

Fenster sanieren oder ersetzen?

Ist die gängige Lösung wirklich die beste?



Abb. 1: Fenster in der Deponie – IN05 Yann Huet (vom Autor bearbeitet)

Autor:
Christian Orsega

Dozenten:
Gregor Steinke
Roger Blaser Zürcher

Muttenz, 02. Mai 2025

Eine Masterarbeit von:**Christian Orsega**

Bsc Architektur FH, DAS Energieexperte Bau
Werkgasse 47, 3018 Bern
Grolimund + Partner AG, Waldeggstrasse 42a, 3097 Liebefeld-Bern
christian.orsega@grolimund-partner.ch

Eingereicht bei:**Dozierender:****Gregor Steinke**

Dipl.-Ing. Architekt TH und Energieingenieur NDS FH
Institut Nachhaltigkeit und Energie am Bau INEB
gregor.steinke@fhnw.ch

Betreuender:**Prof. Roger Blaser Zürcher**

Dipl. Architekt FH/SIA STV, dipl. Bauleiter HFP/OBS, Bauphysiker M.BP
Institut Nachhaltigkeit und Energie am Bau INEB
roger.blaser@fhnw.ch

Redlichkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der im Quellenverzeichnis angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Die wörtlich oder inhaltlich den im Quellenverzeichnis aufgeführten Quellen und Hilfsmitteln entnommenen Stellen sind in der Arbeit als Zitat bzw. Paraphrase kenntlich gemacht. Diese Studienarbeit ist noch nicht veröffentlicht worden. Sie ist somit weder anderen Interessierten zugänglich gemacht noch einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden.

Ort, Datum: Muttenz, 02.05.2025

Christian Orsega:



Der vorliegende Bericht wurde von den Studierenden des MAS Nachhaltiges Bauen 2025 im Rahmen einer Studienarbeit erarbeitet. Die Arbeit wurde nicht im Rahmen eines Auftragsverhältnisses erstellt. Weder die Autor/innen noch die Fachhochschule Nordwestschweiz können deshalb für Aktivitäten auf der Basis dieser Studierendenarbeit eine planerische Haftung übernehmen.

I Abstract

Diese Masterarbeit untersucht die Frage, ob der nach heutigem Stand der Technik verwendete Fensterersatz tatsächlich die nachhaltigste Lösung darstellt – oder ob gezielte Ertüchtigung ökologisch, ökonomisch und technisch sinnvoller sein können. Fenster nehmen zwar nur eine geringe Fläche der Gebäudehülle ein, stellen jedoch oft eine energetische Schwachstelle dar und sind für einen erheblichen Anteil der CO₂-Emissionen im Bausektor verantwortlich. In der Schweiz werden jährlich rund 20 Millionen Quadratmeter Fenster entsorgt, was zu grossen Abfallmengen führt. Angesichts des stetigen Anstiegs der Sanierungsquote werden diese Volumen zunehmend problematisch. Es ist daher unerlässlich, die verschiedenen Verbesserungsmöglichkeiten kritisch zu vergleichen und ihre energetischen, ökologischen und wirtschaftlichen Auswirkungen über den gesamten Lebenszyklus hinweg zu bewerten.

Die Arbeit definiert eingangs die Leistungsanforderungen an Fenster, analysiert bestehende Fensterkonstruktionen sowie den aktuellen Markt und bewertet verschiedene Strategien zur Fenstersanierung. Anschliessend wird der Fenster-Lebenszyklus eingehend untersucht, insbesondere die verschiedenen End-of-Life-Szenarien (bestehende und mögliche), mit Schwerpunkt auf ReUse und Recycling. Eine wirtschaftliche Analyse der Lebenszykluskosten ergänzt die Bewertung ökonomischer, ökologischer und sozialer Auswirkungen. Die Methodik kombiniert quantitative und qualitative Ansätze: Durch energetisch-ökologische Simulationen werden die Auswirkungen verschiedener Eingriffsstrategien bewertet, eine Reihe von Experteninterviews liefert praxisnahe Rückmeldungen aus erster Hand. Abschliessend ermöglicht eine gesamtheitlich vergleichende Bewertung mittels Multikriterien-Matrix einen systematischen Vergleich der wichtigsten Alternativen.

Der Vergleich der Eingriffsstrategien zielt nicht darauf ab, eine universelle Lösung zu identifizieren, sondern Synergien und Grenzen aufzuzeigen und so die Entscheidungsfindung zu unterstützen. Eine wesentliche Erkenntnis dieser Arbeit ist, dass eine gute Wartung und die Wahl minimaler Eingriffe – wie leichte und gezielte Massnahmen – häufig vorteilhafter sind als ein vollständiger Fensterersatz. Sanierungsmassnahmen sind ökologisch meist sinnvoll bei älteren Gebäuden und/oder bei Heizsystemen, die auf fossilen Energieträgern basieren. Bei Gebäuden mit bereits guter energetischer Performance oder bei solchen, die mit erneuerbaren Energien betrieben werden, sollte der tatsächliche Einfluss neuer Fenster jeweils im Einzelfall beurteilt werden. Die Analysen zeigen, dass der vollständige Fensteraustausch insbesondere bei neueren Gebäuden situativ eine ökologisch nachteilige Wahl darstellen kann. Diese Erkenntnis ist besonders relevant, da gerade diese Gebäude in den kommenden Jahren energetisch saniert werden müssen.

Die Analyse hat gezeigt, dass die Reduktion der Energieverluste und Emissionen im Gebäudetrieb zwar wichtig ist, aber allein nicht ausreicht, um echte Nachhaltigkeit zu gewährleisten. Eine ausschliessliche Fokussierung auf die thermische Verbesserung oder auf die Einhaltung gesetzlicher Grenzwerte läuft Gefahr, eine einseitige Sichtweise zu fördern.

Es ist daher notwendig, die gesamte Umweltbilanz zu bewerten, wobei neben den Betriebsvorteilen auch graue Energie, Investitionskosten, Lebensdauer der Bauteile sowie die Emissionen aus Herstellung und Entsorgung berücksichtigt werden müssen. Mit anderen Worten: Es braucht ganzheitliche und projektspezifische Bewertungen, anstatt generische Lösungen für alle Fälle.

Nur durch die Berücksichtigung der jeweiligen Projektsituation und durch eine sorgfältige Abwägung aller Faktoren können wirklich nachhaltige Entscheidungen getroffen werden.

Abschliessend zeigt die Arbeit die Dringlichkeit eines Paradigmenwechsels auf: Kenntnisse, Lösungen und alternative Ansätze sind bereits vorhanden, es fehlen jedoch noch Instrumente und politische Rahmenbedingungen, die eine konkrete Umsetzung ermöglichen. Ein Zentraler Punkt ist, kulturelle Prioritäten neu zu definieren und neue Bewertungsmethoden zu entwickeln, um die ReUse und Ertüchtigung von Bauteilen gezielt zu fördern. Nur durch ein baldiges Umdenken können zukünftige Ressourcenverschwendungen vermieden und die ökologischen, energetischen und sozialen Herausforderungen der kommenden Jahrzehnte erfolgreich bewältigt werden.

II Inhaltsverzeichnis

I	Abstract.....	2
II	Inhaltsverzeichnis	3
1	Einführung	5
1.1	Einführung	5
1.2	Das Thema und die Motivation.....	6
1.2.1	Fenster als Bauteilelemente.....	6
1.2.2	Nutzungsdauer und Lebensdauer eines Fensters	7
1.3	Physikalische und akustische Eigenschaften von Fenstern.....	7
1.4	Vorschriften und Anforderungen	9
1.4.1	Energie und Behaglichkeit.....	9
1.4.2	Andere Anforderungen	9
1.5	Bauschaden.....	10
2	Bestehende Fenster.....	11
2.1	Die Geschichte des Fensters	11
2.2	Analyse der Fenster bis heute.....	12
2.2.1	Rahmen	12
2.2.1.1	Baustoffe	12
2.2.1.2	Tragfähigkeit und Beschläge	13
2.2.2	Verglasung.....	13
2.2.3	Gas Füllung.....	14
2.3	Schadstoffe	16
2.4	Schlussfolgerung	16
3	Aktuelle Fensterproduktion und Baupraxis	17
3.1	Markt und Produktion	17
3.2	Rahmen	18
3.3	Verglasungen.....	18
3.4	Fensterlüftung	20
3.5	THGE und GE: Erstellung und Entsorgung	21
3.6	EPD (Environmental Product Declaration)	22
3.7	Schlussfolgerung	22
4	Ertüchtigungsmassnahmen.....	23
4.1	Fensterertüchtigung Möglichkeiten.....	23
4.2	Energie, Emissionen und Graue Energie – Betrieb, Erstellung und Entsorgung....	24
4.3	Schlussfolgerung	24
5	Lebensende eines Fensters	25
5.1	Lebenszyklus eines Fensters	25
5.2	Sammelstellen und Deponien	26
5.3	Instandhaltung	26
5.4	Wiederverwendung	27
5.4.1	Wiederverwendung eines Fensters	27
5.4.2	Wiederverwendung von Glas	28

5.5	Umnutzung, Ertüchtigung und andere Verwendungen	29
5.6	End-of-Life & Recycling vs Heute.....	30
5.6.1	Rahmen	30
5.6.2	Verglasung.....	31
5.7	Massnahmen für die Zukunft.....	31
6	Lebenszykluskosten.....	32
6.1	Investitionskosten	32
6.2	Ertüchtigungskosten	33
6.3	Wartungskosten	34
6.4	Lebenszykluskosten.....	35
6.5	Schlussfolgerung	35
7	Berechnungen.....	36
7.1	Modelle	36
7.2	Variablen.....	36
7.3	Varianten	37
7.4	Berechnungsprozess	38
7.5	Ergebnisse.....	39
8	Analyse und Vergleich	41
8.1	Analyse der Treibhausgasemissionen.....	41
8.2	Analyse der grauen Energie und Gesamtbewertung	43
8.3	Analyse des Energieverbrauchs.....	43
8.4	Fazit.....	44
9	Interviews.....	45
10	Gesamtvergleich	48
10.1	Bewertungsmatrix und Variantenanalyse	48
10.2	Fazit – Fenster ersetzen oder ertüchtigen?	50
11	Fazit.....	52
11.1	Mindmap – Fenstersanierung.....	52
11.2	Verbesserungen für die Zukunft.....	53
12	Schlussfolgerungen und Danksagungen	54
12.1	Schlussfolgerung	54
12.2	Danksagungen.....	54
III	Abbildungsverzeichnis	55
IV	Tabellenverzeichnis	57
V	Quellen- und Hilfsmittelverzeichnis	58

Anhänge:

- Anhang α - KBOB Zusammenfassung
- Anhang β - Berechnungen: Tabelle mit einem Teil der Simulationen
- Anhang γ - Analyse der Simulationsergebnisse
- Anhang δ - Durchgeführte Interviews
- Anhang ϵ - Mindmap - Entscheidungspfad für Fenstersanierungsmassnahmen

1 Einführung

1.1 Einführung



Abb. 2: Filmszene: Rear Window - 1954 [a]



Abb. 3: Filmszene: Forrest Gump - 1994 [b]

Fenster sind ein charakteristisches architektonisches Element unserer Gesellschaft. Sie ermöglichen den Kontakt von innen nach aussen, schützen vor Witterungseinflüssen und tragen zur Stabilität bei. Fenster gehören heute zu den komplexesten und gefragtesten Bauteilen der Gebäudehülle. Die europäische Architektur hat sich über die letzten 600 Jahre von Gebäuden mit minimalen Glasflächen zu Gebäuden mit immer mehr Glasflächen entwickelt. Seit den 70er-80er Jahren sind Fenster-zu-Fassade-Verhältnisse von bis zu 70% verbreitet. Somit ist das Fenster einer Unzahl von Anforderungen unterworfen.

Glas ist ein faszinierendes Element, das durch Schmelzen von Siliziumdioxid, Natriumkarbonat, Kalkstein und Zusätzen bei einer Temperatur von 1'500 bis 1'700 °C hergestellt wird. Das Ergebnis ist eine transparente, widerstandsfähige und langfristig recycelbare Scheibe. Leider wird bei der Herstellung von Glas und Rahmen sehr viel Energie verbraucht und grosse Mengen CO₂ in die Atmosphäre abgegeben. Trotz grosser energietechnischer Fortschritte in den letzten 25 Jahren, leiten Fenster fünf- bis sechsmal mehr Wärme ab als eine gedämmte Wand und sind damit nach wie vor das energetisch schlechteste Bauteil der thermischen Hülle. Jährlich landen ca. 20 Millionen m² Fenster auf der Mülldeponie [3] und verursachen somit eine grosse Abfallmenge. Angesichts zukünftiger Herausforderungen, energiepolitischer Ziele und der Tatsache, dass rund 80% der Gebäude in den nächsten Jahren saniert werden müssen, haben Fenster einen erheblichen Einfluss auf die Umwelt.

Für die vorliegende Arbeit wurde anhand von 9 Minergie-ECO-Projekten der Grolimund + Partner AG versucht, den Anteil der Grauen Energie (GE) und der Treibhausgasemissionen (THGE) von Fenstern zu ermitteln. Die Daten stammen aus sehr unterschiedlichen Projekten mit einer Energiebezugsfläche (EBF) zwischen 1'248 m² und 45'574 m², unterschiedlichen Nutzungsarten und Materialität. Der GE-Anteil der Fenster liegt zwischen 10% und 26%, der THGE-Anteil zwischen 8% und 21%. Die Daten basieren auf wenigen Gebäuden und erlauben es nicht, den tatsächlichen Einfluss dieser Bauteile repräsentativ zu bestimmen.

