Außerdem sind die Glasscheiben aufgrund des Unterdrucks einer enorm hohen Flächenbelastung ausgesetzt. Diese Last müsste im SZR durch kleine gläserne Abstandhalter aufgenommen werden, was wiederum die Wärmeverluste erhöhen und die Durchsicht beeinträchtigen könnte. [21]

Unabhängig von der gewählten Verglasung spielt deren Einbau im Fensterflügel eine wesentliche Rolle. Denn erst durch das sogenannte „Verklotzen“, wobei Klötzchen aus Hartholz, Hartgummi oder Neopren zwischen Glas und Flügelrahmen eingeschoben werden, erhält der Fensterflügel die eigentliche Steifigkeit. Die Anordnung muss dabei entsprechend der zugehörigen Norm (ÖNORM EN 12488) bzw. der Richtlinien des Glasherstellers erfolgen und ist ausschlaggebend dafür, wie das Eigengewicht auf die Fensterkonstruktion verteilt wird. [13]

Entsprechend der Glasgröße und der damit verbundenen Last ist ein geeignetes Material zu wählen, welches den Belastungen standhält.

## 2.2.4 Materialien

Wenn bei Fensterkonstruktionen vom Material gesprochen wird, ist damit meist der Werkstoff, aus dem Stock- und Flügelrahmen bzw. deren Profilmteile gefertigt wurden, gemeint. Heutzutage am weitesten verbreitet sind:

- Holz
- Kunststoff
- Holz-Kunststoff
- Aluminium
- Holz-Aluminium

### ▪ Holz

Der ursprünglich verwendete und somit älteste Profilwerkstoff ist Holz. Trotzdem entspricht diese Bauweise, aufgrund von laufenden Verbesserungen der Profilquerschnitte und Holzverarbeitung (z.B.: laminiertes Holz), noch immer dem heutigen Stand der Fenstertechnik. So erfüllen moderne hochwertige Holzfenster qualitativ gleiche Werkstoffanforderungen wie Materialien, welche erst in neueren Entwicklungen eingesetzt wurden. Da sich Holz leicht bearbeiten lässt und es eine hohe Festigkeit aufweist, eignet es sich auch für die Herstellung von größeren Fenstern. Neben den guten Wärmedämmwerten besitzt Holz den geringsten Wärmeausdehnungskoeffizienten unter den Fensterbaustoffen. [12]

Jedoch wirkt sich mit der Quell- und Schwindeigenschaft von Holz ein anderer Einflussfaktor negativ auf die Maßhaltigkeit aus. Um diese durch Feuchtigkeitsschwankungen hervorgerufenen Volumsänderungen zu reduzieren, werden die Holzprofile lackiert. Der so aufgetragene Holzschutz hat eine wesentliche Bedeutung für die Lebensdauer, da Holz als organischer Werkstoff prinzipiell einem Alterungsprozess unterliegt. [13]

Somit erfordern Holzfenster einen erheblichen Wartungsaufwand, um den witterungsbedingten Beanspruchungen (Feuchtigkeit, Temperaturschwankungen und UV-Strahlung) entgegenzuwirken. Eine Alternative mit deutlich geringerem Pflegeaufwand stellen die Kunststofffenster dar.

### ▪ Kunststoff

Die ersten Kunststofffenster wurden Mitte der 1950er Jahre entwickelt und lösten seither das Holz als weitverbreitetes Rahmenmaterial ab. Der wesentliche Entwicklungsschritt zur Erreichung der geforderten Dämmwerte war die Gestaltung der Profile als Mehrkammerprofil. Dazu werden die Profile aus einem Thermoplast extrudiert, wodurch die Hohlkammern entstehen. Die geringste Anzahl der Kammern, welche der Wärmestrom von innen nach außen durchqueren muss, dient dabei als Unterscheidungsmerkmal (siehe Abb. 2.12).

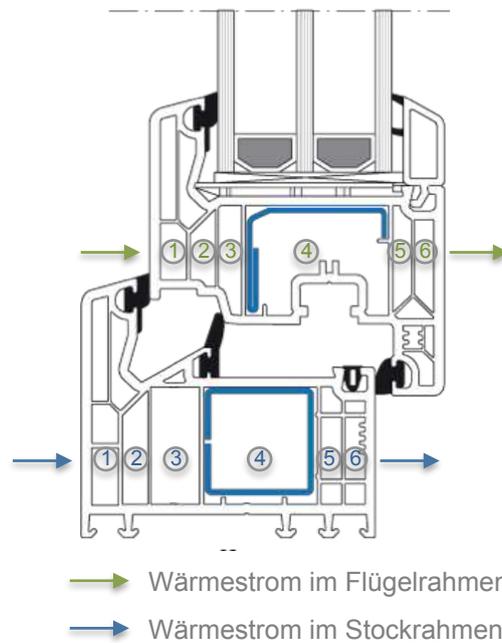


Abbildung 2.12 Bestimmung der Kammeranzahl bei Hohlprofilen  
(in Anlehnung an [22])

Heutzutage sind bereits Sechskammersysteme erhältlich, welche jedoch aufgrund der relativ geringen statischen Belastbarkeit vom verwendeten weichmacherfreien hochschlagzähen PVC-hart verstärkt werden müssen. Dazu werden in die Hohlkammern Aussteifungsprofile (Stahlarmerung) eingeschoben, wodurch die Biegesteifigkeit erhöht wird. Hier gilt es bei der Konstruktion die relativ hohe Wärmedehnung von PVC zu berücksichtigen, da dessen Ausdehnungskoeffizient im Vergleich zu Stahl oder Glas um ein Vielfaches höher ist. Dies ist auch der Grund, warum Kunststofffenster meist in Weiß oder hellen Farbtönen, welche Wärmestrahlung möglichst reflektieren, gehalten sind. Die Farbe muss dabei nicht als Anstrich aufgetragen werden, da PVC-hart durchgehend eingefärbt ist. Da das Material auch korrosionsbeständig, sowie ausreichend wetterfest und temperaturbeständig ist, ergibt sich bis auf die Reinigung kein Wartungsbedarf. Wesentlicher Nachteil gegenüber Holzfenstern ist die Beschränkung der Fenstergröße aufgrund der geringeren Stabilität von Kunststofffenstern. [12]

Bei dieser Gegenüberstellung sind die konträren Vor- und Nachteile der bisher genannten Werkstoffe ersichtlich. Es ist daher naheliegend, dass auch Profile, welche Holz- und Kunststoffkomponenten aufweisen, entwickelt wurden.

#### ▪ Holz-Kunststoff

Ziel dieser Kombination der beiden Werkstoffe ist es, die jeweiligen Vorteile in einem Fensterprofil zu vereinen. Während die tragenden Innenteile aus Holz gefertigt sind und so die nötige Stabilität aufweisen, werden die außenliegenden bewitterten Teile der Fensterkonstruktion aus Kunststoff gefertigt.

Diese Bauweise kann auch bei der Modernisierung von bestehenden Holzkonstruktionen angewendet werden. Bei dem sogenannten „Überkronen“ wird ein Kunststoffabdeckprofil auf die bereits bestehende Fensterkonstruktion aufgebracht. Voraussetzung ist jedoch eine fehlerfreie Materialsubstanz, sodass die vorhandene Holzkonstruktion beispielsweise keine Feuchtigkeitsschäden aufzeigen darf. [12]

Bei dieser Sanierungsmethode kann statt dem Kunststoff auch Aluminium verwendet werden, welches wiederum in heutigen Fensterkonstruktionen ebenfalls einen relevanten Werkstoff darstellt.

#### ▪ Aluminium

Im Fensterbau hat sich Aluminium erst in den letzten Jahren durchgesetzt, was sich in Form eines steigenden Marktanteils widerspiegelt. Größtes Einsatzgebiet stellen dabei Nichtwohnungsgebäude, wie beispielsweise Bürokomplexe, Schulen, Lager- oder Produktionshallen, dar.

Aluminiumfenster gewährleisten alleine schon durch die vorhandenen Materialeigenschaften (Korrosionsbeständigkeit, Stabilität und Festigkeit) eine lange Nutzungsdauer und Witterungsbeständigkeit. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Profiloberfläche zu veredeln (z.B.: eloxieren<sup>5</sup>). Weitere Vorteile von Aluminium gegenüber Holz bzw. Kunststoff sind, dass es sich bei Feuchtigkeit nicht verformt und nicht durch extreme Kälte oder Hitze versprödet. Da dieser Werkstoff aber eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist, wurden Hohlprofile mit Kunststoffeinsätzen entwickelt. Diese thermisch getrennten Aluminiumprofile garantieren eine hohe Wärmedämmung. [12]

Diesen Vorteilen stehen jedoch die relativ hohen Investitionskosten gegenüber, wobei berücksichtigt werden muss, dass wegen des minimalen Wartungsbedarfs nur geringe Folgekosten zu erwarten sind. Eine Kompromisslösung dieser Aspekte wird durch die gemeinsame Verwendung mit Holz erreicht.

#### ▪ Holz-Aluminium

Wie bei der Kombination von Holz und Kunststoff stellt die Verwendung von Holz und Aluminium eine Weiterentwicklung zur Verbesserung der Langlebigkeit und Witterungsbeständigkeit von Holzprofilen dar (siehe Abb. 2.13). Entwicklungsgrundlage waren dabei die Deckschalen von thermisch getrennten Aluminiumprofilen, welche dann für den neuen Verwendungszweck als Materialkombination adaptiert wurden. Im Vergleich zu Holz-Kunststofffenster, welche einen relativ geringen Marktanteil haben, bringen die kostenintensiveren

---

<sup>5</sup> Oberflächenbehandlung zur Erzeugung einer oxidischen Schutzschicht

Holz-Aluminium Profile zwar höheres Gewicht, aber auch eine bessere Langlebigkeit mit sich. [13]



Abbildung 2.13 Holz-Aluminium Fenster [23]

Weitere mögliche Materialien im Fensterbau sind Stahl, welcher hauptsächlich für große Fensterkonstruktionen mit hoher statischer Belastung (Schrägverglasung, Portal- und Fassadenbau) verwendet wird, oder Verbundwerkstoffe. Letztere beschreiben ein Holzfasern-Kunststoffgemisch, welches beispielsweise unter dem Handelsnamen „Fibrex“ seit 15 Jahren am amerikanischen Markt eingesetzt wird. [12] [24]

Dieser Überblick der entwickelten und heute eingesetzten Materialien zeigt nicht nur die große Auswahlmöglichkeit, sondern auch den hohen Entwicklungsgrad der Fensterprofiltechnik. So können die grundlegenden bauphysikalischen Anforderungen mit nahezu allen Materialien erfüllt werden. Erst wenn spezielle Forderungen, wie z.B.: besonders große Abmessungen oder extreme Beanspruchungen, erfüllt werden müssen, kommen manche Materialien als alleiniger Werkstoff nicht mehr in Frage. Doch selbst in diesem Fall könnte der Werkstoff, welcher sich alleine nicht eignen würde, in Form einer bereits bewährten Materialkombination den Anforderungen gerecht werden. Daher dienen die Investitions- und die zu erwartenden Erhaltungskosten sehr oft als Entscheidungsgrundlage, was dazu führt, dass heutzutage das Kunststofffenster den größten Marktanteil aufweist:

Tabelle 2.1 Schätzung der Marktanteile von Fensterwerkstoffen in Deutschland [12]

Fensterwerkstoff	1998	2006	2008	2013
Holz	29	20	19,4	15,5
Kunststoff	47	57	56,3	57,3
Aluminium	15	18	19,2	18,2
Holz - Aluminium	3	5	5,1	9,0

Werte gerundet in %

Aus dieser Tabelle 2.1 ist jedoch auch ersichtlich, dass sich der für 2013 geschätzte Marktanteil des Holz-Aluminium-Fensters im Vergleich zu 2008 fast verdoppelt hat und somit den größten Anstieg verzeichnet. Dieser Trend lässt darauf schließen, dass für die spätere Produktentwicklung des Fensterprofils auch die Verwendung von Materialkombinationen eine Rolle spielen kann.

Entscheidender Faktor bei der Materialwahl ist oft die Lebensdauer, welche sich jedoch in den verschiedensten Literaturen und Herstellerangaben stark unterscheidet. Ritter ermittelte aus diesem Grund jeweils eine mittlere Lebensdauer anhand einiger Literaturangaben ([25]):

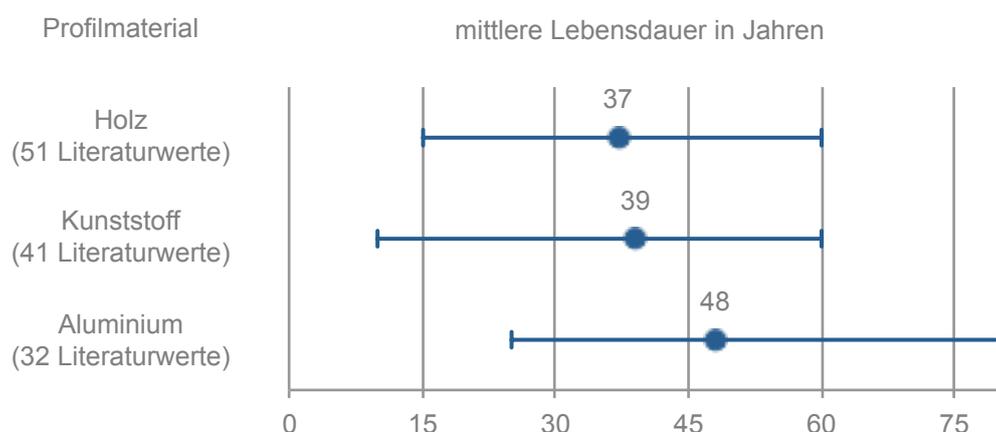


Abbildung 2.14 Vergleich der mittleren Lebensdauer in Abhängigkeit des Profilmaterials (Werte aus [25] übernommen)

Neben diesem Kriterium ist im Zuge dieser Arbeit vor allem auch der ökologische Aspekt ein wichtiger, weswegen auch der Umwelteinfluss der Rahmenmaterialien während der Herstellung im Vergleich zu den restlichen Komponenten betrachtet wird. Da sich die Werte diesbezüglich ebenfalls stark unterscheiden, wurde die Auswertung des Instituts für Fenstertechnik Rosenheim ([26]), welche Angaben für Holz-, Kunststoff- und Alufenster enthält, herangezogen. Im Sinne der Vergleichbarkeit wird der Umwelteinfluss während der Herstellung (angegeben über den Primärenergiebedarf<sup>6</sup>) absolut aus der Studie übernommen und zusätzlich auch durch die Lebensdauer dividiert dargestellt. Für diese Normierung werden für Fensterflügel/-rahmen, Verglasung sowie dem Zusammenbau die mittleren Lebensdauerwerte aus Abb. 2.14 übernommen. Der Beschlag und die Dichtungen müssen meist deutlich früher gewechselt werden, weswegen hierfür jeweils 25 Jahre angenommen wurden.

<sup>6</sup> Mittels Richtwerten/Umrechnungsfaktoren bestimmter Energiebedarf, als Maß für die Umweltbelastung.

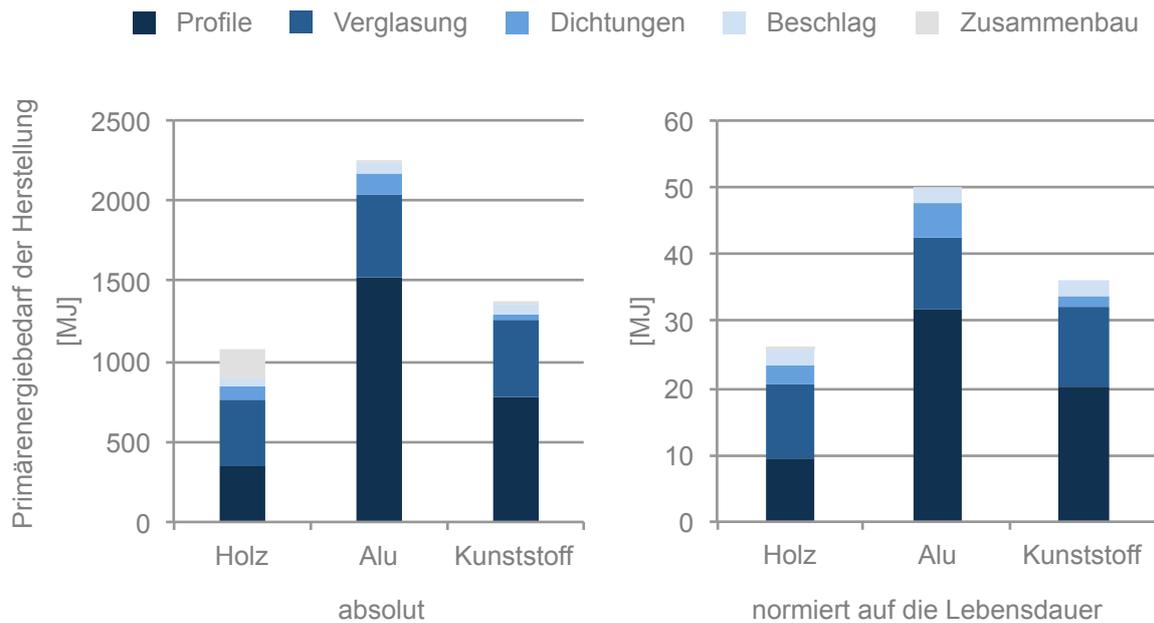


Abbildung 2.15 Vergleich des Umwelteinflusses in Abhängigkeit des Profilmaterials (Absolutwerte aus [26])

Der Materialvergleich in Abb. 2.15 zeigt, dass Holz, auch wenn man die unterschiedliche Lebensdauer berücksichtigt, den geringsten Umwelteinfluss bei der Herstellung verursacht. Jedoch ist hier weder die Instandhaltung, welche bei Holzfenstern durch regelmäßige Oberflächenenerneuerung am intensivsten ausfällt, noch das Wieder- bzw. Weiterverwendungspotential berücksichtigt. Aus diesem Grund kann ein Material nicht allgemein gültig als das bestgeeignetste bestimmt werden, ohne das Wieder- bzw. Weiterverwendungspotential, welches sich erst durch die Fensterkonstruktion ergibt, zu kennen.

Wie diese Fensterkonstruktion aussehen wird, ist jedoch auch von dessen Umgebung abhängig. Aus diesem Grund darf man die Entwicklungsgrundlage nicht alleine mit Betrachtungen des Produkts selbst bilden, sondern muss auch prüfen, ob etwaige Randbedingungen die Produktgestaltung beeinflussen. So spielt es am Beispiel des Fensters eine wesentliche Rolle, wie diese eingebaut werden und ob daraus spezielle Anforderungen an die Konstruktion resultieren.

## 2.3 Einbausituation

Der Einbau des Fensters wird auch als „Anschlagen“ bezeichnet, sodass entsprechend der angestrebten Lage des Fensters in der Laibung die unterschiedlichen Anschlagarten unterschieden werden.

### 2.3.1 Anschlagarten

Dabei unterscheidet man grundsätzlich zwischen dem Außenanschlag, stumpfen Anschlag und Innenanschlag.

- **Außenanschlag:**

Dabei erfolgt die Fenstermontage gemäß Abb. 2.16 von außen, was zusätzliche Hilfsmittel (z.B.: Montagegerüst) erfordert. Da das Fenster direkt im bewitterten Bereich liegt, bringt diese Einbauweise höhere konstruktive Anforderungen zur Erfüllung der Schlagregendichtheit mit sich.

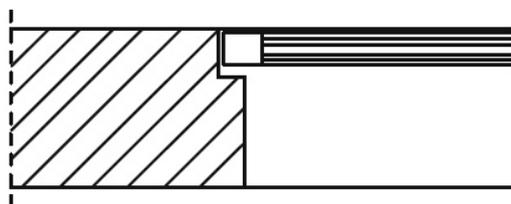


Abbildung 2.16 Prinzipskizze – Außenanschlag [13]

- **Stumpfer Anschlag:**

Diese in Abb. 2.17 dargestellte Bauweise erfordert keinen Mauerwerkanschlag. Dadurch ist das in die Laibung zurückgesetzte Fenster besser gegen Schlagregen geschützt als beim Außenanschlag. Jedoch benötigt die Fensterlaibung eine zusätzliche Wärmedämmung und die, durch das Fehlen der Stufe, durchgehende Fensteranschlussfuge lässt sich schlechter abdichten. ([12], [27])

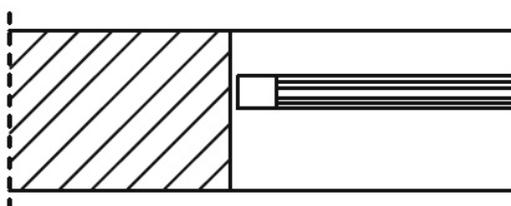


Abbildung 2.17 Prinzipskizze - stumpfer Anschlag [13]

- **Innenanschlag:**

Das Anschlagen des Fensters von innen hat den Vorteil, dass dadurch der Rahmen teilweise von der Bausubstanz überdeckt wird (siehe Abb. 2.18). Dadurch ergibt sich eine gute Wärme- und Schalldämmung der Anschlussfuge und ein guter Schutz gegen Schlagregen.

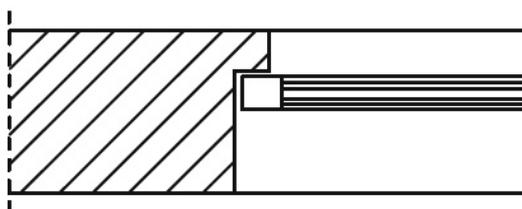


Abbildung 2.18 Prinzipskizze – Innenanschlag [13]

Da bei einer Ausführung eines stumpfen Anschlages die Notwendigkeit des aufwändigeren Mauerwerksanschlages entfällt, stellt dieser Anschlagstyp den Standard dar. So findet man derzeit viele Systeme, welche sich nur für einen Stumpfanschlag eignen [28]. Je nachdem, welche Randbedingungen (z.B.: Bauweise) für die spätere Produktentwicklung gewählt werden, kann jedoch auch der Innen- oder Außenanschlag von Bedeutung sein.

Unabhängig von der gewählten Anschlagsart muss der Einbau möglichst genau erfolgen, um die Funktionstüchtigkeit und eine möglichst hohe Lebenserwartung garantieren zu können.

In diesem Zusammenhang stellt die geringere Maßgenauigkeit des Rohbaues, aufgrund des normgemäß größeren Toleranzbereichs, ein großes Problem dar. Zusätzlich erschweren nachträgliche Verformungen angrenzender Bauteile (Durchbiegung von Stürzen und Decken, Kriechen und Schwinden von Betonbauteilen usw.) und materialbedingte Längenänderungen von Fensterteilen die Ausführung eines einwandfreien Anschlusses zwischen Fenster und Mauerwerk. [21]

Diese Ungenauigkeiten erfordern daher eine Fensterproduktion entsprechend der auf der Baustelle tatsächlich abgenommenen Naturmaße der Öffnung. Aufgrund der daraus resultierenden langen Stehzeiten im Fassadenausbau, wurde mit dem Blindstock eine Alternative entwickelt.

### 2.3.2 Blindstock

Blindstöcke sind vorbereitete Montagerahmen, welche maßhaltig in den Rohbau eingesetzt werden (vgl. Abb. 2.19 – rechts). Diese können nach einer Abnahme der tatsächlichen Maße des Rohbaus rasch gefertigt und eingebaut werden, sodass der weitere Bauablauf nicht mehr durch die Fensterproduktion aufgehalten wird.

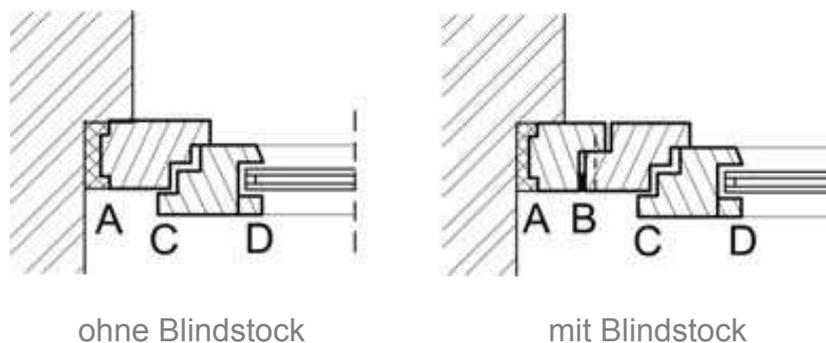


Abbildung 2.19 Einbaumöglichkeiten des zu öffnenden Fensters  
(in Anlehnung an [13])

Das eigentliche Fenster wird dann erst nach der Herstellung der Fassaden- und Innenausbauanschlüsse maßhaltig in den Blindstock versetzt. Dies bringt den Vorteil mit sich, dass eine Verschmutzung oder Beschädigung während dieser Arbeiten

vermieden wird. Nachteilig zu verzeichnen sind jedoch der erhöhte Material- und Arbeitsaufwand, sowie die kleinere Glasfläche bei gleicher Rohbaulichte<sup>7</sup>. In diesem Zusammenhang ergibt sich durch den zusätzlichen Bauteil in der Öffnung eine größere Wärmebrücke<sup>8</sup>. [13]

Um Wärmebrücken zu vermeiden, gibt es daher generelle Empfehlungen das Fenster in die Fassadendämmung zu integrieren, indem Laibung und Rahmen vom Dämmstoff überdeckt werden. [29] Auch wenn diese Vorgehensweise Vorteile während der Nutzung hat, sollte man die Auswirkungen auf die Nachnutzung nicht außer Acht lassen. So ist fraglich, ob dieser Aufbau eine zerstörungsfreie Demontage der gesamten Fensterkonstruktion beeinträchtigt oder sogar ausschließt. Dieser Punkt ist generell als kritisch zu betrachten, da Fenster aufgrund der verwendeten Befestigungsmittel (Montageschrauben/-Kleber, Dichtbänder/-stoffen, Füllschaum,... ) und den anschließenden Putzarbeiten fix im Mauerwerk eingebettet sind. Die Rückbaufähigkeit eines Produkts stellt jedoch einen essentiellen Punkt der Kreislauffähigkeit dar.

Somit wird ersichtlich, dass eine umfassende Betrachtung notwendig ist, um die Ausgangslage hinsichtlich der Kreislauffähigkeit einzuschätzen. Für eine möglichst vollständige Entwicklungsgrundlage soll deswegen der derzeitige Stand der Technik an einem konkreten Beispiel erhoben werden. Zu diesem Zweck erklärte sich mit Internorm, Europas marktführender Hersteller, bereit, einen branchennahen Einblick zu geben.

## 2.4 Ausgangssituation am Beispiel Internorm

In einer Diskussionsrunde am 23.10.2018 mit Herrn Ing. Engelbert König (Leiter der Produktentwicklung) wurden die derzeitigen Produktions- und Montageabläufe bei Internorm besprochen, um so einen praxisnahen Überblick des Produktlebenszyklus aus Herstellersicht zu erhalten. Diese Informationen können zusammenfassend in die 3 Phasen des Value Hills (Up-, Top-, Downhill) eingeteilt werden.

### 2.4.1 Wertschöpfungsphase – Uphill

Die Wertschöpfung beginnt bereits mit der Planung und Konstruktion des Fensters. Dabei handelt es sich jedoch, aufgrund der extremen Variantenvielfalt, längst nicht mehr um ein standardisiertes Bauteil in Einheitsgröße.

#### ▪ **Abmessungen:**

Neben der Vielzahl an Auswahlmöglichkeiten (Öffnungsart, Beschlagart, Glastyp, Farbgestaltung sämtlicher Komponenten innen und außen, Einbauart, ... ) können

<sup>7</sup> Größe der Maueröffnung eines Bauwerks vor dem Verputzen

<sup>8</sup> Bereich in einem Bauteil oder Gebäude, in dem die Wärme schneller nach außen übertragen wird als in der angrenzenden Umgebung

auch die Abmessungen komplett frei gewählt werden, wodurch sich derzeit eine Fertigung mit der Losgröße von 1 ergibt.

#### ▪ **Produktion**

Bei Internorm erfolgt die Produktion aller Komponenten direkt am Standort, wodurch Zwischentransporte während des Herstellungsprozesses gänzlich entfallen. Einzig das Floatglas für die Herstellung des Isolierglases wird aus Deutschland bezogen, da es in Österreich keinen Zulieferer gibt.

#### ▪ **Verglasung:**

Isolierverglasungen weisen neben der niedrigen Emissivität der einzelnen Glasscheiben sehr gute Wärmedurchgangskoeffizienten auf, weswegen das Optimierungspotential auch seitens der Fensterhersteller als bereits sehr ausgereizt eingestuft wird. Als derzeit denkbare Verbesserungsansätze kann jedoch die bereits thematisierte Vakuumverglasung, sowie der Einsatz von speziellen Folien genannt werden. Mit letzteren wäre, entsprechend der Einschätzung von Hrn. König, bei dementsprechender Entwicklung sogar eine Reduktion von 3-fach auf 2-fach Verglasung vorstellbar.

Eine weitere Entwicklung bei Internorm betrifft den Einbau der Verglasungseinheit in den Flügelrahmen. Um diesen Prozess zu erleichtern wird die Isolierverglasung nicht mehr verklotzt, sondern eingeklebt, wie es auch in der Automobilindustrie bei Windschutzscheiben üblich ist. Dies wirkt sich zwar positiv auf die Stabilität und den Einbruchschutz aus, bringt jedoch große Nachteile hinsichtlich der Zerlegbarkeit von Verglasung und Profiltteilen.

#### ▪ **Profiltteile**

Bei den Profilen zur Herstellung von Stock- und Flügelrahmen ergibt sich durch die verschiedensten Modellvarianten eine extreme Teilevielfalt. Am Beispiel der Kunststofffenster macht sich dies durch 300 verschiedene Profilwerkzeuge bemerkbar. Der an diesen Profiltteilen befestigte Beschlag ist hingegen heutzutage weitgehend vereinheitlicht.

#### ▪ **Beschläge:**

Die Standardisierung der Beschlagstechnik erfolgte in Form des Euronut Systems, welches aufgrund der normierten Einbausituation von den verschiedenen Herstellern miteinander kompatibel und somit austauschbar ist. Jedoch gibt es mit der I-tec Verriegelung auch hier eine firmeninterne Weiterentwicklung.

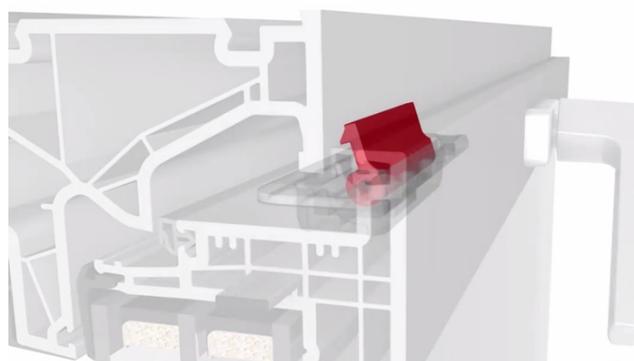


Abbildung 2.20 Funktionsprinzip der I-tec Verriegelung [23]

Dabei wird über das Gestänge die in Abb. 2.20 in rot hervorgehobene Klappe ausgelöst und mit dem Fensterrahmen in Eingriff gebracht. Dadurch wird der Fensterflügel gegen den Fensterstock gedrückt und so ein Öffnen verhindert.

#### ▪ **Blindstock:**

Die Blindstockkonstruktion wäre für Holz- und Alukonstruktionen auch aus Herstellersicht sehr erstrebenswert, da diese während der Bauphase bei Verschmutzungen (z.B.: Mörtel) im Gegensatz zu PVC-Fenstern sehr empfindlich sind. Diese derzeitige Form der Blindstockkonstruktion konnte sich jedoch nicht durchsetzen. Hauptgrund dafür ist der zeitlich getrennte Einbau von Blindstock und Fenster, wodurch sich Anfahrt bzw. Zeitaufwand verdoppeln und somit hohe Montagekosten resultieren.

#### ▪ **Montage**

Als kritischer Punkt bei der Montage wurde vor allem der Fachkräftemangel genannt, da immer weniger Leute dieser Tätigkeit nachgehen wollen. Dies lässt sich vor allem damit begründen, dass Fenster, trotz der hohen Gewichte, noch immer per Hand versetzt werden und der Ablauf des Fenstereinbaus nicht wirklich weiterentwickelt bzw. erleichtert wurde. Hinzu kommt, dass bei der Schnittstelle zwischen Mauerwerk und Fenster mit dem anschließenden Dämmen und Verputzen viele Gewerbe aufeinandertreffen. Aus diesen Gründen gestaltet sich der Bauteilanschluss sehr kompliziert. Die Qualität des Einbaus beeinflusst jedoch stark die Lebensdauer und somit wie lange sich das Fenster in Verwendung befindet.

### 2.4.2 Verwendungsphase – Tophill

Die Tophill-Phase beginnt mit der ersten Nutzung des Fensters. Bei der vorangehenden Kaufentscheidung wäre naheliegend, dass die Wärmedämmung als eine der Hauptfunktionen das entscheidendste Kriterium darstellt. Außerdem gibt es mit dem U-Wert hierfür eine quantifizierbare Größe.

- **Wärmedämmung:**

Der Wärmedurchgang wird in  $\text{W/m}^2\text{K}$  angegeben und entspricht somit der Energie (J), welche pro Sekunde, Fläche ( $\text{m}^2$ ) und Temperaturunterschied (K) durch eine einzelne Komponente bzw. die Gesamtkonstruktion strömt. Bei Fenstern von Internorm liegt dieser Wärmedurchgangskoeffizient zwischen  $0,61 \text{ W/m}^2\text{K}$  und  $0,79 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Solche U-Werte bieten aber, wie auch schon in Kapitel 2.2.3 bei der Verglasung thematisiert, nur noch wenig Verbesserungspotential, weswegen andere Anforderungen in den Fokus rücken und zu deren Erreichung beim U-Wert Abstriche im Zehntelbereich in Kauf genommen werden. Außerdem nehmen die Wärmeverluste über die Nutzungsdauer meist ohnehin zu, da sich durch Undichtheiten oder schlechtes Schließverhalten ein erhöhter Luftwechsel ergibt. Dies lässt sich in vielen Fällen auf die fehlende Wartung zurückführen.