Gleichzeitig kann jedoch festgestellt werden, dass Fenster trotz ihrer geringen Fläche für einen Grossteil der Emissionen eines Gebäudes verantwortlich sind und oft mehr als ein Fünftel der Gesamtemissionen des gesamten Gebäudes ausmachen. [Quelle: 98]

Bauteilen Anteil Graue Energie

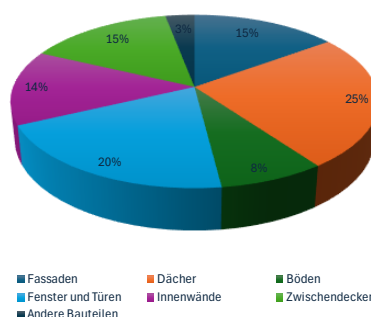


Abb. 4: Fenster: ihr Anteil an der GE [98]

Bauteilen Anteil THGE

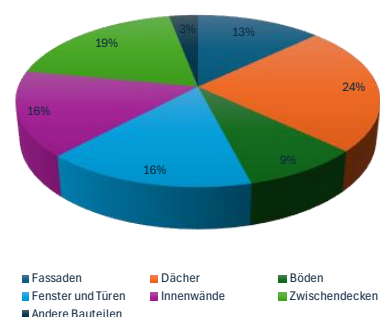


Abb. 5: Fenster: ihr Anteil an der THGE [98]

1.2 Das Thema und die Motivation

In der Vergangenheit habe ich mehrere Projekte im Zusammenhang mit Lärmsanierungen in verschiedenen Kantonen begleitet und dabei den Einbau von vielen Schallschutzfenster unterstützt. Als Energieberater und Bauphysiker bin ich heute oft mit dem Thema Fensterersatz konfrontiert. Um die energetischen Grenzwerte einzuhalten, sind finanzielle Budgets und der aktuell beschränkte Wissensstand die Grundlage für die am häufigsten gewählte Lösung, den Fensterersatz. Ziel dieser Arbeit ist es, einen Überblick über bestehende Fenster, den aktuellen Markt, mögliche Verbesserungsmassnahmen an bestehenden Fenstern, den Lebenszyklus und die damit verbundenen ökonomischen, ökologischen und sozialen Einflüsse auf das Bauteil zu geben. All dies wird durch Analysen und Berechnungen unterstützt, um ein realistisches und vergleichbares Bild zu erhalten. Das Ganze wird auch durch eine Reihe von Interviews mit verschiedenen Experten aus unterschiedlichen Bereichen und verschiedenen Perspektiven validiert. Die Berechnungen und Analysen konzentrieren sich auf „normale“ Fenster, die normalerweise in Wohn- und Bürogebäuden zu finden sind, die zwischen 1955 und heute gebaut wurden. Die Grundidee besteht darin, den Anteil der häufigsten Gebäude abzuschätzen, die in den nächsten Jahren energetisch saniert werden müssen.

1.2.1 Fenster als Bauteilelemente

Fenster sind ein charakteristisches ästhetisches Element, das sowohl das Aussehen und den Stil von Gebäuden als auch die regionale Identität bestimmt. Neben dem architektonischen Aspekt haben Fenster verschiedene Haupt- und Nebenfunktionen zu erfüllen. Als Teil der Gebäudehülle schützen sie die Nutzer vor äusseren Witterungseinflüssen, indem sie Luft- und Wasserdichtigkeit gewährleisten. Durch seine Transparenz verbindet das Fenster Innen und Aussen und bietet gleichzeitig einen gewissen Schutz der Privatsphäre. Neben der möglichen Verwendung als Zugangselement dienen sie auch der Regulierung der Raumluftqualität (Abgabe von CO₂, Feuchtigkeit, Gerüchen usw., sowie Zufuhr von Sauerstoff, etc.). Die Transparenz des Elements ermöglicht die Nutzung des Tageslichts zur Beleuchtung der Innenräume, was den Komfort erhöht und den Energieverbrauch reduziert.

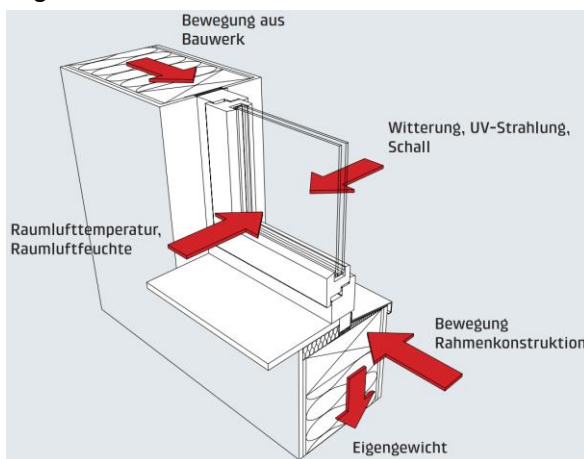


Abb. 6: Belastungen und Einwirkungen auf Fenster [11]



Abb. 7: Luis Kahn; Fischer House [c]

Im Laufe des letzten Jahrhunderts haben sich die Eigenschaften von Fenstern zum Schutz der Bewohner erheblich verbessert. Verbundglas, Beschichtungen, Dichtungen und Fugen- und Dämmanschlusstechniken ermöglichen heute einen hervorragenden Schutz vor Aussenlärm, einen guten Wärmeschutz im Winter und eine gute Luftdichtheit. Mit dunkleren Gläsern und Beschattungssystemen kann ein guter sommerlicher Wärmeschutz gewährleistet werden. Fenster haben auch sekundäre Funktionen wie Einbruch- oder Brandschutz. Die Verglasung ermöglicht es uns, das zu nutzen, was uns die Umgebung bietet, wie zum Beispiel die Sonneneinstrahlung im Winter - als passive Heizung und zur Einsparung von Wärmeenergie - oder die Nutzung der kühlen Nachtluft im Sommer als passive Kühlung. Nicht zuletzt muss das Fenster auch seinen eigenen Anforderungen gerecht werden, wie z.B. den mechanischen Anforderungen durch Beschläge und Verschlüsse und der Abnutzung durch die Bewohner und die Wetterelemente.

1.2.2 Nutzungsdauer und Lebensdauer eines Fensters

Obwohl es sich beim Fenster um ein passives Bauteil handelt, ist es eines der komplexesten und wird während seiner gesamten Lebensdauer ständig beansprucht. Es ist schwierig, eine allgemeingültige Lebensdauer zu definieren, da diese von der Qualität, der Nutzung, der Wartung, der Reinigung, dem Standort, der Ausrichtung, den Witterungseinflüssen, der Konstruktion, der Materialisierung, der Dimensionierung und vielen anderen Aspekten des spezifischen Fensters abhängt. In Tabelle 1 sind verschiedene Lebensdauern aufgeführt, die sich aus unterschiedlichen Quellen ergeben. Auf der Grundlage dieser Angaben wird in den letzten beiden Spalten die Lebensdauer definiert, die in den Berechnungen in Kapitel 7 berücksichtigt wird. Die *Normale Lebensdauer* stellt die Standardlebensdauer dar, während die *Mögliche Lebensdauer* die verlängerte oder hypothetische (vom Autor abgeschätzte) Lebensdauer unter optimalen Bedingungen (Gebrauch, Wartung, usw.) darstellt.

Bauteilelemente	Lebenserwartung [a]	Mitt. Lebenserw. [a]	Mitt. Lebenserw. [a]	Mitt. Lebenserw. [a]	Mitt. Lebenserw. [a]	Norm. Lebensd. [a]	Mögl. Lebensd. [a]
Hartholz und Aluminium	40-60	50	25	40	30	40	60
Weichholz	30-50	40	25	25	25	30	40
Stahl, Aluminium	40-50	45	30	45	30	45	60
Kunststoff	40-60	50	25	35	25	35	40
Beschichtung (wie Imprägnierung auf Holz)	10-20	8	10	10	-	10	-
Einfachverglasung	60-100	80	-	40	-	50	80
Mehrscheiben-Isolierglas	20-30	25	25	30	-	25	35
Verkittung	8-15	10	10	-	10	10	10
Fugendichtungen, Kittfugen	-	-	-	15	-	15	-
Glasabdichtung durch Dichtprofile	15-25	20	10	15	10	15	25
Glasabdichtung durch Dichtprofile (Silikone)	10-25	12	10	15	10	10	25
Flügelabdichtungsprofile	15-25	18	10	15	10	15	25
Einfache Beschläge	30-50	40	-	-	-	40	60
Drehkipp-, Schwingflügel, Schiebebeschläge	20-30	25	-	-	-	25	35
Türschlosser und Türschlisse	20-30	25	-	-	-	25	35
Sonnenschutz fest aus Leichtmetall	50-100	60	-	40	-	60	100
Sonnenschutz beweglich (Alu/Kunststoff)	20-30	25	25	25	25	25	35
Markisen	10-20	15	8-15	-	15	15	20
Rollläden Holz	-	-	25	30	25	25	30
Rollläden Metall, Aluminium	-	-	30	40	30	30	40
Stoff-Sonnenstoren	-	-	-	15	-	15	20
Gurten für Rollläden/Storen	-	-	8	-	8	8	15
Motoren	-	-	15	-	15	15	30
Jalousieläden Holz	-	-	30	30	30	30	40
Jalousieläden Metall Aluminium	-	-	40	40	40	40	60
Fensterbänke	-	-	30	-	-	30	50
Quellen :	Atlas Gebäudeöffnungen & IEMB Lebensdauer von Bauteilen 2006	Parit. Lebensd. & LCC Handbuch	Armasuisse Nutzungszeiten	Diverse aus dem Web	-	-	-

Tabelle 1: Normale und mögliche Lebensdauer von Fenstern und Bauteilelementen [1; 71; 72; 73; 74]; (Autor, ab jetzt Abk. (A))

1.3 Physikalische und akustische Eigenschaften von Fenstern

Bauphysik

Das Fenster als mobiles Trennelement mit reduzierter Dicke und partieller Transparenz umfasst eine Vielzahl bauphysikalischer Qualitäten.

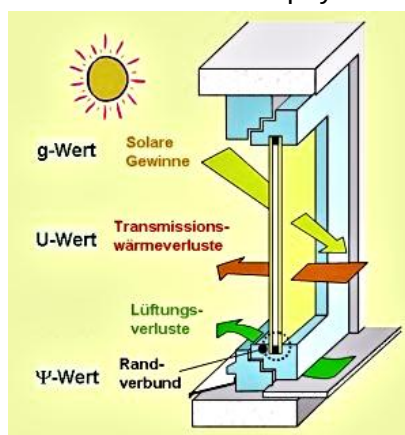


Abb. 8: Kennwerte von Fenstern [a]

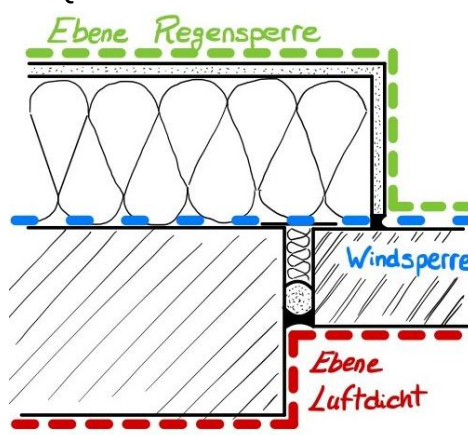


Abb. 9: Bauphysikalische Ebenen (A)

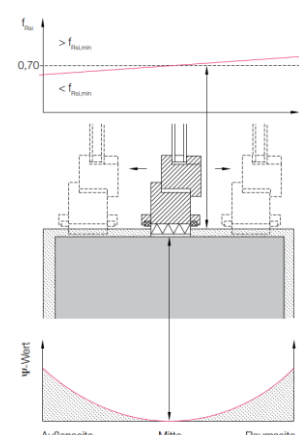


Abb. 10: Einbau-Standorte [1]

Am bekanntesten ist der U-Wert, der durch den Mittelwert zwischen Rahmen und Glas bestimmt wird. Er bestimmt den Transmissionswärmeverlust in $[W/m^2K]$ des Bauteilelements. Der U-Wert des Fensters hängt von Rahmenart, Dimensionen, Glasart, Abstandhalter (ψ -Wert), Füllgas (siehe Abb. 11), und dem Vorhandensein von Folien ab. Mit diesem Wert kann die innere Oberflächentemperatur an einem Tag ohne Sonneneinstrahlung bestimmt

werden (siehe Tabelle 2 mit $T_i = 20^\circ\text{C}$ und $T_a = -5^\circ\text{C}$). Des Weiteren fallen beim tatsächlichen Einbau des Elements Fenster dessen Anschlüsse zu umliegenden Bauteilen ins Gewicht, welche ebenfalls betrachtet und gelöst werden müssen (siehe Abb. 10), welche oft als Wärmebrücken abgehandelt werden. Diese Übergänge sind nicht eigentlich Teil des Elements Fenster, sind jedoch bei der Konstruktion von Gebäudehüllen unumgänglich. Der g-Wert gibt an, wie viel Sonnenstrahlung durch das Fenster dringen kann (Werte von 0 bis 1). Er beeinflusst den Wärmeeintrag sowie die Sonneneinstrahlung im Winter und die Überhitzung im Sommer. In Kombination mit einem Sonnenschutz ergibt sich der g_{tot}-Wert, der die Gesamtdurchlässigkeit bei geschlossenem Sonnenschutz angibt. Der Sonnenschutz reduziert auch den U-Wert; z.B. Innenjalousie -10%, Aussenjalousie -17%, beide -26% [1]. Der T-Wert (0-1) gibt an, wie viel natürliches Licht durch die Verglasung dringt.