- **Wartung**

Theoretisch wird eine jährliche Wartung der Beschläge empfohlen, jedoch wird dies in der Realität nicht praktiziert, da der im Rahmen eingestanzte Hinweis nicht wahrgenommen wird. Erst wenn Fehlfunktionen, wie ein schlechtes Schließverhalten oder Zugserscheinungen, auftreten, wird die Wartung oder ein Austausch des Beschlags initiiert. Diese Fälle treten typischerweise bei überproportionaler Beanspruchung ein, da Drehkippschläge zwar für 20 000 Betätigungen ausgelegt und getestet werden, diese Tests aber ohne Berücksichtigung von Umwelteinflüssen unter Laborbedingungen stattfinden. Die Lebensdauer der Rahmenkonstruktionen ist hingegen weit größer.

- **Lebensdauer:**

Die technische Lebensdauer wird von Internorm auf 50 – 60 Jahre geschätzt, die Nutzungsdauer liegt jedoch weit darunter. Denn in der Praxis erfolgt ein Fenstertausch heutzutage meist schon, wenn das Fenster nicht mehr dem Stand der Technik entspricht, oder es im Zuge einer Fassadenerneuerung die gestalterischen Ansprüche nicht mehr erfüllt. Dichtungen erreichen, neben den Beschlagsteilen, diese Lebensdauerwerte nicht und müssen bereits früher ausgetauscht werden. Bei der Verglasung ist als einzige Abnützungerscheinung der Verlust von Füllgas zu nennen, welcher jedoch bei Argon (Standard, da Krypton sehr teuer ist) vernachlässigt werden kann.

- **Austausch/Reparatur**

Prinzipiell sind heute bereits diverse Komponenten (Beschlag, Dichtungen, Verglasung, Fensterflügel) austauschbar. Jedoch wird dieses Angebot aufgrund der hohen Kosten für die Arbeitsleistung des Austauschs in der Praxis meist nicht wahrgenommen. So wird der Tausch eines Fensterflügels meist nicht durchgeführt, da sich dessen Oberfläche und Farbe nach gewisser Nutzungsdauer stark vom fix verbauten Rahmen unterscheiden können. Der Glasaustausch hingegen ist wiederum,

aufgrund fehlender standardisierter Maße (Abnahme der Maße durch Fachpersonal) und der anspruchsvollen Tätigkeit (muss vor Ort eingeklebt werden), sehr teuer. Aus diesem Grund gelangen Fenster heute oft viel zu früh in die letzte Phase des Value Hills.

### 2.4.3 Nachnutzungsphase – Downhill

Es gibt Unternehmen, welche gebrauchte Kunststofffenster schreddern, um daraus erneut Kunststoffgranulat zu gewinnen. Jedoch liegt die Rücklaufquote von Altfenstern erst bei ca. 30 %. Bei Internorm wird ausschließlich Frischmaterial, welches auf Calcium Basis stabilisiert wird, verwendet. Dadurch soll die Verwendung von mit Schwermetallen (Blei, Cadmium) stabilisiertem PVC ausgeschlossen werden. Der bei der Produktion anfallende Verschnitt wird jedoch recycelt. Ebenfalls recycelt wird Altglas, welches bei den Zulieferern in den Herstellungsprozess von Floatglas einfließt.

Generell lässt sich sagen, dass Recycling und Reparatur aufgrund von zunehmenden Verklebungen und der verwendeten Materialverbunde (z.B.: Holz-Schaum-Alu) bei modernen Konstruktionen schwieriger durchführbar ist als bei alten Konstruktionen. Letztere waren durch den Einsatz von Verschraubungen und Klips-Verbindungen besser zerlegbar. Die zunehmende Relevanz von Klebeverbindungen lässt sich meist auf Optimierungen des Produktionsablaufs zurückführen. Neben dieser Tendenz zu Klebeverbindungen gibt es noch weitere Entwicklungstrends, welche für die weitere Produktentwicklung zu berücksichtigen sind.

## 2.5 Branchenrelevante Entwicklungstrends

Da es eine Vielzahl an Entwicklungen im Bereich des Fensters gibt, wird im folgenden Abschnitt nur ein kleiner Auszug der Trends, welche für das thematisierte Drehkipfenster relevant sein könnten, betrachtet.

### 2.5.1 Fensterspezifische Entwicklungstrends

Wie bereits erwähnt ist der Megatrend vom U-Wert als alleiniges Kriterium jeder Fensterinnovation Vergangenheit. Grund dafür ist, neben dem geringen Verbesserungspotential, dass die immer dichter werdenden Fenster ein anderes Problem zur Folge hatten – die Schimmelbildung. Diese ist vor allem dann kritisch, wenn das Fenster besser isoliert als das Mauerwerk und sich der Taupunkt dadurch in den Wandaufbau verlagert. Als Abhilfe legte man den Fokus auf das Lüften, und entwickelte voll automatisierte Lüftungssysteme. Letztere werden jedoch kaum vom Kunden angenommen, da dieser auch die Möglichkeit haben will, selbst zu lüften bzw. das Fenster zu öffnen. [30]

Ein Kompromiss und somit neuer Trend sind daher integrierte Lüftungssysteme, welche ergänzend zur manuellen Lüftung eingesetzt werden können. Ein Beispiel hierfür ist das in Abb. 2.21 dargestellte System von Internorm, welches im Stockrahmen angebracht ist.

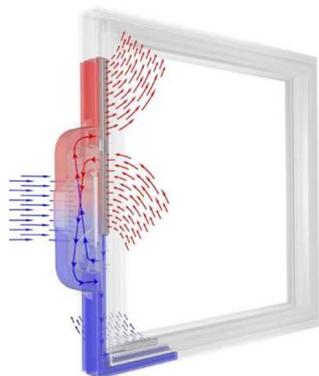


Abbildung 2.21 I-tec Lüftung von Internorm [23]

Solche wärmesparenden Lüftungseinrichtungen und das Kippen als manuelle Lüftungsmethode sind jedoch widersinnig [21]. Die Kritik an der Kippfunktion lässt sich vor allem auf deren falsche Anwendung, dem Dauerkippen, zurückführen. Auf Dauer gekippte Fenster sind eine äußerst ineffiziente Form der Lüftung und haben in den Heizperioden zur Folge, dass die Räume sehr stark auskühlen, was wiederum zu einem erhöhten Heizbedarf führt [31]. Das Stoßlüften ist im Vergleich dazu die deutlich bessere Variante. Somit könnte man in Frage stellen, ob die Kippfunktion überhaupt noch zeitgemäß ist, oder ob das Fenster der Zukunft ein reines Drehfenster ist und mit einer Lüftung kombiniert werden sollte.

Eine weitere Schwachstelle der Kippstellung ist der Einbruchsschutz, welcher zunehmend an Bedeutung gewinnt. Profis benötigen für ein gekipptes Fenster nur etwa 15 Sekunden, um dieses zu Öffnen und so in das Haus einzudringen. [32] Aus diesem Grund haben sich manche Firmen auf das sicherheitstechnische Nachrüsten von eingebauten Fenstern spezialisiert und auch die Norm in Bezug auf einbruchshemmende Bauteile wurde neu überarbeitet. So wurde mit der Einbruchnorm EN 1627 ein 6-stufiges Klassifizierungssystem, welches von RC 1 bis RC 6 reicht, eingeführt (vgl. Tab. 2.2).

Tabelle 2.2 Widerstandsklassen in Anlehnung an EN 1627

Widerstands- klasse	min. Widerstandszeit	zu erwartende Angriffsmethode
RC 1 N	keine manuelle Prüfung	Einsatz einfacher kleiner Werkzeuge und körperlicher Gewalt
RC 2 N	3 min	Einsatz einfacher Werkzeuge (z.B.: Schraubenzieher, Zange, Keil,... )
RC 2		
RC 3	5 min	zusätzlicher Einsatz einer Brechstange, eines weiteren Schraubenziehers, sowie diverser Handwerkzeuge (z.B.: Hammer, Splinttreiber, mechanischer Bohrer,... )
RC 4	10 min	zusätzlicher Einsatz eines schweren Hammers, einer Axt, eines Stemmeisens und eines tragbaren batteriebetriebenen Bohrers
RC 5	15 min	zusätzlicher Einsatz von Elektrowerkzeugen (z.B.: Bohrer, Loch-/Stichsäge, Winkelschleifer)
RC 6	20 min	zusätzlicher Einsatz von Spalthämmern und leistungsstarken Elektrowerkzeugen

Derzeitiger Mindeststandard ist die Sicherheitsklasse RC 2 N, wobei der Buchstabenzusatz „N“ angibt, dass hier kein direkter Angriff auf die Verglasung erfolgt. Bei verklotzten Fensterflügeln mit Glashalteleiste stellt aber genau dieses Eindringen der Verglasungseinheit eine große Schwachstelle dar. Zur Verbesserung der Fenstersicherheit liegt der Trend bei mechanischen, sowie elektronischen Maßnahmen zur Einbruchshemmung.

Generell ist bemerkbar, dass das Fenster immer weiter technisiert wird. So hat neben den bereits erwähnten Lüftungssystemen vor allem der Sonnenschutz eine große Bedeutung. Während Rollläden, wie die völlig solarbetriebene und somit autarke I-tec Beschattung von Internorm, derzeit noch ein eigenständiges Produkt darstellen, ist immer öfter davon zu hören, solche Zusatzfeatures in die ursprüngliche Fensterkonstruktion zu integrieren. Bereits seit den 1980er Jahren gibt es Fenster,

bei denen die Abdunkelung mit photochromem<sup>9</sup> oder thermochromem<sup>10</sup> Glas umgesetzt wurde [33]. Heutzutage ist es dank elektrochromem Glas sogar möglich, diese Verdunkelungseffekte steuerbar zu machen. Durch das Anlegen von geringen externen Spannungen (<5V) wird eine bläuliche Färbung des Glases erzielt, wodurch die Licht- und Energietransmission variabel verändert werden kann. Die blaue Farbtonung sorgt dabei für ein Optimum von Sonnenschutz und Tageslichtnutzung. Ist keine Spannung angelegt, behält das Glas die gegenwärtige Farbe. Erst während einer neuerlichen Einfärbungsphase oder beim Herstellen vollständiger Transparenz wird erneut Strom benötigt. Die dabei zu Grunde liegenden elektrochromen Effekte in Abb. 2.22 werden durch dünne Beschichtungen (z.B.: Wolframoxid) hervorgerufen. [33], [34], [35])

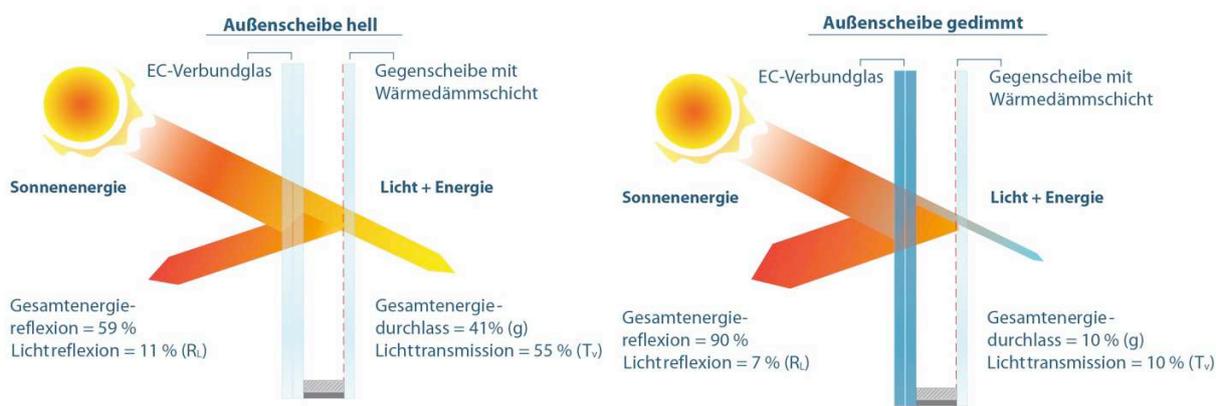


Abbildung 2.22 Funktionsprinzip von elektrochromem Glas [34]

Geregelt wird das System entweder manuell oder komplett automatisch mithilfe von Helligkeitssensoren. In welche Richtung dieser Technologietrend weiterverfolgt wird, zeigt das von der University of California in Berkeley entwickelte photovoltaisch aktive Fenster, welches im verdunkelten Zustand zusätzlich Strom erzeugt [36].

Ein weiteres Beispiel im Bereich der Verglasung sind im Randbereich angebrachte Heizelemente, wodurch die Kondenswasserbildung und somit Feuchtigkeitsschäden (z.B.: Schimmelbildung) vermieden werden sollen [37]. Anhand dieser Technologien ist also klar ersichtlich, dass es in der Fensterbranche generell eine große Tendenz dazu gibt, Zusatzfunktionen in die Verglasung zu integrieren. Dadurch steigt die Komplexität des Fensteraufbaus trotz der zunehmenden Anzahl an Funktionen nicht weiter an.

Dies spiegelt auch sehr gut die ästhetischen Forderungen nach einem möglichst minimalistischen Design mit geringen Ansichtsbreiten wieder. Weiters ist aus gestalterischer Sicht zu beobachten, dass die Fensterflächen immer größer werden. Durch die damit einhergehende Zunahme des Gewichts wird jedoch die körperlich

<sup>9</sup> (reversible) Änderung der Farbe/Tönung unter Einwirkung von UV-Licht

<sup>10</sup> (reversible) Änderung der Farbe/Tönung bei Erwärmung/Temperaturänderung des Materials

bereits sehr anstrengende Tätigkeit des Fenstereinbaus noch fordernder. Als vielversprechendste Abhilfe hierfür gilt der industrielle Bau, welcher neben der Arbeitserleichterung auch noch die Einbau- und Lagegenauigkeit erhöhen soll.

## 2.5.2 Industrielles Bauen

Der industrielle Bau zeichnet sich vor allem durch eine hohe Wiederholbarkeit der Einbau- und Lagegenauigkeit aus. Dadurch ergibt es ein Potential hinsichtlich der Einführung von Standardgrößen. Außerdem könnte die Fenstermontage in den Produktionsprozess mit einbezogen werden und durch maschinelle Unterstützung erleichtert werden. Um einen Überblick bzgl. des technischen Standes zu erhalten, werden die 3 gängigsten Bauweisen (Holzriegel-, Massiv- und Betonbauweise) bzw. beispielhaft dort bereits angewendete Formen des industrialisierten Bauens betrachtet.

### ▪ Holzriegelbauweise

Holzriegel- oder auch Holzrahmenbau beschreibt eine Bauweise, bei der ein Stabwerk aus Pfosten (senkrecht) und Riegel (waagrecht) zur Lastabtragung dient. Je nach Vorfertigungsgrad wird diese Konstruktion bereits im Werk ein- oder beidseitig beplankt, die Zwischenräume mit Dämmstoffen ausgefüllt und teilweise bereits die notwendigen Installationen eingesetzt. [38]

Als Beispiel für die industrielle Fertigung wird das in Abb. 2.23 dargestellte Kombiwandsystem FRAMETEQ M-500 der Firma Homag betrachtet. Diese Arbeitsstation ermöglicht die Herstellung kompletter Riegelwerke inklusive dem Befestigen und allen Arbeiten an der Beplankung. Letzteres wird durch CNC gesteuerte Aufnahmen für Befestigungs- und Bearbeitungsgeräte (z.B.: Fräs- oder Sägeaggregat) ausgeführt, wodurch sehr hohe Genauigkeiten möglich sind. Weiters wird dieses System mit einer Fertigungsgeschwindigkeit von bis zu 1 Laufmeter pro Minute, bei maximalen Elementlängen von 12 m, beworben. [39]

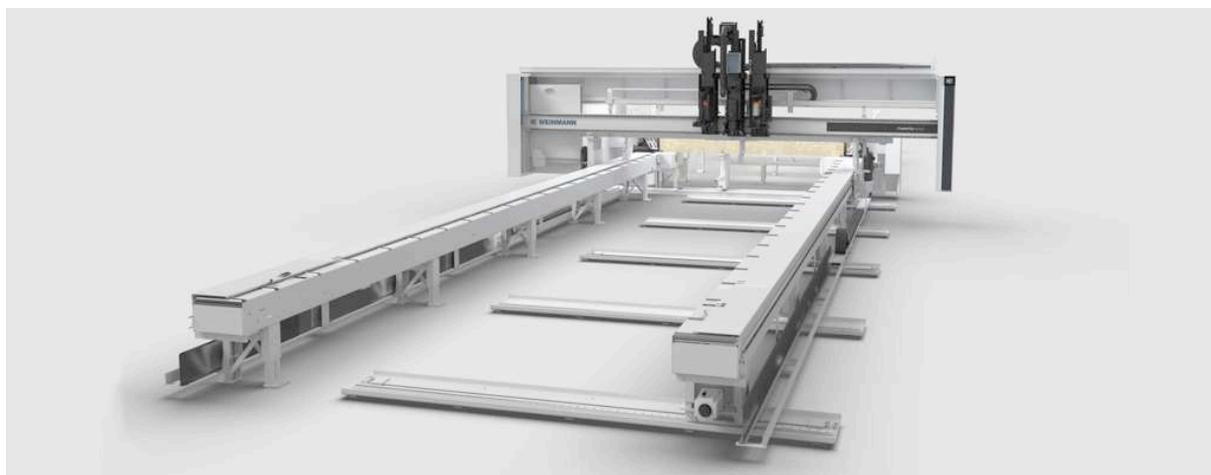


Abbildung 2.23 Kombiwandsystem FRAMETEQ M-500 [39]

Eingebunden in eine Fertigungslinie sollen geschlossene Wandelemente für bis zu 180 Häuser pro Jahr fertigbar sein. Nach oben sind beim Automatisierungsgrad jedoch keine Grenzen gesetzt. So können Systeme mit integriertem 6-Achs Industrieroboter zusammengestellt werden, was eine vollautomatische Riegelwerkserstellung ermöglicht. [39]

Neben dem Haupteinsatzgebiet, den Ein- und Mehrfamilienhäusern, finden solche vorgefertigten Holzriegelwände auch Anwendung im Hochbau. Zwar sind mehrgeschossige Gebäude in Holzbauweise brandschutztechnisch in Deutschland und Österreich auf 5 bzw. in der Schweiz auf 6 Geschosse beschränkt, jedoch betrachtet die zugehörige Holzbaurichtlinie nur Holzrahmenkonstruktionen. [40] Dass Kombinationsformen wie der Hybridbau, bei dem die Holzbauweise mit den Vorteilen anderer Materialien kombiniert wird, um einiges leistungsstärker sein können, zeigt beispielsweise das in Wien gebaute Holzhochhaus „HoHo“. Dieses ist mit 24 Stockwerken als weltweit höchstes Gebäude seiner Art geplant und weist einen Holzanteil ab dem Erdgeschoß von rund 75 % auf. [41]

Die in Massivholzbauweise seriell vorgefertigten Fassadenelemente zeigen auf, dass Holzelemente als Rahmenbedingung für das Fenster z.B. in Verbindung mit einem Gebäudekern aus Beton auch im Hochbau durchaus Berechtigung haben.

#### ▪ **Betonbauweise**

Auch die Herstellung in Betonbauweise vorgefertigter Wandelemente wird zunehmend industrialisiert. Aufgrund der größeren gestalterischen Anpassungsfähigkeit hinsichtlich der Hauptabmessungen, sowie bei Aussparungen für Einbauten, wird als Vertreter dieser Bauweise das Umlaufproduktionsverfahren näher betrachtet. Dabei durchläuft die Basisschalung (Palette) die einzelnen stationär angeordneten Arbeitsstationen im Sinne einer Fließfertigung. [38]

Als konkretes Beispiel dient eine bei der Bürkle-Baugruppe realisierte Umlaufanlage des Anlagenherstellers Weckenmann in Kooperation mit dem Automatisierungsspezialisten RIB SAA (siehe Abb. 2.24). Die Produktionsleistung wird mit bis zu 100 Paletten (max. Elementgröße: 10 m x 3 m x 0,4 m ) pro Tag angegeben und lässt sich auf die fortschreitende Automatisierung der einzelnen Stationen zurückführen. Neben Mattenschweißanlagen kommen spezielle Schalungsroboter, welche bestehende Schalungen scannen, abnehmen und manuell gereinigte Schalungselemente mittels schaltbarer Magnete präzise positionieren, zum Einsatz. Letzterer soll im Weiteren sogar zu einem Einbauteilroboter, welcher beispielsweise Elektro-Dosen entsprechend der CAD-Daten auf die Palette setzt, umgebaut werden. [42]



Abbildung 2.24 Umlaufproduktionsanlage der Firma Bürkle [42]

#### ▪ Massivbauweise

Bei der Ziegelbauweise gibt es derzeit 2 interessante Entwicklungsformen, welche zeigen, dass sowohl die Werksvorfertigung als auch die Baustellenfertigung industrialisiert werden kann. Ersteres bringt den Vorteil einer stationären Fertigung unter Ausschluss der Umgebung mit sich, während jedoch auch der Nachteil der auszubildenden Montagefugen vor Ort berücksichtigt werden muss. Die industrielle Fertigung auf der Baustelle hingegen ermöglicht eine geschlossene Gebäudestruktur ohne diese Schwachstellen. Allerdings muss hier wiederum der Umgebungseinfluss als Manko genannt werden. Aus diesem Grund werden beide Bauformen als mögliche Randbedingung für das Fenster näher betrachtet.

Mit dem Hadrian X hat die Firma FBR (Fastbrick Robotics) einen Bauroboter für Ziegelwände vor Ort entwickelt (siehe Abb. 2.25). Ausgehend von einem 3D-Modell wird Bauablauf und Materialliste für die Robotereinheit, welche als Aufbau für LKWs, Boote und Kräne geplant ist, berechnet. Die geladenen Spezialziegel (max. Gewicht von 22 kg) werden dann automatisch mit einem speziellen Steinkleber versehen und mithilfe des 30 m langen Greifarms an die entsprechende Stelle positioniert. [43]



Abbildung 2.25 Ziegellegroboter - Hadrian X [43]

Zum Ausgleich von Umgebungseinflüssen, wie Wind und Vibrationen, kommt eine eigens entwickelte Technologie zur dynamischen Stabilisation zum Einsatz. Außerdem sind sowohl Zuschmitt, als auch das Fräsen der Installationskanäle bereits im Bauablauf integriert. Erprobt wurde das System bis jetzt jedoch nur auf einem LKW, indem die Rohbauwände eines 180m<sup>2</sup> großen Einfamilienhauses in unter 3 Tagen gebaut wurde. [43]

Im Werk vorproduzierte Fertigteilwände aus Ziegelsteinen sind hingegen auch schon für größere Bauten erprobt, wie es am Beispiel Redbloccsystems ersichtlich ist. Diese Produktionslinie kann die verschiedensten Ziegelarten, solange diese plan geschliffen sind, innerhalb von ca. 1h zu einem transportbereiten Wandelement (max. Länge: 8m) fertigen. Als vollautomatische Anlage ausgeführt ist darüberhinaus die Fertigung aller notwendigen Schrägen, Öffnungen und Installationskanäle mittels Wasserstrahlschneidtechnologie im Produktionsprozess inbegriffen. Dadurch wird eine hohe Maßgenauigkeit bei gleichbleibendem Qualitätsniveau ermöglicht. [44]

#### ▪ **Bewertung der Bauweisen**

Um abzuschätzen, welche Bauweise das größte Industrialisierungspotential hat und somit als Rahmenbedingung in die Produktentwicklung des Fensters der Zukunft einfließt, werden die vorangegangenen Beispiele nun hinsichtlich der folgenden Kriterien bewertet:

##### ▪ **Automatisierungsgrad**

Bei allen Bauweisen geben die Hersteller an, dass diese entweder bereits voll automatisiert sind, oder zumindest das Potential dazu gegeben wäre.

##### ▪ **Genauigkeit**

Durch die CNC gesteuerte Bearbeitung im Holzriegelbau, sowie dem Einsatz des Wasserstrahlschneidens zur Fertigung der Ausnehmungen im Massivbau, wird die Genauigkeit beider Bauweisen als sehr gut eingeschätzt. Im Betonbau hingegen müssen Abstriche gemacht werden, da die Positionierung der Schalungselemente durch schaltbare Magnete zwar unterstützt ist, aber im Vergleich als weniger genau einzustufen ist.

##### ▪ **Schnelligkeit:**

Unter der Annahme, dass die Länge einer durchschnittlichen Wand 8 m misst und im Zuge eines Zweischichtbetriebs (12h pro Tag) gefertigt wird, ergeben sich entsprechend der Herstellerangaben folgende vergleichbare Werte:

*Tabelle 2.3 Abschätzung der Fertigungsgeschwindigkeiten im industriellen Bau*

Bauweise	Herstellerangabe	Abschätzung
Holzriegelbau (FRAMETEQ)	1 m / min	90 Wände / Tag
Betonbau (Weckenmann)	100 Wände / Tag	100 Wände / Tag
Massivbau (Redbloccsystems)	1 h / Wand	12 Wände / Tag

▪ **Einsatzgebiet:**

Während Betonfertigteile bereits sowohl bei Einfamilien-, als auch bei Hochhäusern eingesetzt werden, ist der Einsatz von Fertigelementen aus Holz oder Ziegel noch beschränkt. Dass Holz auch bei Hochhäusern seine Berechtigung hat, ist jedoch bei einigen geplanten Projekten ersichtlich.

Anhand dieser Überlegungen lässt sich der Erfüllungsgrad der einzelnen Kriterien wie folgt in Zahlen ausdrücken:

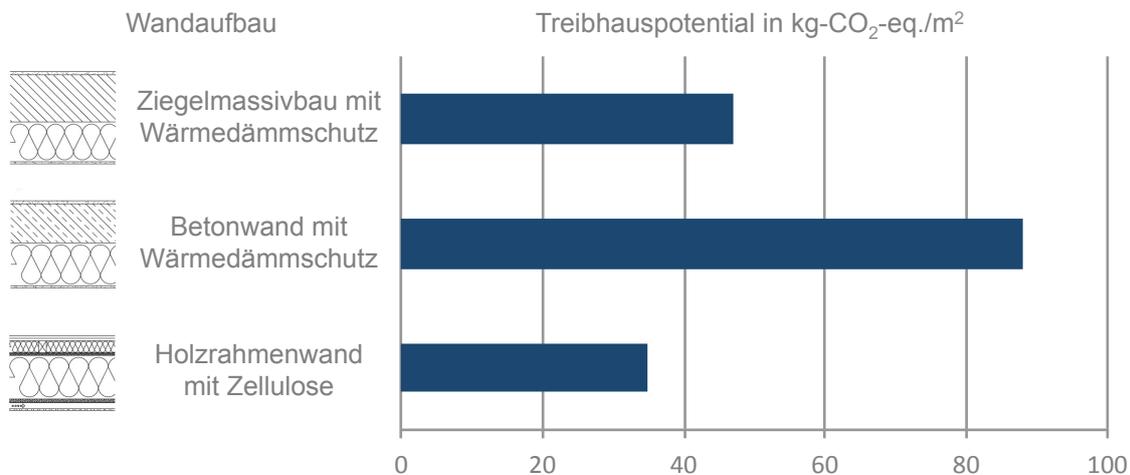
*Tabelle 2.4 Bewertung der betrachteten industrialisierten Bauweisen*

Bauweise	Automatisierungsgrad	Genauigkeit	Schnelligkeit	Einsatzgebiet	Summe
Holz	3	3	3	2	11
Beton	3	2	3	3	11
Massiv	3	3	1	2	9

0 ... unzulänglich	1 ... mäßig	2 ... gut	3 ... sehr gut
--------------------	-------------	-----------	----------------

Entsprechend dieser Bewertung in Tabelle 2.4 würden sich sowohl Beton, als auch Holz als zukünftige Form des industrialisierten Bauens und somit als Rahmenbedingung für das Fenster der Zukunft eignen. Da in dieser Arbeit mit dem Aspekt der Kreislaufwirtschaft jedoch vor allem der ökologische Gedanke im Fokus steht, wird die Umweltbewertung des jeweiligen Wandaufbaus als entscheidendes Kriterium ergänzt. Im Sinne der Vergleichbarkeit wurde daher in Abb. 2.26 für jede Bauweise ein Beispiel gewählt, welches einen U-Wert von ca. 0,15 W/m<sup>2</sup>K aufweist.



*Abbildung 2.26 GWP durch die Herstellung verschiedener Bauweisen (Werte aus [45])*

Anhand dieser Betrachtungen wird der Holzriegelbau als relevante Rahmenbedingung ausgewählt, was jedoch nicht ausschließt, dass das zu entwickelnde Fenster auch mit anderen Wandaufbauten kompatibel ist.

## 2.6 Ausblick als Entwicklungsgrundlage

Anhand des zuvor ermittelten Standes der Technik wird ersichtlich, dass vor allem die zerstörungsfreie Demontage der Gesamtkonstruktion problematisch ist. Die Rückbaufähigkeit ist jedoch für die Wieder- bzw. Weiterverwendung und somit für die Kreislauffähigkeit eines Produktes äußerst wichtig. Aus diesem Grund wird eine Verschiebung der Schnittstelle zwischen Fenster und Mauerwerk notwendig sein. In einem ersten Schritt könnte das Fenster beispielsweise die Funktion der Laibung übernehmen, wodurch diese neu gestaltet und für den weiteren Bauablauf (z.B.: einfacheres Einbauen, Verputzen, ... ) optimiert werden könnte. Innerhalb dieses Systems wäre somit wieder ein entsprechendes Potential in Richtung Standardisierung, Modularität und auch Anpassungsfähigkeit gegeben. Des Weiteren sollte die Weiterentwicklung der Montage im gleichen Maße berücksichtigt werden, wie die des Fensters selbst. In diesem Zusammenhang könnten clevere Anschlusssysteme, sowie der industrielle Bau, welcher vor allem bei der Holzriegelbauweise sehr fortgeschritten ist, den Einbau erleichtern. Neben der Entlastung von kraftaufwändigen Tätigkeiten würde eine maschinelle Unterstützung von gewissen Abläufen auch für eine gleichbleibend hohe Einbauqualität sorgen.

Mithilfe dieser Entwicklungsgrundlage kann die methodische Produktentwicklung mit dem ersten Punkt, dem Klären der Anforderungen, begonnen werden.

### 3. Klären der Anforderungen

Bezieht man nun die vorangegangenen Betrachtungen derzeitiger Fensterkonstruktionen mit ein, wird neben dem, aus der Aufgabenstellung bekannten, ökologischen auch noch ein funktionales Verbesserungspotential ersichtlich. Die in Abschnitt 1.3 formulierte Zielsetzung könnte also wie folgt umformuliert bzw. ergänzt werden:

*Die Entwicklung eines Fenstersystems, welches durch clevere Anschlusssysteme den Einbau erleichtert und dessen Rückbaufähigkeit ermöglicht, sodass die eingesetzten Ressourcen auf hoher Werteebene im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgedankens wiederverwendet werden können.*

Davon ausgehend werden nun systematisch die Forderungen, welche zur Erreichung dieses Zieles notwendig sind, gemäß Abb. 3.1 in 3 Schritten bzw. Dokumenten zunehmend als Produktmerkmale konkretisiert und quantifiziert:

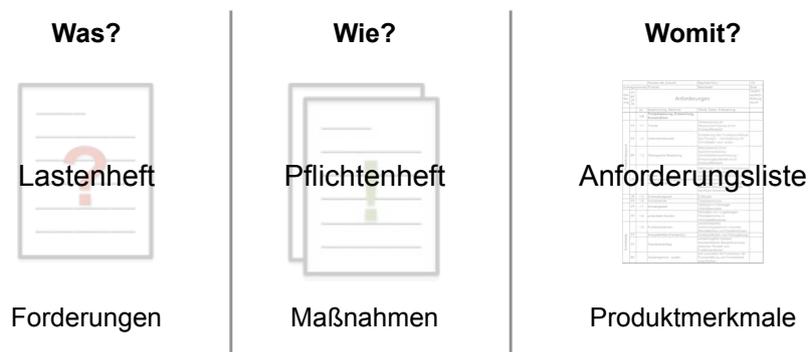


Abbildung 3.1 Vorgehensweise zum Klären der Anforderungen

#### 3.1 Lastenheft

Im ersten Schritt wird zusammengefasst, welche Punkte das neu zu entwickelnde Produkt aus Kundensicht (Markt bzw. Auftraggeber) zu erfüllen hat. Somit spiegelt das Lastenheft in Tabelle 3.1 wider, „was?“ vom neu zu entwickelnden Fenstersystem erwartet wird und „wofür?“ diese Produkteigenschaft benötigt wird.

Tabelle 3.1 Lastenheft – Überblick der Forderungen aus Kundensicht

WAS?	WOFÜR?
Kreislauffähigkeit	Optimierung der Ressourcennutzung (Verringerung der Umweltbelastung und Kostensenkung)
Rückbaufähigkeit (nach der Nutzung)	Wieder- und Weiterverwendung von möglichst vielen Komponenten
Schnittstellenverschiebung: Fenster - Mauerwerk	Optimierung bzw. Reduktion der notwendigen gewerbeübergreifenden Folgetätigkeiten (Isolieren, Verfugen, Verputzen, ... )
Nutzung des Potentials des industriellen Bauens	Erhöhung der Maß- und Einbaugenauigkeit; Erleichterung von derzeit körperlich sehr anstrengenden Tätigkeiten
clevere Anschlussysteme	Veraltete Montage- /Reparaturabläufe sollen erleichtert (abgelöst bzw. verbessert) werden. → Senkung der Montagekosten (hoher Anteil der Gesamtkosten) und Verbesserung der Qualität von Einbaulage und Bauteilanschluss

Mit der Kreislauffähigkeit scheint eine Forderung auf, welche bei weitem zu umfangreich ist, um sie so direkt in die Produktentwicklung einfließen lassen zu können. Aus diesem Grund ist es erforderlich, diesen Punkt methodisch in verschiedene Maßnahmen aufzuteilen, wodurch sich dessen Umsetzung weiter präzisieren lässt.

### 3.2 Maßnahmen der Kreislaufwirtschaft (Circular Economy)

Die Maßnahmenfindung, wie das Fenster kreislauffähig gestaltet wird, erfolgt anhand des im Abschnitt 1.1.1 vorgestellten Value Hills. Diese Darstellung wird jedoch um mehrere Ebenen, welche die einzelnen anzustrebenden Schleifendurchläufe repräsentieren sollen, ergänzt. Dadurch soll der Zusammenhang hervorgehoben werden, wie sich die allgemein formulierten CE-Strategien (Abb. 3.2 – links), welche durch entwicklungsspezifische Maßnahmen (Abb. 3.2 – Mitte) in den einzelnen Lebenszyklusphasen umgesetzt werden, auf die dadurch angestrebte Art der Rückführung (Abb. 3.2 – rechts) auswirken.

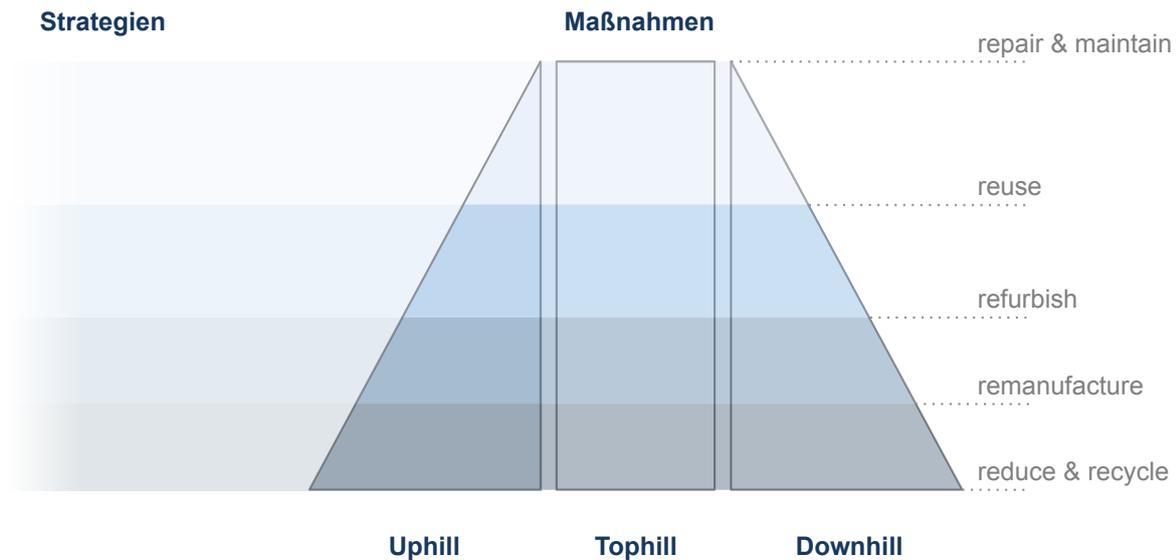


Abbildung 3.2 Zusammenhang von Strategien, Maßnahmen und Rückführart

Diese Betrachtung wird für jede der 3 Phasen (Up-, Top- und Downhill) durchgeführt, wodurch sich die folgenden Punkte ergeben:

### 3.2.1 Uphill – Maßnahmen

In der Uphill- oder Wertschöpfungsphase wird das Produkt definiert, wodurch die dort gesetzten Maßnahmen eine Schlüsselrolle für die Kreislauffähigkeit des Produktes einnehmen. So muss bereits bei der Materialwahl darauf geachtet werden, dass diese kreislauffähig sind. Während bei Holzfenstern die Verwendung von ökologischen Lacken oder Lasuren eine Rolle spielt, darf bei Kunststofffenstern nur Rezyklat aus weichmacherfreien PVC-U (DIN 7748-1) verwendet werden. Jedoch müssen die der Witterung ausgesetzten Oberflächen durch Coextrudierung mit Frischmaterial (Schichtdicke > 0,5 mm) abgedeckt sein [21]. Bei Aluminium wiederum muss der hohe Energiebedarf im Zuge des Recyclingprozesses berücksichtigt werden.

Unabhängig davon sollte die Produktion möglichst ressourceneffizient gestaltet sein, was beispielsweise mittels Verschnittplanung realisierbar wäre. Voraussetzung hierfür ist ein gewisses Maß an Standardisierung der Fensterabmessungen, welche aufgrund der angedachten Erweiterung zum Fenstersystem durchaus denkbar ist, ohne dass die Gestaltungsmöglichkeiten dadurch zu sehr eingeschränkt werden. Außerdem ergibt sich dadurch die Möglichkeit zur Entwicklung eines modular aufgebauten Fensters auf Basis eines Baukastensystems. Dabei soll die Verwendung von Gleichteilen und somit eine Reduktion der Teilevielfalt angestrebt werden. Auf diese Weise würde das Kreislaufdesign dazu führen, dass gebrauchte Komponenten im Sinne des Remanufacturings einfacher zur Herstellung neuer Fenster verwendet werden können.

Darüber hinaus lassen sich mit einem modularen Aufbau auch die Aspekte Anpassungs- und Upgradefähigkeit, welche von der CE-Strategie „Zusatznutzen“ abgeleitet werden, sehr gut vereinen. Hintergrund hierfür ist, dass sich, je nach Verwendung einer Räumlichkeit, auch die Anforderungen an das Fenster ändern können. Während in einer Wohnung ein zu öffnendes Fenster bevorzugt wird, kann in einem Büro eine Fixverglasung in Kombination mit einer Lüftung attraktiver sein. Aus diesem Grund ergibt sich die zugehörige Maßnahme, dass innerhalb des Systems dieser Wechsel zwischen fixverglastem und zu öffnendem Fenster möglich sein soll. Des Weiteren muss für eine möglichst lange Nutzungsdauer gewährleistet sein, dass das System mit größeren technologischen Weiterentwicklungen Schritt hält. Da es in der Fensterbranche die Bestrebungen gibt, viele Funktionen in die Verglasung zu integrieren, soll diese Upgradefähigkeit durch einen nachträglichen Verglasungstausch sichergestellt werden.

Auf der obersten Ebene ist im Uphill die Strategie der Langlebigkeit zu finden. Bei der Lebensdauer eines Fensters spielt die Wartung eine entscheidende Rolle. Daher soll die Instandhaltung durch eine gute Zugänglichkeit der zu wartenden Bauteile ohne Spezialwerkzeug erleichtert und deren Regelmäßigkeit durch entsprechende Anleitungen gefördert werden. Die so gefundenen Maßnahmen lassen sich in Abb. 3.3 zusammenfassen.

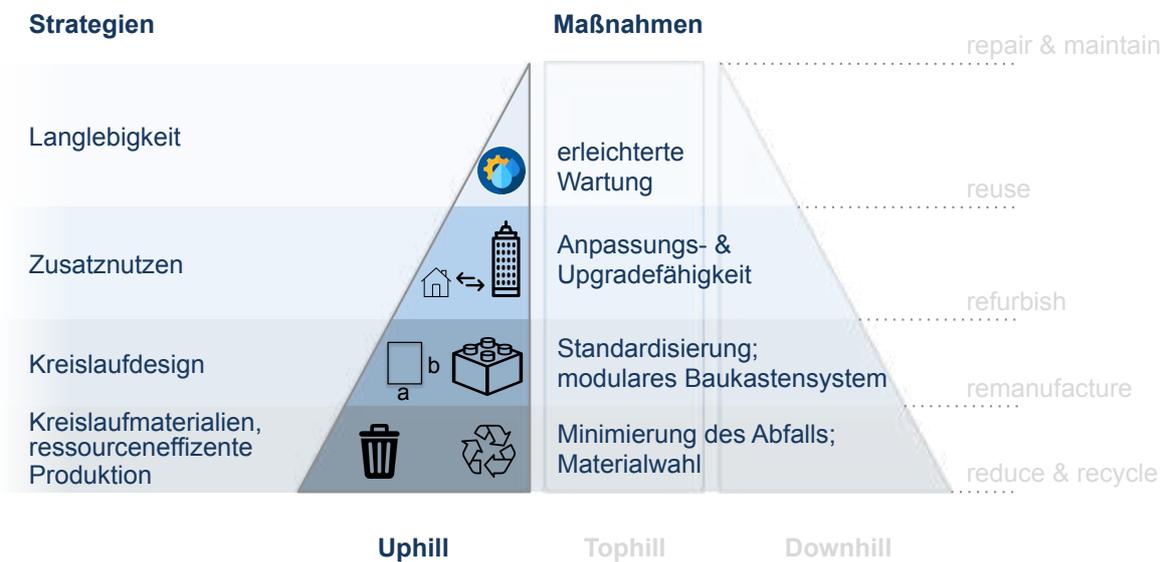


Abbildung 3.3 CE-Maßnahmen im Uphill

### 3.2.2 Tophill – Maßnahmen

Im Tophill ist primär die Wahl eines geeigneten Geschäftsmodells maßgebend für die Kreislauffähigkeit. Dieses soll vor allem gewährleisten, dass die Ressourcen in Form des Fenstersystems bzw. dessen Komponenten im Kreislaufsystem erhalten bleiben. So könnte man eine radikale Änderung zu einem ergebnisorientierten Verkauf andenken. In diesem Fall würde die Kundschaft (z.B.: Endbenutzende oder

Fertigteilhersteller) nicht mehr das Produkt selbst, sondern die zugehörige Funktion bzw. das angestrebte Ergebnis kaufen. Dazu würde sich eine Klassifizierung, ähnlich der Energieeffizienzklassen, anhand des Wärmedurchgangskoeffizienten eignen. Die Erfüllung dieser Vorgabe müsste dann beispielsweise im Zuge der Fensterwartung, wodurch gleichzeitig deren Regelmäßigkeit gegeben wäre, geprüft werden. Bei Unterschreitung der Grenzwerte, Auslauf der Vertragszeit, oder einem käuflich erworbenem Upgrade könnten die nicht mehr benötigten Komponenten wiederum in niedrigeren Kategorien weiterverwendet oder dem Kreislauf rückgeführt und dementsprechend verwertet werden.

Des Weiteren soll im Tophill die optimale Nutzung des Fensters gefördert werden. Die zugehörige CE-Strategie der Lebensdauererlängerung könnte bei einem produktorientierten Verkauf des Fensters durch das Angebot von zusätzlichen Servicepaketen erreicht werden. Als Anreiz und Gegenleistung für die Mehrkosten wäre die Fensterfirma für die Wartung verantwortlich und der Endkunde bekäme eine gewisse Garantiezeit zugesprochen. Unabhängig davon würde auch ein Reparaturangebot, von zumindest allen verschleißkritischen Teilen, zu einer längeren Lebensdauer führen.



Abbildung 3.4 CE-Maßnahmen im Tophill

Da sich alle diese Überlegungen in Abb. 3.4 eher auf das dahinterliegende Geschäftsmodell und nicht auf das eigentliche Produkt beziehen, werden die Tophill-Maßnahmen im Zuge dieser Arbeit nicht näher ausgearbeitet. Anhand der gezeigten Ansätze kann jedoch angenommen werden, dass der für die Kreislaufwirtschaft notwendige Ressourcen- bzw. Werterhalt während der Nutzung durch neue Geschäftsfelder möglich ist. Mit dieser Voraussetzung kann der Fokus wieder auf das Konzipieren des eigentlichen Produkts und die Umsetzung der CE-Strategien in der Nachnutzung des Fensters gesetzt werden.

### 3.2.3 Downhill – Maßnahmen

Durch die Maßnahmen im Downhill wird der Kreislauf geschlossen. Jedoch müssen die meisten dieser Punkte bereits bei der Konzipierung berücksichtigt werden, wodurch sich Auswirkungen auf die im Uphill getroffenen Ansätze ergeben können. Für die, durch die Strategien Gebrauchtmart und Wiederaufbereitung angestrebte, Wieder- oder Weiterverwendung ist es erforderlich, funktionale oder optische Mängel am Fenstersystem auszubessern. Zu diesem Zweck soll der Systemaufbau so gestaltet sein, dass neben der Reparatur- bzw. Austauschmöglichkeit der Verschleißteile (Beschläge und Dichtungen) auch die Aufbereitung aller bewitterten Oberflächen begünstigt wird.

Die in den niedrigeren Wertebenen verfolgten CE-Strategien (Remanufacturing und Materialwiedergewinnung) stehen im Zeichen der Weiter- und Wiederverwertung (Recycling). Beides wird zu einem gewissen Teil bereits durch das im Uphill angedachte modulare Baukastensystem ermöglicht. Der Werterhalt kann jedoch noch effizienter gestaltet werden, indem bei der Konzipierung des Baukastens auf eine hohe Teilekompatibilität (auch Fenstertypen-übergreifend), sowie eine einfache und möglichst zerstörungsfreie Zerlegbarkeit geachtet wird. Vor allem bei Materialkombinationen muss die Trennbarkeit der Verbindung möglich sein. Weiters ist eine möglichst vollständige Informationsweitergabe (Materialbezeichnung, Verwendung gefährlicher Stoffe, Oberflächenbehandlung/-beschichtung,... ) zu gewährleisten. Somit ergeben sich für die Downhill-Phase die in Abbildung 3.5 zusammengefassten Ansätze.

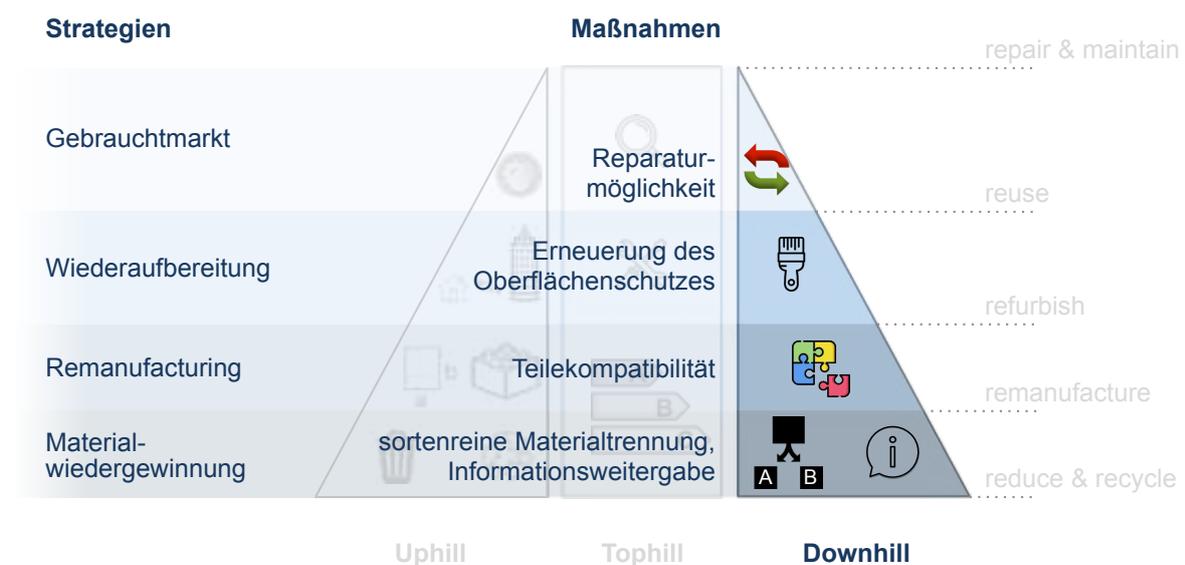


Abbildung 3.5 CE-Maßnahmen im Downhill

Gemeinsam mit den geplanten Realisierungsvorschlägen der restlichen Punkte des Lastenheftes werden diese Maßnahmen in einem weiteren Dokument gesammelt – dem Pflichtenheft.

### 3.3 Pflichtenheft

Das als Tabelle 3.2 angeführte Pflichtenheft kann als Antwort auf das Lastenheft interpretiert werden. Es befasst sich somit mit den Fragen „Wie und Womit?“ die im Lastenheft aufgelisteten Forderungen („Was?“) technologisch realisiert werden sollen.

Tabelle 3.2 Pflichtenheft – Umsetzungsvorschlag des Lastenhefts

WAS?		WIE?	WOMIT?
Kreislauffähigkeit	Ressourceneffiziente Produktion	Minimierung des Abfalls	Verschnittplanung bei abzulängenden Komponenten (Profilteile).
	Kreislaufmaterialien	Materialwahl	Möglichst viele Komponenten sollen aus kreislauffähigen Materialien gefertigt und als diese gekennzeichnet werden.
	Langlebigkeit	Reparaturmöglichkeit	Es soll zumindest für die Verschleißteile (Beschläge und Dichtungen) eine Austauschmöglichkeit bestehen.
		Erhalt des Oberflächenschutzes	Einfache, saubere und vollständige Aufbereitung/Erneuerung des Oberflächenschutzes von bewitterten Teilen.
		Wartungsmöglichkeit	Gute Zugänglichkeit der zu wartenden Bauteile, ohne Einsatz von Spezialwerkzeug.
		Wartungsregelmäßigkeit	Anleitung, sowie Hinweis/Empfehlung zur zeitgerechten Wartung.

		WAS?	WIE?	WOMIT?
<b>Kreislauffähigkeit</b>	Zusatznutzen schaffen	Upgradefähigkeit		Ein nachträglicher Verglasungstausch (derzeitige Bestrebung viele Funktion in die Verglasung zu integrieren) soll ermöglichen, dass ein bestehendes Fenster entsprechend dem Stand der Technik mit zusätzlichen Funktionen ausgestattet wird.
		Erhöhung des Einbruchsschutzes		Nachträgliches Aufrüsten oder Wechseln des Beschlags sollen die Eignung für eine höhere Widerstandsklasse ermöglichen.
	Kreislaufdesign	Einführung eines Baukastensystems		Baukasten aus modularen Profiltteilen (Rahmen- und Flügelkonstruktion)
		Standardisierung		Standardisierung der Einbau- und Fenstermaße
		Teilereduktion		Die Standardisierung in Kombination mit dem angestrebten Baukasten ermöglicht die Verwendung von Gleichteilen entsprechend einem Grundmaß, wodurch die Teilevielfalt weiter reduziert werden kann.
		Anpassungsfähigkeit bei Wechsel der Randbedingungen		Innerhalb des Systems soll ein Wechsel zwischen Fixverglasung und dem zu öffnenden Fenster möglich sein.
	Ergebnisorientierte PDL	Schließen des Materialflusses		Mit einem entsprechenden Geschäftsmodell muss sichergestellt werden, dass die Fensterkomponenten und somit auch die Ressourcen dem Kreislauf erneut zugeführt werden.
	Remanufacturing	Teilekompatibilität		möglichst hohe Kompatibilität der Komponenten auch zwischen unterschiedlicher Fenstergrößen/-typen
	Recycling	sortenreine Materialtrennung		Einsatz von einfach trennbaren Verbindungen bei der Verwendung von Materialkombinationen
		Informationsweitergabe		Materialbezeichnung und Angabe der verwendeten Oberflächenbehandlung/-beschichtung

WAS?	WIE?	WOMIT?
Nutzung des Potentials des industriellen Bauens	Mechanisierung von Montageschritten	Verlagerung von möglichst vielen Montageschritten in den industrialisierten Fertigungsablauf der Fertigteilwände
	Automatisierung von Montageschritten	Automatisierung der für die Einbaulage der Anschlussbauteile relevanten Arbeitsschritte
Rückbaufähigkeit (nach der Nutzung)	Zerlegbarkeit	Entsprechende Wahl der Verbindungen, damit ein zerstörungsfreier Auseinanderbau in zumindest Fensterprofilteile und Verglasung ermöglicht wird
	Systemerweiterung	Integration von Bereichen der Maueröffnung (z.B.: Laibung) bzw. deren Funktionen in das Fenstersystem
Clevere Anschlusssysteme	Standardisierung der Bauteilanschlüsse / Schnittstelle	Konzipierung einer einheitlichen Verbindungen, zwischen Fenster und Mauerwerk, als Teil des Gesamtsystems
Schnittstellenverschiebung		

### 3.4 Anforderungsliste

Zur Erstellung der Anforderungsliste werden neben allgemein gültigen Vorgaben bzw. Erwartungen an das Fenster vor allem die Umsetzungsvorschläge des Pflichtenhefts weiter konkretisiert. Die resultierenden Rahmenbedingungen und Produktmerkmale werden dann, möglichst quantitativ oder qualitativ beschrieben, in Tabellenform gesammelt (siehe Tab. 3.3). Dabei wird zwischen den folgenden Anforderungsarten unterschieden:

- FF Festforderung
- BF Bereichsforderung
- ZF Zielforderung
- W Wunschforderung

Tabelle 3.3 Anforderungsliste

Bearbeiter:		Raphael Kern			Blatt:	1/6
Gliederung	FF BF ZF W	<b>Anforderungen</b>				Verantwortlich, Klärung durch
		Nr.	Bezeichnung, Merkmal	Werte, Daten, Erläuterung		
		<b>1.0</b>	<b>Produktplanung, Entwicklung, Konstruktion</b>			
Projektintergrund	FF	1.1	Trends	Verbesserung der Ressourcennutzung durch Kreislauffähigkeit		
	FF	1.2	Unternehmensziel	Erweiterung des Funktionsumfangs des Fensters - Verschiebung der Schnittstelle nach außen		
	BF	1.3	Ökologische Bewertung	Mehraufwand durch Systemerweiterung / Schnittstellenverschiebung < Einsparungspotential durch Kreislauffähigkeit		
	ZF	1.4	Kosten der Systemerweiterung/Schnittstell enverschiebung	Mehrkosten der Systemerweiterung sollen durch Einsparungen gegenüber traditioneller Bauweise relativiert werden (Einsparungen bei z.b: Montage, weiterem Bauablauf; nicht mehr benötigte Komponenten,... )		
	ZF	1.5	Entwicklungszeit	6 Monate		
	FF	1.6	Schutzrechte	Patentrecherche		
	FF	1.7	Einsatzgebiet	Gebäude in Holzriegel-/Hybridbauweise		
	FF	1.8	potentielle Kunden	Hersteller von vorgefertigten Wandelementen in Holzriegelbauweise		
Schnittstelle		1.9	Funktionsrahmen	standardisiertes Verbindungselement zwischen Wandelement und Fensterrahmen		
	FF		Kompatibilität (Fenstertyp)	Drehkipfenster und Fixverglasung		
	FF		Fensteranschlag	zerstörungsfrei lösbarer, standardisierter Bauteilanschluss zwischen Fenster und Funktionsrahmen		
	BF		Systemgrenze - außen	soll zumindest die Funktionen der Fensterlaibung und Fensterbank einschließen		

Bearbeiter:		Raphael Kern		Blatt:	2/6
Gliederung	FF BF ZF W	<b>Anforderungen</b>			Verantwortlich, Klärung durch
		Nr.	Bezeichnung, Merkmal	Werte, Daten, Erläuterung	
Geometrie		1.10	Abmessungen des Gesamtsystems		
	BF		Höhe	max. 2,4 m (min. Raumhöhe)	
	BF		Breite	max. 1,6 m	
			Dicke	315 mm - 460 mm (Wandelementdicke)	
	BF	1.11	Bauteilanschluss	im tragenden Bereich der Wand: Massivholz-Holzriegel (160 mm / 200 mm / 240 mm)	
			Riegelabstand	625 mm (Holzbaudämmplatte)	
		1.12	relevante Fensterabmessungen		
	BF		Höhe	0,5 m bis 2,4 m	Internorm
	BF		Breite	0,4 m bis 1,5 m	Internorm
	BF		standardisierte Maßsprünge	max. 150 mm	
Fenster		1.13	Rahmen- und Flügelkonstruktion		
	FF		Systemaufbau	aus modularen Basiskomponenten (Profilteile)	
	ZF		Profilteile	möglichst geringe Teilevielfalt Verwendung von Gleichteilen	
	ZF		Verbindungen / Anschlüsse	zerstörungsfrei lösbar und möglichst einheitlich - unabhängig von Fenstergröße/-typ	
		1.14	Verglasung		
	FF		Typ	Wärmeschutzverglasung	
	BF		Dicke	24 mm bis 48 mm	Internorm
	FF		Aufnahme	zerstörungsfrei lösbare Fixierung der Verglasung zum Ein-/Ausbau	
		1.15	Beschlag		
	W		Typ	Euronut-System	
	BF		sicherheitsrelevante Komponenten	min. Widerstandsklasse RC2n austausch-/aufrüstbar gestaltet	Internorm
W	1.16	Sichtflächen (Design)	anpass-/austauschbar		
FF	1.17	Fenster - Produktnorm	Konzept darf nicht im Widerspruch zu ÖNORM EN 14351-1 stehen		

Bearbeiter:		Raphael Kern		Blatt:	3/6
Gliederung	FF BF ZF W	<b>Anforderungen</b>			Verantwortlich, Klärung durch
		Nr.	Bezeichnung, Merkmal	Werte, Daten, Erläuterung	
		<b>2.0</b>	<b>AV, Teilefertigung</b>		
	W	2.1	Fertigungsverfahren	Bohren, Fräsen, Stanzen, Sägen, Biegen, Spiegelschweißen, Kleben, Extrudieren (Kunststoff), Glasschneiden (foliert & unfoliert), Glashärten, Isolierglasherstellung (Produktionslinie)	Internorm
	BF	2.2	Werkstoffe	gewichtsbezogen min. 75% der Gesamtkonstruktion aus kreislauffähigen Materialien	
	ZF	2.3	Materialkombinationen	Möglichst vollst. Trennung in sortenreine Materialien	
	FF	2.4	Fremdbezug	Beschlagteile, Dichtungen, Floatglas, Stahlverstärkungen	Internorm
	FF	2.5	Abfallminimierung	Verschnittplanung von standardisierten Profillängen	
		<b>3.0</b>	<b>Montage</b>		
	FF	3.1	Montageort – Funktionsrahmen	Fertigteilelementhersteller	
	FF	3.2	mögliche Montagemittel	Industrieroboter, CNC-Maschinen, Förder- und Hebevorrichtungen	
	ZF	3.3	Mechanisierung	möglichst vollst. Integration der Montagevorgänge in den industrialisierten Fertigungsablauf der Wandelemente	
	FF	3.3	Wiederholbarkeit der Einbauqualität	Automatisierung der für die Einbaulage der Anschlussbauteile relevanten Arbeitsschritte	
	BF	3.4	Einbaugenauigkeit (lotrechte bzw. waagrechte Abweichung)	bis 3 m Elementlänge: < 1,5mm pro m; max. 3 mm über 3 m Elementlänge: < 1,0 mm pro m; max. 6 mm (gemäß ÖNORM B 5320)	Internorm
	ZF	3.5	Fensterein-/ausbau	Erleichterung durch clevere Anschlussystemen	
	BF		manuelle Arbeitsschritte	Maschinelle Unterstützung bei Hebetätigkeiten > 50 kg	
	BF		Montagekosten	Montagestunden vor Ort pro Fenster < 0,75 h	Internorm
	ZF		Folgetätigkeiten	Optimierung bzw. Reduktion der bisher notwendigen Folgetätigkeiten (Isolieren, Verfugen, Verputzen, ...)	

Bearbeiter		Raphael Kern		Blatt	4/6
Gliederung	FF BF ZF W	<b>Anforderungen</b>			Verantwortlich, Klärung durch
		Nr.	Bezeichnung, Merkmal	Werte, Daten, Erläuterung	
		<b>4.0</b>	<b>Transport, Lagerung</b>		
	FF	4.1	Versandart / Verpackung	auftragsbezogen sortiert und mittels Container (L x B x H: 5,898 m x 2,352 m x 2,385 m) ausgeliefert	Internorm
	FF	4.2	Transportlage / Handhabung	stehend geladen - Ladesicherung mittels Spann- / Klemmstangen	Internorm
	W	4.3	Stapelbarkeit	von gleichen Fenstergrößen	
		<b>5.0</b>	<b>Vertrieb</b>		
	FF	5.1	Geschäftsmodell	Annahme eines Modells, bei dem die Fensterkomponenten dem Kreislauf erneut zugeführt werden (z.B.: Verkauf von Dämmwertklassen über gewissen Zeitraum, Rückkaufoption,... )	
		<b>6.0</b>	<b>Nutzung</b>		
	FF	6.1	Hauptfunktion	lichtdurchlässige Abdichtung einer Maueröffnung mit Öffnungs-/Lüftungsmöglichkeit	
	ZF	6.2	Nebenfunktion	Schließen der Ressourcenflüsse der für Punkt 6.1 benötigten Komponenten	
	ZF	6.3	Störfunktion	Sicherstellen, dass Komponenten durch fälschliche Entsorgung nicht aus dem Kreislauf austreten	
Nutzungsszenario	FF	6.4	Benutzer	Person ohne Fachkenntnisse	
	BF	6.5	Nutzungsfrequenz	Auslegung für min. 2 Schließzyklen täglich	Internorm
	BF	6.6	Nutzungsdauer je Einsatzort	bis zu 50 Jahre (Verschleißteile ausgenommen)	Internorm
	BF	6.7	Schließzyklen - Beschläge	min. 20.000 Zyklen (Beanspruchungsklasse stark gemäß ÖNORM EN 12400)	Internorm
		6.8	Festigkeit	keine Beschädigung/bleibende Verformung, kein Lösen von Fugen-/Dichtungssystemen und kein Lockern der Beschläge unter folgenden Lasten:	
	BF		max. Vertikallast	min. Belastungsklasse 2 = 400 N (ÖNORM EN 13115)	Internorm
	BF		max. statische Verwindung	Belastungsklasse 2 = 250 N (ÖNORM EN 13115)	Internorm

Bearbeiter		Raphael Kern		Blatt	5/6
Gliederung	FF	<b>Anforderungen</b>			Verantwortlich, Klärung durch
	BF ZF W				
		Nr.	Bezeichnung, Merkmal	Werte, Daten, Erläuterung	
Nutzungsszenario		6.9	Bedienkräfte	gemäß ÖNORM B 1600 für Barrierefreiheit mit Griff als Angriffspunkt	
	BF		Kraft	max. 60 N zum Öffnen/Schließen des Fensterflügels	Internorm
	BF		Drehmoment	max. 6 Nm um das Fenster zu verriegeln/freizugeben	Internorm
	ZF	6.10	klimatische Bedingungen - außen	Beständigkeit gegen Witterungsbeanspruchung	
	ZF	6.11	klimatische Bedingungen - innen	Beständigkeit gegen Wasserdampfbeanspruchung	
	BF	6.12	Leistungsanforderungen	auf Konzept basierende Endkonstruktion soll min. Stand der Technik erfüllen	
	BF		Windbeanspruchung	Einhaltung gemäß ÖNORM B 5300	Internorm
	BF		Fugendurchlässigkeit	min. Luftdurchlässigkeitsklasse 3 gemäß EN 12207	Internorm
	BF		Wärmeschutz	Passivhaustauglichkeit: $UW < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$	Internorm
	BF		Schallschutz	Einhaltung der Mindestwerte gemäß OIB-Richtlinie 5 (Berechnung nach ÖNORM B 8115-4)	Internorm
		<b>7.0</b>	<b>Wartung und Reparatur</b>		
Wartung	ZF	7.1	Wartungsintervalle	jährliche Wartung der Beschläge	Internorm
	FF	7.2	Wartungsort	im eingebauten Zustand	
	FF	7.3	Wartungspersonal	soll für Anwender möglich sein	
	ZF	7.4	Wartungsanleitung	ohne Fachkenntnis, gut ersichtlich und allgemein verständlich	
	W	7.5	Wartungshinweis	Hilfestellung zur Bewertung und rechtzeitigen Vermittlung der Wartungsnotwendigkeit	
	FF	7.6	Oberflächenschutz bewitterter Teile	einfach, sauber und vollständig aufberei- /erneuerbar	
		7.7	Beschläge		
	FF		Zugänglichkeit (Wartung)	ohne Demontage des Fensters und ohne Spezialwerkzeug wartbar	
	W		bewegliche Komponenten	konstruktiv möglichst wartungsfrei / selbstwartend gestaltet	

Bearbeiter		Raphael Kern		Blatt		6/6		
Gliederung	FF	<b>Anforderungen</b>					Verantwortlich, Klärung durch	
	BF ZF W							
		Nr.	Bezeichnung, Merkmal	Werte, Daten, Erläuterung				
Reparatur	FF		Verbindungen	zerstörungsfrei lösbare Verbindung zum Austausch beschädigter Komponenten				
	ZF	7.8	Dichtungen	Austauschmöglichkeit von zumindest aller beim Öffnungszyklus beanspruchter Dichtungen				
	FF	7.9	Reparaturpersonal	muss durch Fachpersonal erfolgen				
		<b>8.0</b>	<b>Recycling und Entsorgung</b>					
Rückführung und Werterhalt	ZF	8.1	Ressourcenfluss	Maximierung der Schleifendurchläufe der eingesetzten Ressourcen, bevor sie aus dem Kreislauf ausscheiden				
	BF	8.2	Weiterverwendung	von zumindest Fensterflügel und Fensterrahmen				
	BF	8.3	Wiederverwendung	von zumindest Fensterflügel und Fensterrahmen				
	ZF	8.4	Weiterverwertung	möglichst vieler Komponenten, welche die Rückbaufähigkeit, Modularität und Teilekompatibilität erfüllen				
	BF	8.5	Wiederverwertung	von sortenreinen Komponenten aus kreislauffähigen Materialien mit techn. Restlebensdauer von < 10 Jahren				
	ZF	8.6	Materialbezeichnung	möglichst beständige und eindeutige Informationsweitergabe der verwendeten Materialien und eventuell eingesetzten Oberflächenbehandlungen/-beschichtungen				

## 4. Funktionsbetrachtung

Eine beliebte Vorgehensweise in der methodischen Produktentwicklung ist das Denken in Funktionen. Dabei wird das Produkt rein über die zu erfüllenden Funktionen beschrieben, was zu einer lösungsneutralen Betrachtung der Entwicklungsaufgabe führt. Vor allem bei der Neuentwicklung eines bestehenden Produkts können auf diese Weise Konventionen gebrochen werden.

Grundlage dieser Methode ist die zugehörige Funktionsstruktur, welche im Zuge der Funktionsanalyse durch das schrittweise Abstrahieren der einzelnen Komponenten und Anforderungen des Fensters erarbeitet wird.