U-Wert [$\text{W/m}^2\text{K}$]	Temperatur [$^\circ\text{C}$]
ca. 2.0	9.9
ca. 1.8	10.7
ca. 1.6	11.5
ca. 1.5	12.0
ca. 1.4	12.4
ca. 1.3	12.9
ca. 1.2	13.4
ca. 1.1	13.9
ca. 0.7	15.9
ca. 0.6	16.5
ca. 0.5	17.0

Tabelle 2: Oberflächentemperatur (A)

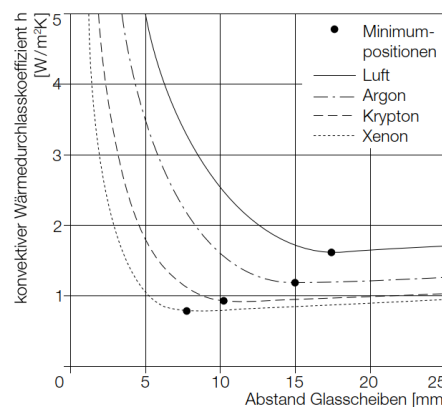


Abb. 11: Einfluss der Gas Art auf den U-Wert [1]

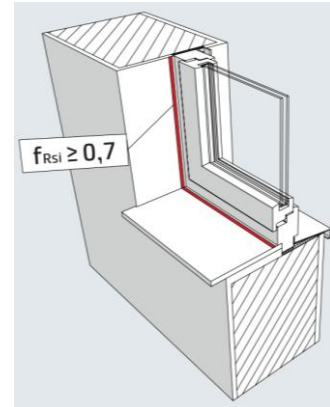


Abb. 12: f_{Rsi} -Wert [11]

Ein wesentlicher Wert für Wärmebrücken ist der f_{Rsi} -Wert (siehe Abb. 12) nach SIA 180:2014 [20], der das Verhältnis der inneren Oberflächentemperatur zur Innen- und Aussentemperatur darstellt. Mit diesem Wert kann das Risiko von zukünftigen Bauschäden durch Feuchtigkeit abgeschätzt werden. Ein hoher f_{Rsi} -Wert weist auf eine höhere Oberflächentemperatur hin, was das Risiko von Oberflächenkondensation und Zonen mit hoher relativer Luftfeuchtigkeit verringert. Wenn die Luftfeuchtigkeit für mindestens zwei Wochen über 80% r.F. liegt, kann es zu Schimmelbildung kommen. Aus diesem Grund sollten bei Normkonditionen Innenoberflächentemperaturen unter 12.6°C vermieden werden. Die SIA 180 schreibt je nach Klimazone einen minimal einzuhaltenden $f_{Rsi,min}$ vor. In Bern und Zürich werden mindestens 0.73 (0.60 bei Oberflächenkondensation), in Lugano mindestens 0.77 (0.58) empfohlen. Die Oberflächentemperatur ist auch für die asymmetrische Strahlungstemperatur entscheidend: Kalte Decken oder Wände erhöhen die Unbehaglichkeit in Räumen erheblich. Weitere wichtige Aspekte, die in diesem Kapitel nicht behandelt werden, sind die Windwiderstandsklasse, die Luftdichtigkeit, der Druckwiderstand und der Feuerwiderstand.

Bauakustik

Fenster sind akustisch eine Schwachstelle der Gebäudehülle. Verschiedene Parameter beeinflussen ihre Wirksamkeit (Quellen: [1; 21; 28; 32]):

- Glasstärke und Typ (siehe Tabelle 3).
- Verglasungsfläche (siehe Tabelle 3).
- Rahmenmaterial, Masse und Gas Typ.
- Anzahl der Dichtungen (1 bis 2 = $\Delta 3...5$ dB).
- Raumnutzung und akustische Anforderungen
- Lärmbelastung und Ausrichtung.
- Befestigungsdetails Wand-Rahmen (Wechselrahmen vermeiden, schwache Befestigungen, Einsatz von Seidenzopf, Schutzfugen und Luftdichtheit) – Fuge leer $\Delta R_w = -30$ dB [28]
- Innenliegende Rollladenkästen.
- Konzept der natürlichen Lüftung.

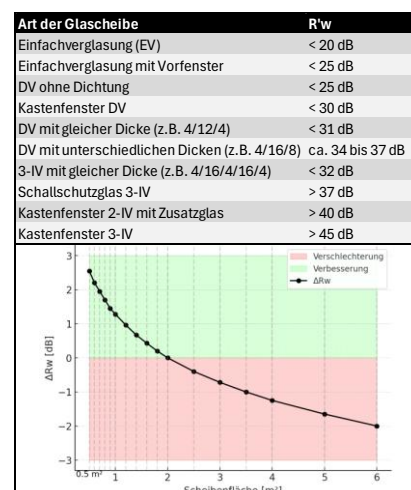


Tabelle 3: Verglasungsgrösse und R'_w (A)

1.4 Vorschriften und Anforderungen

1.4.1 Energie und Behaglichkeit

Die SIA 380/1 führt derzeit die Energierichtlinien an, die dann in den MuKEn [19], den kantonalen Energiegesetzen oder sogar Gemeinde- oder Bauherrenspezifischen Anforderungen ausgedrückt werden. Die SIA 180:2014 [20] definiert U-Werte zur Sicherstellung der Bauschadenfreiheit und der Behaglichkeit.

U-Wert Grenzwerte [W/m²K]	MuKEn 2006		MuKEn 2014 und 2025		SIA 180:2014 Bauschadenfreiheit ≤ 2.4
	Neubau ≤ 1.3	Sanierung ≤ 1.3	Neubau ≤ 1.0	Sanierung ≤ 1.0	

Tabelle 4: U-Wert Grenzwerte gemäss Normen und Energievorschriften [19; 20]

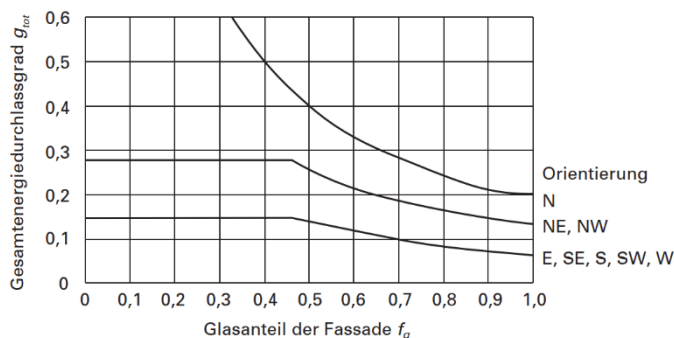
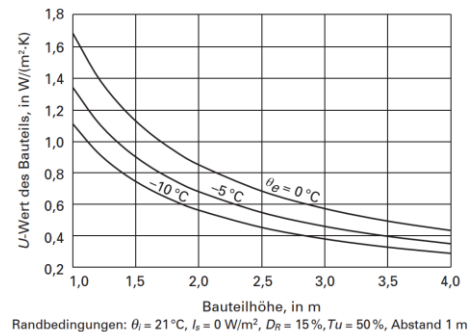


Abb. 13: SIA 181 Gesamtennergiedurchlassgrad g_{tot} gemäss Kap. 5.2.4 [20]



Randbedingungen: $\theta_i = 21^\circ\text{C}$, $I_s = 0 \text{ W/m}^2$, $D_R = 15\%$, $T_u = 50\%$, Abstand 1 m

Abb. 14: SIA 181 Max. U-Wert mit Bauteilhöhe [20]

1.4.2 Andere Anforderungen

SIGAB und SIA 358:2010 - Sicherheit

Die wichtigsten Dokumente sind SIA 358:2010 „Geländer und Brüstungen“ und SIGAB-Richtlinie 002 von 2024 „Sicherheit mit Glas“. Die SIA 358 legt die Regeln für die Aufrechterhaltung einer akzeptablen Absturzsicherheit fest. Sie legt fest, welche Massnahmen zu ergreifen sind, wenn die Brüstung (z.B. Rahmenüberstand) weniger als 100 cm vom besteig baren Punkt des Raumes entfernt ist (weniger als 65 cm über dem fertigen Boden). Ist die Brüstung mehr als 20 cm dick, kann diese Höhe auf 90 cm reduziert werden (Ziffer 3.1.4). In allen anderen Fällen müssen vorbeugende Massnahmen ergriffen werden, wie z.B. der Einbau von Sicherheitsbrüstungen oder die Einschränkung der Öffnungsmöglichkeiten der Fenster. Die SIGAB-Richtlinie 002 von 2024 legt fest, dass, wenn der tiefste Punkt der Verglasung nicht höher als 100 cm ist, ein spezielles Sicherheitsglas (Einscheibensicherheitsglas oder Verbundsicherheitsglas) erforderlich ist. Wenn aussen keine Absturzsicherung vorhanden ist, wird ESG nicht akzeptiert und daher ist VSG vorgeschrieben. Dies ist notwendig, um das Risiko schwerer Verletzungen durch Glasbruch bei einem zufälligen Aufprall zu verringern.

SIA 181:2020 - Schallschutz im Hochbau

Fenster müssen die in der Lärmschutzverordnung (LSV) und in der SIA 181 festgelegten Schallschutzwerte ($R'_w + C_{tr}/C$) einhalten. Dies wird erreicht mit unterschiedlichen Glasdicken, der Verwendung von verschiedenen Gas Arten und geeigneten Konstruktionsdetails.

SIA 271:2021 - Abdichtungen von Hochbauten

Die Vorschriften definieren die Anforderungen an eine fachgerecht eingebaute Abdichtung bei Fenstern und Fenstertüren. Für Schwellen wird in der Regel ein Mindestabstand von 60 mm von der Oberkante der Schutz-/Putzschicht gefordert. Kann dies nicht eingehalten werden, können zusätzliche Massnahmen ergriffen werden, z. B. Änderung des Rahmentyps, Anbringen einer Regenrinne. Auf diese Weise werden 25 mm oder sogar weniger erreicht.

Vereinbarung Kantonalen Feuerwerkversicherung (VKF) - Brandschutz

Die VKF legen die Anforderungen an den Brandschutz auf kantonaler Ebene fest.

1.5 Bauschaden

Fenster sind komplexe Bauteile, die ständig mechanischen, thermischen und klimatischen Belastungen ausgesetzt sind. Sie stellen eine Verbindung zwischen Innen- und Aussenräumen dar und unterbrechen die opake Gebäudehülle, was potenziell erhebliche Bauschäden verursachen kann. Zudem spielen sie eine zentrale Rolle bei der Regulierung der Luftqualität in Innenräumen sowie bei der Vermeidung von Feuchtigkeits- und Schimmelproblemen. Nachfolgend sind einige typische Bauschäden im Zusammenhang mit Fenstern aufgeführt:

- **Oberflächenkondensation und Schimmel** (Glas und Rahmen): Niedrige Oberflächentemperaturen in Verbindung mit hoher relativer Luftfeuchtigkeit begünstigen die Bildung von Kondenswasser. Unkontrolliert führt dies oft zu Schimmelschäden.

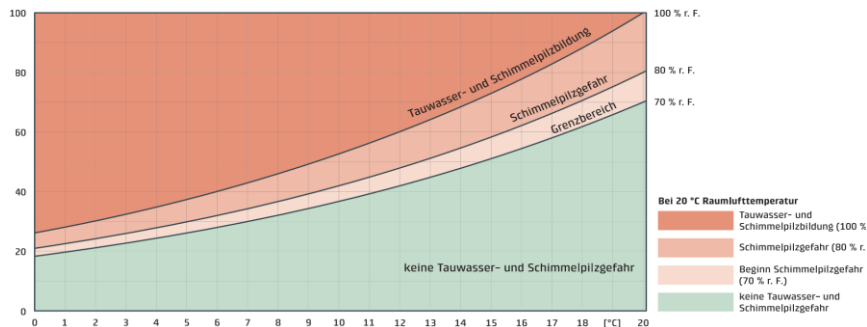


Abb. 15: Tauwasser- und Schimmelpilzbildung in Abhängigkeit von Temperatur und r.F. [11]

- **Schimmelbildung in den Laibungen und Fugen:** Wärmebrücken, Leckagen in der Luftdichtheit (z. B. undichte Silikonfugen) sowie unzureichende Lüftung können zur Schimmelbildung in den Fensterlaibungen und Anschlussfugen führen.
- **Abdichtungsprobleme zwischen Rahmen und Mauerwerk:** Fehler in der Konstruktion oder Ausführung können zu unzureichender Luft- und Wasserdichtigkeit führen.
- **Dichtungen und Innenkondensation:** Unzureichender Anpressdruck oder Undichtigkeiten zwischen Rahmen und Fensterflügel sowie Innenkondensation.
- **Schallschutzprobleme** aufgrund ungeeigneter Materialien oder Konstruktionsfehler.
- **Interstitielle Kondensation zwischen den Scheiben** aufgrund von Gasverlust.
- **Unzureichende Wartung:** Schäden an der Fensterkonstruktion oder -beschichtung können Folgeprobleme verursachen, wie z. B. Holzfäule bei Holzrahmen.
- **Nicht geeignete Fenster oder Baustoffe:** Die Wahl ungeeigneter Materialien oder Konstruktionen kann die Funktionstüchtigkeit und Lebensdauer des Fensters erheblich beeinträchtigen, z.B. der Mangel an konstruktivem Witterungsschutz.
- **Fehlmontage von Fenstern und Bauteilen:** Eine unsachgemäße Montage, z.B. ohne Beachtung der SIA 271, kann langfristige Schäden verursachen.
- **Feuchteschäden** durch tiefe Laibungen bei Fussbodenheizung oder Vorhängen (Konvektionsschatten, mangelnde Luftzirkulation)