### 4.1 Funktionsanalyse

Um eine möglichst vollständige Funktionsstruktur aufzustellen, werden im ersten Schritt moderne Fensterkonstruktionen betrachtet und deren wesentliche Komponenten aufgelistet. Dazu wird in Abb. 4.1 ein Modell von Internorm herangezogen, welches sowohl als Kunststofffenster (KF 410), mit und ohne Alu-Vorsatzschale, als auch in Holz-Alu-Ausführung (HF 410) erhältlich ist:

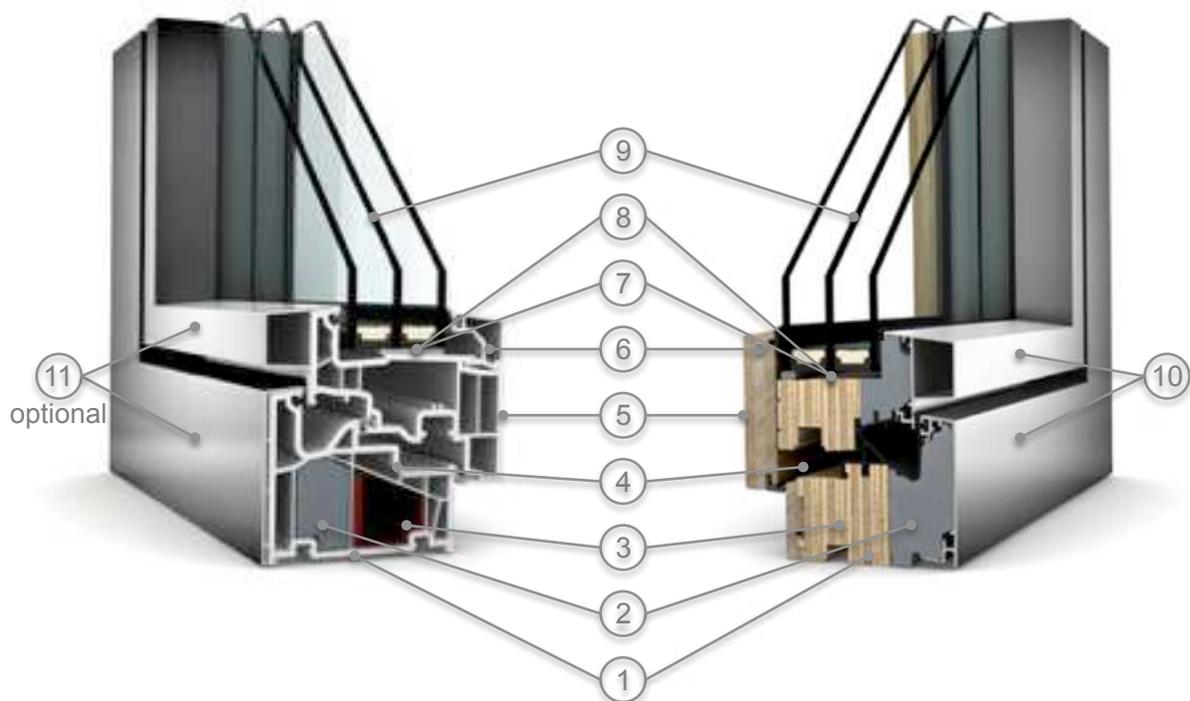


Abbildung 4.1 Fensteraufbau der Modelle KF 410 (links) & HF 410 (rechts) [23]

Indem man die eingezeichneten Positionen nicht mehr als Komponenten, sondern als Funktionsträger betrachtet, lassen sich beide Fensterausführungen durch die zu erfüllenden Funktionen beschreiben. Aus der Gesamtheit dieser Begriffe resultiert eine lösungsneutrale Formulierung des Produkts.

Dabei müssen noch weitere, in dieser Darstellung nicht hervorgehobene oder ersichtliche, Komponenten, wie die Dichtungen und der Fensterbeschlag, berücksichtigt werden. Letzterer könnte für die Entwicklung eines neuen Beschlags wiederum in eine Vielzahl von Einzelteilen und deren zugehörige Funktionen aufgelistet werden. Dieser Schritt wird im Zuge dieser Arbeit jedoch nicht durchgeführt, da im Falle des zu öffnenden Fensters von einem Drehkippenfenster ausgegangen wird und die hierfür verwendeten Beschlagsteile hinsichtlich der Umweltbewertung nur einen vernachlässigbar kleinen Anteil am PCF<sup>11</sup> der Gesamtkonstruktion beitragen.

*Tabelle 4.1 Funktionsbetrachtung derzeitiger Fensterkonstruktionen (zu Abb. 4.1)*

Pos.	Komponente	Funktion
1	Fensterrahmen	Maueranschluss herstellen
		Beschlag aufnehmen
2	Dämmung	geringen Wärmedurchgang (Profilteile) sicherstellen
3	Stahlarmerung / verleimte Holzschichten	Profilsteifigkeit herstellen
4	Stufenprofil Rahmen / Flügel	Witterungsbeständigkeit zwischen Rahmen & Flügel herstellen
5	Fensterflügel	Beschlag aufnehmen
		Verglasung aufnehmen
6	Glasleiste	Verglasung fixieren
7	Verklebung (Glas)	
8	Glasfalz	Verglasung positionieren
9	Isolierverglasung	lichtdurchlässige Fläche abdichten
10	HF - Aluminium Vorsatzschale	Witterungsbeständigkeit erhöhen
11	KF - Aluminium Vorsatzschale (optional)	Farbgestaltung ermöglichen
-	Dichtungen	Kontaktpunkte der Komponenten abdichten
-	Beschlag	Öffnungsbewegung ermöglichen
		Fenster ver-/entriegeln
		Einbruchschutz sicherstellen

<sup>11</sup> Product Carbon Footprint: CO<sub>2</sub>-Fußabdruck eines Produkts ausgedrückt in kg CO<sub>2</sub>-eq.

Um die Funktionsstruktur des Fensters der Zukunft zu erhalten, müssen die in der vorangehenden Tabelle 4.1 angeführten Funktionen entsprechend der erarbeiteten Anforderungsliste umformuliert und ergänzt werden.

#### 4.1.1 Anpassung der Funktionsbegriffe

Ein Unterschied zu derzeitigen Konstruktionen soll entsprechend der Forderungen an das Fenster (vgl. Tab. 3.3 – Punkte 1.13 bis 1.15) die Modularität des Systems sein. Aus diesem Grund soll die Verbindungsart der einzelnen Profilmteile innerhalb der Fensterkonstruktion als eigene Funktion ergänzt und so im Zuge des Kreativprozesses berücksichtigt und erneut durchdacht werden. Des Weiteren soll, unter anderem mit dem Ziel der sortenreinen Trennung, zumindest der Beschlag und die Verglasung zerstörungsfrei entnommen werden können. Daher wird bei den zugehörigen Funktionen der Aspekt der Lösbarkeit ergänzt. Eine weitere Änderung resultiert aus der Annahme, entsprechend dem derzeit beobachteten Entwicklungstrend, dass in Zukunft viele Zusatzfunktionen in die Verglasung integriert werden sollen. Deshalb werden die zur Verglasung zugehörigen Funktionsbegriffe so umformuliert, dass die Glaseinheit ausgetauscht werden kann und der Fensterrahmen mit verschiedenen Glasstärken kompatibel ist. Die somit resultierenden Änderungen werden in Tabelle 4.2 zusammengefasst.

*Tabelle 4.2 Anpassung der derzeitigen Funktionsbegriffe (Tab. 4.1)*

<b>derzeitige Fensterkonstruktion</b>	<b>Fenster der Zukunft</b>
-	Profilmteile (Flügel) verbinden
-	Eckverbindung (Profilmteile) herstellen
Beschlag aufnehmen	Beschlag lösbar aufnehmen
Verglasung aufnehmen	variable Verglasungsdicken aufnehmen
Verglasung fixieren	Verglasung lösbar fixieren
Verglasung positionieren	

Ein weiterer wesentlicher Punkt aus der Anforderungsliste ist die neu definierte Schnittstelle (vgl. Tab. 3.3 – Punkt 1.9: „Funktionsrahmen“), wonach ein standardisiertes Verbindungselement zwischen Wandelement und Fenster entwickelt werden soll, damit eine spätere Demontage und Wieder-/Weiterverwendung und -verwertung des Fenstersystems ermöglicht wird. Aus den zu diesem Punkt angeführten Forderungen lassen sich in Tab. 4.3 weitere Funktionen ableiten, welche das Fenster durch diese Systemerweiterung erfüllen muss.

Tabelle 4.3 Funktionen der angestrebten Schnittstellenverschiebung

Anforderung	Erläuterung	geforderte Funktion
Fensteranschlag	zerstörungsfrei lösbarer, standardisierter Bauteilanschluss	Maueranschluss (Fenstersystem) herstellen
		Witterungsbeständigkeit zwischen Mauer & Rahmen herstellen
		Einbaulage (Fenster) vorgeben
		Einbaulage (Fenster) lösbar fixieren
Kompatibilität (Fenstertyp)	Drehkippenfenster und Fixverglasung	Fensterrahmen (Drehkippenfenster / Fixverglasung) aufnehmen
Systemgrenze außen	Inkl. Fensterlaibung	Schnittflächen der Maueröffnung abdecken
	Inkl. Fensterbrett innen	Stellfläche (innen) bereitstellen
	Inkl. Fensterbrett außen	Wasser außen abführen

Dabei können die Einträge, welche in obiger Tabelle 4.3 nur durch eine punktierte Linie getrennt sind, sinngemäß zu „Fensterrahmen lösbar fixieren“ zusammengefasst werden. Anhand dieses Beispiels wird ersichtlich, dass die gefundenen Funktionsbegriffe vor dem Aufstellen der Funktionsstruktur noch abgeglichen und die wesentlichen Punkte herausgefiltert werden müssen.

#### 4.1.2 Auswahl der relevanten Funktionen

Um die Übersichtlichkeit der Funktionsstruktur zu gewährleisten, wird auch der Punkt „Witterungsbeständigkeit erhöhen“ nicht extra angeführt, da diese Forderung bereits in anderen Funktionen berücksichtigt wird. Neben solchen doppelt genannten Begriffen enthalten die bisher erarbeiteten Auflistungen auch Funktionen, welche im Zuge dieser Aufgabenstellung nicht neu entwickelt werden müssen. So liegt der Fokus, wie bereits erwähnt, nicht auf der Konzipierung eines neuartigen Öffnungsmechanismus oder der Art und Ausführung der verwendeten Gummidichtungen. Des Weiteren wird in dieser Arbeit auch nicht nach einer Alternative zu Glas geforscht, wie eine Fläche stattdessen lichtdurchlässig abgedichtet werden könnte. Aufgrund der fehlenden Relevanz im Zuge dieser Produktentwicklung werden die zugehörigen Funktionen für die Funktionsstruktur nicht weiter herangezogen. Ebenfalls nicht berücksichtigt wird der Punkt „Farbgestaltung ermöglichen“, da es zu dessen Umsetzung auch keine Neuentwicklung bedarf.

Auf Basis dieser Überlegungen können die relevanten Funktionen entsprechend Tabelle 4.4 ausgewählt werden.

Tabelle 4.4 Übersicht der für die Funktionsstruktur relevanten Funktionen

Funktion	Relevanz
Maueranschluss (Fenstersystem) herstellen	✓
Einbaulage (Fenster) vorgeben	✓
Fensterrahmen lösbar fixieren	✓
Schnittflächen der Maueröffnung abdecken	✓
Stellfläche (innen) bereitstellen	✓
Wasser außen abführen	✓
Beschlag lösbar aufnehmen	✓
geringen Wärmedurchgang (Profilteile) sicherstellen	✓
Profilteile (Flügel) verbinden	✓
Eckverbindung (Profilteile) herstellen	✓
Profilsteifigkeit herstellen	✓
variable Verglasungsdicken aufnehmen	✓
Verglasung lösbar fixieren	✓
lichtdurchlässige Fläche abdichten	✗
Witterungsbeständigkeit zwischen Mauer & Rahmen herstellen	✓
Witterungsbeständigkeit zwischen Rahmen & Flügel herstellen	✓
Witterungsbeständigkeit erhöhen	✗
Farbgestaltung ermöglichen	✗
Kontaktpunkte der Komponenten abdichten	✗
Öffnungsbewegung ermöglichen	✗
Fenster ver-/entriegeln	✓
Einbruchschutz sicherstellen	✓

### 4.1.3 Kraft-/Stoffflüsse

Weitere Bestandteile einer Funktionsstruktur sind die von außen und im System wirkenden Kraft- und Stoffflüsse, welche sich aus möglichen Szenarien, die während der Nutzungsphasen eines Fensters eintreten können, ableiten lassen.

*Tabelle 4.5 Herleitung der Kraft-/Stoffflüsse des Funktionsmusters*

Szenario	Auswirkung (Kraft-/Stofffluss)
Witterung	Regenwasser
	Windbeanspruchung (Druck)
Öffnen/Schließen	Bedienkräfte
Öffnungsbewegung	Vertikallast + stat. Verwindung
Nutzung der Stellfläche (Fensterbank)	Vertikallast
Einbruchsversuch	Druck bzw. Moment durch Aushebelversuch

## 4.2 Funktionsstruktur

Indem man die erarbeiteten Funktionen miteinander, und mit den gefundenen Kraft- und Stoffflüssen, in Beziehung setzt, erhält man die Funktionsstruktur als lösungsneutrale Beschreibung des zu entwickelnden Fenstersystems (Abb. 4.2).

*Tabelle 4.6 Legende – Funktionsstruktur*

Linienart	Bedeutung
	Zusammenhang zwischen Funktionen
	Systemgrenze
	Stofffluss
	Kraftfluss
	Signalfluss

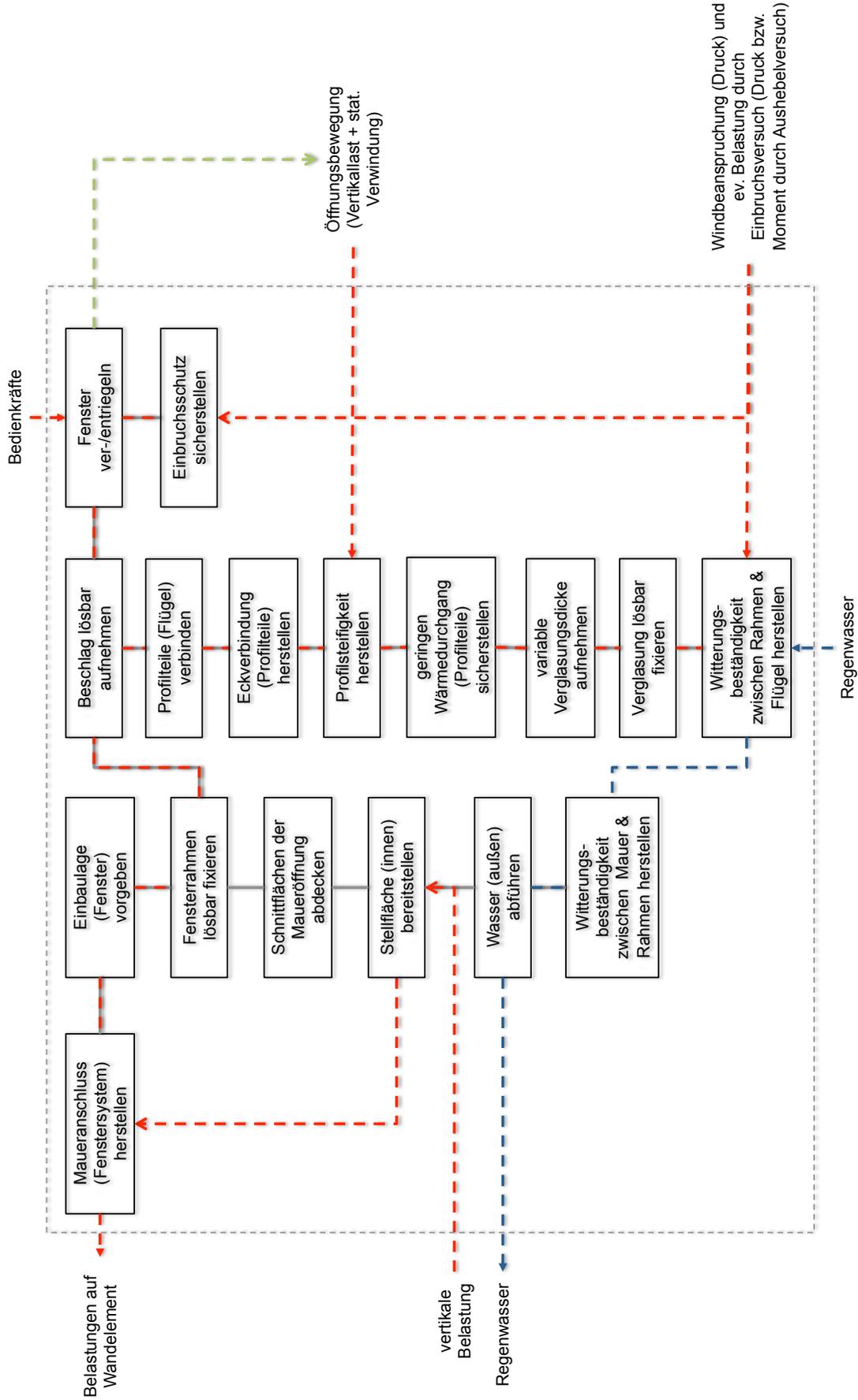


Abbildung 4.2 Funktionsstruktur - Fenster der Zukunft

## 5. Konzeptentwicklung

Im Zuge der Konzeptentwicklung soll die zuvor abstrahierte Produktbeschreibung in Form der Funktionsstruktur wieder zurück zu Umsetzungsvarianten konkretisiert werden. Dazu werden die einzelnen Teilfunktionen isoliert betrachtet und alle zugehörigen Lösungsansätze gesammelt.

Neben der intuitiven Ideenfindung spielte vor allem auch die Methode der Synektik, bei der Analogien und Umsetzungsmöglichkeiten aus anderen Bereichen übertragen werden, eine wichtige Rolle. Außerdem wurde parallel eine Patentrecherche durchgeführt, welche einerseits als Inspirationsquelle diente und andererseits spätere patentrechtliche Konflikte vermeiden sollte. (Ein Querschnitt der gefundenen und für diese Konzeptentwicklung als relevant erachteten Patente bzw. Gebrauchsmuster ist im Anhang zu finden.)

Die Gesamtheit der auf diese Weise ermittelten Umsetzungsmöglichkeiten kann im Weiteren in Tabellenform dargestellt werden.

### 5.1.1 Morphologischer Kasten

Der Morphologische Kasten dient zur gebündelten und strukturierten Darstellung aller, zu den einzelnen Funktionen gefundenen, Lösungsmöglichkeiten. Das Ergebnis ist eine Matrix, in der jede Zeile eine zu erfüllende Funktion repräsentiert und in den zugehörigen Spalten die im Kreativitätsprozess erarbeiteten Teillösungen zugeordnet sind.

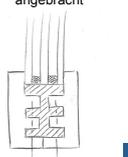
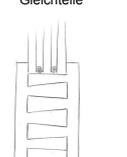
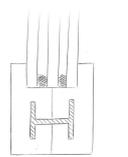
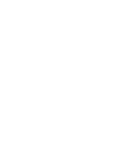
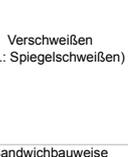
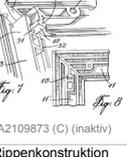
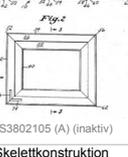
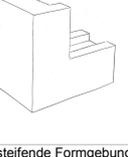
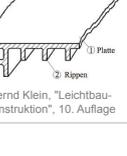
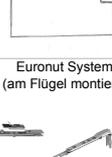
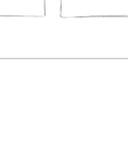
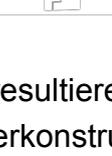
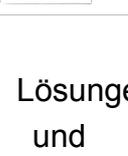
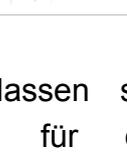
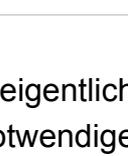
Anhand dieser Übersicht können die verschiedenen Konzepte abgeleitet werden. Dazu wählt man für jede Funktion eine der 6 Lösungen aus, wodurch die Produktgestalt des Fenstersystems weiter konkretisiert wird. Teilweise ist es auch möglich zwei Wirkprinzipien innerhalb einer Zeile zu kombinieren, um so einen neuen, nicht aufgelisteten, Lösungsansatz zu bilden. In beiden Fällen ist jedoch darauf zu achten, dass die ausgewählten Lösungen innerhalb eines Konzepts miteinander verträglich sind und nicht im Widerspruch zueinander stehen. In so einem Fall kann jedoch abgeschätzt werden, welche der beiden Funktionen die höhere Priorität hat, wobei die zugehörige Umsetzungsmöglichkeit dann den Vorzug erhält.

Entsprechend dieser Vorgehensweise konnten 2 verschiedene Konzepte gefunden werden, welche im Morphologischen Kasten in Tabelle 5.1 wie folgt hervorgehoben sind:

- Konzept 1
- Konzept 2

Tabelle 5.1 Konzeptbildung im Morphologischen Kasten

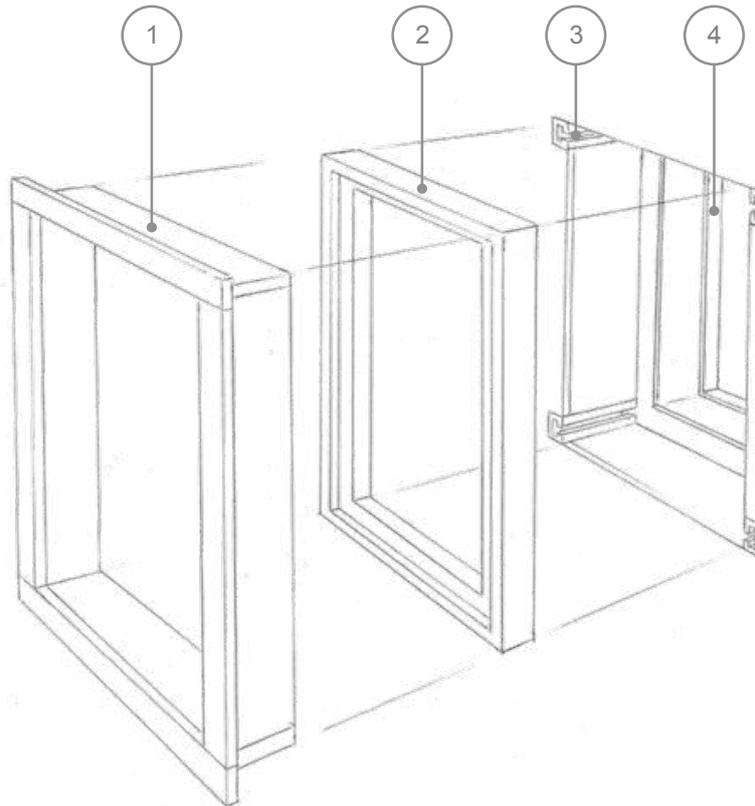
Fkt.	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3	Lösung 4	Lösung 6	Lösung 7
Maueranschluss (Fenstersystem) herstellen	Holzschrauben  DIN 571	Nägeln  DIN EN 10230	Verspreizen  Movit MV-40-398	Klemmen  Hornbach.at	Formschluss (z.B.: Schwalbenschwanz)  ing-tools.de	Kleben  "Freepik" from Freeicons
Einbaulage (Fenster) vorgeben	Führung  DIN 571	Gewinde (Einschlag- oder Einschraubmutter)  Hornbach.at	Formschluss - in Position einhaken  DIN 571	Keil (selbstzentrierend/-adjustierend)  Hornbach.at	Steckverbindung / Klipsverschluss  torp-fasteners.no	mittels Anschlag oder Winkel  EP0799963 (B1) (inaktiv)
Fensterrahmen lösbar fixieren	Einrastemechanismus (z.B.: Druckknopf mit Feder oder Autositz-Laufschiene)  ossenberg.com	Reibschluss (T-Mutter)  hug-technik.com	selbsthemmender Kniehebel (Klemm-/Spannsystem)  norelem.de	Schraubverbindung  DIN 571	Arretiermechanismus (Vorspannen und Lösen mittels Gewindestift)  DIN 571	Rahmenkralle (Vorspannung der Kralle über Gewindestift)  DE8807747 (U1) (inaktiv)
Sicht- / Schnittfläche der Maueröffnung abdecken	Nut-Feder - Bretter (Verkleidung)  baunetzwissen.de	genauer Zuschnitt (Verkleidung)  DIN 571	isolierte Elemente  DIN 571	"Teleskop - Kasten"  DIN 571	tiefenverstellbare Laibung  EP1788182 (B1) (Patent aktiv)	
Stellfläche (innen) bereitstellen	herkömmliche Konstruktion (Brüstungsriegel)  informationdienst-holz.de	variabler Brüstungsriegel  gutmann.de	Fensterbrett (rot) als tragfähiges Element der Riegelkonstruktion  DIN 571			
Wasser (außen) abführen	schräge Fensterbank (außen angeschlossen)  key-tec.at	mittels überstehendem Rahmen (mit Nut)  DIN 571	Abdeckblech  DIN 571	trotz Temp.-Wechsel spannungsfreier Fensterbankanschluss  EP2514904 (A3) (Patent in Prüfung)		
Witterungsbeständigkeit zwischen Mauer & Rahmen herstellen	Rahmen in Riegel fräsen  DIN 571	Außenwand als Anschlag für Rahmen nutzen  DIN 571	Anklippbare Dichtungsbänder (5,6), welche verputzt werden  DE202005013196 (U1) (inaktiv)			
Witterungsbeständigkeit zwischen Rahmen & Flügel herstellen	Stufenprofil  DIN 571	Schnittebene seitlich  DIN 571				
Beschlag lösbar aufnehmen	an Profileilen verschrauben  DIN 571	Stecksystem (auf Profileile aufklippbare Beschlagskomponenten)  schueco.com (AvanTec)	direkt auf Glaselement  DIN 571			

Fkt.	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3	Lösung 4	Lösung 6	Lösung 7
Profilteile (Flügel) verbinden	"Lego"-Rahmen 	auf Mittelstück/Versteifung angebracht 	gegengleich verspannte Gleichteile 	durch Versteifung verspannt 	Kleben/Verschweißen 	
Eckverbindung (Profilteile) herstellen	über Eckverbinder (Steck-/Schraubverbindung) 	Verschweißen (z.B.: Spiegelschweißen) 	in Profil gearbeitete Steckverbindung  CA2109873 (C) (inaktiv)	Faltwinkel  US3802105 (A) (inaktiv)	Verschraubung  links: US2007053766 (A1) (inaktiv) rechts: US1335554 (A) (inaktiv)	Eckstück im Ganzen fertigen 
Profilsteifigkeit herstellen	Stahlarmierung mit biegesteifer Profilform  o-metall.com	Sandwichbauweise  wikipedia.org	Rippenkonstruktion  Bernd Klein, "Leichtbau-Konstruktion", 10. Auflage	Skelettkonstruktion (Erhöhung der Biegesteifigkeit durch Segmentierung mittels Schottwände)  Bernd Klein, "Leichtbau-Konstruktion", 10. Auflage	Einbringen von Sicken in flächigen Geometrien  Bernd Klein, "Leichtbau-Konstruktion", 10. Auflage	versteifende Formgebung durch schalenförmige Gestaltung (Krümmung)  Bernd Klein, "Leichtbau-Konstruktion", 10. Auflage
geringen Wärmedurchgang (Profilteile) sicherstellen	Hohlkammerprofil  internorm.com	gefüllte Hohlkammern (z.B.: Verwertung von Verschnitt) 	Vollmaterial 	geschichteter Aufbau aus mehreren Materialien  internorm.com	Profilteile reduzieren 	
variable Verglasungsdicke aufnehmen	identie Profil-/Isolierelemente + tragender Glaseinsatz 	Wechsel oder Zuschnitt der Glasleiste 	zwischen beidseitigen Keilen verspannt 	durch einseitigen Keil 	segmentierter Profilaufbau 	dreh-/schwenkbare Glasleiste 
Verglasung lösbar fixieren	steckbare Glasleiste 	in verschraubter Leiste eingeklebt 	verschraubte Leiste inkl. Klotzfunktion 	Freischneiden der Verglasung (z.B. durch nach Verklebung angebrachte Seitenteile) 	selbstthemmende Verklotzung/Glasleiste 	lösbarer Klebeverbindung (durch elektrische / magnetische Wechselfelder; Gleichspannung + gleichzeitige Erwärmung) 
Fenster verriegeln	Euronut System (am Flügel montiert) 	Internorm I-tec Verriegelung  internorm.com	Fenstergetriebe im Rahmen 			
Einbruchschutz sicherstellen	Aushebeln formschlüssig verhindern 	Eindrücken der Verglasung verhindern (Glasleiste außen angeordnet) 	Stahlarmierung über Fenstergriff in Rahmen/Mauer ausfahren 	Blockieren der Drehbewegung 	Aufdrücken des Flügels verhindern 	Andrücken/Fixieren des Flügels 

Die resultierenden Lösungen lassen sich dabei jeweils in die eigentliche Fensterkonstruktion und den für deren Kreislauffähigkeit notwendigen Funktionsrahmen einteilen.

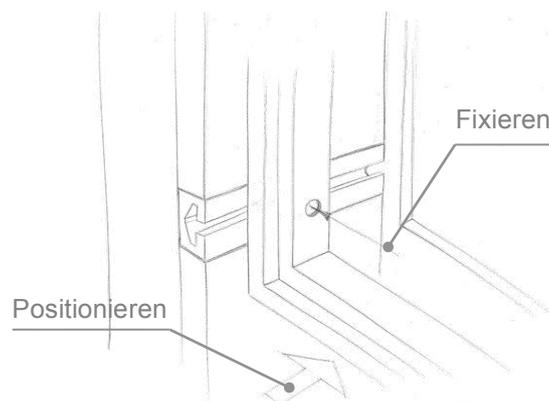
## 5.1.2 Konzept Funktionsrahmen

Der Aufbau des Funktionsrahmens ist in beiden Konzepten relativ ähnlich, da sich die geforderte Modularität und Zerlegbarkeit des Fenstersystems am besten mit einem Führungssystem (Abb. 5.1 - Pos. 3) umsetzen lässt, welches sowohl Innenverkleidung (Abb. 5.1 - Pos. 1), Fensterkonstruktion (Abb. 5.1 - Pos. 2) und auch Außenverkleidung (Abb. 5.1 - Pos. 4) aufnimmt.



*Abbildung 5.1 Erstkonzept - modularer Systemaufbau mittels Funktionsrahmen*

Außerdem bietet dieses Schienensystem die größte Flexibilität hinsichtlich der Positionierung der einzelnen Komponenten. Das anschließende Fixieren soll gemäß Abb. 5.2 entweder über den Reibschluss mittels T-Mutter oder einem selbsthemmenden Spannsystem realisiert werden:



*Abbildung 5.2 Befestigung der Fensterkonstruktion*

Die bisher nur vereinfacht dargestellte Fensterkonstruktion unterscheidet sich jedoch bei den abgeleiteten Varianten. Aus diesem Grund wird für die weitere Beschreibung zwischen Konzept 1 und 2 unterschieden.

### 5.1.3 Konzept 1

Charakteristisch für die erste Variante ist, dass der Übergang zwischen Fensterflügel (Abb. 5.3 - Pos. 2.2 bis 2.4) und Fensterrahmen nicht als herkömmliches Stufenprofil ausgeführt ist, sondern die Schnittebene seitlich eine ineinandergreifende Kontur aufweist:

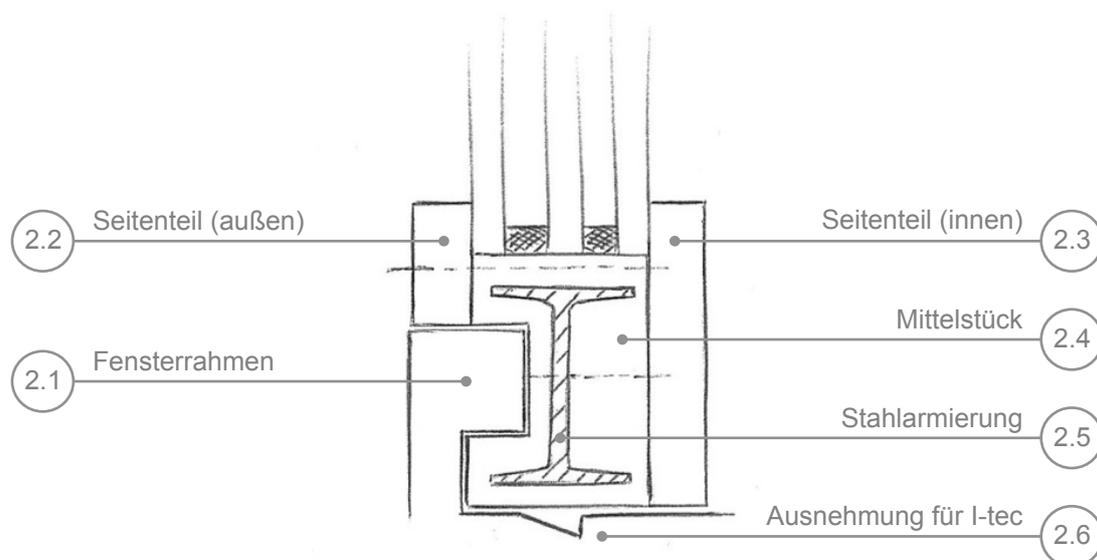


Abbildung 5.3 Querschnitt – Konzept 1

Hintergrund dieser unkonventionellen Anordnung sind die Überlegungen, dass so eine Formgebung einerseits Vorteile hinsichtlich der Dichtigkeit und andererseits Verbesserungen bezüglich der Einbruchssicherheit mit sich bringen könnte. Letzteres lässt sich damit begründen, da die beim Aushebelversuch entstehenden Kräfte und Momente nicht mehr nur von den Verriegelungsmechanismen des Beschlags aufgenommen werden müssen, sondern das komplette, im Rahmen eingreifende, Fensterflügelprofil den Belastungen entgegenhält (vgl. Abb. 5.3). Durch die dabei gewählte Form des Schnittstellenübergangs ist es naheliegend, dass zur Versteifung des Fensterflügels ein I-Profil (Abb. 5.3 - Pos. 2.5), welches vor allem in Relation zu seinem Gewicht als besonders biegesteif gilt, verwendet wird. Zur Aufnahme der Armierung weist das Mittelstück eine entsprechende Ausnehmung auf, welche auch für die Eckverbindungen herangezogen werden.

Dazu wird direkt im Anschluss jeweils auf der Höhe jedes Gurtes des I-Profiles zusätzlich ein Winkel, über den eine Verbindung hergestellt wird, eingeschoben (siehe Abb. 5.4).

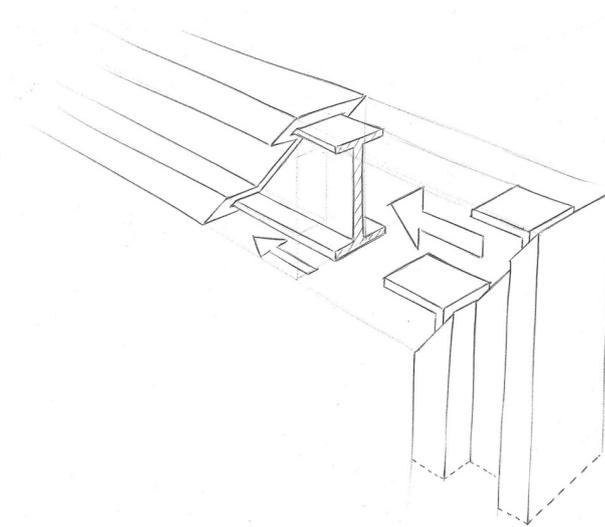


Abbildung 5.4 Eckverbindung – Konzept 1

Während des Zusammenbaus dieser tragenden Baugruppe soll auch die Isolierverglasung auf das Mittelstück geklebt werden. Um einen leicht durchzuführenden Klebevorgang in der Horizontale zu ermöglichen, soll dieser auf einer nichthaftenden Fläche (z.B.: aus PTFE) erfolgen. Erst nach dem Aushärten des Klebers werden die Seitenteile (Abb. 5.3 - Pos. 2.2 & 2.3) mit dem Mittelstück verschraubt. Dadurch wird erreicht, dass die Verglasung nach der Nutzungsphase einfach freigeschnitten werden kann. Im Zuge eines Verglasungstauschs können somit alle Komponenten weiterverwendet werden und selbst bei einer anderen Dicke der Isolierverglasung muss nur jeweils eines der Seitenteile pro Profil ausgetauscht werden. Gleichzeitig stellen diese Abdeckungen die Sichtflächen des Flügels dar (vgl. Abb. 5.5 – weiße Flächen), wodurch sich eine Anpassungsfähigkeit in gestalterischer Hinsicht ergibt.

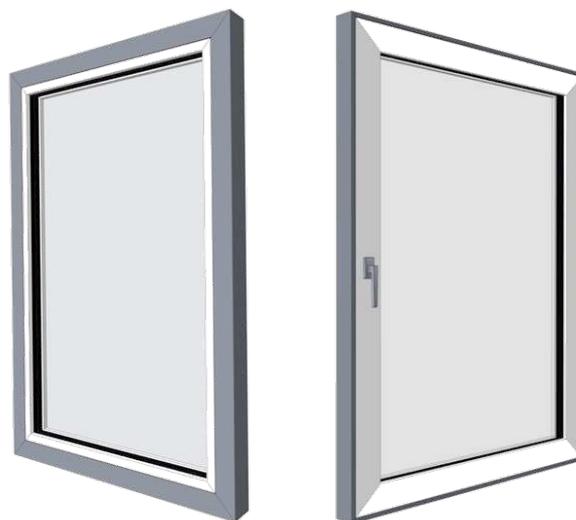


Abbildung 5.5 Außen- (links) und Innenansicht (rechts) - Konzept 1

Als Verriegelungsmechanismus wird bei dieser Variante das I-tec System von Internorm angedacht, weswegen in der Horizontale im Fensterrahmen oder Funktionsrahmen eine entsprechende Ausnehmung (Abb. 5.3 - Pos. 2.6) vorgesehen ist. Betreffend des Beschlags erfordert diese Konstruktion außerdem spezielle Scharniere, welche statt einer Drehung um einen fixen Punkt eine komplexere Kinematik des Flügels ermöglichen. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die Öffnungs- und Schließbewegung, trotz des seitlich angeordneten Übergangs, zwischen Rahmen und Flügel, erfolgen kann und die Bauteilkonturen mit möglichst geringem Spiel ineinandergreifen. Realisiert werden könnte dies beispielsweise über einen 2. Drehpunkt des Scharniers, wodurch eine kombinierte Flügelbewegung resultiert.

Zusammenfassend lässt sich die Variante 1 über folgende Vor- und Nachteile gemäß Tabelle 5.2 beschreiben.

*Tabelle 5.2 Vor- & Nachteile - Konzept 1*

Vorteile	Nachteile
Einbruchssicherheit	Komplexität der Scharniere
Biegesteifigkeit	Aufwand beim Zusammenbau
Lösbarkeit der Eckverbindung	
Verglasungstausch trotz Verklotzung	
Anpassbarkeit der Sichtflächen	

### 5.1.4 Konzept 2

Diese Variante unterscheidet sich von herkömmlichen Fensterkonstruktionen darin, dass die Isolierverglasung nicht am ganzen Umfang, sondern nur an den Ecken in einem Profil gefasst ist. Dadurch ergibt sich der Vorteil, dass für beliebige Fenstergrößen immer nur jeweils 4 Stück dieses Gleichteils benötigt werden. Einzig die Verglasungseinheit, der Rahmen und dessen Ausnehmungen, in die der Flügel einschwenkt (siehe Abb. 5.6), müssen entsprechend der jeweiligen Größe gefertigt werden.

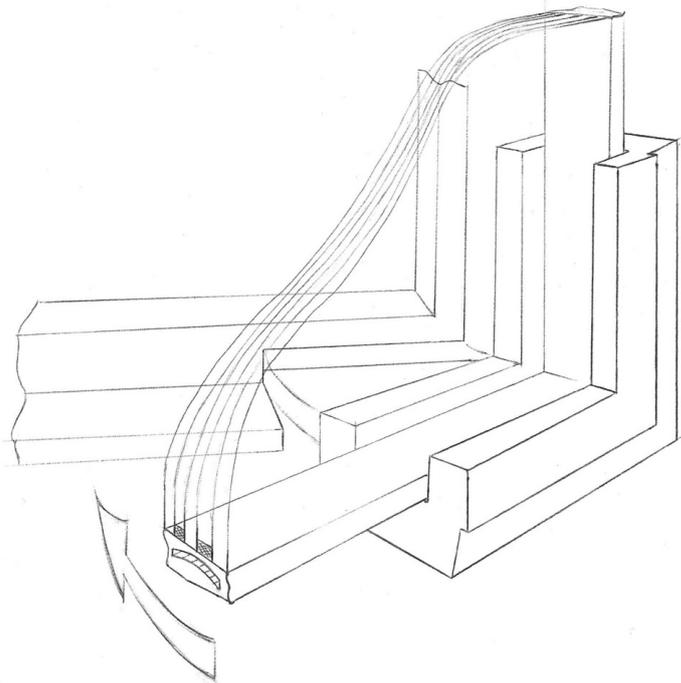


Abbildung 5.6 Eckprofil – Konzept 2

Am Beispiel des Rahmens muss daher im Bereich der Ecken eine Ausnehmung gefertigt werden, damit Flügel und Rahmen ineinandergreifen können (vgl. Abb. 5.7 rechts). Entlang der restlichen Schnittstelle ergibt sich der Nachteil, dass die beiden Hauptkomponenten hier nur plan aufeinandertreffen (vgl. Abb. 5.7 links). Um trotzdem eine entsprechende Dichtwirkung zu erhalten, ist an der Oberkante des Rahmens ein Dichtungsprofil (Abb. 5.7 - Pos. 2.4) angeordnet, welches sich am ganzen Umfang an die Verglasung saugt. Gleichzeitig wird anhand des Querschnitts im mittleren Bereich ersichtlich, dass die Isolierverglasung inklusive ihrer Fassung fast am Fensterrahmen aufliegt. Dadurch ergibt sich der Vorteil, dass man bei einem Wechsel von einem zu öffnenden Fenster auf eine Fixverglasung die selbe Glaseinheit verwenden und ohne den Eckstücken direkt in den Rahmen einsetzen könnte. Wenn die Mehrfachverglasung keine speziellen Beschichtungen aufweist und somit die Einbaulage nicht relevant ist, könnte man den Glasverbund für das Einkleben so drehen, dass die Schrägung der Glasfassung (Abb. 5.7 - Pos. 2.3) zum

Rahmen (Abb. 5.7 - Pos. 2.1) zeigt. Der dabei entstehende Freiraum zwischen Schräge und Anschlag des Rahmens könnte somit den Platz für die Klebenaht vorgeben.

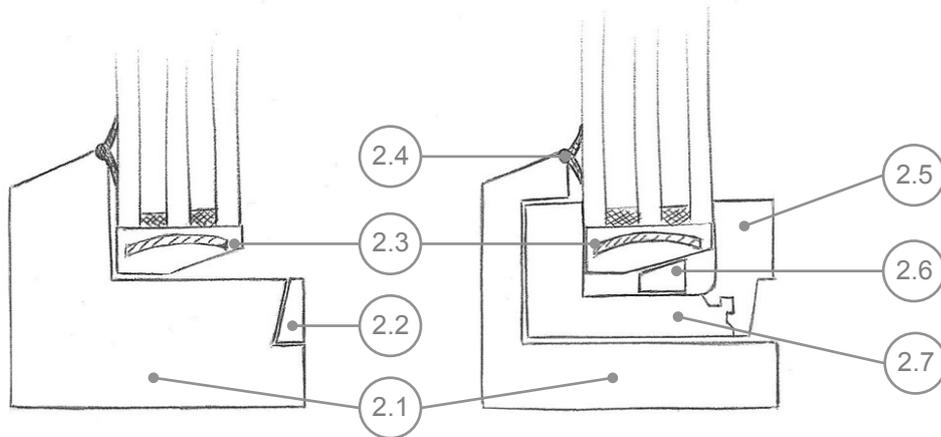


Abbildung 5.7 Querschnitte – Konzept 2: Fenstermitte (links) & Eckprofil (rechts)

Das Eckprofil hingegen ist immer gleich aufgebaut. Es besteht aus einem Grundprofil (Abb. 5.7 - Pos. 2.7), einer aufsteckbaren Glasleiste (Abb. 5.7 - Pos. 2.5) und einem Keil (Abb. 5.7 - Pos. 2.6), der über eine Schraubverbindung vorgespannt wird und somit verschiedene Verglasungsdicken fixieren kann. Der Keil steht dabei in Eingriff mit der Glasfassung, welche konstruktiv mit einer gekrümmten Stahlarmierung versteift ist.

Ein weiterer Unterschied zur konventionellen Bauart ist das Fenstergetriebe, welches nicht am Fensterflügel, sondern im Rahmen montiert ist. Auf den Flügel bzw. die Verglasung wird lediglich der Griff inklusive Zahnscheibe angebracht, welche im geschlossenen Zustand das Fenstergetriebe bewegen, und somit den Verriegelungsmechanismus steuern kann. Da das Gestänge nur beim Versperren des Flügels gehoben werden muss (vgl. Pfeile in Abb. 5.8) und es in diesem Zeitraum immer mit der Zahnscheibe im Eingriff steht, wäre das mechanische Prinzip für das einfache Ver- und Entriegeln von derzeitigen Konstruktionen übertragbar.

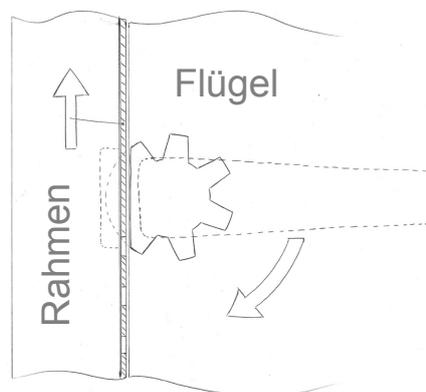


Abbildung 5.8 Fenstergetriebe – Konzept 2

Der Verschluss (Abb. 5.7 - Pos. 2.2) zum Blockieren des Fensterflügels wird dabei translatorisch über das Fenstergetriebe mitbewegt und somit gesteuert:

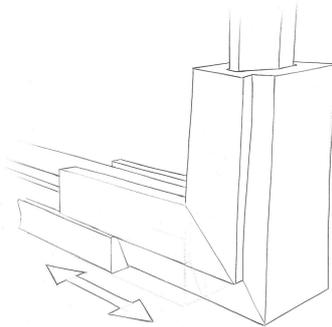


Abbildung 5.9 Verriegelung - Konzept 2

Alternativ könnte diese Variante auch mit dem I-tec System von Internorm umgesetzt werden, indem der Klappverschluss gegen die, für den Schubriegel angedachten, Schrägen am Eckprofil drückt.

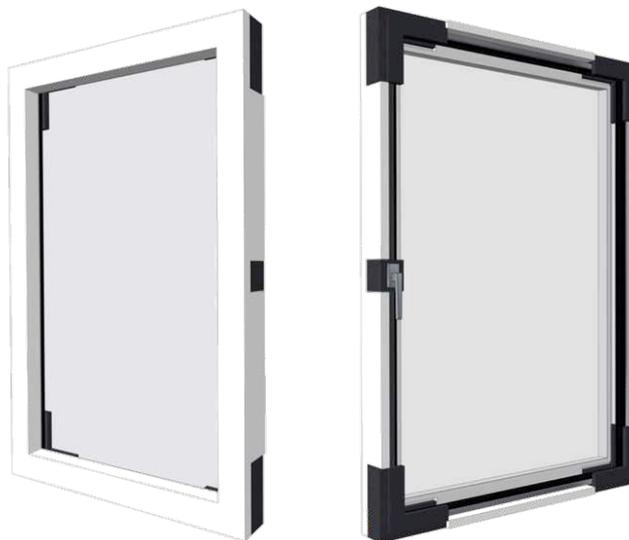


Abbildung 5.10 Außen- (links) und Innenansicht (rechts) – Konzept 2

Das in Abb. 5.10 gezeigte zweite Konzept wird somit gemäß Tabelle 5.3 bewertet.

Tabelle 5.3 Vor- & Nachteile - Konzept 2

Vorteile	Nachteile
Flügelprofil aus 4 Gleichteilen	Komplexität der Scharniere
Gleichteile von Verglasungsgröße unabhängig	Abdichtung (teilweise stufenloser Kontaktbereich)
Materialreduktion	
Einbruchssicherheit	
Verglasungstausch	
Wechsel auf Fixverglasung mit selber Isolierverglasung	

## 5.2 Konzeptauswahl

Für die Auswahl, welches der beiden Konzepte weiterverfolgt werden soll, wurde am 10.05.2019 eine erneute Diskussionsrunde mit Herrn Ing. Engelbert König von Internorm veranstaltet.

Aus der Besprechung ging hervor, dass das als visionärer eingestufte Konzept 2 bevorzugt wird. Zwar wurden beim Konzept 1 vor allem der erhöhte Einbruchsschutz und die Dichtheit positiv bewertet, jedoch bringt der dafür geänderte Aufbau des Flügelprofils ästhetische Nachteile. So sind bei dieser Konstruktion höhere Ansichtsbreiten der sichtbaren Profiltteile zu erwarten, was gegen die derzeitigen Trends spricht. Die zweite Variante hingegen entspricht sehr gut den zu beobachtenden Entwicklungstendenzen der Fensterbranche. Demnach wird, vor allem aus architektonischen Bestrebungen, ein möglichst minimalistisches Erscheinungsbild bei immer höheren zu ertragenden Belastungen gefordert. Aus diesem Grund wurde das reduzierte Flügelprofil des Konzepts 2 in Form von 4 gleichen Eckstücken, welche unabhängig der Verglasungsgröße als Gleichteil eingesetzt werden können, besonders positiv bewertet. Des Weiteren überzeugte die reduzierte Außenansicht, welche sich optisch nicht von einer Fixverglasung unterscheidet. Außerdem lässt sich dieses Konzept auch beim erwarteten Folge-Technologielebenszyklus der Vakuumverglasung sehr gut umsetzen.

Jedoch bringt diese unkonventionelle Konstruktion noch einige Punkte mit sich, welchen bei der Konkretisierung des Konzepts noch besondere Beachtung geschenkt werden muss.

## 5.3 Konzeptkritik

Einer der zu überarbeitenden Punkte des zweiten Konzepts ist dessen Witterungsbeständigkeit. Vor allem der mittlere Bereich, wo die Verglasung direkt und nur in einer Ebene mit dem Fensterrahmen in Kontakt tritt (siehe Abb. 5.7 – links), ist besonders kritisch. Aufgrund der fehlenden Abstufung dieses Übergangs, zwischen Flügel und Rahmen, ist die Dichtheit an den dort liegenden Stellen einzig und allein von der umlaufenden Dichtlippe (Abb. 5.7 - Pos. 2.4 ) abhängig. Für letztere kann in der Praxis, vor allem nach mehrmaliger Betätigung, jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass diese auch immer am gesamten Umfang komplett an der Glasscheibe anliegt und so die Schnittstelle abdichtet. Aus diesem Grund muss zumindest entlang des unteren horizontalen Fensterrahmenprofils eine Entwässerung, welche für die Redundanz der Funktion „Witterungsbeständigkeit zwischen Rahmen & Flügel herstellen“ sorgt, ergänzt werden.

Weiters muss geprüft werden, ob die Funktionalität des Öffnungsmechanismus, trotz der neuen Anordnung des Fenstergetriebes im Fensterrahmen (siehe Abb. 5.8), weiterhin gegeben ist. So kann zwar davon ausgegangen werden, dass der

Mechanismus für das Ver- und Entriegeln von heutigen Konstruktionen übernommen werden kann, jedoch gilt das nicht für die Mechanik des Kippens. Hierfür muss die Zahnscheibe des Griffs einerseits mit dem Gestänge im Rahmen im Eingriff sein und andererseits muss sie sich mit dem Flügel aus der Ebene des Rahmens kippen lassen, was zu einem Widerspruch führt.

Ein weiterer Widerspruch ergab sich bei näherer Betrachtung der Öffnungsbewegung des Flügels. Hintergrund dafür war, dass die rahmenseitigen Eckprofile des Fensterflügels komplett und möglichst spielfrei im Fensterrahmen versenkt werden sollen (vgl. Abb. 5.7 – rechts). Dies konnte jedoch mit einer reinen Drehbewegung nicht realisiert werden. Auch der zweite Ansatz, ein Mehrgelenkscharnier mit 2 Drehpunkten einzusetzen, führte zu keiner Lösung. Anhand eines CAD-Modells wurde die Lage der Drehpunkte variiert, wobei die folgende Problematik ersichtlich wurde. Um ein kollisionsfreies Ein-/Aussschwenken der Eckstücke zu ermöglichen, sollten die Drehpunkte möglichst nahe der Ausnehmung liegen. Bei dieser Anordnung wird der Öffnungswinkel des Fensterflügels jedoch stark eingeschränkt. Von diesem Gesichtspunkt aus sollten die Drehpunkte möglichst an der dem Innenraum zugewandten Seite des Flügels angeordnet werden, damit dieser beim Öffnen nicht mit dem Mauerwerk kollidiert.

Diese Überlegungen zeigen, dass entweder der Systemaufbau oder der Öffnungsmechanismus grundlegend geändert werden muss, um die Funktionalität des Konzepts gewährleisten zu können. Die Lage des Fensterfalzes und die Idee der Eckstücke ergeben sich jedoch durch geforderte Variabilität der Verglasungsdicke und Maßnahmen für die Kreislauffähigkeit des Fenstersystems. Daher muss der Öffnungsmechanismus, obwohl dieser aufgrund seines geringen Anteils am Umwelteinfluss des gesamten Produkts ursprünglich nicht überarbeitet werden sollte, neu entwickelt werden. Die zugehörige rotatorische Flügelbewegung könnte dabei um einen linearen Anteil, welcher die Eckstücke aus den Ausnehmungen bewegt, ergänzt werden. Die Realisierung dieser komplexeren Bewegung bringt jedoch eine erhebliche Schwierigkeit mit sich. So darf sich die Anzahl der Freiheitsgrade<sup>12</sup> nicht weiter erhöhen, da die Flügelbewegung sonst nicht mehr absolut vorgegeben ist, was die Schließbewegung deutlich erschweren würde. Der zugehörige Mechanismus des finalen Konzepts muss daher gewährleisten, dass die lineare Bewegung der Eckstücke aus den Ausnehmungen und das Drehen des Flügels in Öffnungsposition voneinander getrennt abgebildet sind.

---

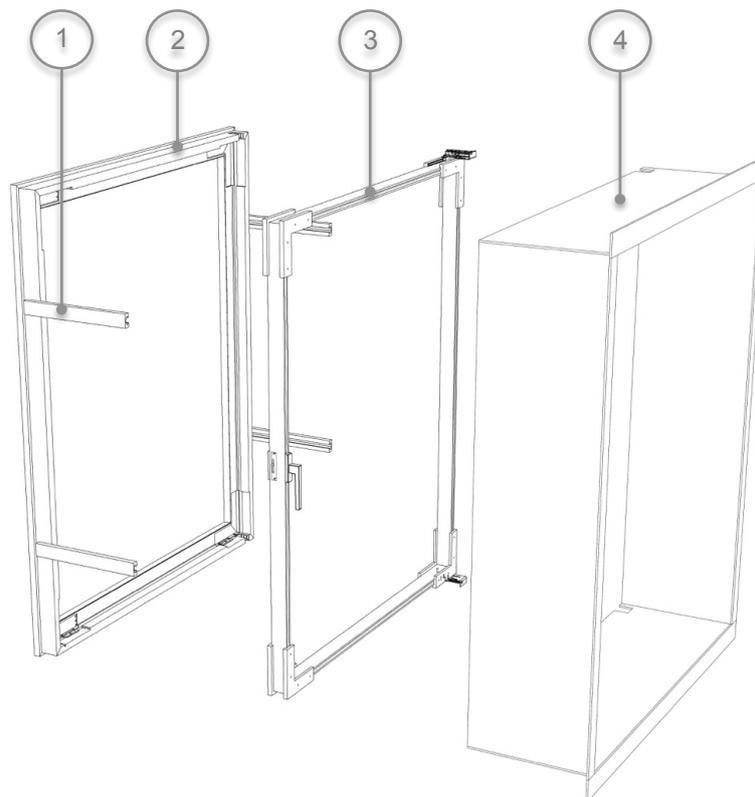
<sup>12</sup> Der Freiheitsgrad beschreibt die Anzahl der voneinander unabhängigen Bewegungsmöglichkeiten eines Körpers.

## 6. Finales Konzept

Das finale Konzept resultiert aus einer Überarbeitung des, aus dem Morphologischen Kasten abgeleiteten, Konzepts 2. Da der Entwicklungsstand dieser methodischen Vorgehensweise rein auf die Erfüllung aller im Funktionsmodell geforderten Punkte abzielt, müssen die allgemeinen Anforderungen, wie das ästhetische Erscheinungsbild oder der Aspekt der einfachen Herstellung, in einem gesonderten Schritt weiterverfolgt werden. Dazu wurde die Komplexität des Erstkonzepts weiter reduziert, sowie gewisse Komponenten neu überarbeitet. Entsprechend dieser Überlegungen und der vorangegangenen Konzeptkritik ergibt sich der nachfolgende konstruktive Aufbau.

### 6.1 Fenstersystemaufbau

Wichtigste Funktion des Fensteraufbaus ist, dass sich alle Hauptkomponenten zu jedem Zeitpunkt unabhängig voneinander demontieren lassen. Das dazu notwendige, zum Fenstersystem erweiterte, Konzept lässt entsprechend Abb. 6.1 gliedern.



- 1 – Führungssystem
- 2 – Fensterrahmen
- 3 – Fensterflügel
- 4 – Mauerverkleidung

Abbildung 6.1 Aufbau des Fenstersystems

Zentrales Anslusselement zum Mauerwerk ist dabei das Führungssystem, wodurch es die Grundlage des modular gestalteten Aufbaus bildet.

### 6.1.1 Führungssystem

Das Führungssystem setzt sich aus 4 Profilschienen (Abb. 6.2 – Pos. 1.1), welche jeweils eine Nut zur Aufnahme von T-Muttern (Abb. 6.2 – Pos. 1.2) aufweisen, zusammen. Dadurch können die einzelnen Komponenten einfach entlang dieser Führungen positioniert und anschließend durch das Verspannen der T-Muttern fixiert werden.

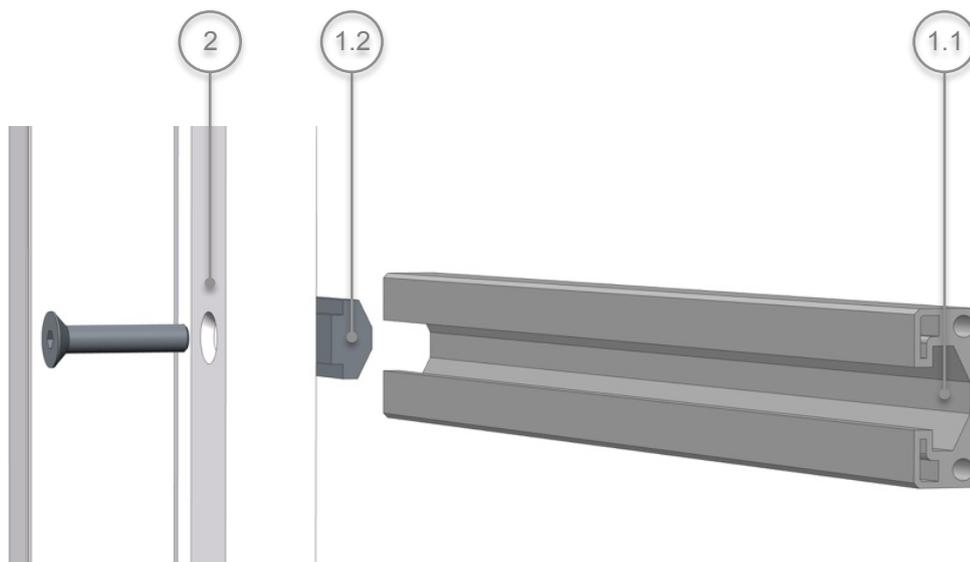


Abbildung 6.2 Profilschiene: Befestigung mittels T-Mutter

Neben der Lösbarkeit dieser Verbindung ergibt sich dadurch der Vorteil, dass die Einbaulage bereits von diesen Profilen vorgegeben wird. Infolgedessen kann außerdem eine höhere Einbauqualität des Gesamtsystems erwartet werden, da die lagerichtige Montage der deutlich handlicheren Führungen einfacher durchzuführen ist, als die des Fensterrahmens (Abb. 6.2 – Pos. 2), welcher bisher positionsbestimmend war.

### 6.1.2 Fensterrahmen

Bei der Gestaltung des Fensterrahmens wurde vor allem darauf geachtet, dass die Fertigung der 4 Kunststoffprofile, aus denen sich der Rahmen zusammensetzt, mit nur einem Extrusionswerkzeug möglich ist. Dadurch können die Rahmenteile vom selben Strangprofil abgelängt, auf Gehrung geschnitten und anschließend zusammengefügt werden. Dafür ist mit dem Heizelementstumpfschweißen (Spiegelschweißen) ein bei Kunststofffenstern bereits bewährtes Verfahren vorgesehen. Bei der restlichen Rahmenkonstruktion gibt es jedoch einige Änderungen im Vergleich zu konventionellen Fenstern.

Einer dieser Unterschiede ist, dass die Abdichtung des Schnittstellenübergangs zum Fensterflügel nicht mehr an dessen Umfang, sondern allein durch die Überdeckung beider Komponenten parallel zur Maueröffnung erfolgt. Hintergrund dieser Änderung ist vor allem die Anforderung der, mit dem Verglasungstausch verbundenen, Upgradefähigkeit. So ist das konventionelle Stufenprofil von Rahmen und Flügel bei derzeitigen Fensterkonstruktionen aufeinander abgestimmt, wodurch die Tiefe beider Komponenten immer gleich sein muss. Durch die neue Anordnung der Dichtebene (siehe Abb. 6.3) ist dies nicht mehr der Fall, weswegen die Dicke des Fensterflügels, auch ohne Austausch des Fensterrahmens, mit der Verglasungseinheit reduziert werden kann.

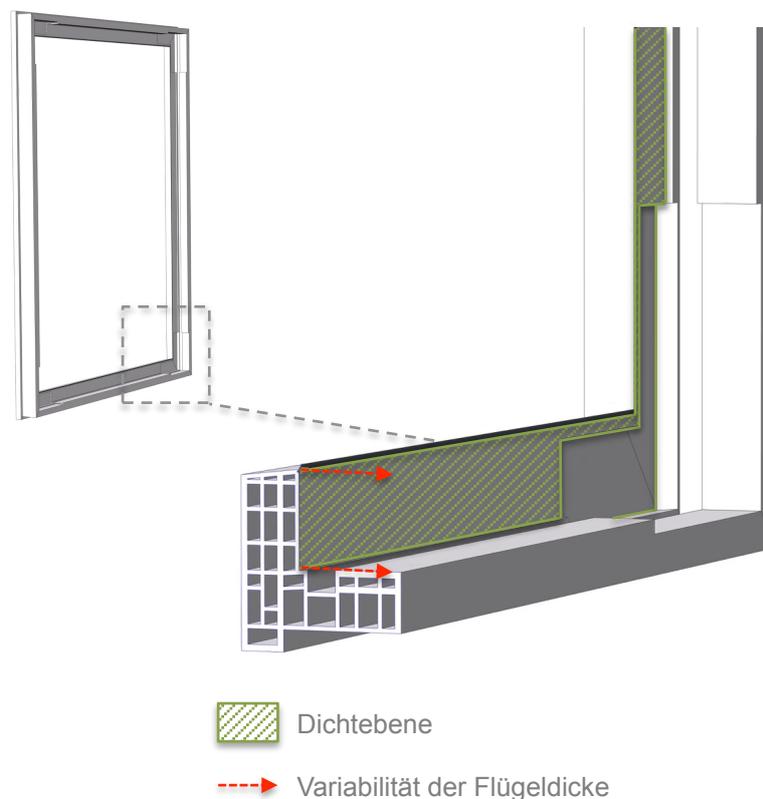
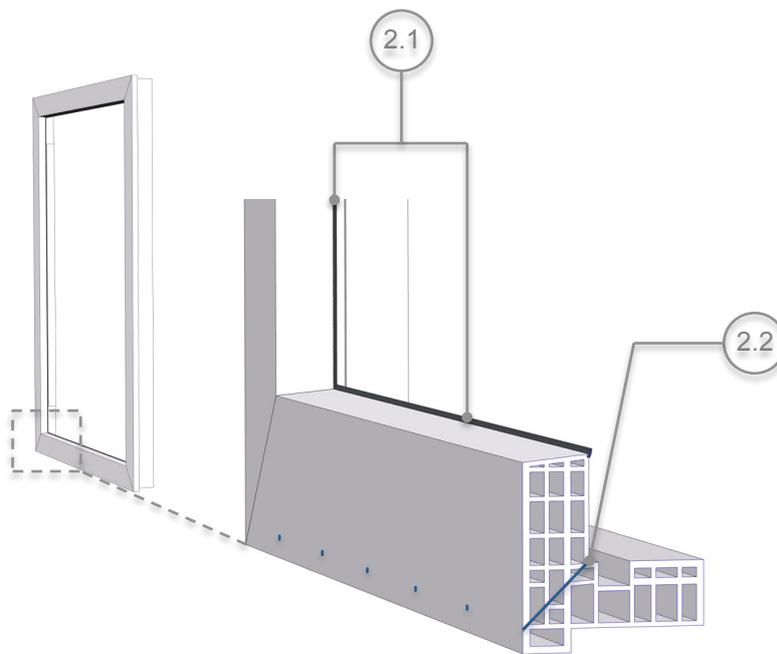


Abbildung 6.3 Dichtebene des Fensterrahmens

Außerdem trägt diese Anordnung zu einem minimalistischen Erscheinungsbild bei, da sich die Ansicht von außen nicht von einer Fixverglasung unterscheidet.

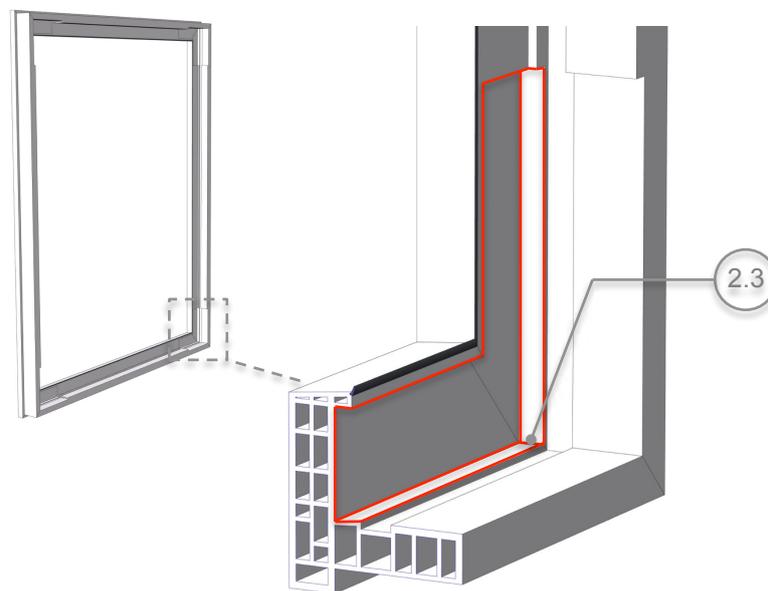
Eine weitere Änderung betrifft die Einbaulage des Fensterrahmens, welcher im Systemaufbau des finalen Konzepts ganz außen angeordnet ist. Dadurch kann einerseits auf die Außenverkleidung (vgl. Abschnitt 5.2.3) verzichtet werden und andererseits ermöglicht diese Position des Rahmens dessen Demontage, ohne dass andere Komponenten zuvor entfernt werden müssen. Somit kann der Fensterrahmen zu jedem Zeitpunkt ausgewechselt werden, wodurch sich (z.B.: im Falle einer Renovierung der Fassade) die gesamte Außenansicht des Fenster gestalterisch anpassen lässt. Des Weiteren bringt dieser Aufbau auch funktionale Vorteile. So kann die Entwässerung des Fensters komplett über die Rahmenkonstruktion erfolgen, da diese leicht aus der Maueröffnung ragt. Zuzufolge dieser Überlegungen ergibt sich auch der beispielhaft gezeigte Profilquerschnitt. Dabei sind die Hohlkammern so angeordnet, dass sich das Wasser, welches trotz Dichtlippe (Abb. 6.4 – Pos. 2.1) in die Konstruktion gelangt, nirgends im Profil anstauen und es problemlos nach außen abfließen kann. Dies soll über Entwässerungsbohrungen (Abb. 6.4 – Pos. 2.2) erfolgen, welche im unteren Rahmenprofil platziert sind.