Abb. 16: Bauschaden (A)

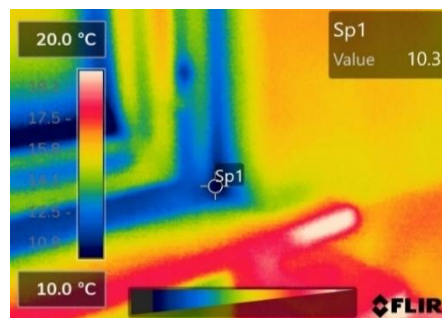


Abb. 17: Innenlaibung Thermographie (A)

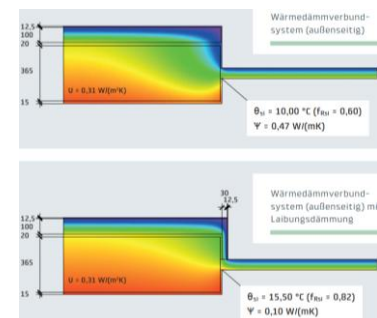


Abb. 18: Isothermen & Temperaturen [11]

2 Bestehende Fenster

2.1 Die Geschichte des Fensters

Fenster als Bauelemente haben eine jahrtausendealte Geschichte und ihre Entwicklung war an die funktionalen Bedürfnisse und technischen Möglichkeiten der jeweiligen Epoche und Zivilisation gebunden. Bereits in der Römerzeit gab es vor allem in Thermen verglaste Fenster und erste Kastenfenster, wie sie in Pompeji gefunden wurden, das 79 n.Chr. durch den Ausbruch des Vesuvs verschüttet wurde. Im frühen Mittelalter (5.-10. Jh.) verschwanden die bunten Glasfenster fast vollständig. Die meisten Öffnungen hatten kein Glas und wurden mit Holzrahmen oder Tierhäuten verschlossen, auch wegen der hohen Kosten für Glas. Im Laufe des Mittelalters entwickelte sich die Architektur weiter, und zwischen dem 13. und 15. Jh. nahm die Verwendung von Fenstern zwar zu, blieb aber ein Luxus. Luken Fenster, kleine Fenster (80 x 20 cm, auch in Schwyz noch zu sehen) mit Glas in losen, hölzernen Schiebeflügeln, waren weit verbreitet. In öffentlichen Gebäuden wie Kirchen und Schlössern kamen verglaste Fenster zum Einsatz, zuerst Butzenscheiben (7 bis 15 cm Durchmesser), gegen Ende des Mittelalters die grösseren Scheiben (ca. 30 cm Durchmesser). In der Renaissance verbreitete sich die Verwendung von Glas erneut und ermöglichte grössere Elemente und hellere Räume, nicht nur für die Oberschicht. Glas war nicht mehr nur ein funktionales Element, sondern wurde zu einem wertvollen Bestandteil der Architektur. Dies spiegelt sich auch in künstlerischen Werken wider (obwohl gerade im 17. Jh. einige Gemälde nicht mehr die Realität der Gebäude wiedergaben).

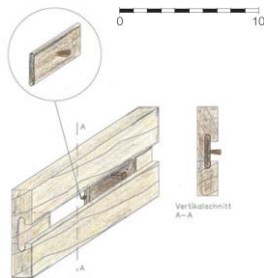


Abb. 19: Luken Fenster [1]

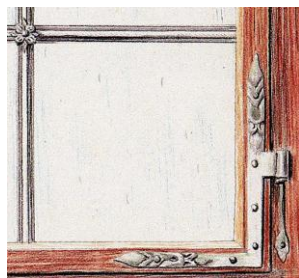


Abb. 20: Fensterbeschläge [1]



Abb. 21: Verglasung 16 Jh. [1]



Abb. 22: Kastenfenster [1]

Hochwertig verglaste Fenster blieben dennoch lange Zeit ein Luxus, aber ab dem 16. Jh. wurden Sprossenfenster zum Standard in Adelswohnungen, wobei die Schliess- und Dichtungssysteme durch dickere Scheiben und Rahmen verbessert wurden. Im 17. Jh. wurden die Produktionstechniken weiter verbessert, so dass grössere Scheiben möglich wurden. Im 18. Jh. setzten sich Doppelverglasung und Kastenfenster durch, die den Wohnkomfort verbesserten, und Fenster mit festem Rahmen wurden zum Standard. Regionale Unterschiede hatten grossen Einfluss auf die Form und die Art des verwendeten Glases; in der Schweiz und in den nordischen Ländern wurde beispielsweise das Kastenfenster wegen seiner besseren Wärme- und Schalldämmung beliebt. Mit der Industrialisierung im 19. Jh. wurden Glas, Holz und Stahl erschwinglicher, was zu dünneren und stärkeren Rahmen führte, die die Glasfläche vergrösserten und die Räume heller machten. Ausserdem begann die Massenproduktion von Flachglas, wodurch die Kosten sanken, und die Qualität stieg. Im 20. Jh., mit der Bewegung der Moderne, wurden Fenster zu strukturellen und dekorativen Elementen. Dank der Verwendung von Metall- und Aluminiumrahmen wurde die raumhohe Verglasung weit verbreitet. Mit der Einführung des ersten Isolierglases wurde die Wärmedämmung verbessert, und in den letzten Jahrzehnten wurde mit dem Aufkommen von Wärmeschutzglas und der Einführung von Edelgasen der Schwerpunkt auf die Energieeffizienz gelegt. Dies führte auch zu Gläsern, die ihre Transparenz verändern können, und heute ist Glas ein unverzichtbares Material in der Architektur. *Quellen des Kapitels [1; 11; 15].*

2.2 Analyse der Fenster bis heute

Um die beste Verbesserungsmassnahme zu bewerten, ist es wichtig, die bestehenden Fenster zu analysieren. Fenster haben seit 1940 bis heute ihre Wärmeverluste um das ca. Faktor 5-6 reduziert (*Quelle Pörisset GEAK 2019*). Betrachtet man eine heutige Wand mit einem U-Wert von $0.20 \text{ [W/m}^2\text{K]}$, so war ein Fenster im Jahr 1940 etwa 25-mal so stark wärmeverlustrig, während es heute etwa 5- bis 6-mal so stark wärmeverlustrig ist.

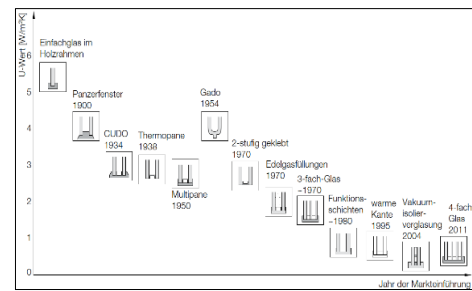


Abb. 23: Wärmeverluste von Fenstern [1]

2.2.1 Rahmen

2.2.1.1 Baustoffe

Abb. 24 zeigt eine Analyse der U-Werte von Rahmen in Abhängigkeit von deren Material und Baujahr. Die Analyse stammt aus der Interpolation von Daten aus den Quellen [1; 2; 13; 14], kombiniert mit verschiedenen Erfahrungen von Branchenexperten. Es ist zu erkennen, wie die U_F -Werte im Laufe der Zeit kontinuierlich sinken.

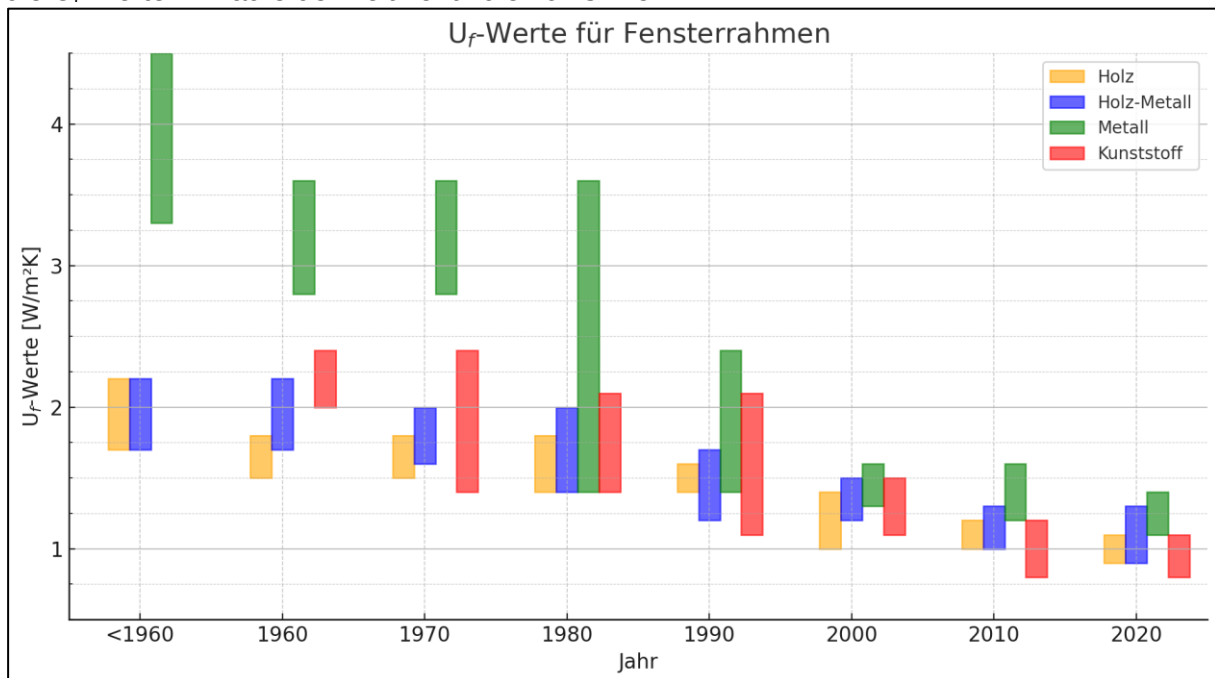


Abb. 24: U_F -Werte für Fensterrahmen im Laufe der Zeit [1; 2; 13; 14]; (A)

Holz Rahmen

Vor 1960 konnte der U_F -Wert von Holzrahmen mehr als $2.2 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ betragen, während er heute sogar unter $1.0\text{-}0.9 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ fällt. Er weist daher eine Reduzierung der Wärmeverluste um etwa 60% in 60 Jahren auf. Der U_F -Wert ist seit 2000 unter $1.4 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ stabil geblieben, was laut Tabelle 2 einer Oberflächentemperatur von etwa $12.5 \text{ }^\circ\text{C}$ entspricht.

Holz/Metall Rahmen

Holz-Metall-Rahmen folgen dem Trend der Holzrahmen, mit manchmal schlechteren Eigenschaften, die sich jedoch mit der Zeit verbessern. Die Variante Holz-Metall bietet Vorteile (z.B. Langlebigkeit, strukturelle Festigkeit usw.), bringt jedoch keine signifikanten Verbesserungen bei der Wärmedämmung im Vergleich zu einem Holzrahmen.

Metall Rahmen

Metallrahmen haben den drastischsten Rückgang der U_F -Werte erfahren, insbesondere nach der Ölkrise von 1979. Vor 1960 lagen sie bei über $4.5 \text{ [W/m}^2\text{K]}$; heute erreichen die fortschrittlichsten Rahmen etwa $1.1 \text{ [W/m}^2\text{K]}$, was einer Verringerung um mehr als das Vierfache entspricht. Diese Entwicklung ist auf die Einführung von thermisch getrennten Rahmen und Dichtungen zurückzuführen, die seit der Mitte der 80-er Jahre die Wärmeverluste erheblich reduziert haben.

PVC-Rahmen

Sie wurden nach 1960 eingeführt und haben seither ihren U_f -Wert dank der Erhöhung der Anzahl der Luftkammern im Rahmen um etwa das Dreifache verbessert. Die alten PVC-Rahmen enthielten Blei als Stabilisator, das heute oft durch Calcium-Zink ersetzt wird [34]. Heute hat sich der PVC-Rahmen als eines der leistungsfähigsten Materialien energetisch etabliert. Tabelle 5 enthält die zusammengefassten Daten mit zusätzlichen grundlegenden Informationen wie der Dicke des Holzrahmens oder der Anzahl der Luftkammern in PVC-Rahmen.

Zusammenfassung - U_f - Fenster Rahmen					
Holz	<1960	1960-1985	1980-2005	2000-2020	2015-2025
U_f [W/m ² K]:	1.7-2.2	1.5-1.8	1.4-1.6	1.0-1.4	<1.0
Rahmen Dicke:	ca. 50 mm	>50 mm	>60 mm	>80 mm	>100 mm
Holz/Metall	<1970	1970-1985	1980-1995	1990-2015	2010-2025
U_f [W/m ² K]:	1.7-2.2	1.6-2.0	1.4-1.7	1.2-1.5	1.0-1.3
Rahmen Dicke:	ca. 50 mm	>50 mm	>60 mm	>80 mm	>100 mm
Metall	<1965	1965-1985	1980-2005	2000-2015	2010-2025
U_f [W/m ² K]:	4.5	2.8-3.6	1.4-2.4	1.3-1.6	1.2-1.4
Getrennung:	Nicht Therm.	Nicht Therm.	Therm.	Therm.	Optim. Ther.
PVC	-	1960-1975	1970-1995	1990-2015	2010-2025
U_f [W/m ² K]:	-	2.0-2.4	1.4-2.1	1.1-1.5	0.8-1.2
Luftkammern:	-	1-3	3-5	5-7	7-8

Tabelle 5: Zusammenfassung U_f -Werte für Fensterrahmen im Laufe der Zeit [1; 2; 13; 14]; (A)

2.2.1.2 Tragfähigkeit und Beschläge

Auch die Beschläge haben sich in den letzten 60 Jahren stark verändert. Früher hatte z.B. ein Dreh-Kipp-Fenster zwei getrennte Beschläge, um eine vertikale und eine horizontale Drehung zu ermöglichen. Heute gibt es hochwertige Beschläge, die hohen Belastungen und Beanspruchungen standhalten. Über mehrfache Zahnräder wird die Drehbewegung des Griffes in eine lineare Bewegung der Schliessbolzen umgewandelt. Für die Beurteilung der bestehenden Fenster ist es wichtig, den Zustand der Beschläge und die Möglichkeit der Erhöhung der Lasten (jeder mm Glasdicke bedeutet ca. 2.5 [kg/m²]) zu beurteilen. Neue Beschläge sind im Vergleich zu alten komplex geworden und müssen regelmässig überprüft und unterhalten werden.



Abb. 25: Beschläge früher und heute [1; o]; (A)

2.2.2 Verglasung

Die Verglasungen weisen eine noch grössere Verbesserung auf als die Rahmen, ausgehend von einfachen Verglasungswerten mit $U_g=5.0$ [W/m²K] bis hin zu 3-IV mit einem U_g -Wert<0.6 [W/m²K]; der zeitliche Verlauf ist in Tabelle 6 zusammengefasst. Die grossen Verbesserungen bei den Gläsern werden sowohl durch die Low-E-Beschichtung, die Art des Gases im Zwischenraum und die Art der Abstandhalter bestimmt. Die Abstandhalter werden nicht im U-Wert, sondern als lineare Wärmebrücke mit dem Faktor ψ_g oder Psi-Wert ausgedrückt; Abb. 26 zeigt einige Beispiele.

Prinzip							
	doppelt versiegelt geltes Metall	Edelstahl	Aluminium thermisch unterbrochen	Polypropylen, Metall	Polyisobutylene	Silikon-schaum	Composite-Kunst- stoff, Metallfolie
Beispiel	herkömmliche Aluminium-Spacer	Chromatech plus Nirotech GTS WEP-classic	Azon Warm Light	TGI Spacer	Ködispace Thermo Plastic Spacer	Super Spacer ACSplus	Swisspacer V Thermix TX.N plus Chromatech Ultra
ψ_g -Wert [W/mK]	0,080–0,120	0,0486–0,068	0,046–0,058	0,038–0,049	0,034–0,043	0,032–0,041	0,030–0,050

Abb. 26: Beispiele für Abstandhalter zwischen den Scheiben und Psi-Werte [1]

U _g und g-Wert - Verglasungen					ψ _g	U _g 0.5-1.8	U _g 1.9-3.0
Glasart	Jahr	Gasfüllung	U _g [W/m ² K]	g-Wert	Abstandhalter	Abstandhalter Kunst/Edelstahl	
1-V	<1980	-	4.8-5.2	0.78-0.82	Holz	0.06	0.05
2-IV	1978-1995	Luft	2.7-3.1	0.75-0.78	PVC	0.06	0.05
3-IV	1985-1995	Luft	1.8-2.1	0.60-0.70	Metall mit therm. Trenn.	0.08	0.06
2-IV WS	1985-2000	Ed,Ar,Kr,Xe	1.4-1.8	0.58-0.60	Metall ohne therm. Trenn.	0.04	0.01
2-IV WS	1995-2005	Ed,Ar,Kr,Xe	1.2-1.5	0.55-0.65	Abstandhalter Aluminium		
3-IV WS	1990-2005	Ar	1.1-1.5	0.55-0.65	Holz	0.08	0.06
3-IV WS	1995-2010	Ar	0.7-1.2	0.45-0.55	PVC	0.08	0.06
2-IV WS	2005-2025	Ed,Ar,Kr	1.0-1.1	0.45-0.65	Metall mit therm. Trenn.	0.11	0.08
3-IV WS	2010-2025	Ed,Ar,Kr	0.4-0.7	0.40-0.60	Metall ohne therm. Trenn.	0.05	0.02

Tabelle 6: Zusammenfassung der U_g-Werte und g-Werte für Gläser und Psi-Werte von Abstandhaltern [1; 2; 13; 14]; (A)

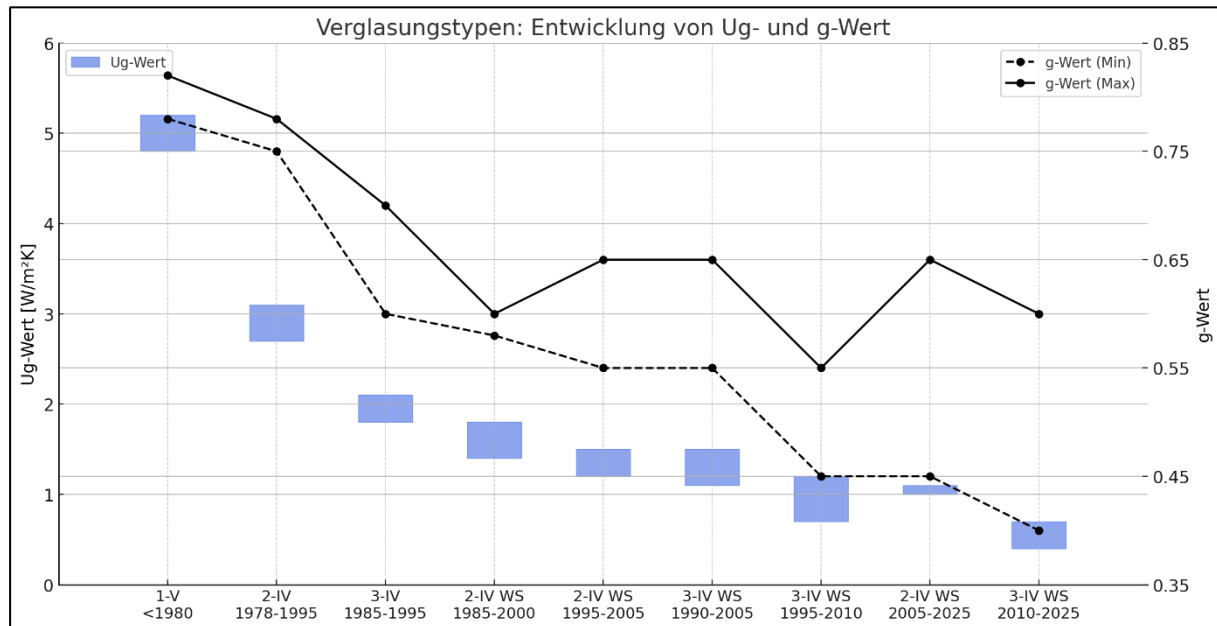


Abb. 27: Zeitliche Veränderung der U_g-Werte und g-Werte für Gläser [1; 2; 13; 14]; (A)

Abb. 27 zeigt die Entwicklung der Gläser in den letzten 50 Jahren in der Schweiz. Der allgemeine Trend zeigt eine deutliche Verbesserung des U_g, der um den Faktor 10 bis 12 gesunken ist. Diese Entwicklung hängt mit der Entstehung der ersten Energievorschriften zusammen, die nach der Ölkrise die ersten einzuhaltenden Grenzwerte festlegten. Der entscheidende Schritt war der Wechsel des Füllgases - von Luft zu Argon oder Krypton - und der Zusatz von Low-E-Beschichtungen zwischen den Scheiben (in der Grafik mit „WS“ für Wärmeschutz bezeichnet). Ein 2-fach-Glas ohne Wärmeschutzbeschichtung hat einen U-Wert von ca. 2.6-2.7 [W/m²K], während ein 3-fach-Glas ohne Wärmeschutzbeschichtung einen U-Wert von ca. 1.6-1.7 [W/m²K] hat. Der Einfluss dieser Schicht ist also sehr gross.

Auch der g-Wert hat sich verringert, während der Tageslichtdurchlässigkeitswert (T-Wert) immer hoch geblieben ist. Im Laufe der Zeit wurde erkannt, dass der g-Wert nicht nur für den solaren Wärmeeintrag im Winter von Bedeutung ist, sondern auch für die sommerliche Überhitzung problematisch werden kann. Je nach Projekt werden Gläser mit g-Werten von 0.20–0.35 eingesetzt; für Wohngebäude empfiehlt man oft Werte zwischen 0.45 und 0.55.

2.2.3 Gas Füllung

Wie in Kapitel 2.2.2 erwähnt, wurde in den 80er und 90er Jahren die Befüllung des Scheibenzwischenraums mit Edelgasen eingeführt und ist heute von grundlegender Bedeutung. Edelgase haben eine geringere Wärmeleitfähigkeit als Luft und reduzieren somit den Wärmeübergang. Da sie zudem schwerer und viskoser als Luft sind, begünstigen sie eine reduzierte interne Konvektion. Derzeit werden in Deutschland 9 von 10 Scheiben mit Argon hergestellt, da dieses Gas das beste Preis-Leistungs-Verhältnis aufweist [1].

Entscheidend für einen guten U-Wert ist die Gasmenge zwischen den Scheiben. In der Regel werden Isoliergläser mit 90% Edelgas und 10% Luft gefüllt. Gemäss der Norm SN EN 1279:3 darf eine Isolierverglasung maximal 1% Gas pro Jahr verlieren; entsprechend wird

nach 25 Jahren ein Restgasgehalt von 65% akzeptiert. Dieser Verlust ist auf die natürliche Durchlässigkeit der Dichtstoffe, die Alterung der Materialien, Herstellungs- oder Montagefehler oder auch auf mechanische Beanspruchung und/oder thermische Dilatation zurückzuführen. Es ist wichtig den Einfluss des Gasverlustes auf den U-Wert eines Isolierglases zu kennen. Tabelle 7 zeigt die prozentualen Verschlechterungen im Vergleich zum ursprünglichen U-Wert, die mit dem Programm glaCE der Firma Glas Trösch (www.glace.glastroesch.com) vom Autor berechnet wurden. Für diese Analyse wurden immer 4 mm dicke Scheiben und 14 mm Scheibenzwischenräume mit einer Low-E-Beschichtung vom Typ EN2plus (nicht bei 2-fach-Glas verwendet) berücksichtigt. Es wurde beschlossen, zwei Arten von Edelgasen zu bewerten, Krypton (das derzeit für Hochleistungsgläser verwendet wird) und Argon (das am häufigsten verwendete Edelgas). Ausserdem wurde ein Vergleich mit einer Doppelverglasung ohne Wärmeschutzbeschichtung (2-fach Verglasung) durchgeführt.

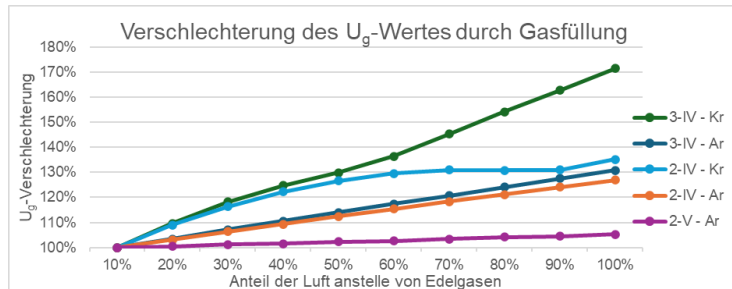


Abb. 28: U-Wert-Beeinflussung in % durch Gasgehalt im Zwischenraum (A)

Anteil	U_g	U_g	U_g	U_g	U_g
Lüft	3-IV - Kr	3-IV - Ar	2-IV - Kr	2-IV - Ar	2-V - Ar
10%	0.49	0.64	1.08	1.15	2.64
20%	0.53	0.66	1.17	1.18	2.65
30%	0.57	0.68	1.25	1.22	2.67
40%	0.61	0.70	1.32	1.25	2.68
50%	0.63	0.73	1.36	1.29	2.70
60%	0.66	0.75	1.40	1.32	2.71
70%	0.71	0.77	1.41	1.36	2.73
80%	0.75	0.79	1.41	1.39	2.75
90%	0.79	0.81	1.41	1.42	2.76
100%	0.83	0.83	1.46	1.46	2.78

Tabelle 7: Einfluss auf den U-Wert (A)

Mit Argon beginnt der U_g -Wert bei 0.64 [W/m²K] für 3-IV und 1.15 [W/m²K] für 2-IV. Krypton hat einen U_g -Wert von 0.49 [W/m²K] für 3-IV und 1.08 [W/m²K] für 2-IV. Ohne Gas wird für einen U_g von 0.83 [W/m²K] (+31% Argon und +71% Krypton) für den 3-IV und 1.46 [W/m²K] (+27% Argon und +35% Krypton) für den 2-IV erreicht. Ohne Low-E-Beschichtung (Analyse: 2-fach-Glas) würde sich die Verschlechterung aufgrund des fehlenden Gases auf ca. 5% beschränken; der Einsatz von Edelgasen spielt in diesem Fall mit ca. 1% eine Rolle. Die FHNW hat Messungen an 33 Gläsern in 3 Gebäuden durchgeführt, die zwischen 1995 und 2003 gebaut wurden. Es wurden Gasgehalte zwischen 1% und 93% festgestellt, wobei die meisten Werte bei ca. 80-90% lagen [2]. Der Taupunkt im Zwischenraum bei einem neuen Glas liegt normalerweise bei -60 °C [62]. Es ist zu berücksichtigen (basierend auf dem Artikel der Zeitschrift 'Fassade' vom April 2024 [88]), dass Fogging in geschlossenen Hohlräumen auch durch die Kondensation von VOCs verursacht werden kann, die durch die thermische Wirkung auf innenliegende Polymermaterialien freigesetzt werden und sich auf den kälteren Glasoberflächen der versiegelten Hohlräume ablagern; daher ist Fogging nicht immer auf Gaslecks, bzw. verminderten Edelgasgehalt zurückzuführen.