*Abbildung 6.4 Fensterrahmen - Entwässerung und Querschnitt in der Mitte*

Hinsichtlich Stabilität und Wärmedämmung kann dieser im Konzept gezeichnete Querschnitt jedoch sicher noch weiter optimiert werden. Um diesen Aspekt dennoch zu berücksichtigen, wurden die Wandstärken entsprechend den Richtwerten aus DIN EN 12608 für Kunststoffprofile der Klasse A gewählt. Demnach wurde für die Außenwände eine Wandstärke von 3 mm bzw. für die Profilstege 2 mm gewählt, was einer konservativen, jedoch auf Konzeptebene völlig ausreichenden, Annahme entspricht.

Zusätzlich beeinflusst wird die Aufteilung der Hohlkammer außerdem durch die notwendigen Ausnehmungen (Abb. 6.5 – Pos. 2.3) in jeder Ecke des Fensterrahmens.

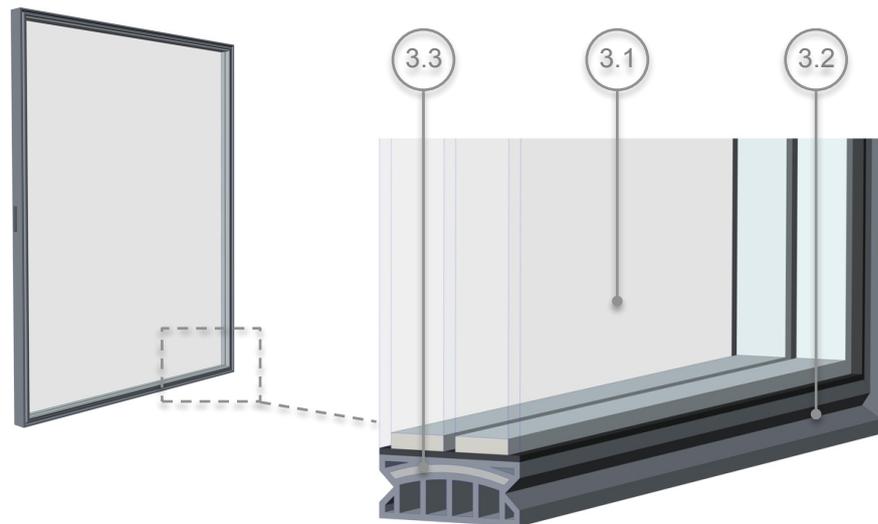


*Abbildung 6.5 Fensterrahmen - Ausnehmung im Eckbereich*

Diese Vertiefungen ergeben sich, indem die Stege, der in diesem Bereich liegenden Hohlkammern, komplett weggefräst werden. Die zurückbleibenden Aussparungen übernehmen, in Kombination mit dem darin eingreifenden Fensterflügel, eine einbruchshemmende Funktion.

### 6.1.3 Fensterflügel

Grundlegendes Element des Fensterflügels ist, beim derzeitigen Stand der Technik, eine 3-fach-Verglasung (Abb. 6.6 – Pos 3.1), welche von einer schmalen Glasfassung (Abb. 6.6 – Pos 3.2) umrandet ist. Letztere setzt sich dabei aus speziellen Kunststoff-Hohlprofilen zusammen. Deren Querschnitt ist so gestaltet, dass Platz für eine vorgekrümmte und somit äußerst platzsparende und biegesteife Stahlarmierung (Abb. 6.6 – Pos 3.3) vorgesehen ist. Da die Außenkontur hingegen symmetrisch ist, kann das Profil je nach auftretender Belastung so angeordnet werden, dass die Krümmung der Last und somit der Durchbiegung entgegenwirkt. Dadurch wird eine konstruktive Versteifung erreicht. Um der Gewichtskraft der Isolierverglasung entgegenzuwirken, ergibt sich daher beispielsweise im unteren Teil des Fensterflügels die Einbausituation gemäß Abb. 6.6.



*Abbildung 6.6 Verglasungseinheit - Aufbau*

Neben der zusätzlichen Steifigkeit bringt diese Glasfassung vor allem auch Vorteile hinsichtlich des Zusammenbaus und der Zerlegbarkeit. So ist die Glaseinheit zwar eingeklebt, wodurch sich Vorteile hinsichtlich Fertigung und Stabilität ergeben, jedoch ist die Klebefuge so angeordnet, dass diese für den Auseinanderbau leicht aufgeschnitten werden kann. Außerdem ist die Fassung so gestaltet, dass sie als Befestigungselement aller am Flügel notwendigen Anbauteile (z.B.: Fenstergriff) fungiert. Dadurch wird verhindert, dass Bohrungen oder Ausnehmungen in der Glaseinheit notwendig sind, welche sich negativ auf die Gasdiffusion, sowie den Verglasungswechsel auswirken würden. Letzter Punkt ist auch ausschlaggebend dafür, dass sich eine komplette Reduktion zum reinen Glas-Fensterflügel mit den wesentlichen Anforderungen der Upgradefähigkeit, sowie der Wieder- und Weiterverwendung nicht vereinbaren lässt.

Gegenüber derzeitigen Fensterflügeln fällt die Ansichtsbreite dieser Konstruktionsweise mit nur 20 mm dennoch deutlich geringer aus. Damit die Anbauteile trotzdem einen guten Halt aufweisen, ist an den Seitenflächen der Glasfassung jeweils eine keilförmige Vertiefung angeordnet. Diese Ausnehmungen dienen als Positionierungshilfe und sorgen für eine größere Kontaktfläche der zu befestigenden Teile. So wird die zu montierende Komponente immer mit einem gegenüberliegenden Gegenstück, mit entsprechender Profilierung (Abb. 6.7. – Pos. 3.4), in der Ausnehmung eingesetzt und miteinander verschraubt, wodurch sich eine form- und reibschlüssige Verbindung ergibt. Beim Fenstergriff (Abb. 6.7. – Pos. 3.5) muss zusätzlich noch das Fensterschloss (Abb. 6.7. – Pos. 3.6) eingesetzt und in der Einrahmung befestigt werden.

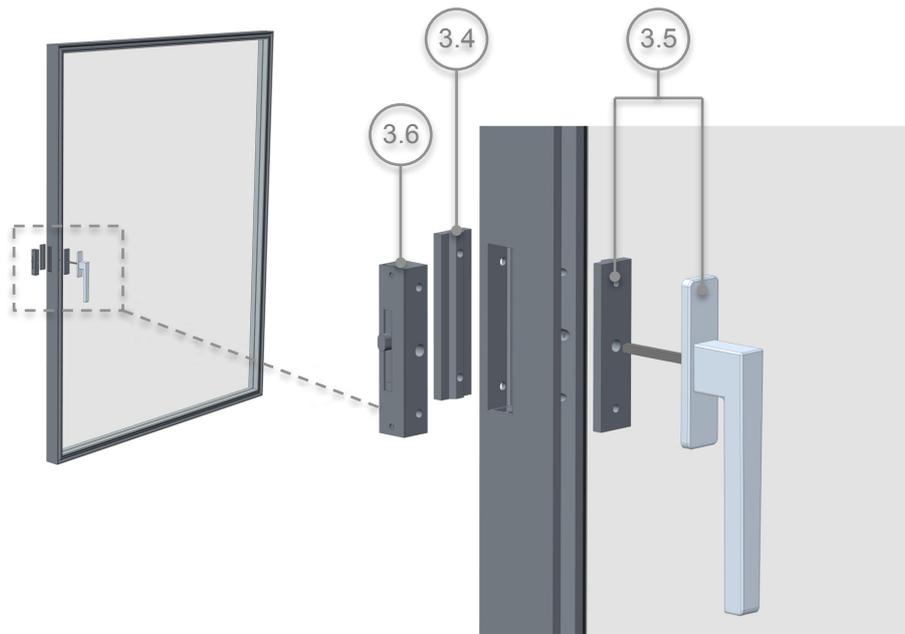


Abbildung 6.7 Griffmontage am Verglasungsrahmen

Entsprechend dieses Prinzips werden neben dem Fenstergriff auch noch die Eckstücke am Fensterflügel angebracht. Diese wurden gegenüber dem ursprünglichen zweiten Konzept deutlich vereinfacht und bestehen nicht mehr aus 4 Gleichteilen inkl. Klemmmechanik, sondern nur mehr aus 8 simplen und identen Elementen. An jeder Ecke werden jeweils 2 dieser Eckstücke (Abb. 6.8 – Pos. 3.7) seitlich in die Glasfassung eingesetzt und miteinander verschraubt.

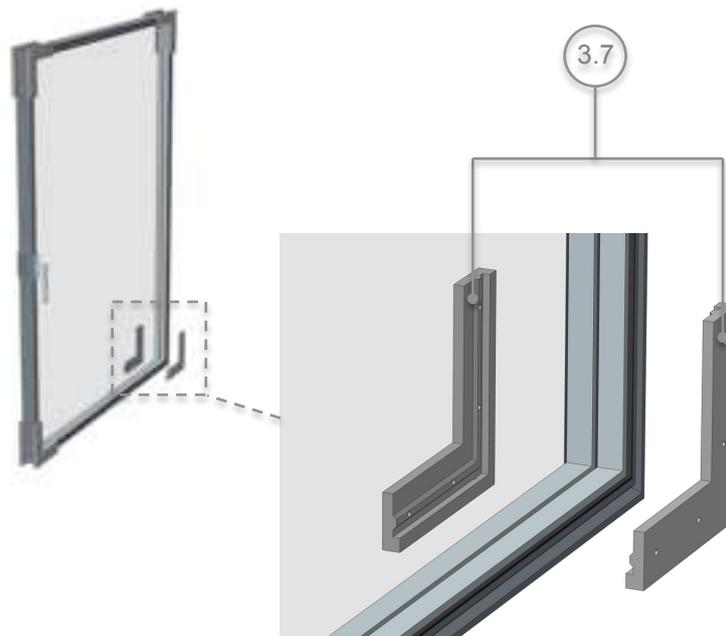


Abbildung 6.8 Montage der Eckstücke

Zusätzlich zur einfacheren Fertigung ergibt sich somit der Vorteil, dass diese Komponenten unabhängig von der Fenstergröße sowie der Verglasungsdicke eingesetzt und auch weiterverwendet werden können. Des Weiteren trägt dieser

Bereich der Konstruktion wesentlich zum Einbruchsschutz des Fensters bei. So verhindern die an der Fensterinnenseite angeordneten Eckstücke ein Eindringen der eingeklebten Verglasung, während die in die Ausnehmungen des Rahmens eingreifenden Gegenstücke als Aushebelschutz dienen. Dieser ergibt sich einerseits indem etwaige Hebelkräfte formschlüssig von den ineinandergreifenden Komponenten aufgenommen werden und andererseits das Ansetzen von Hebelwerkzeugen zwischen Rahmen und Flügel fast nicht möglich ist.

Verriegelt wird der Fensterflügel mit der von Internorm entwickelten I-tec Verriegelung. Hier stellen wiederum die rahmenseitigen Eckstücke, auch bei variierender Verglasungsstärke, einen konstanten Angriffspunkt dar. Die Ansteuerung der Schließmechanik erfolgt nach dem gleichen, bei Fensterbeschlägen bereits bewährten, Prinzip über ein geschobenes Gestänge, dessen Einbaulage sich jedoch von heutigen Fenstern unterscheidet.

#### 6.1.4 Fensterbeschlag

Anders als bei herkömmlichen Konstruktionen befinden sich das Gestänge und die dadurch betätigten Schließteile nicht mehr am Fensterflügel, sondern am Fensterrahmen. Hintergrund dieser Änderung war das Ziel, die Komplexität des Flügels möglichst zu vereinfachen. Nur dadurch konnte der Fensterflügel fast auf die Verglasung reduziert werden, ohne dass dies den Austausch der Glaseinheit erschwert.

Da das Fenster immer nur im geschlossenen Zustand ver- oder entriegelt wird, kann das Gestänge weiterhin über den Griff am Fensterflügel angetrieben werden. Dazu wird die Drehbewegung am Fenstergriff über ein konventionelles Fenstergetriebe in eine Auf- oder Abbewegung des Zapfens umgewandelt. Letzterer steht wiederum mit dem, im Rahmen liegenden, Gestänge (Abb. 6.9 – Pos. 2.4) im Eingriff. In Schließstellung (Griff in Richtung Rahmen nach unten gedreht) drücken die Klappen der I-tec Verriegelung (Abb. 6.9 – Pos. 2.5) gegen die Eckstücke und diese somit in die Ausnehmung im Rahmen.

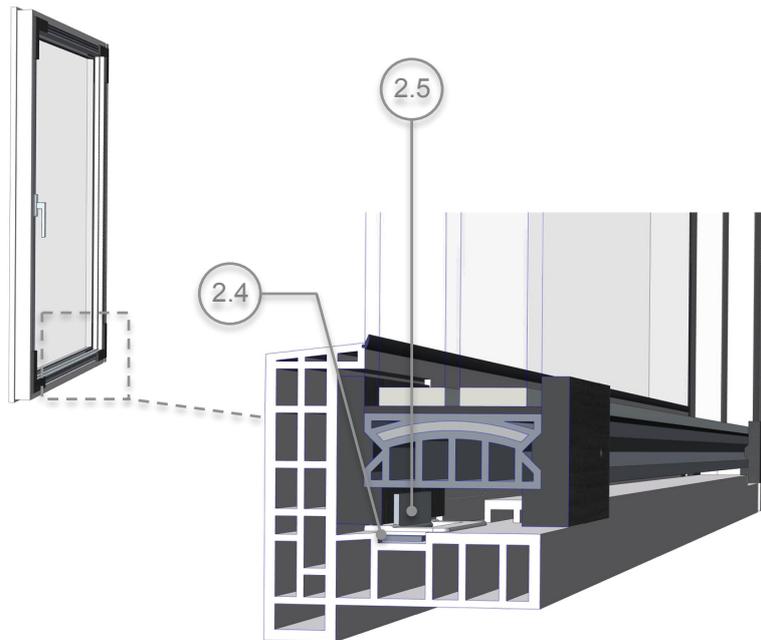


Abbildung 6.9 Fensterverriegelung mittels I-tec System

Erst wenn der Griff in die Horizontale bewegt wird, klappt der Verschluss wieder zurück und der Flügel kann geöffnet werden.

### 6.1.5 Öffnungsmechanismus

Mit den Erkenntnissen aus Abschnitt 5.3.1 wurde ersichtlich, dass beim neuen Fensteraufbau ein Öffnungsmechanismus notwendig ist, welcher translatorische und rotatorische Bewegung kombiniert. Gleichzeitig muss diese erhöhte Variabilität jedoch dementsprechend eingeschränkt werden, da der Fensterflügel bei zu vielen Freiheitsgraden in ungewollte Positionen geschwenkt und so ein einwandfreies Öffnen/Schließen problematisch werden könnte. Zur Lösung dieser physikalischen Widersprüche konnte mit der „Separation in der Zeit“ eines der 4 nach TRIZ<sup>13</sup> allgemein formulierten Separationsprinzipien angewendet werden.

Entsprechend dieser Überlegungen entstand das für den neuen Öffnungsmechanismus grundlegende Prinzip, bei dem lineare und rotatorische Bewegung zeitlich getrennt und so die Kinematik des Flügels trotz der zusätzlichen Translationsbewegung vollständig vorgegeben wird (siehe Abb. 6.10).

<sup>13</sup> Theorie des erfinderischen Problemlösens

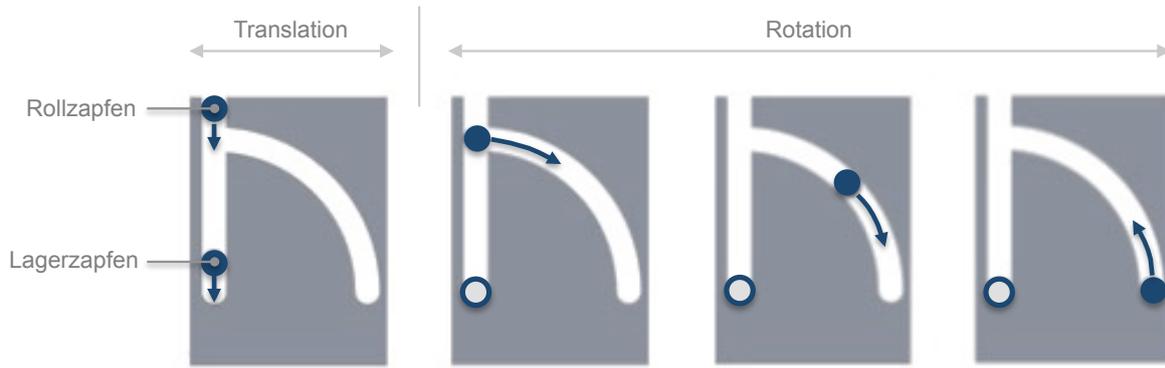


Abbildung 6.10 Prinzip der Öffnungskinetik

Zu Beginn werden beide Zapfen im linearen Bereich der Ausnehmung geführt. Dadurch ist, bis der Lagerzapfen in der Endposition angelangt ist, nur eine translatorische Bewegung möglich. Sobald der Lagerzapfen am Ende der Führung angelangt ist, wird zwar die Translation verhindert, jedoch ergibt sich nun die Möglichkeit der Rotation, da der Abstand zwischen den Lagerpunkten genau dem Radius der Abzweigung entspricht. Diese Drehbewegung um den Lagerzapfen ist wiederum durch das Ende der Führung mit  $90^\circ$  begrenzt. Ausgehend von der Endposition ist zuerst wieder nur eine rein rotatorische und darauf anschließende translatorische Bewegung möglich.

Umgesetzt wird diese Kinematik durch eine Konstruktion bestehend aus einem, auf der Linearführung (Abb. 6.11 – Pos. 3.8) befestigten, Lagerzapfen (Abb. 6.11 – Pos. 3.9), dem Abdeckblech (Abb. 6.11 – Pos. 3.10) und den darin eingreifenden Rollzapfen (Abb. 6.11 – Pos. 3.11):

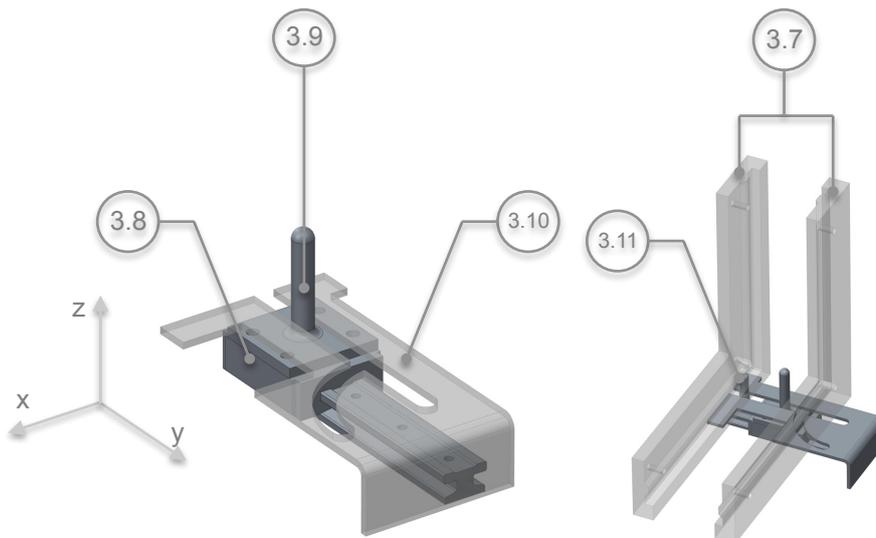


Abbildung 6.11 Öffnungsmechanik - Konstruktion

Der Fensterflügel ist beidseitig (oben und unten) jeweils auf dem Lagerzapfen drehbar gelagert und durch den Führungsschlitten linear verschiebbar. Damit die

Leichtgängigkeit des Führungsbocks nicht beeinträchtigt wird, muss das Moment um dessen x-Achse während der Linearbewegung möglichst gering gehalten werden. Aus diesem Grund ist der Drehpunkt mittig zwischen den beiden Eckstücken angeordnet. So verursacht das Flügengewicht, aufgrund des fehlenden Normalabstandes in y-Richtung, während der Translation kein für die Bewegung kritisches Moment.

Eine weitere in der Konstruktion zu berücksichtigende Belastung ist das, durch die Gewichtskraft des Flügels hervorgerufene, Moment um die y-Achse der Linearführung. Deswegen ist in den beiden rahmenseitigen Eckstücken der Anschlagseite jeweils ein Rollzapfen zur Entlastung des Führungsblocks montiert. Außerdem wird die Öffnungsbewegung erst durch dessen Abrollen in der Ausnehmung des Abdeckblechs absolut vorgegeben. Beispielphaft ergibt sich dadurch die folgende Kinematik des Fensterflügels, welche anschaulich durch die Bewegung zweier Eckstücke gezeigt werden kann (siehe Abb. 6.12).

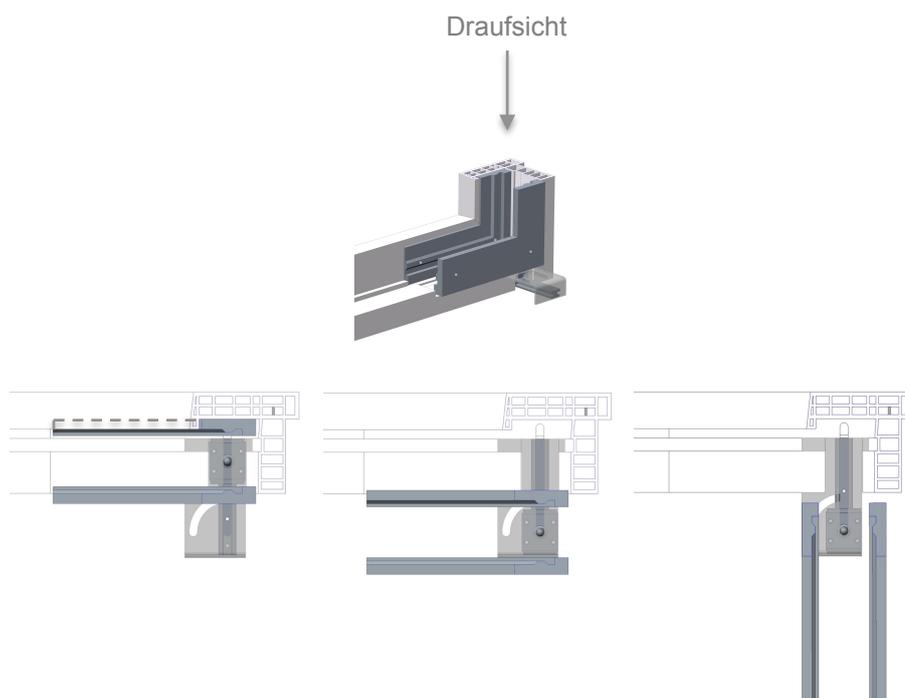


Abbildung 6.12 Kinematik des Öffnungsmechanismus

Dabei ist ersichtlich, dass es mit diesem Mechanismus trotz des geringen Freiraums zwischen Fensterrahmen und Flügel zu keinen Kollisionen kommt.

Bei einem Verglasungstausch muss die gezeigte Kinematik angepasst werden. Allerdings genügt dafür der Austausch beider Abdeckbleche, um so den Radius der Ausnehmungen, entsprechend des neuen Abstands zwischen Lager- und Rollzapfen, anzupassen. Die restlichen Komponenten hingegen können einfach weiterverwendet werden.

Optional wäre es mit dieser Öffnungsbewegung auch denkbar, den Fensterflügel ein Stück parallel aus dem Rahmen herauszubewegen und in dieser Position zu verriegeln. Da im Zuge dieser Arbeit jedoch nicht abgeschätzt werden kann, ob diese Form des Lüftens effektiver als das Kippen ist und diese Funktion aufgrund mangelnder Energieeffizienz immer häufiger auf Kritik stößt, wird diese Möglichkeit nur aufgezeigt und nicht weiter ausdetailliert.

Somit ergibt sich aus den bisher beschriebenen Komponenten der in Abb. 6.13 gezeigte Aufbau, welcher die eigentliche Fensterkonstruktion darstellt.



*Abbildung 6.13 Flügelbewegung: geschlossen, parallel versetzt und offen*

Aufgrund der Schnittstellenverschiebung umfasst das zum Fenstersystem erweiterte Konzept jedoch noch weitere Bestandteile. Die in obiger Abbildung noch nicht gezeigte Mauerverkleidung und vor allem das Führungssystem, als zentrales Befestigungselement, stellen nicht nur die Grundlage der Kreislauffähigkeit dar, sondern erleichtern gleichzeitig die Montage.

## 6.2 Montage

Um auch bei der Fenstermontage von den Vorteilen des industrialisierten Bauens Gebrauch zu machen, werden bei diesem Konzept einige Arbeitsschritte bereits in den teilweise automatisierten Fertigungsablauf der Fertigelementhersteller vorverlagert. Dies umfasst vor allem vorbereitende Tätigkeiten, welche die Einbaulage des Fenstersystems bestimmen, wodurch eine gleichbleibend gute Einbauqualität gewährleistet wird.

So werden beispielsweise für die Montage sämtlicher Linearschienen, 6 Ausnehmung (Abb. 6.14 – Pos. 5.1 & 5.2) in die Holzriegelkonstruktion bzw. die Dämm-/Installationsebene gefräst. In diesen Nuten werden sowohl die 4 Profilschienen (Abb. 6.14 – Pos. 1.1) für die Montage der Hauptkomponenten, als auch die 2 Linearführungen (Abb. 6.14 – Pos. 3.8) für den Öffnungsmechanismus ausgerichtet und an den tragenden Holzriegelelementen angeschraubt.

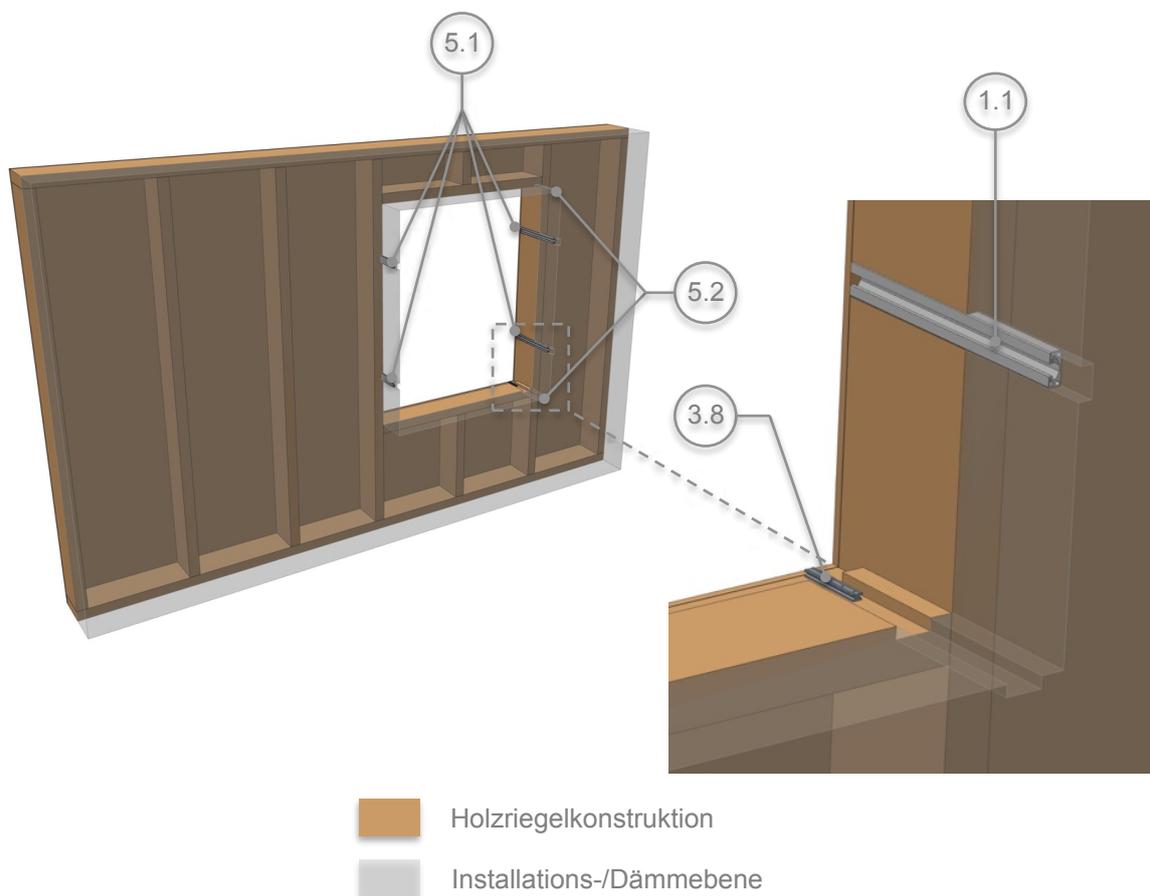
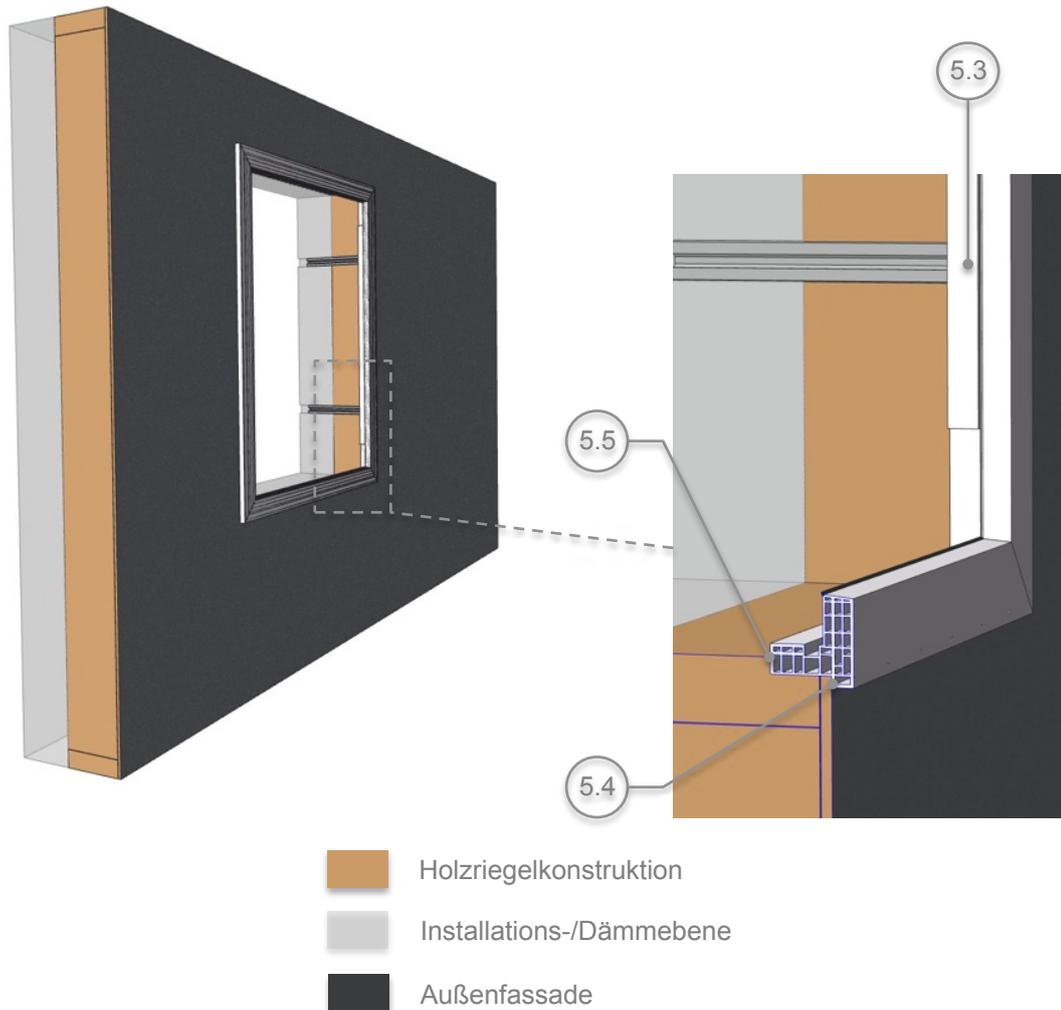


Abbildung 6.14 Montage der lagebestimmenden Bauteile

Durch die maschinell unterstützte Montage dieser lagebestimmenden Bauteile ist die Wandöffnung bereits im Werk für das präzise Einsetzen des Fenstersystems vorbereitet und es entfällt später das lotrechte Ausrichten und Verklotzen des Fensterrahmens auf der Baustelle.

Da der Rahmen zur Entwässerung sowie zur besseren Abdichtung der Schnittstelle (Fenster – Mauerwerk) eine Abstufung aufweist, wird dieser von außen in die Öffnung gesetzt. Aus diesem Grund kann dieser Schritt erst nach dem Verputzen erfolgen. Je nachdem wird der Fensterrahmen dazu im Werk oder direkt auf der Baustelle mit den T-Muttern in der Profilschiene verschraubt (Abb. 6.15 – Pos. 5.3) und zum Schutz gegen Witterungseinflüsse mithilfe einer Silikonfuge (Abb. 6.15 – Pos.5.4) abgedichtet.