Das Gas kann mit Lasermessgeräten wie dem Sparklike Handheld 3.0 (Kosten ca. 16'000 CHF) und dem Sparklike Laser Portable 2.1 (Kosten ca. 36'000 CHF) nachgewiesen werden. Alternativ kann der U-Wert mit Geräten wie dem in Abb. 29 gezeigten gemessen werden (Kosten ca. 2'400-7'700 CHF). Die Gasmessung dauert ca. 20-30 Sekunden, während die Messung des U-Werts mindestens 3-4 Nächte mit einem hohen ΔT zwischen innen und aussen (idealerweise zwischen Oktober und April) erfordert. Quellen: [106; 107]



Abb. 29: Beispiel U-Wert-Messgerät [107]



Abb. 30: Sparklike Handheld 3.0 [106]



Abb. 31: Portable 2.1 [106]

2.3 Schadstoffe

Das Vorhandensein von Schadstoffen wie Asbest, Blei oder anderen Substanzen ist von grundlegender Bedeutung für den Gesundheitsschutz der auf der Baustelle arbeitenden Personen und Benutzer. Für Gebäude, die vor 1991 errichtet wurden, ist eine Untersuchung obligatorisch und sollte bereits in der frühen Planungsphase (nicht erst für den Bauantrag) durchgeführt werden, um die eventuell zu ergreifenden Massnahmen einzuplanen. In Fenstern, die vor 1991 gebaut wurden, befindet sich Asbest häufig in den Kittfugen am Glas oder in den Anschluss-Fugen zwischen Rahmen und Wand. Bis Anfang 2000 enthielt der Anstrich des Holzrahmens häufig Spuren von Blei, was einer der Gründe dafür ist, dass der Rahmen bei hohen Temperaturen mit speziellen Filtern verbrannt werden muss und nicht wie normales Holz wiederverwertet werden kann. Bei PVC-Fenstern, die vor 2005 eingebaut wurden, enthielten die Stabilisatoren oft Blei als Witterungsschutz. Seit 2005 werden keine Schadstoffe mehr als Stabilisatoren verwendet, sondern z.B. Calcium-Zink-Stabilisatoren. *Quellen: [1; 34; 75].*



Abb. 32: Asbesthaltige Kittfuge (A)

2.4 Schlussfolgerung

Die historische Identität ist von grundlegender Bedeutung und sollte bewahrt werden, um lokale Eigenheiten und das Zugehörigkeitsgefühl zu sichern. Sind die Bauteile von hoher Qualität und in gutem Zustand, empfiehlt sich daher aus architektonisch-gesellschaftlichen Werten ihr Erhalt. In diesem Kapitel wurden ebenfalls die Hauptkomponenten analysiert, welche die physikalischen Eigenschaften eines Fensters je nach Baujahr bestimmen. Untersucht wurden die verschiedenen Rahmen-, Glas- und Abstandhalterttypen sowie deren Entwicklung über die Zeit.

Das Fensterelement hat in den letzten 60 Jahren energietechnisch deutliche Fortschritte gemacht und die Wärmeverluste um mehr als 500–600% reduziert. Der Durchbruch kam mit den Energiegesetzen in Verbindung mit der Ölkrise. Zuerst wurden Rahmen (Stärke und Aufbau) und Verglasungen (Zusammensetzung, Anzahl der Scheiben) verbessert, später rückten weitere Aspekte wie Dichtungen und Abstandhalter in den Fokus. Edelgasfüllungen und Low-E-Beschichtungen verbesserten die physikalischen Eigenschaften weiter erheblich. Die Verwendung von Edelgasen ist von zentraler Bedeutung, da Art und Menge den U-Wert des Fensters wesentlich beeinflussen. Durch Gasverluste kann sich der U-Wert bei normalen Verglasungen um etwa 30% verschlechtern, bei Hochleistungsgläsern sogar um bis zu 70%. Dies wirft die Frage auf, ob der Einbau solcher Hochleistungsverglasungen zur Erreichung bestimmter Labels sinnvoll ist, da deren Leistungswerte bereits nach wenigen Jahren um bis zu 30 % schlechter ausfallen können als in den ursprünglichen Berechnungen festgelegt. Durch eine Vor-Ort-Inspektion und die in diesem Kapitel vorgestellte technisch-historische Analyse lässt sich ein Fenster bereits in den SIA-Phasen 10–21 bewerten und eine erste Einschätzung des Erhaltungszustands vornehmen. Auf dieser Basis kann entschieden werden, ob eine Ertüchtigung sinnvoll ist. Falls ja, sind ab Phase SIA 31 vertiefte Untersuchungen durch Fachleute (Fensterbauer und Bauphysiker) erforderlich, um den mechanischen Zustand von Rahmen und Beschlägen sowie die bauphysikalischen Eigenschaften (z.B. U-Wert, Gasfüllung) zu bewerten. Praktisch lassen sich Gasmessgeräte auch von spezialisierten Dienstleistern oder Lieferanten mieten. Werden solche Aspekte frühzeitig berücksichtigt, lassen sich Fehlentscheidungen deutlich verringern und nachhaltige Lösungen fördern.

Zusammenfassend zeigt sich: Eine gut strukturierte Anfangsanalyse optimiert die Entscheidungen zwischen Ersatz, Sanierung oder Wiederverwendung, reduziert unnötige Eingriffe und gewährleistet Kohärenz zwischen Leistung, Kosten, Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen und Energieeffizienz.

3 Aktuelle Fensterproduktion und Baupraxis

3.1 Markt und Produktion

Abb. 33 und Abb. 34 zeigen den Anteil der Rahmenmaterialien bei Fenstern auf Basis der jährlich in der Schweiz eingereichten Baugesuche. Eine Abbildung bezieht sich auf Neubauten, die andere auf Sanierungen in allen Gebäudekategorien. Bei den Neubauten fällt auf, dass der Anteil der PVC-Rahmen deutlich sinkt – von 46% im Jahr 2014 auf 31% im Jahr 2024. Gleichzeitig verzeichnet Metall ein Wachstum und erreicht 2024 einen Anteil von 18%, was einer Verdreifung seit 2014 entspricht. Auch Holz/Metall-Kombinationen steigen leicht an und erreichen derzeit 40%. Holz bleibt hingegen eher marginal und schwankt zwischen 10% und 13%.

Im Bereich Umbau zeigt sich ein anderes Bild. Wichtig ist, dass bei Sanierungen, bei denen nur die Fenster ersetzt werden, keine Baugesuchs Pflicht besteht; daher sind die Analysedaten nicht vollständig korrekt oder umfassend. Trotzdem lässt sich erkennen, dass der Anteil an PVC-Fenstern ebenfalls rückläufig ist – von 31% auf 24% in zehn Jahren. Holz bleibt stabil bei etwa 28%, ebenso wie Holz-Metall mit rund 30%. Auch hier nimmt der Anteil von Metallfenstern zu und erreicht 2024 rund 17%.

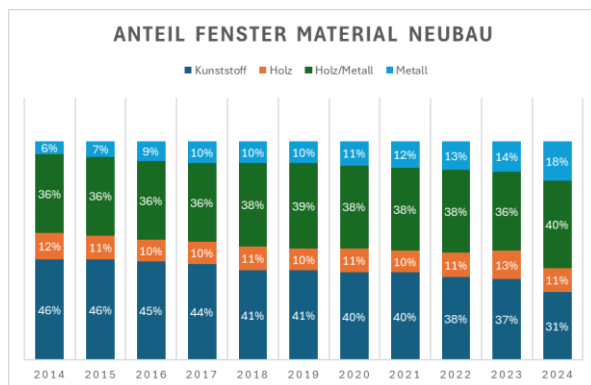


Abb. 33: Anteil Rahmenmaterial Neubau [89]; (A)

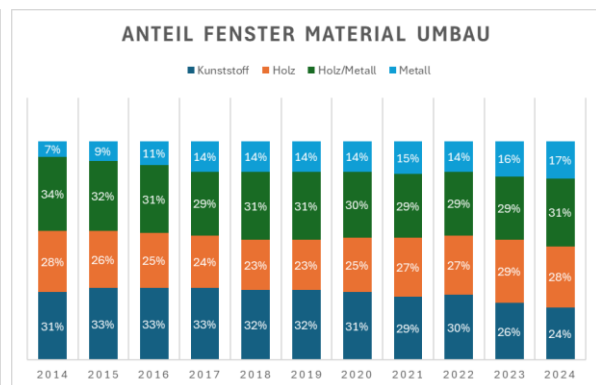


Abb. 34: Anteil Rahmenmaterial Umbau [89]; (A)

38% der in Europa importierten Holzfenster bestehen aus Meranti (Tropenholz), 35% aus Kiefer, 12% aus Fichte, 6% aus Lärche und 3% aus Eiche [1]. Laut den Unterlagen von Ego-Kiefer werden in Schweiz hauptsächlich Kiefer und Fichte verwendet [75].

Auf dem Schweizer Markt wird ein grosser Teil der Fenster importiert. Die Slowakei dominiert die Importe von PVC-Fenstern, auch wenn die Nachfrage rückläufig ist und 2024 bei rund 36% liegt. Polen verzeichnete einen leichten Anstieg, während Deutschland und Österreich insgesamt weniger PVC-Fenster in die Schweiz exportieren. Bei Holzfenstern ist Deutschland führend und deckt fast 64% der Importe ab, gefolgt von den Niederlanden, Österreich und Italien. Bei Metallfenstern liegt Deutschland mit fast 58% an der Spitze, während bei Aluminiumfenstern der Wert bei 38% liegt, gefolgt von Italien, Österreich und anderen Ländern. Abgesehen von Holz- und Holz-Metall-Fenstern (für diese Kategorien liegen keine Daten vor) ist die Menge an importierten Fenstern auf dem Schweizer Markt generell rückläufig. Abb. 35 zeigt die jährlich importierten Fenster-Materialmengen in Tonnen. Quellen des Kapitels [89].

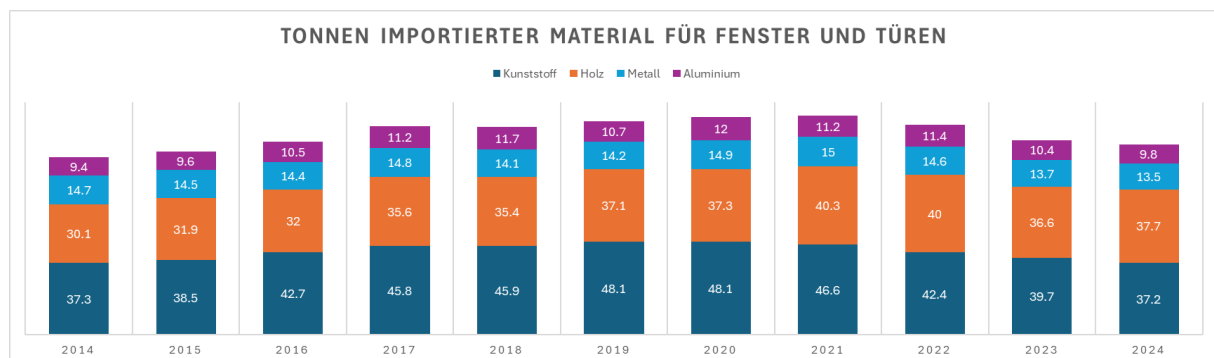


Abb. 35: Tonnen importiertes Material für Fenster und Türen (2012-2024) [89]; (A)

3.2 Rahmen

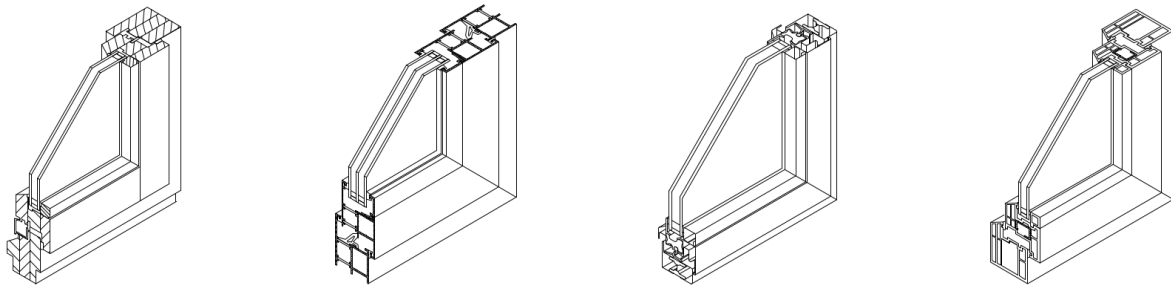


Abb. 36: Repräsentatives Bild der verschiedenen Arten von Fensterrahmenmaterialien [1]

Baustoffe	Holz	Holz-Aluminium	PVC	PVC-Aluminium	Aluminium
U_f [W/m ² K]	0.9; Typ 1.1-1.2	0.9; Typ. 1.1-1.3	0.9-1.1	0.9-1.1	0.7-0.9; Typ 1.1-1.4

Tabelle 8: Tabelle der Materialien für Rahmen und ihre U_f -Werte - typischerweise verwendeter Wert (A)

Beim Blick auf das aktuelle Marktangebot zeigt Tabelle 8 die üblichen U_f -Werte verschiedener Hersteller (Ego-Kiefer, 4B, Jansen, Smart Windows, Unilux, usw. vom Autor vorgeschlagen). Wichtig ist, dass die U_f -Werte der Rahmen immer vom jeweiligen Hersteller abhängen und selbst beim gleichen Material bis zu 30% schwanken können. Die tatsächlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Materialien liegen weniger in der Energieeffizienz, sondern vielmehr in der Lebensdauer (siehe Tabelle 1), der Ökobilanz (siehe Kapitel 3.5) und den Möglichkeiten für eine zukünftige Ertüchtigung. Der Rahmen macht durchschnittlich 15–30% der Fensterfläche aus und hat damit nur einen begrenzten Einfluss auf den gesamten Energiebedarf. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass derzeit Fenster mit unterschiedlichen Materialien erhältlich sind, die sich aber in Bezug auf Energieeffizienz, Sicherheit, Akustik, Windbeständigkeit usw. kaum unterscheiden. Es ist entscheidend, sowohl die Eigenschaften als auch die Nachhaltigkeitsaspekte eines Rahmens gesamthaft zu bewerten – darunter Ökologie, Kreislauffähigkeit, Wiederverwendbarkeit sowie natürlich die Kosten.