*Abbildung 6.15 Rahmenmontage*

Im Querschnitt ist ersichtlich, dass vorab auch in den beiden Querbalken jeweils eine Abstufung (Abb. 6.15 – Pos. 5.5) für den Rahmen eingearbeitet wird. Letztere dient dazu, dass der wärmedämmende Wandaufbau die Profiltteile weitgehend überdeckt und somit möglichst gut ausgenutzt wird.

Nächster Schritt ist die Montage des Fensterflügels (Abb. 6.16 – Pos. 3). Dabei wird der Flügel normal zum jeweiligen Wandelement in Position gebracht und danach über dessen Führungsblöcke (Abb. 6.16 – Pos. 5.4) in die Linearschienen eingeschoben. Durch diese Ausrichtung und die rein lineare Einbaubewegung ist der Fensterflügel besser manipulierbar und bietet im Zuge der gesamten Montage genug Angriffsfläche für etwaige Hub-/Hebemittel. So kann die, durch den Trend zu größeren Fensterelementen, immer anspruchsvoller werdende Tätigkeit des Fenstereinbaus deutlich entlastet werden.

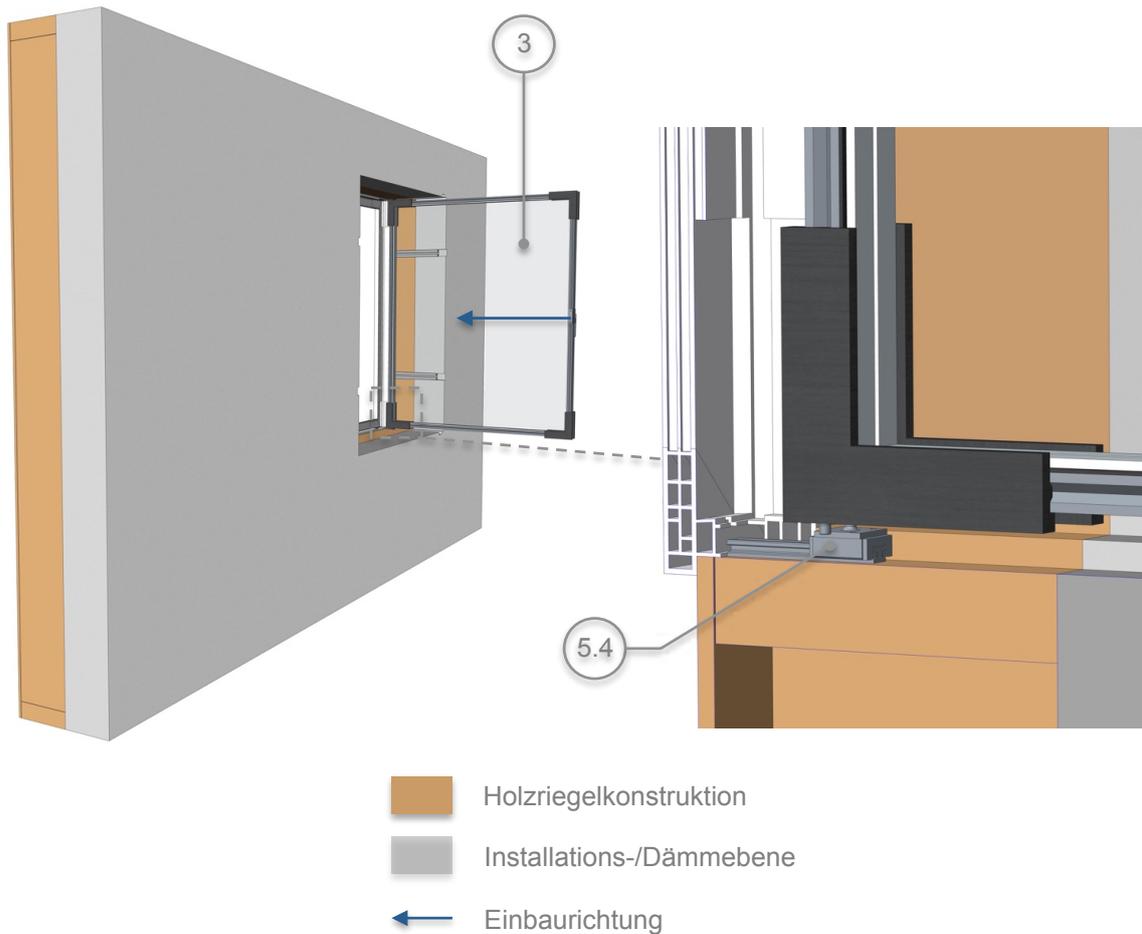
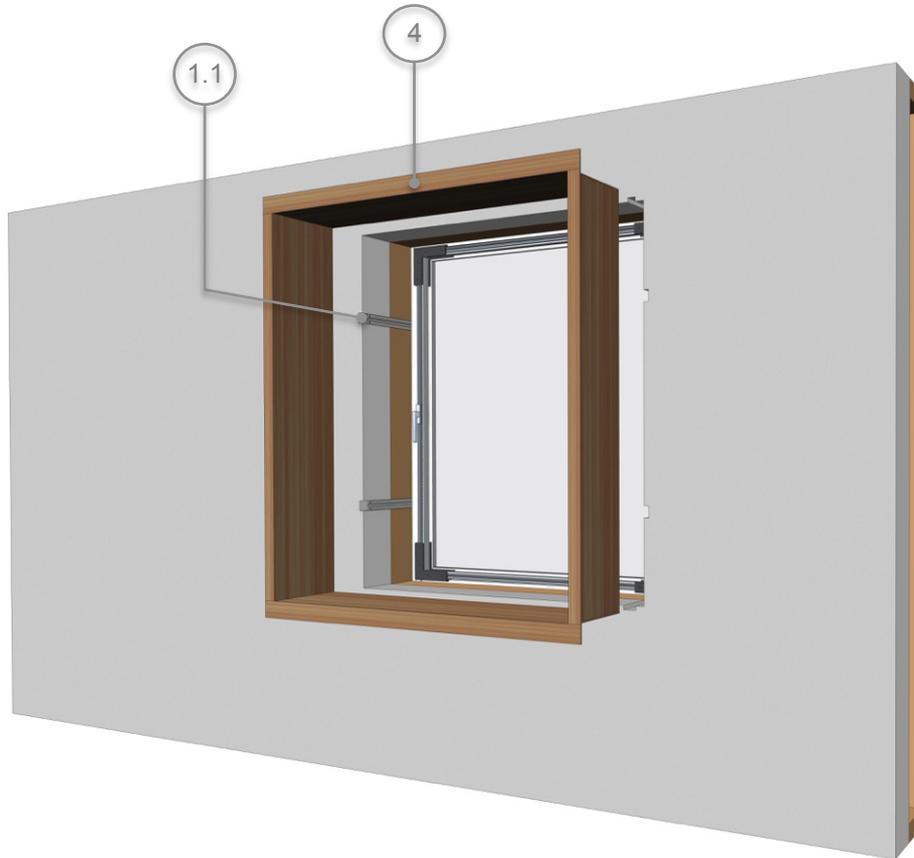


Abbildung 6.16 Flügelmontage

Sobald der Fensterflügel eingesetzt ist, kann dieser geschlossen und das Abdeckblech über die Linearführung geschoben und montiert werden. Dadurch ist die Fensterkinematik vollständig vorgegeben und das Fenstersystem somit bereits voll funktionsfähig.

Aus ästhetischen Gründen, sowie zum Schutz vor Umgebungseinflüssen, müssen jedoch noch die innen freiliegenden Komponenten verdeckt werden. Dies erfolgt im letzten Schritt, indem die Mauerverkleidung (Abb. 6.17 – Pos. 4) in den Profilschienen (Abb. 6.17 – Pos. 1.1) mittels T-Muttern positioniert und verspannt wird.



*Abbildung 6.17 Montage der Mauerverkleidung*

Das somit verbaute Gesamtsystem lässt sich gemäß Abb. 6.18 abbilden.



*Abbildung 6.18 Öffnungsbewegung im Gesamtsystem*

Innerhalb dieses Fenstersystems kann sowohl das Material, als auch die Farbe der Verkleidung beliebig gewählt und im Laufe der Zeit auch dem Innenraum angepasst werden. Es wird also ersichtlich, dass das in Abb. 6.19 dargestellte Fenstersystem auch bei einer Standardisierung der Maße noch genügend gestalterischen Freiraum bietet.



*Abbildung 6.19 Finales Konzept: Innen- (links) und Außenansicht (rechts)*

Die Individualisierbarkeit geht also keinesfalls verloren, sondern verschiebt sich nur, weg von der millimetergenauen Wahl der Fenstermaße, hin zur Anpassungsfähigkeit des gesamten Designs. Da Letzteres größere bzw. merkbarere Auswirkungen auf das Erscheinungsbild hat, stellt dies einen der vielen Vorteile dieses Konzepts dar.

## 6.3 Konzeptbewertung

Als Grundlage zur Bewertung, ob das Entwicklungsziel erreicht wurde, können nun folgende Vorteile des Gesamtkonzepts abgeleitet und zusammengefasst werden:

*Tabelle 6.1 Übersicht der Vorteile des finalen Konzepts*

Vorteil	Erläuterung
Einbaugenaugigkeit & Wiederholbarkeit	Alle lagerelevanten Bauteile können bereits vorab im Zuge der Wandherstellung präzise montiert werden. Das herkömmliche Verklotzen und Ausrichten des Fensters auf der Baustelle entfällt.
montagegünstiger Systemaufbau & Öffnungsmechanismus	Alle Komponenten werden in einem linearen Führungssystem aufgenommen. Die zugehörigen rein linearen Einbaubewegungen sind leichter automatisierbar oder zumindest maschinell unterstützbar.
reduzierte Komplexität des Bauteilanschlusses	Die Anzahl der abzudichtenden Fugen verringert sich durch den gewählten Systemaufbau. So entfällt beispielsweise die äußere Fensterbank, da die Entwässerung vollständig über den Rahmen erfolgt.
Modularität	Defekte Komponenten können einzeln ausgetauscht werden, ohne das ganze System ersetzen zu müssen.
Anpassungsfähigkeit des Designs	Das optische Erscheinungsbild kann sowohl außen (Rahmenfarbe), als auch innen (Wechsel der Mauerverkleidung oder Eckstückfarbe) verändert und der Umgebung angepasst werden.
Upgrademöglichkeit	Mit der verbauten Öffnungsmechanik und Verriegelung kann die Verglasung ausgetauscht und dessen Dicke auf bis zu 23 mm reduziert werden. Dabei verringert sich auch die gesamte Dicke des Flügels.
erhöhter Einbruchsschutz	Die in den Fensterrahmen eingreifenden Eckstücke des Flügels verhindern ein Aushebeln.
einfacher Wechsel auf Fixverglasung	Aufgrund des geringen Spiels zwischen Glasfassung und Fensterrahmen im mittleren Bereich kann die Verglasungseinheit eines zu öffnenden Fensters im selben Rahmen als Fixverglasung eingeklebt werden.
Rückbaubarkeit	Bei einem Abriss oder Fenstertausch erfolgt die Demontage des Systems zerstörungsfrei und ohne aufwändige Stemmarbeiten.

Vergleicht man diesen Überblick mit der im Abschnitt 3 definierten Zielsetzung wird ersichtlich, dass sämtliche darin erwähnten Punkte im Konzept umgesetzt sind. Dabei spiegeln die ersten drei Vorteile aus Tab. 6.1 die erleichterte Montage und somit den ersten Teil der Zielsetzung wider. Ergänzt man deren Wortlaut, so handelt es sich um ein Fenstersystem, dessen vereinfachter Bauteilanschluss in Verbindung mit cleveren Anschlusssystemen (in Form des linearen Führungssystems) den Einbau erleichtert und auch für eine gleichbleibend hohe Einbauqualität sorgt, indem die lagebestimmenden Arbeitsschritte in die industrialisierte Fertigungsumgebung vorverlagert werden können.

Mit den restlichen Vorteilen (vgl. Tab. 6.1 – „Modularität“ bis inkl. „Rückbaubarkeit“) kann der zweite Teil der Zielsetzung, welcher die Rückbaufähigkeit und den anzustrebenden Werterhalt der Ressourcen im Sinne der Kreislaufwirtschaft thematisiert, abgebildet werden. Da der damit verbundene Aspekt der Nachhaltigkeit eine zentrale Rolle dieser Produktentwicklung darstellt, soll vor allem bewertet werden, wie sich der neu konzipierte Aufbau des Fenstersystems auf dessen Kreislauffähigkeit auswirkt. Zu diesem Zweck werden in Tabelle 6.2 die Ausgangssituation und der derzeitige Entwicklungsstand anhand der verfolgten CE-Strategien gegenübergestellt.

*Tabelle 6.2 Vergleich von derzeitigen Fenstern mit dem finalen Konzept*

Ausgangssituation	CE-Strategie	finales Konzept
Bsp. Internorm: Durch die sehr hohe Individualität (Fertigung mit Losgröße 1) resultiert eine sehr hohe Teile- und Werkzeugvielfalt (300 Profilwerkzeuge)	ressourcen-effiziente Produktion	Es werden nur 2 Extrusionswerkzeuge benötigt. (Rahmen, Glasfassung)
Der Materialverbrauch ist nicht optimiert, der Verschnitt wird jedoch innerbetrieblich recycelt.		Das Eckstück ist als Gleichteil für alle Fenstergrößen verwendbar.
Mit dem Beschlag und den Dichtungen sind nur jene Komponenten mit geringem Anteil am Umwelteinfluss des gesamten Produkts einfach tauschbar gestaltet.	Kreislaufdesign	Die Verschnittplanung wird durch Standardisierung der Hauptabmessungen (Maßsprünge: 15 cm) möglich.
		Der zum Fenstersystem erweiterte und modularisierte Aufbau bildet die Grundlage für dessen Rückbaubarkeit und Kreislauffähigkeit.

Ausgangssituation	CE-Strategie	finales Konzept
<p>Die relativ hohe technische Lebensdauer wird oft nicht ausgenutzt, da die optischen Ansprüche (z.B. nach Renovierung der Fassade) nicht mehr erfüllt werden.</p>	<p>Langlebigkeit</p>	<p>Das minimalistische Design (reduzierte Profiltteile, geringe Ansichtsbreiter) sowie dessen Anpassungsfähigkeit (Tab. 6.1) fördern, dass das Fenstersystem über die volle techn. Lebensdauer genutzt wird.</p>
<p>Neue Fenster können mit Zusatzfunktionen gekauft werden, bestehende sind jedoch nicht für das Auf- oder Nachrüsten ausgelegt. (Bsp.: Verglasungen werden vermehrt eingeklebt und Fensterflügel sind für eine konstante Verglasungsdicke ausgelegt)</p>	<p>Zusatznutzen</p>	<p>Das Fenstersystem übernimmt die Funktionen der Schnittstelle zum Mauerwerk. So erfolgt die Entwässerung allein über den Rahmen, wodurch die äußere Fensterbank entfällt, und es ergeben sich neue gestalterische Möglichkeiten (z.B.: Mauerverkleidung).</p> <p>Durch einen Verglasungstausch können die in Zukunft darin integrierten Technologien nachgerüstet werden.</p> <p>Der einfache Wechsel auf eine Fixverglasung (Tab. 6.1) ermöglicht die Anpassung an neue Randbedingungen.</p>
<p>Die Reparatur ist aufgrund der damit verbundenen relativ teuren Arbeitsleistung nicht attraktiv, weswegen häufig die Neuanschaffung vorgezogen wird.</p>	<p>Lebensdauer- verlängerung</p>	<p>Der standardisierte und modulare Aufbau erleichtert die Reparatur, wodurch Aufwand und somit Kosten sinken.</p> <p>Die Upgradefähigkeit (Tab. 6.1) über den Verglasungswechsel sorgt dafür, dass das Fenster mit der technologischen Entwicklung Schritt halten kann.</p>

Ausgangssituation	CE-Strategie	finales Konzept
<p>Die zerstörungsfreie Demontage der Gesamtkonstruktion ist meist nicht möglich (Fensterrahmen ist teilweise in das Mauerwerk eingearbeitet)</p>	<p>Wieder-aufbereitung</p>	<p>Die Fensterkonstruktion, sowie die Mauerverkleidung kann zerstörungsfrei aus dem Führungssystem, welches ebenfalls demontierbar gestaltet ist, entnommen werden.</p>
<p>Bei den derzeitigen Fensterkonstruktionen und deren Einbausituation ist dies nicht möglich bzw. der Aufwand zu groß.</p>	<p>Remanufacturing</p>	<p>Das Führungssystem, die i-tec Klappen, der Fenstergriff und die Eckstücke sind nicht von der Fenstergröße abhängig und können somit sehr einfach zur Herstellung neuer Systeme verwendet werden.</p> <p>Die Verglasung kann aus dessen Glasfassung geschnitten und für die Produktion von gleichen oder kleineren Flügelgrößen verwendet werden.</p>
<p>Wegen der mangelnden Informationsweitergabe wird z.B. bei Internorm nur PVC Frischmaterial verwendet, um mit Schwermetallen stabilisiertes Material zu vermeiden.</p>	<p>Kreislaufmaterialien</p>	<p>Die Informationsweitergabe durch Kennzeichnung der verwendeten Kreislaufmaterialien soll das Recycling von Komponenten, welche fälschlicherweise aus dem Kreislauf austreten, ermöglichen.</p>
<p>Die vermehrt eingesetzten Klebeverbindungen sind nicht für eine Demontage ausgelegt.</p>	<p>Materialwiedergewinnung</p>	<p>Die sortenreine Trennung der Materialkombinationen wird durch die Verwendung von Schraub- &amp; Steckverbindungen gewährleistet.</p> <p>Die Klebeverbindung zwischen Verglasung und Glasfassung (Vorteile für Fertigung &amp; Stabilität) ist so gestaltet, dass sie einfach aufgeschnitten werden kann.</p>

Diese Gegenüberstellung bzw. die Kreislauffähigkeit des neuen Fenstersystems soll nun auch in Zahlen ausgedrückt und bewertet werden. Dazu kann mit dem sogenannten „CE-Designer“ ein browserbasiertes Tool, welches im Rahmen des von der EU geförderten Projekts „Katch\_e“<sup>14</sup> entwickelt wurde, herangezogen werden.

Der zugehörige Vorgang lässt sich dabei in 3 Schritte gliedern, wobei im ersten Schritt jene Strategien ausgewählt werden, welche für das jeweilige Produkt bei einem Wandel zur Kreislaufwirtschaft relevant sind. Ausgedrückt werden diese Strategien in der Webanwendung jedoch über Designkriterien, welchen die in dieser Arbeit verwendeten CE-Strategien gemäß Tabelle 6.3 zugeordnet werden können.

*Tabelle 6.3 Äquivalenz der CE-Designer-Bewertungskriterien und der CE-Strategien*

<b>„Design for...“ - Kriterium</b>	<b>CE-Strategie</b>
materials sustainability	ressourceneffiziente Produktion
long-life products	Langlebigkeit
product-life extension	Kreislaufdesign, Zusatznutzen, Lebensdauererlängerung, Wiederaufbereitung
remanufacturing	Remanufacturing
recycling	Kreislaufmaterialien, Materialwiedergewinnung

Der nächste Schritt umfasst eine Evaluierung, bei der mithilfe von Fragen über das Produkt erfasst wird, in welchem Ausmaß die einzelnen Designkriterien erfüllt werden. Hierzu wird sowohl die Ausgangssituation, als auch das finale Konzept entsprechend Tabelle 6.2 sinngemäß für das Tool übertragen. Auf Basis dieser Erhebung resultiert für beide Ausführungen des Fensters der Erfüllungsgrad der Designkriterien bzw. CE-Strategien in Prozent, was als Maß für die Kreislauffähigkeit herangezogen werden kann (siehe Abb. 6.20).

<sup>14</sup> Wissensallianz, die neben der TU Wien 10 weitere Partner aus insgesamt 4 EU-Ländern zur Entwicklung von Produktdienstleistungen im Sinne einer Kreislaufwirtschaft vereint ([46], [47])

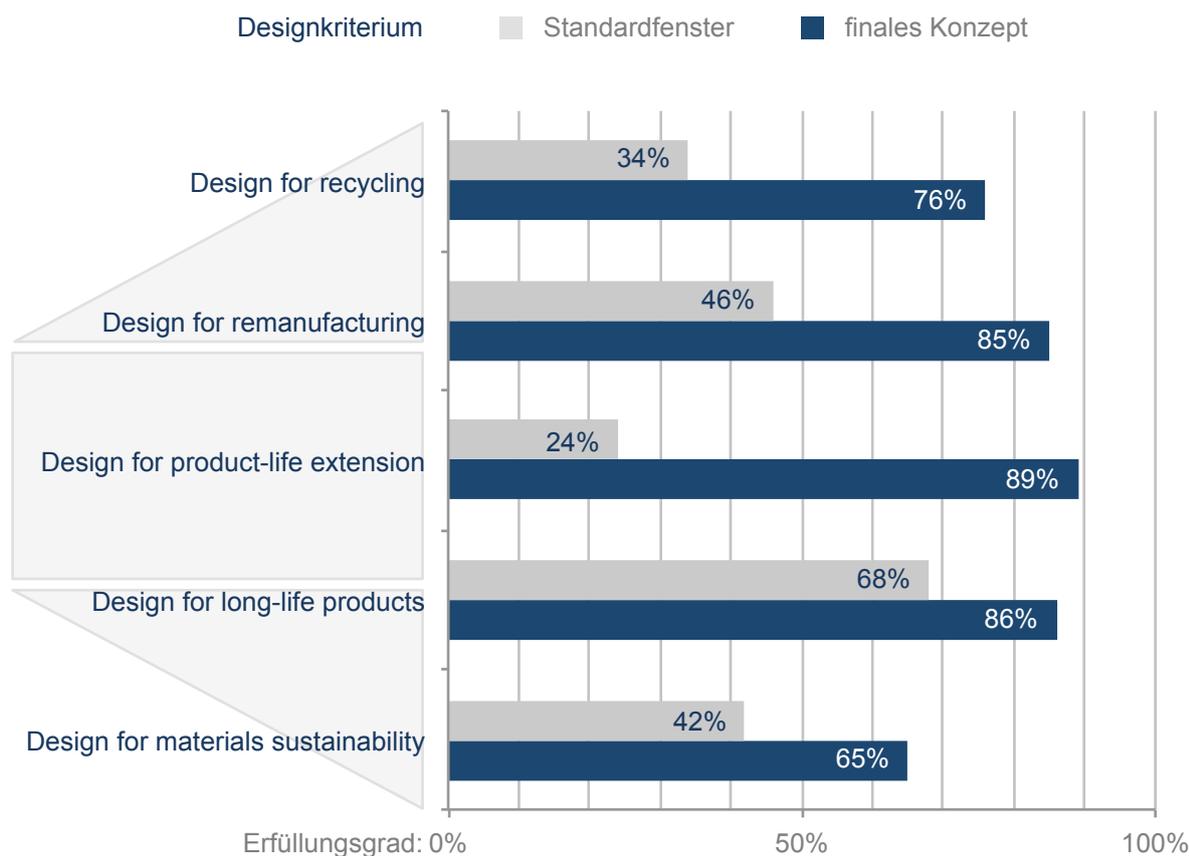


Abbildung 6.20 Bewertung der Kreislauffähigkeit des finalen Konzepts

Auffällig an dieser Auswertung ist, dass das zur Langlebigkeit zugehörige Designkriterium („Design for long-life products“) beim Standardfenster mit 68% bereits relativ hoch bewertet ist und daher „nur“ eine Verbesserung um 18% erzielt wurde. Dies lässt sich damit begründen, dass Teile heutiger Fensterkonstruktionen bereits eine gute Lebensdauer aufweisen, diese aber nur selten ausgenutzt wird, was sich auch in der niedrigen Bewertung der Maßnahmen zur Lebensdauer-Verlängerung niederschlägt. Beim finalen Konzept stellt dieser Punkt („Design for product-life extension“) hingegen mit 89% den besten Wert, sowie die größte Verbesserung dar. Hintergrund dafür ist, dass die Upgrade- und Anpassungsfähigkeit des Fenstersystems die Rahmenbedingungen, sowie neue Anreize darstellen, das Fenster über seine ganze technische Lebensdauer zu nutzen.

Den niedrigsten Wert weist das „Design for materials sustainability“ Kriterium mit 65% auf. Diese Bewertung lässt sich darauf zurückführen, dass der Einsatz von Recyclingmaterialien beschränkt ist (Kunststoffprofile müssen co-extrudiert werden), und bei erneuerbaren Materialien (Holz) meist umweltbelastende Oberflächenbehandlungen notwendig sind. Dennoch konnte dieser Punkt durch die ressourceneffizientere Produktion, welche sich auf die zunehmende

Standardisierung und den Einsatz von Gleichteilen zurückführen lässt, um 23 % verbessert werden.

Die gute Bewertung im Downhill (Remanufacturing mit 85% und Recycling mit 76%) ist Indiz dafür, dass die Schnittstellenverschiebung in Kombination mit dem modularen Systemaufbau ein äußerst wirksamer Weg ist, den Wert in Form der eingesetzten Ressourcen möglichst vollständig rückzuführen und im Kreislaufsystem zu erhalten.

Insgesamt zeigt diese Auswertung (Abb. 6.20) eine Steigerung des Erfüllungsgrads über sämtliche Bereich des Value Hills hinweg. Mittelt<sup>15</sup> man die prozentuale Bewertung der 5 Designkriterien wird verdeutlicht, dass mit dem finalen Konzept die Kreislauffähigkeit von 42,8% auf 80,2% verbessert, und damit ein wesentlich nachhaltigerer Umgang mit den Ressourcen erzielt werden kann.

---

<sup>15</sup> arithmetischer Mittelwert

## 7. Zusammenfassung und Ausblick

Basierend auf dem Stand der Technik und den beobachteten branchenrelevanten Entwicklungstrends wurden die Rahmenbedingungen, sowie das Verbesserungspotential heutiger Fensterkonstruktionen, ausgearbeitet. Dabei stellte sich heraus, dass neben dem zentralen Punkt der Kreislauffähigkeit auch noch Optimierungsbedarf bei der Montage besteht. Als mögliche Lösung wurde der industrielle Bau aufgezeigt, um die Einbauabläufe mit dem Fenster weiterzuentwickeln. In diesem Zusammenhang konnte bei Wandelementen in Holzkonstruktionsbauweise das größte Potential hinsichtlich Produktivität, Genauigkeit und Nachhaltigkeit identifiziert werden.

Diese Betrachtungen wurden in 3 Schritten (Lastenheft, Pflichtenheft und Anforderungsliste) zunehmend als Produktmerkmale konkretisiert und quantifiziert. Um den Aspekt der Kreislauffähigkeit in die methodische Vorgehensweise zu integrieren, wurde der Value Hill aus Produktentwicklungssicht neu aufgearbeitet und interpretiert. Resultat ist eine kompakte und anschauliche Darstellung, mit deren Hilfe die jeweiligen konkreten CE-Maßnahmen einer Entwicklungsaufgabe abgeleitet werden können. Am Beispiel des Fensters resultierten insgesamt 21 Maßnahmen, welche die Konstruktion teilweise grundlegend hinterfragten und zu einer Neudefinition der Systemgrenze führten. So zeichnete sich ab, dass die Rahmen- und Flügelkonstruktion zu einem modularen Fenstersystem erweitert werden muss, damit sowohl Rückbaufähigkeit, als auch Vereinfachungen der Montage möglich sind.

Die Gesamtheit der Anforderungen konnte in 17 wesentliche Funktionen, und damit in eine lösungsneutrale Beschreibung des Produkts, übersetzt werden. Die daraus angefertigte Funktionsstruktur stellte die Entwicklungsgrundlage für den kreativen Prozess dar, dessen 72 Einzellösungen in Form eines Morphologischen Kastens gesammelt wurden. Auf diese Weise konnten durch die Kombination der Teillösungen zwei Grobkonzepte abgeleitet werden. Das favorisierte Konzept wurde daraufhin zunehmend konkretisiert und weiterentwickelt, wobei beispielsweise die Idee eines neuen Öffnungsmechanismus entstand.

Finales Konzept ist ein neu durchdachtes modulares Fenstersystem, welches die Punkte Rückbaubarkeit, Upgrade- und Anpassungsfähigkeit in sich vereint und somit die Nutzung des Fensters im Sinne der Kreislaufwirtschaft ermöglicht. Dabei konnte gezeigt werden, dass die veränderte Sichtweise auf das Produkt auch Vorteile hinsichtlich der Funktionalität mit sich bringt. So führt die neu definierte Schnittstelle zwischen Mauer und Fenster, sowie das zugehörige Führungssystem, zu einem vereinfachten Bauteilanschluss, welcher die Nutzung der Vorteile des industriellen Baus fördert. Dadurch können veraltete Montageabläufe abgelöst, körperlich

anstrengende Tätigkeiten erleichtert, und die Einbauqualität bzw. Wiederholgenauigkeit erhöht werden.

Zur Beurteilung, inwieweit sich das neue Fenstersystem für die Kreislaufwirtschaft eignet, wurde mithilfe dem „CE-Designer“-Tool ein Vergleich gegenüber einem Standardfenster erstellt. Diese Auswertung verdeutlicht, dass mit dem entwickelten Konzept die Kreislauffähigkeit, gemäß der betrachteten Bewertungskriterien, von 43% auf 80% gesteigert, und somit die Ausnutzung der eingesetzten Ressourcen erheblich verbessert werden kann.

Für die tatsächliche Umsetzung dieses Konzepts bedarf es jedoch noch einiger Arbeitsschritte. So wurde eine Alternative zur zunehmend kritisierten Kippfunktion lediglich aufgezeigt und nicht näher konkretisiert. Letzteres sollte jedoch auch nur weiterverfolgt werden, wenn diese Lüftungsmöglichkeit, gegenüber dem Kippen, deutliche Verbesserungen hinsichtlich Einbruchsschutz und Energieeffizienz verspricht. Des Weiteren muss die gesamte Konstruktion, einhergehend mit einer Festigkeitsberechnung, sowie der Ermittlung des tatsächlichen Wärmedurchgangs, weiter ausdetailliert, optimiert und somit aus technischer Sicht gänzlich verifiziert werden.

Nichtsdestotrotz zeigt das erarbeitete Konzept inklusive der zugehörigen methodischen Vorgehensweise, wie die Aspekte Funktionalität und Nachhaltigkeit gleichermaßen berücksichtigt und miteinander vereint werden können. Vor allem aber soll diese Arbeit, auch in anderen Branchen, zur Entwicklung kreislauffähiger Produkte und damit zu einem bewussteren Einsatz der uns begrenzt zur Verfügung stehenden Ressourcen motivieren.

## 8. Literaturverzeichnis

- [1] (2019, Sep.) Earth Overshoot Day. [Online]. <https://www.overshootday.org>
- [2] "Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich," Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien, Statusbericht 2018.
- [3] (2013, August) Umweltbundesamt. [Online].  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/ressourcennutzung-ihre-folgen>
- [4] Circular Futures. [Online].  
<https://www.circularfutures.at/themen/kreislaufwirtschaft/>
- [5] Elisa Achterberg, Jeroen Hinfelaar, and Nancy Bocken, "MASTER CIRCULAR BUSINESS WITH THE VALUE HILL," Circle Economy; Nuovalente; TU Delft; Het Groene Brein; Sustainable Finance Lab, 2016.
- [6] Mechthild Baron, "Ressourcen- und Klimaschutz durch Kreislaufwirtschaft," in *Einführung in die Kreislaufwirtschaft*. Stuttgart, Deutschland: Martin Kranert, 2017, pp. 47-64.
- [7] (2019, Aug.) Fairphone. [Online]. <https://www.fairphone.com/de/>
- [8] (2014, Feb.) Philips. [Online]. [https://www.philips.de/a-w/about/news/archive/standard/news/unternehmen/20140225\\_Mehr\\_Umsatz\\_mit\\_gruenen\\_Produkten.html](https://www.philips.de/a-w/about/news/archive/standard/news/unternehmen/20140225_Mehr_Umsatz_mit_gruenen_Produkten.html)
- [9] "Bericht über die Umsetzung des Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft," Europäische Kommission, Brüssel, 2019.
- [10] (2019, Mar.) eurostat - Circular Economy. [Online].  
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators>
- [11] "Ökodesign Arbeitsprogramm 2016-2019," Europäische Kommission, Brüssel, 2016.
- [12] Uwe Wild, "Fenster," in *Bausanierung - Erkennen und Beheben von Bauschäden*. Leipzig, Deutschland: Springer Vieweg, 2015, pp. 573-645.
- [13] Georg Pommer, Johannes Zeininger Anton Pech, *Baukonstruktionen - Fenster*. Wien, Österreich: Springer Wien New York, 2005.

- [14] Fensterbau Ratgeber. [Online].  
<https://www.fensterbau-ratgeber.de/fenster/fenster-technik/fensterbeschlag/>
- [15] (2019, Aug.) Shöpping. [Online].  
[https://www.shoepping.at/p/0000ABGC8?m=0000ABE6V&gclid=EAlaIQobChMIImJDfjNT\\_4wIVyYTVCh3N8gUgEAQYBSABEgKm6\\_D\\_BwE](https://www.shoepping.at/p/0000ABGC8?m=0000ABE6V&gclid=EAlaIQobChMIImJDfjNT_4wIVyYTVCh3N8gUgEAQYBSABEgKm6_D_BwE)
- [16] Baunetz-Wissen. [Online].  
<https://www.baunetzwissen.de/glossar/e/ecklager-2308047>
- [17] Fensterversand. [Online]. <https://www.fensterversand.com/info/qualitaet/a-wert-fugendurchlaessigkeit.php>
- [18] (2018, Aug.) Energie-Experten; 3-fach-Verglasung. [Online].  
<https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/fenster/fensterglas/3-fach-verglasung.html>
- [19] (2018, August) Energie-Experten. [Online]. <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/fenster/fensterglas/doppelverglasung.html>
- [20] (2018, Sep.) Greenspec. [Online].  
<http://www.greenspec.co.uk/building-design/windows/>
- [21] U. Hestermann, L.Rongen D.Neumann, "Fenster," in *Frick/Knöll Baukonstruktionslehre 2*. Wiesbaden, Deutschland: Vieweg+Teubner Verlag, 2008, pp. 339-447.
- [22] (2019, Aug.) Premium Fenstershop. [Online]. <https://www.premium-fenstershop.de/fileadmin/images/fenster/kunststofffenster/veka-softline-82/technische-zeichnung-softline-82-3-fach.png>
- [23] (2018, Nov.) Internorm. [Online]. [www.internorm.com/de-at/](http://www.internorm.com/de-at/)
- [24] (2018, Sep.) Fentech. [Online]. <http://www.fentech.ch/fibrex/holz-fibrex-fenster/>
- [25] Frank Ritter, "Lebensdauer von Bauteilen und Bauelementen ," TU Darmstadt; Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie, Darmstadt, Dissertation 2011.
- [26] Patrick Wortner, Johannes Kreißig, Hans Peters Bernhard von Houwald, "Entwicklung von Umweltproduktdeklarationen für transparente Bauelemente – Fenster und Glas – für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden," IFT Rosenheim; Fraunhofer IRB Verlag, Abschlussbericht 2012.