3.3 Verglasungen

Laut Nils Fiedler (Leiter Qualitätswesen bei Vandaglas AG) – Interview 13 (ab hier werden die Interviews mit dem Code "IN" und die Umfragen mit "UM" gekennzeichnet, sie sind im Anhang 5 zu finden) – wird in der Schweiz heute vorwiegend mit 3-IV gebaut. In speziellen Fällen kommen noch 2-IV zum Einsatz. In Deutschland sind 2-IV nach wie vor weit verbreitet, aber der Trend geht klar in Richtung 3-IV, während in den Niederlanden der Standard weiterhin 2-IV bleibt. In diesem Kapitel werden die derzeit am häufigsten verwendeten Glasarten kurz vorgestellt und analysiert. Bei 3-IV-Gläsern mit Argon Füllung werden U_g -Werte von rund 0.6 [W/m²K] erreicht. Mit Krypton als Gasfüllung sind sogar Werte von 0.4–0.5 [W/m²K] möglich (siehe Tabelle 7). Krypton ist derzeit ca. 30% teurer als Argon; bei einem Scheibenzwischenraum (SZR) von 16 mm betragen die Mehrkosten rund 20% [1].

Die "SIGAB-Richtlinie 002 – Sicherheit mit Glas" ist besonders wichtig für Sicherheitsgläser, vor allem wenn die Glasunterkante weniger als 100 cm über dem Boden liegt. In solchen Fällen ist der Einsatz von VSG oder ESG zwingend vorgeschrieben (siehe Kapitel 1.4). Jeder zusätzliche Millimeter Glas wiegt etwa 2.5 [kg/m²], deshalb sollte die Glasdicke immer sorgfältig in Bezug auf die Rahmendimensionen und Beschläge geprüft werden. Die Glasdicke und deren Vielfalt beeinflussen auch den Schalldämmwert R'_w deutlich, beispielsweise bei Verglasungen mit 4/16/6/16/8 mm. Für Brandschutzverglasungen werden mehrere Glasschichten miteinander verklebt, teilweise bis zu 6–8 Schichten mit entsprechend hohem Gewicht, wobei sich diese Gläser leicht verformen können [IN04].

Die Vakuumglas-Technologie ermöglicht U_g -Werte unter 0.7 [W/m²K] bei sehr geringer Glasdicke (zwischen 6 und 10 mm). Der Abstand zwischen den beiden Glasscheiben wird durch kleine, gut sichtbare Abstandhalter auf ca. 0.2 mm begrenzt. In bestimmten Ausführungen

lassen sich sogar U-Werte von $0.3 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ erreichen (z.B. Glas Trösch, Typ VIG, mit einer Gesamtdicke von $10,3 \text{ mm}$). Der Randbereich ist dabei besonders kritisch, da er dem Unterdruck von ca. 10 Tonnen/m^2 [1] standhalten muss und gleichzeitig eine thermische Schwachstelle darstellt. Deshalb sollte der Rahmen diesen Bereich gut abdecken.

Die Schalldämmung von Vakuumglas ist eher begrenzt. Fineo gibt für sein 8 mm System (mit einem Gewicht von ca. 20 kg/m^2 , ähnlich wie bei 2-IV) einen Schalldämmwert $R_w + C_{tr}$ von 30 dB an, im Vergleich zu einer Dreifachverglasung (ca. 30 kg/m^2) mit etwa 35 dB . Allerdings sind zwei Glasscheiben gleicher Dicke akustisch nicht ideal für sensible Anwendungen. Ein Vorteil dieser Technologie ist jedoch die gute Recyclingfähigkeit. Die erhältlichen Scheibengrößen reichen von $0.2 \times 0.2 \text{ m}$ bis zu $1.5 \times 2.5 \text{ m}$. Wie in Kapitel 6 beschrieben, kostet Vakuumglas etwa das 2- bis 2.5-fache einer normalen Dreifachverglasung. Quellen: [1; 82; 83]



Abb. 37: Einige Details eines Vakuumglases, von links nach rechts: Querschnitt, Fotografie und thermische Bewertung. [1]

Eine neuere Technologie sind Gläser mit variablem Licht- und Gesamtenergiedurchlass, die den g-Wert und die Lichtdurchlässigkeit je nach Sonneneinstrahlung anpassen und so sowohl die einfallende Sonnenenergie als auch die Glasfarbe verändern. Auf dem Markt gibt es heute verschiedene Lösungen, wie z.B. elektrochrome Gläser (mit einem Stromverbrauch von ca. 10 W bei Aktivierung), die rund 15 Minuten benötigen, um den Zustand zu wechseln. Dabei lässt sich der g-Wert von 0.1 bis 0.4 und der T-Wert von 0.1 bis 0.55 einstellen. Wichtig ist, dass die Scheiben nicht mit Silikon in Kontakt kommen, da sie sonst leicht beschädigt werden können. Weitere Technologien sind Liquid-Crystal-Gläser, die in weniger als einer Sekunde reagieren, jedoch meist höhere g-Werte aufweisen (ca. 0.39 – 0.51), SPD-Gläser (Suspended Particle Devices) sowie weitere Lösungen wie foto-, thermo- und thermotrope Gläser, die sich noch in der Entwicklung befinden. Es gibt viele weitere Varianten und Glasveredelungen, die in diesem Kapitel nicht behandelt werden, wie z.B. Gläser mit Membranen, speziellen Füllungen (z.B. Aerogel), integrierten Verschattungen oder auch mit Holzeinlagen. Glas macht etwa 70 – 85% der gesamten Fensterfläche aus, weshalb sein energetischer und ökologischer Einfluss erheblich ist.

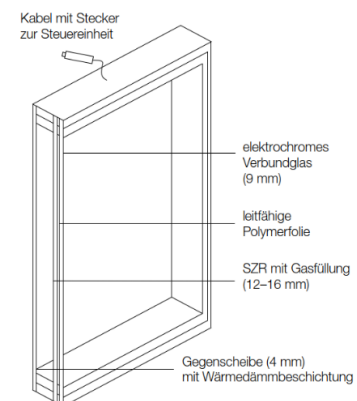


Abb. 38: Elektrochromes Glas [1]

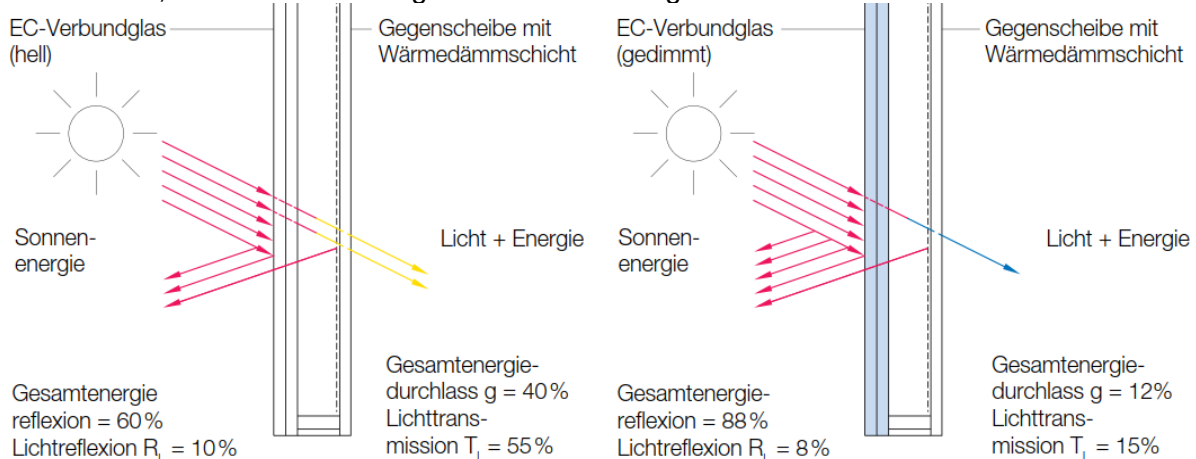


Abb. 39: Betrieb eines Elektrochromen (EC) Glas [1]

3.4 Fensterlüftung

Eines der Hauptziele von Fenstern ist es, eine gute Belüftung der Räume zu ermöglichen. Mit zunehmend luftdichten Gebäuden gewinnt die Lüftung immer mehr an Bedeutung, um Bauschäden zu vermeiden und verbrauchte Luft zu erneuern (Sauerstoff gegen Abgase). Es gibt zwei Arten der Lüftung: die natürliche (über Fensterelemente, manuell oder automatisiert) und die mechanische (Lüftungsanlage). Im Folgenden werden nur die Möglichkeiten betrachtet, die direkt das Fensterelement betreffen. Die natürliche Lüftung erfolgt durch eine physische Öffnung ohne den Einsatz von Ventilatoren oder Verteilerkanälen, also durch einfaches Öffnen des Fensterflügels. Dies kann manuell oder automatisiert erfolgen. Abb. 40 zeigt ein Schema, das die Lüftungsmenge in $[m^3/h]$ in Abhängigkeit von der Öffnungsart darstellt. Abb. 41 zeigt ein Beispiel für eine automatisierte natürliche Fensteröffnung. Diese kann als Kipp- oder Drehöffnung ausgeführt sein und wird durch Sensoren wie CO_2 -, Temperatur- oder VOC-Messgeräte automatisch gesteuert. Es sind auch Lösungen direkt im Rahmen integrierbar, wie beispielsweise Aussenluftdurchlässe (ALD), in Abb. 42 gezeigt.

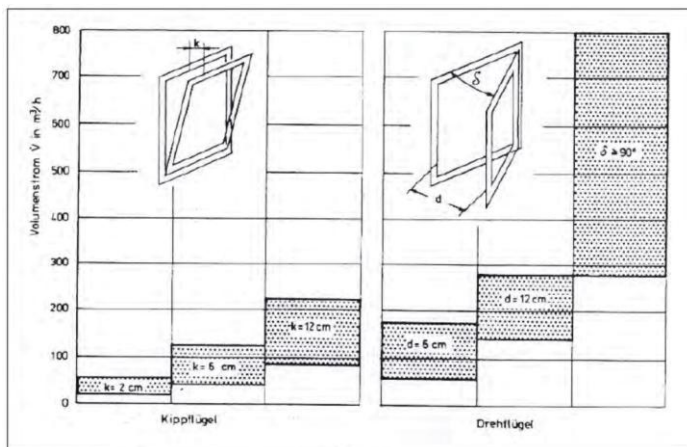


Abb. 40: Einfluss der Öffnungsart und -Weite auf die Lüftung [90]



Abb. 41: Automatische Flügelöffnung [K]



Abb. 42: Einfache Belüftung [I]

Eine zweite Möglichkeit ist der Einsatz von mechanischen, automatisierten Systemen, die in der Nähe des Fensters verborgen eingebaut werden (unter dem Fensterbrett, über dem Fenster oder seitlich in der Leibung). Diese Systeme ermöglichen in der Regel eine Wärmehückgewinnung von bis zu 80% und verbessern so die Energieeffizienz des Gebäudes, benötigen jedoch ihrerseits oft einen Stromanschluss. Abb. 43 und Abb. 44 zeigen zwei Beispiele dieser 'aktivierten' ALD, die aktuell auf dem Markt erhältlich sind.



Abb. 43: Siegenia - AEROMAT VT [m]



Abb. 44: Renson - ENDURA TWIST [n; r]; (A)

Diese Technologien werden derzeit intensiv diskutiert und weiterentwickelt, wobei ständig nach neuen Lösungen gesucht wird. Ein ökologischer Vergleich dieser Systeme (die in jedem Raum installiert werden müssen) unter Berücksichtigung der derzeit garantierten Lebensdauer von 10 Jahren mit zentralisierten Systemen sollte vertieft werden.

3.5 THGE und GE: Erstellung und Entsorgung

Mit Hilfe der KBOB-Daten [75] wurde eine Analyse zu den THGE- und GE-Emissionen erstellt. In Abb. 45 ist eine kurze Zusammenfassung dargestellt (weitere Informationen finden sich im Anhang α). Diese Werte sind notwendig für die Berechnungen in Kapitel 7.



Abb. 45: Grafiken basierend auf den KBOB-Daten: Produktionsenergie; GE und THGE [75]; (A)

Über die GE und THGE-Werte lassen sich die verschiedenen Materialisierungen und Systeme miteinander vergleichen. Im Vergleich zu einem Holzfenster weist ein Holz-Metall-Fenster +74% GE und +82% THGE auf, ein PVC-Fenster +91% GE und +75% THGE, und ein Metallfenster +222% GE und +264% THGE. Gemäss Anhang α bei den Sonnenschutzsystemen schneiden Lamellenstoren am besten ab; Ausstellstoren liegen bei +14% GE und +13% THGE, Rollläden bei +26% GE und +25% THGE.