- [27] (2018, Sep.) Energie-Experte; Fensteranschlag. [Online]. <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/fenster/einbauen/fensteranschlag.html>
- [28] (2018, Sep.) Baunetz-Wissen; Anschlagarten. [Online]. <https://www.baunetzwissen.de/glossar/a/anschlagarten-47373>
- [29] Matthias Komarek, Thomas Koisser, and Peter Haftner, "Fenster und Fenstereinbau," Energie- und Umweltagentur Niederösterreich, St.Pölten, Ratgeber 2014.
- [30] Angela Hengsberger. (2018, Sep.) LEAD Innovation Management. [Online]. <https://www.lead-innovation.com/blog/u-wert-l%C3%BCftung>
- [31] (2019, Aug.) Energie-Experten; Kippfenster. [Online]. <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/fenster/fensterarten/kippfenster.html>
- [32] (2019, Sep.) Austrian Standards. [Online]. <https://www.austrian-standards.at/support-center/kontaktinfos-service/konsumenten/einbruchhemmende-sicherheitstechnik/>
- [33] (2019, Aug.) Energie-Experten; schaltbares Glas. [Online]. <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/fenster/fensterglas/schaltbares-glas.html>
- [34] (2019, Aug.) EControl-Glas. [Online]. <https://www.econtrol-glas.de/de/knowledge-center/technologie/produktaufbau/>
- [35] (2019, Aug.) Wikipedia, Elektrochromes Glas. [Online]. [https://de.wikipedia.org/wiki/Intelligentes\\_Glas#Elektrochromes\\_Glas](https://de.wikipedia.org/wiki/Intelligentes_Glas#Elektrochromes_Glas)
- [36] (2019, Aug.) Welt der Physik. [Online]. <https://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/news/2018/strom-aus-dem-fenster/>
- [37] (2019, Aug.) Energie-Experten, Fensterheizung. [Online]. <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/fenster/fenstertechnik/fensterheizung.html>
- [38] Prof. Dr.Ing. Gerhard Girmscheid, "Industrielles Bauen," Institut für Bauplanung und Baubetrieb ETH Zürich, Zürich, Skriptum 2011.
- [39] WEINMANN Holzbausystemtechnik. (2019, May) Homag. [Online]. <https://www.homag.com/fileadmin/product/houseconstruction/brochures/weinmann-riegelwerkstationen-FRAMESEQ.pdf>

- [40] Prof. Carsten Roth, Daniel Rozynski, and Philipp Koch, "Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau , " Technische Universität Braunschweig; Institut für Industriebau und konstruktives Entwerfen , Kurzbericht 2011.
- [41] (2019, Aug.) HoHo Wien. [Online]. <http://www.hoho-wien.at/>
- [42] "Erfolg durch Kontinuität – die Firma Bürkle investiert weiter," *BWI – BetonWerk International* , no. 5, Sep. 2018.
- [43] (2019, Feb.) Fastbrick Robotics. [Online]. <https://www.fbr.com.au/view/hadrian-x>
- [44] (2019, Feb.) Redbloccsystems. [Online]. <https://www.redbloccsystems.com/produktionslinien/>
- [45] PATRICIA SCHNEIDER, SANDRO PFOH, and FRANZISKA GRIMM, "Leitfaden 01 - Ökologische Kenndaten Baustoffe und Bauteile," Projektplattform Energie, München, 2016.
- [46] (2019, Jul.) KATCH\_e. [Online]. <http://www.katche.eu/de/>
- [47] (2019, Jul.) KATCH\_e, CE-Designer. [Online]. <https://tools.katche.eu/designer/>

## 9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1 Materialfluss im linearen Wirtschaftsmodell.....	1
Abbildung 1.2 Materialfluss im Kreislaufwirtschaftsmodell .....	2
Abbildung 1.3 Value Hill der Linear Economy [5] .....	3
Abbildung 1.4 Value Hill der Circular Economy (in Anlehnung an [5]).....	4
Abbildung 1.5 Zielsetzungen beim Übergang zur Kreislaufwirtschaft.....	5
Abbildung 1.6 modulares Smartphone - Fairphone 3 [7] .....	7
Abbildung 1.7 Auswirkungen der CE [10] .....	8
Abbildung 2.1 Fensterentwicklung .....	10
Abbildung 2.2 Flügelöffnungsarten nach ÖNORM B 5306 .....	11
Abbildung 2.3 Prinzipieller Aufbau einer Fensterkonstruktion [13] .....	12
Abbildung 2.4 Beispiele für Fensteroliven [13].....	13
Abbildung 2.5 Funktionsprinzip eines Ecklagers (in Anlehnung an [15]).....	14
Abbildung 2.6 Beispiel eines Drehkipfensterbeschlags (in Anlehnung an [13]).....	15
Abbildung 2.7 Entwicklung der Falzausbildung (in Anlehnung an [13]) .....	15
Abbildung 2.8 Entwicklung der Verglasung von Einfachfenstern [18].....	17
Abbildung 2.9 Entwicklung der Doppelverglasung (in Anlehnung an [13]) .....	17
Abbildung 2.10 Funktionsprinzip einer Wärmeschutzverglasung [20] .....	18
Abbildung 2.11 Entwicklung der Verglasung [18] .....	19
Abbildung 2.12 Bestimmung der Kammeranzahl bei Hohlprofilen [22].....	21
Abbildung 2.13 Holz-Aluminium Fenster [23].....	23
Abbildung 2.14 Vergleich der mittleren Lebensdauer in Abhängigkeit des Profilmat.24	
Abbildung 2.15 Vergleich des Umwelteinflusses in Abhängigkeit des Profilmat.....	25
Abbildung 2.16 Prinzipskizze – Außenanschlag [13] .....	26
Abbildung 2.17 Prinzipskizze - stumpfer Anschlag [13] .....	26
Abbildung 2.18 Prinzipskizze – Innenanschlag [13].....	26
Abbildung 2.19 Einbaumöglichkeiten des zu öffnenden Fensters [13] .....	27
Abbildung 2.20 Funktionsprinzip der I-tec Verriegelung [23] .....	30
Abbildung 2.21 I-tec Lüftung von Internorm [23].....	33
Abbildung 2.22 Funktionsprinzip von elektrochromem Glas [34].....	35
Abbildung 2.23 Kombiwandsystem FRAMETEQ M-500 [39].....	36
Abbildung 2.24 Umlaufproduktionsanlage der Firma Bürkle [42].....	38
Abbildung 2.25 Ziegellegroboter - Hadrian X [43].....	38
Abbildung 2.26 GWP durch die Herstellung verschiedener Bauweisen .....	40
Abbildung 3.1 Vorgehensweise zum Klären der Anforderungen .....	42
Abbildung 3.2 Zusammenhang von Strategien, Maßnahmen und Rückführart .....	44
Abbildung 3.3 CE-Maßnahmen im Uphill.....	45
Abbildung 3.4 CE-Maßnahmen im Tophill .....	46
Abbildung 3.5 CE-Maßnahmen im Downhill .....	47

Abbildung 4.1 Fensteraufbau der Modelle KF 410 (links) & HF 410 (rechts) [23] .....	57
Abbildung 4.2 Funktionsstruktur - Fenster der Zukunft .....	63
Abbildung 5.1 Erstkonzept - modularer Systemaufbau mittels Funktionsrahmen .....	67
Abbildung 5.2 Befestigung der Fensterkonstruktion .....	67
Abbildung 5.3 Querschnitt – Konzept 1 .....	68
Abbildung 5.4 Eckverbindung – Konzept 1 .....	69
Abbildung 5.5 Außen- (links) und Innenansicht (rechts) - Konzept 1 .....	69
Abbildung 5.6 Eckprofil – Konzept 2 .....	71
Abbildung 5.7 Querschnitte – Konzept 2: Fenstermitte (links) & Eckprofil (rechts) ...	72
Abbildung 5.8 Fenstergetriebe – Konzept 2 .....	72
Abbildung 5.9 Verriegelung - Konzept 2 .....	73
Abbildung 5.10 Außen- (links) und Innenansicht (rechts) – Konzept 2 .....	73
Abbildung 6.1 Aufbau des Fenstersystems .....	76
Abbildung 6.2 Profilschiene: Befestigung mittels T-Mutter .....	77
Abbildung 6.3 Dichtebene des Fensterrahmens .....	78
Abbildung 6.4 Fensterrahmen - Entwässerung und Querschnitt in der Mitte .....	79
Abbildung 6.5 Fensterrahmen - Ausnehmung im Eckbereich .....	80
Abbildung 6.6 Verglasungseinheit - Aufbau .....	81
Abbildung 6.7 Griffmontage am Verglasungsrahmen .....	82
Abbildung 6.8 Montage der Eckstücke .....	82
Abbildung 6.9 Fensterverriegelung mittels I-tec System .....	84
Abbildung 6.10 Prinzip der Öffnungskinematik .....	85
Abbildung 6.11 Öffnungsmechanik - Konstruktion .....	85
Abbildung 6.12 Kinematik des Öffnungsmechanismus .....	86
Abbildung 6.13 Flügelbewegung: geschlossen, parallel versetzt und offen .....	87
Abbildung 6.14 Montage der lagebestimmenden Bauteile .....	88
Abbildung 6.15 Rahmenmontage .....	89
Abbildung 6.16 Flügelmontage .....	90
Abbildung 6.17 Montage der Mauerverkleidung .....	91
Abbildung 6.18 Öffnungsbewegung im Gesamtsystem .....	91
Abbildung 6.19 Finales Konzept: Außen- (links) und Innenansicht (rechts) .....	92
Abbildung 6.20 Bewertung der Kreislauffähigkeit des finalen Konzepts .....	98

## 10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1 Erläuterung der CE-Strategien.....	6
Tabelle 2.1 Schätzung der Marktanteile von Fensterwerkstoffen in Deutschland [6]	23
Tabelle 2.2 Widerstandsklassen in Anlehnung an EN 1627 .....	34
Tabelle 2.3 Abschätzung der Fertigungsgeschwindigkeiten im industriellen Bau .....	39
Tabelle 2.4 Bewertung der betrachteten industrialisierten Bauweisen .....	40
Tabelle 3.1 Lastenheft – Überblick der Forderungen aus Kundensicht .....	43
Tabelle 3.2 Pflichtenheft – Umsetzungsvorschlag des Lastenhefts.....	48
Tabelle 3.3 Anforderungsliste .....	51
Tabelle 4.1 Funktionsbetrachtung derzeitiger Fensterkonstruktionen .....	58
Tabelle 4.2 Anpassung der derzeitigen Funktionsbegriffe (Tab. 4.1).....	59
Tabelle 4.3 Funktionen der angestrebten Schnittstellenverschiebung .....	60
Tabelle 4.4 Übersicht der für die Funktionsstruktur relevanten Funktionen.....	61
Tabelle 4.5 Herleitung der Kraft-/Stoffflüsse des Funktionsmusters.....	62
Tabelle 4.6 Legende – Funktionsstruktur.....	62
Tabelle 5.1 Konzeptbildung im Morphologischen Kasten.....	65
Tabelle 5.2 Vor- & Nachteile - Konzept 1.....	70
Tabelle 5.3 Vor- & Nachteile - Konzept 2.....	73
Tabelle 6.1 Übersicht der Vorteile des finalen Konzepts .....	93
Tabelle 6.2 Vergleich von derzeitigen Fenstern mit dem finalen Konzept.....	94
Tabelle 6.3 Äquivalenz von CE-Designer-Bewertungskriterien und CE-Strategien...	97

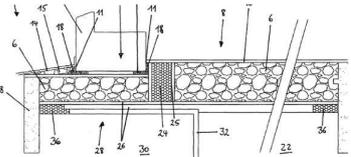
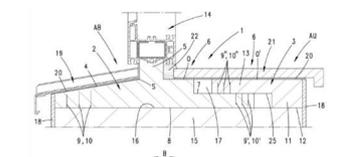
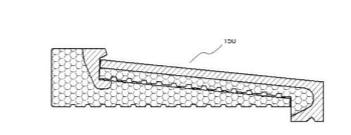
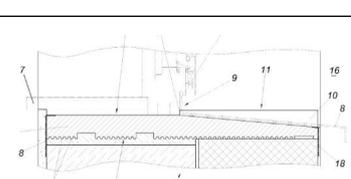
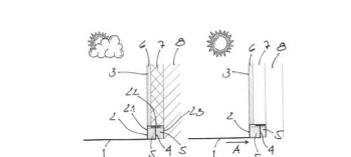
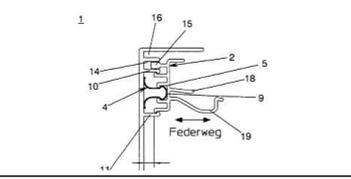
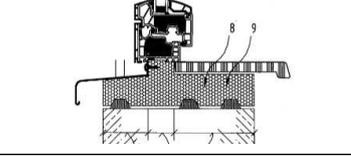
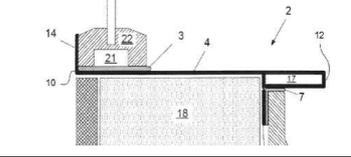
## 11. Abkürzungsverzeichnis

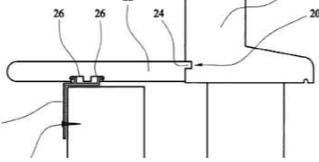
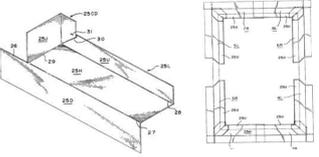
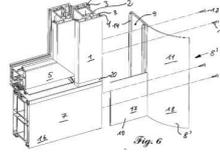
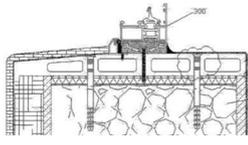
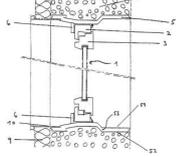
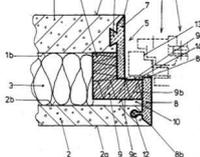
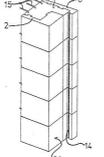
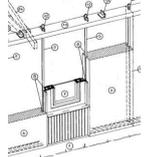
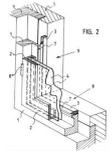
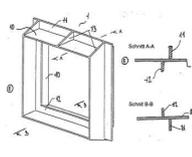
<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
Abb.	Abbildung
BF	Bereichsforderung
Bsp.	Beispiel
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CE	Circular Economy
etc.	et cetera
FF	Festforderung
GWP	Global Warming Potential
inkl.	inklusive
max.	maximal
min.	mindestens
PCF	Product Carbon Footprint
PDL	Produktdienstleistung
Pos.	Position
SZR	Scheibenzwischenraum
Tab.	Tabelle
vgl.	vergleiche
W	Wunschforderung
z.B.	zum Beispiel
ZF	Zielforderung

## A. Anhang

### A.I Patentrecherche

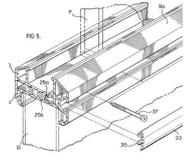
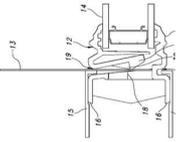
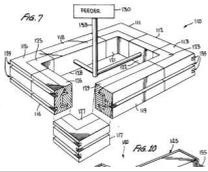
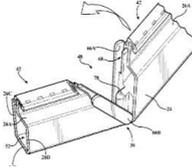
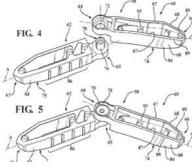
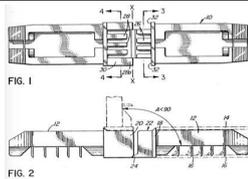
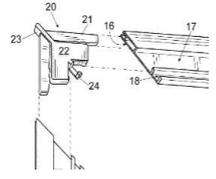
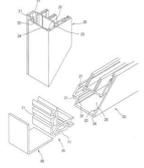
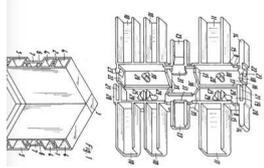
Aufgrund der enormen Anzahl von Patenten und Gebrauchsmustern im Bereich des Fensters konnten im Zuge dieser Arbeit nicht alle Dokumente detailliert betrachtet werden. Im Folgenden wird ein Querschnitt der betrachteten bzw. als Relevant erachteten Beispiele dargestellt:

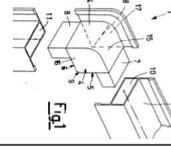
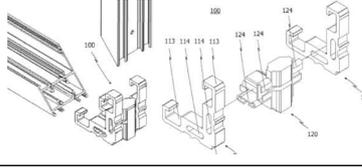
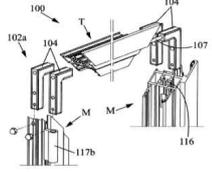
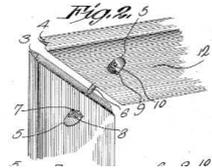
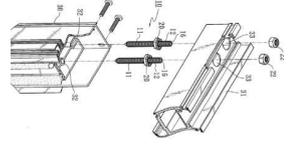
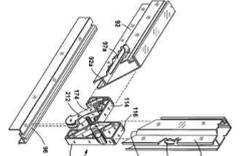
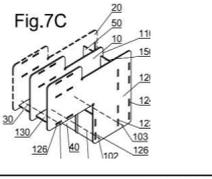
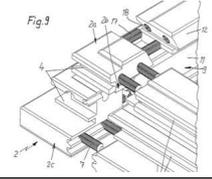
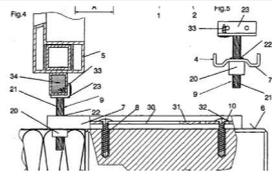
Recherchedatum: 15.01.2019		Patent-Übersicht				
relevante Klassifikation: E06B		konsultierte Online-Datenbank: ESPACENET, DPMA, Google Patents				
Nr.	Dokument	Anmeldedatum	Titel	Abbildung	Gültigkeit	Länder
1	EP2060725 (B1) — 2011-05-04	2008-10-24	Zarge für den Einbau eines Fensters oder einer Tür		NEIN	
2	EP1788182 (B1) — 2009-09-02	2006-11-15	Zweiteiliges tiefenverstellbares Fensterlaibungsteil, insbesondere Fensterbankteil		JA	AT, DE, CH, LI
3	EP3095945 (B1) — 2018-07-11	2015-05-18	ANPASSBARE FENSTERBANK		JA, aber nicht in AT	DE, CH, LI, GB, IE, LU, MC
4	AT514462 (B1) — 2015-02-15	2013-06-20	Dämmelement zur Anordnung zwischen einem Fensterrahmen und einem Mauerwerk		JA	AT
5	EP2514904 (A3) — 2014-08-20	2012-04-19	window sill		in Prüfung	
6	DE102004015170 (A1) — 2005-10-20	2004-03-27	Connexion element for connecting a window sill		NEIN	
7	AT508293 (B1) — 2011-12-15	2009-06-03	FORMTEIL ZUR WÄRMEDÄMMUNG EINER LEIBUNG IN EINER WANDÖFFNUNG		NEIN	
8	US9238937 (B2) — 2016-01-19	2014-04-30	Flashing and Joiner for Window Installations		JA	US, AU

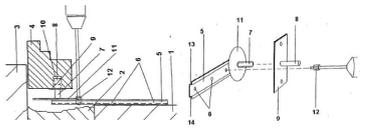
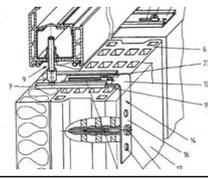
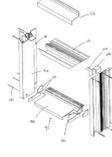
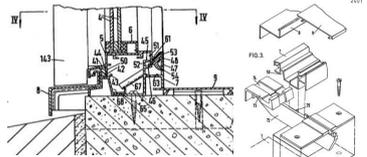
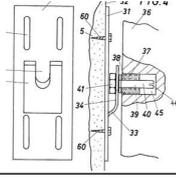
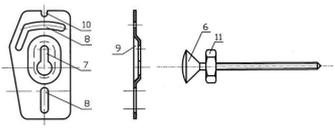
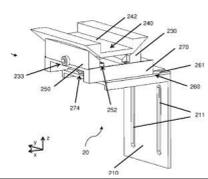
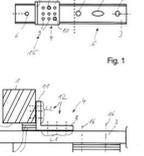
Recherchedatum: 15.01.2019		Patent-Übersicht				
relevante Klassifikation: E06B						
konsultierte Online-Datenbank: <b>ESPACENET, DPMA, Google Patents</b>						
Nr.	Dokument	Anmeldedatum	Titel	Abbildung	Gültigkeit	Länder
9	EP1255018 (A2) — 2002-11-06	2002-05-03	Befestigungsvorrichtung und -verfahren für Fensterbänke		NEIN	
10	US6401402 (B1) — 2002-06-11	2001-02-07	Pre-folded flashing systems and method		JA	US
11	DE102015115067 (A1) — 2017-03-09	2015-09-08	Hinterlaufsichere Abdichtung einer Tür gegenüber einem Baukörper		in Prüfung	
12	CN102777103 (B) — 2014-07-02	2012-11-14	Energy-saving door and window attached frame and door and window installation method		JA	CN
13	AT402531 (B) — 1997-06-25	1994-01-11	FENSTER- ODER TÜRZARGE FÜR EINE ÖFFNUNGSLEIBUNG IN EINER MAUERWAND		NEIN	
14	DE10000643 (C1) — 2001-06-13	2000-01-11	Vorgefertigtes Wandelement mit einem Fensterlaibungselement		NEIN	
15	DE19637836 (A1) — 1998-03-19	1996-09-17	Fenstereinfassungselement		NEIN	
16	DE1251501 (B)	1961-01-28	Tragendes Wandelement mittels Zuganker		NEIN	
17	WO9817887 (A1)	1996-10-23	Fenstersystem		NEIN	
18	DE102007027313 (A1) — 2008-12-18	2017-06-14	Blend framework e.g. for putting windows into building walls, has formed profile which has base plate arranged with frame and length of sides at two flat sides has tabs		NEIN	

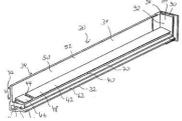
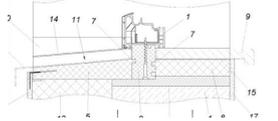
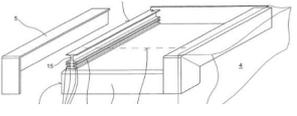
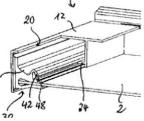
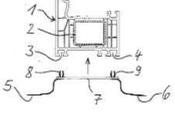
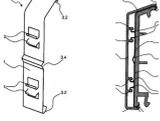
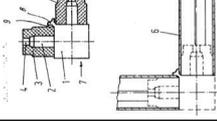
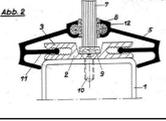
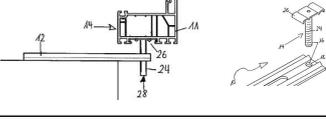
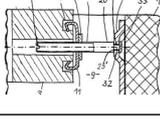
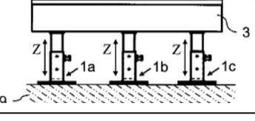


Recherchedatum: 15.01.2019		Patent-Übersicht				
relevante Klassifikation: E06B						
konsultierte Online-Datenbank: <b>ESPACENET, DPMA, Google Patents</b>						
Nr.	Dokument	Anmeldedatum	Titel	Abbildung	Gültigkeit	Länder
28	DE1534756 (B1) — 1970-07-02	1965-07-15	Scheibenbefestigung in einem Metallrahmen fuer Fenster,Tueren od.dgl.  ähnliches Gebrauchsmuster: DE1934779 (U) — 1966-03-17		NEIN	
29	DE1084467 (B) — 1960-06-30	1960-06-30	Rahmen zur Befestigung von Scheiben in Fenstern und Tueren		NEIN	
30	EP1219772 (B1) — 2005-11-16	2001-12-27	Glashalteleiste		NEIN	
31	EP2171173 (B1) — 2016-07-06		GLASS-PANELLED BALUSTRADE		JA	AT, FR, BE, GB, PL, DE, ES, IT, CH, LU, NL
32	DE102010053409 (A1) — 2012-06-06	2010-12-06	U-Profil für die eingespannte Lagerung einer Geländerscheibe		NEIN	
33	US9797185 (B2) — 2017-10-24	2014-09-19	Self-locking handrail system  ähnliche Patente: EP2460947 (B1) — 2016-06-15; US8621793 (B2) — 2014-01-07; US2015267415 (A1) — 2015-09-24; CH710415 (A2) — 2016-05-3; DE102009027240 (A1) — 2010-12-30; DE20104198 (U1) — 2001-06-07		JA	US
34	GB2471264 (B) — 2012-07-04	2009-06-08	Window frame for door  ähnliche Patente: US2005016091 (A1) — 2005-01-27; US2003115811 (A1) — 2003-06-26; US2003029104 (A1) — 2003-02-13		JA	GB
35	CA2109873 (C) — 1998-09-15		FRAME MOLDING CONNECTOR		NEIN	
36	US2017167185 (A1) — 2017-06-15	2015-12-11	WINDOW ASSEMBLY SECUREMENT		NEIN	
37	US8813442 (B1) — 2014-08-26	2013-03-15	SNAP-TOGETHER WINDOW FRAME  ähnliche Patente: US5644881 (A) — 1997-07-08; US2006005481 (A1) — 2006-01-12		JA	US

Recherchedatum: 15.01.2019		Patent-Übersicht				
relevante Klassifikation: E06B						
konsultierte Online-Datenbank: <b>ESPACENET, DPMA, Google Patents</b>						
Nr.	Dokument	Anmeldedatum	Titel	Abbildung	Gültigkeit	Länder
38	CA2144617 (C) — 2001-06-05	1995-03-14	TWO PIECE WINDOW FRAME GENERATED FROM A SINGLE EXTRUSION		NEIN	
39	US7448174 (B2) — 2008-11-11	2006-05-09	Integral screwless window assembly		JA	US
40	US5189841 (A) — 1993-03-02	1988-05-18	Unitary window frames and sashes		Nein	
41	US8572925 (B2) — 2013-11-05	2010-03-26	Frame Assembly And A Method Of Manufacturing The Same		JA	US
		ähnliches Patent:	US3802105 (A) — 1974-04-09 (Faltwinkel mit Verstärkung)			
42	US9879472 (B2) — 2018-01-30	2015-06-05	Frame assembly including a cornerlock		JA	US, in CA nur (A1)
		ähnliches Patent:	US3317227 (A) — 1967-05-02			
43	EP0275621 (A1) — 1988-07-27	1987-05-06	Falteckwinkel für die Verbindung von hohlen Abstandshaltern.		NEIN	
44	US8028489 (B1) — 2011-10-04	2010-01-07	Framed window screen and connector		JA	US
		ähnliche Patente:	US2017218680 (A1) — 2017-08-03 ; US5028165 (A) — 1991-07-02; DE2627401 (A1) — 1977-12-29			
45	EP2878752 (B1) — 2016-12-21	2014-10-29	Vorgefertigte Struktur einer Verbundfenster-/ türvorrichtung mit Rahmen aus verschiedenen Materialien		JA	DE, ES, IT, FR, GB, TR, SE, NL, PL, US, CN, KR, JP, RU (nur A)
		ähnliches Patent:	US2989788 (A) — 1961-06-27			
46	US4011706 (A) — 1977-03-15	1975-05-30	Corner connector for board shaped component parts		Nein	

Recherchedatum: 15.01.2019		Patent-Übersicht				
relevante Klassifikation: E06B						
konsultierte Online-Datenbank: <b>ESPACENET, DPMA, Google Patents</b>						
Nr.	Dokument	Anmeldedatum	Titel	Abbildung	Gültigkeit	Länder
47	EP0555929 (B1) — 1997-06-25	1993-02-11	Stück zur winkligen Verbindung von einander zustrebenden linearen Elementen		Nein	
48	EP2360344 (B1) — 2017-08-30	2011-02-02	Eckverbinder für Fenster- und Türrahmen		Nein	
49	US10151138 (B2) — 2018-12-11	2016-06-02	Window frame and/or opening frame		JA	US, FR
		ähnliche Patente:	US9091119 (B2) — 2015-07-28; US2017009792 (A1) — 2017-01-12; US2014144090 (A1) — 2014-05-29; DE20002578 (U1) — 2000-07-06			
50	US1335554 (A) — 1920-03-30	1917-06-27	Sill-joint for cut-to-fit greenhouses		NEIN	
		ähnliches Patent:	US3826053 (A) — 1974-07-30 (Steckteil - Form-/Reibschluss)			
51	US2007053766 (A1) — 2007-03-08	2005-09-02	Screw for assembling aluminum doors/windows		NEIN	
52	US2007297854 (A1) — 2007-12-27	2006-06-20	Corner bracket		NEIN	
		ähnliches Patent:	EP2479373 (B1) — 2017-03-08 (gültig in: DE, BE, ES, IT, FR, GB)			
53	EP2713000 (A1) — 2014-04-02	2012-09-27	Satz von Elementen zum Bilden von Eckverbindungen bei Verbindungsprofilen, eine Eckverbindung für Verbindungsprofile, sowie ein Fensterladen		NEIN	
54	DE19743489 (C1) — 1999-05-06	1997-10-01	Bausatz für einen Fensterflügelrahmen aus Holz		NEIN	
55	EP1500768 (B1) — 2009-07-29	2004-06-23	Konsole zum Abstützen und Befestigen von Fenster- oder Türrahmen an der Begrenzung einer Wandöffnung		JA, aber nicht in AT	DE, FR, CH, SE, PL
		ähnliche Patente:	EP1500767 (B1) — 2008-12-10; DE102013021885 (A1) — 2015-06-25; LT5984 (B) — 2013-12-27			

Recherchedatum: 15.01.2019		Patent-Übersicht				
relevante Klassifikation: E06B						
konsultierte Online-Datenbank: <b>ESPACENET, DPMA, Google Patents</b>						
Nr.	Dokument	Anmeldedatum	Titel	Abbildung	Gültigkeit	Länder
56	EP1544400 (B1) — 2008-09-03	2004-11-19	Befestigungsvorrichtung		NEIN	
57	EP0945577 (B2) — 2010-03-24	1999-03-04	Verwendung einer Profilschiene zum Abstützen von Fenster- oder Türrahmen		NEIN	
58	FR2922580 (B1) — 2011-05-27	2007-10-17	Adaptation Framework for wood frame with amounts		JA, aber AT nicht	FR
		ähnliches Patent:	US4621478 (A) — 1986-11-11			
59	DE2401307 (A1) — 1974-07-25	1974-01-11	FENSTERKONSTRUKTION		NEIN	
60	CH606737 (A5) — 1978-11-15	1975-06-06	Verfahren zum Befestigen eines Blendrahmens in einer Wandöffnung und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens		NEIN	
61	WO2011115530 (A1) — 2011-09-22	2010-03-19	METHOD FOR MOUNTING THE FRAME OF AN INTERIOR DOOR IN A WALL OPENING		NEIN, EP nicht eingeleitet	
62	DE102013101422 (B3) — 2014-08-07	2013-02-13	Montagesystem zum Abstützen, Befestigen und Positionieren von Bauelementen		JA, aber nicht in AT	DE
63	EP2594718 (A2) — 2013-05-22	2012-11-09	Vorrichtung zum Fixieren eines Baukörpers in einer Gebäudeöffnung		in Prüfung	

Recherchedatum: 15.01.2019		Gebrauchsmuster-Übersicht				
relevante Klassifikation: E06B						
konsultierte Online-Datenbank: <b>ESPACENET, DPMA, Google Patents</b>						
Nr.	Dokument	Anmeldedatum	Titel	Abbildung	Gültigkeit	Länder
1	AT15944 (U1) — 2018-10-15	2015-04-20	Klemmprofil für eine Fensterbank und Fensterbankabschluss		JA	AT, DE
2	AT14747 (U1) — 2016-05-15	2015-04-21	Fenster (mit einem in die Wandöffnung versetzten Fensterstock, mit Aufnahme für eine äußere Fensterbank)		JA	AT, DE
4	DE202004019812 (U1) — 2005-02-24	2004-12-23	Window sill facing, comprises cover strip containing sliding profile for compensating for thermal expansion and contraction of sill		NEIN	
5	AT14631 (U1) — 2016-02-15	2014-07-01	Fensterbankabschluss und zugehöriges Innenprofil		JA	AT, DE
7	DE202005013196 (U1) — 2005-10-27	2005-08-18	Abdichtung für Blendrahmen		NEIN	
3	AT11158 (U1) — 2010-05-15	2008-10-14	Fenster (Klemmteil für eine Aluabdeckung eines Rahmens)		NEIN	
6	DE8318000 (U1) — 1983-10-20	1983-06-22	BAUSATZ ZUR DICTENDEN VERBINDUNG UND ABSTANDHALTERUNG WENIGSTENS ZWEIER GLASSCHEIBEN		NEIN	
8	DE1691943 (U) — 1955-01-27	1954-11-23	GLASFALZLEISTE.		NEIN	
9	DE202010014944 (U1) — 2012-02-06	2010-11-04	Justiersystem		NEIN	
10	DE8807747 (U1) — 1988-08-18	1988-06-15	Halter		NEIN	
11	DE202014007230 (U1) — 2015-12-09	2014-09-05	Montagesystem		JA	