Als Referenz für die Verglasungen dient ein 40 mm dickes Dreifachglas mit $U_g=0.6$ [W/m²K]. Ein 2-IV-Glas ohne VSG liegt bei ca. -24% bis -34% GE und -28% bis -35% THGE. Ein 3-IV ESG-Glas kommt auf +38% GE und +23% THGE, ein VSG-Glas auf +61% GE und +52% THGE, und ein ESG/VSG-Glas auf +82% GE und +65% THGE. Die Berechnungen in Kapitel 7 beziehen sich auf VSG-Glas, da bei vielen sanierungsbedürftigen Wohngebäuden die Glasunterkante unter 100 cm liegt und gemäss SIGAB ein VSG vorgeschrieben ist.

Der KBOB gibt auch Werte für einzelne Verglasungen an: Ein beschichtetes Flachglas von 1 mm Dicke verursacht ca. 11.60 [kWh oil-eq/m²] GE und 3.0 [kg CO₂-eq/m²] THGE, während ein unbeschichtetes 1 mm Verglasung -12% GE und -7% THGE aufweist. Allerdings stimmen diese Werte weder exakt mit anderen KBOB-Daten überein noch mit EPDs, wo die Abweichungen noch deutlich grösser sind. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Glasdicke sowie VSG und ESG ein entscheidender Faktor für die Reduzierung der grauen Energie und der Treibhausgasemissionen sein kann.

3.6 EPD (Environmental Product Declaration)

Parallel dazu wurden verschiedene EPDs zu unterschiedlichen Produkten eingeholt, verglichen und analysiert. Ein Vergleich der EPDs ist jedoch kompliziert, da von unterschiedlichen Firmen bei ihren diversen Produkten jeweils eine unterschiedliche Anzahl Lebenszyklus-Ab-schnitte (Module) berücksichtigt werden und daher oft mit angenommenen Werten die Lücken für übergangene Module gefüllt werden müssen. Abb. 46 zeigt eine Übersichtsgrafik der in EPDs enthaltenen Module im Sinne der Cradle-to-...-Ansätze. Zwischen den verschiedenen Herstellern wurden sehr unterschiedliche Werte festgestellt. Aus diesem Grund wurden schlussendlich 4 EPDs desselben Produzenten ausgewählt, die die verschiedenen Systeme fast gleich bewerten (bei Alu-Alu und Alu-Holz wird das Modul B2 nicht berücksichtigt). Abb. 47 veranschaulicht einige Beispiele für GE und THGE anhand der in einem Produkt-EPD berücksichtigten Module (Daten aus 4 EPDs von Finstal AG; *Quellen: [76; 77; 78; 79]*). Die KBOB hingegen bewertet die Module A1-A3 und C1-C4 [80].

Product stage			Assembly stage		Use stage								End of life stage				Beyond the system boundaries	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D		
x	x	x	x	x	MND	x	MND	MND	MND	MND	MND	x	x	x	x	x		
Raw materials	Transport	Manufacturing	Transport	Assembly	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Deconstr./demol.	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse		

Abb. 46: EPD-Module und Cradle-to-... [76]; (A)

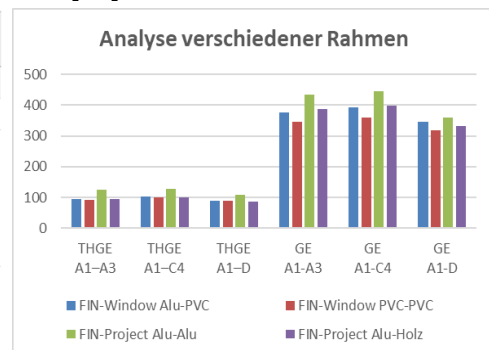


Abb. 47: EPD-Vergleich [76, 77, 78, 79]; (A)

Die Werte der Finstal-Produkt-EPDs liegen tendenziell höher als bei den KBOB-Daten von ähnlichen Produkten, da die EPDs sowohl den Einfluss des Materials als auch des Glases (in diesem Fall 3-IV) berücksichtigt und zudem weitere Module umfasst, die in der KBOB nicht detailliert behandelt werden. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Materialien bleiben jedoch ähnlich wie bei der KBOB. In den EPDs werden auch weitere Aspekte wie der Recyclinganteil beleuchtet: Gemäss Finstal-EPDs bei PVC-PVC liegt dieser bei 21.3%, bei Alu-PVC bei 22.6%, bei Alu-Holz bei 32.7% und bei Alu-Alu bei 34.9%.

Die Analyse der EPDs zielte darauf ab, den Vergleich zwischen elektrochrome Glas und Vakuumglas im Verhältnis zu einem 3-IV VSG zu verstehen. Trotz zahlreicher Anfragen konnten für Vakuumglas jedoch keine Daten gefunden werden. Für die Berechnungen in Kapitel 7 wurde daher angenommen, dass die Umweltbelastung von Vakuumglas etwa 35% höher ist als bei einem 2-IV VSG-Glas (definiert mit Doz. G.Steinke). Für das elektrochrome Glas wurde ein EPD des Produkts SageGlass TGU Europa [81] gefunden (nur mit die Module A1–A3). Trotzdem sind einige Bewertungen möglich: Die graue Energie beträgt 1'639 [kWh oil-eq/m²] und die THGE ca. 365 [kg CO₂eq/m²]. Ein direkter Vergleich mit den KBOB-Daten ist nicht möglich, zeigt aber, dass der Wert im Vergleich zu einem 3-IV VSG-Glas mit Rollläden mindestens doppelt so hoch ist. Das Thema verdient weitere Untersuchungen; das EPD zeigt jedoch deutlich, dass das elektrochrome Glas fast 50% der Emissionen verursacht. Angesichts des aktuellen Klimawandels und der bereits hohen GE- und THGE-Werte von Verglasungen stellt sich die Frage, ob es sinnvoll ist, Gebäude mit diesen Hightech-Systemen auszustatten, die eine hohe Klimabelastung und eine schwierige Zirkularität mit sich bringen.

3.7 Schlussfolgerung

Dieses Kapitel hat geholfen, das aktuelle Angebot auf dem Fenstermarkt besser zu verstehen. So konnten Energie-, Graue-Energie- und Treibhausgasemissionswerte definiert werden, die in die Berechnungen in Kapitel 7 einfließen. Auf dieser Grundlage wird der Vergleich der möglichen Massnahmen aussagekräftiger. Auch wenn nicht alle gewünschten Daten in behördlich bestätigter Form gefunden oder verglichen werden konnten, war es möglich, verschiedene EPDs einzubeziehen und zu analysieren. Dadurch konnten erste Vergleiche und Bewertungen zwischen den unterschiedlichen Produkten vorgenommen werden.

4 Ertüchtigungsmassnahmen

In diesem Kapitel werden die verschiedenen möglichen Sanierungsmassnahmen vorgestellt, vor allem für Holzfenster. Anschliessend werden sie energetisch (Betrieb) sowie bezüglich THGE und GE (Herstellung und Entsorgung) bewertet. Diese Bewertung dient dazu, die Auswirkungen der möglichen Massnahmen zu definieren, die in Kapitel 7 analysiert werden.

4.1 Fensterertüchtigung Möglichkeiten

Alle möglichen Ertüchtigungsmassnahmen wurden in 15 Arten eingeteilt. Abb. 48 und Tabelle 9 zeigen und beschreiben die Ertüchtigungsarten, aufgeteilt nach betroffenen Elementen (Beschläge, Verglasung, Rahmen und Anschlag). Diese Einzel-Massnahmen können miteinander kombiniert werden, um eine projekt-spezifische Sanierung zu erreichen.

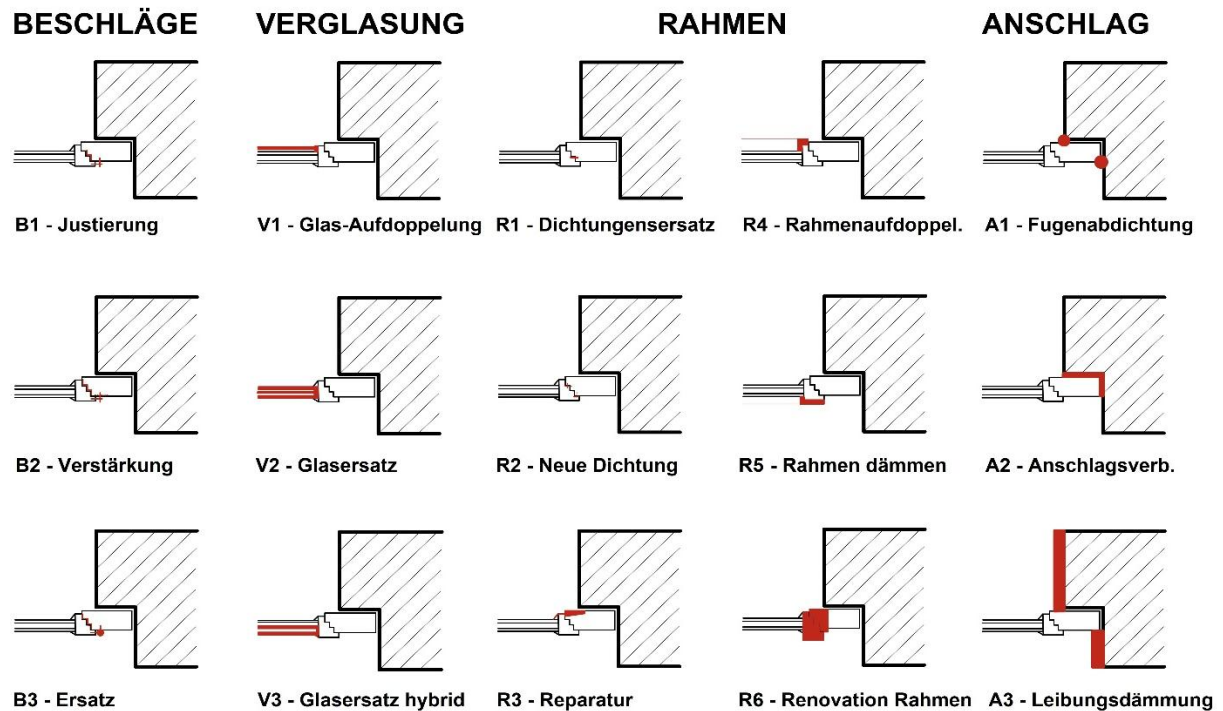


Abb. 48: Sammlung aller möglichen Fenster Ertüchtigungen (A)

B1 – Justierung:	Einstellung und Justierung der Beschläge und des Anpressdrucks
B2 – Verstärkung:	Verstärkung der Beschläge und Befestigungspunkte.
B3 – Ersatz:	Kompletter Ersatz der Beschläge.
V1 – Glas-Aufdoppelung:	Aufdoppelung einer zusätzlichen Scheibe auf das bestehende Glas.
V2 – Glasersatz:	Austausch des Glases durch 2-IV, 3-IV oder Vakuumglas.
V3 – Glasersatz hybrid:	Glasersatz mit Wiederverwendung einer vorhandenen Glasscheibe.
R1 – Dichtungersatz:	Ersatz verschlissener Dichtungen.
R2 – Neue Dichtung:	Rahmen Fräsung und Einbau neuer, zusätzlicher Dichtung(en).
R3 – Reparatur:	Aussenanstrich und/oder Austausch/Reparatur beschädigter Rahmenteile.
R4 – Rahmenaufdoppelung:	Aufdoppelung des äusseren Flügelrahmens.
R5 – Rahmen dämmen:	Aufdoppelung des inneren Flügelrahmens/Fensterrahmen.
R6 – Renovation Rahmen:	Neuer Ersatzrahmen.
A1 – Fugenabdichtung:	Neue äussere sowie innere Fugenabdichtung.
A2 – Anschlagsverbesserung:	Dämmung des Hohlraums zwischen Rahmen und Wand.
A3 – Leibungsdämmung:	Dämmung der inneren und/oder äusseren Laibungen.

Tabelle 9: Erklärungen möglicher Fenster-Ertüchtigungen gesammelt in Abb. 48 (A)

4.2 Energie, Emissionen und Graue Energie – Betrieb, Erstellung und Entsorgung

Auf Basis der KBOB-Daten [75] wurden die Energiekennwerte für Energieeffizienz, THGE und GE der insgesamt 15 Ertüchtigungsarten festgelegt:

Ertüchtigungsvarianten	Energieeffizienz [kWh/m²]	Treibhausgasemissionen [kg CO ₂ -eq/m²·a]	Graue Energie [kWh oil-eq/m²·a]
B1 / B2 / B3	Undefinierter Wert	Undefinierter Wert	Undefinierter Wert
V1 – Glas-Aufdoppelung	1.00	*1.30	*5.61
V2 – Glasersatz 2-IV	1.10	3.17	12.96
V2 – Glasersatz 3-IV	0.60	4.11	16.46
V2 – Glasersatz Vakuum	0.70	*4.28	*17.50
V3 – Glasersatz hybrid	0.60	4.11	16.46
R1 / R2 / R3	Undefinierter Wert	Undefinierter Wert	Undefinierter Wert
R4 – Rahmenaufdoppelung H	1.10	*0.60	*2.87
R5 – Rahmen dämmen H	1.10	*0.72	*3.44
R6 – Renovation Rahmen H	1.10	1.21	5.73
R6 – Renovation Rahmen HM	1.20	2.19	10.00
R6 – Renovation Rahmen K	1.00	2.11	10.94
A1 / A2	Undefinierter Wert	Undefinierter Wert	Undefinierter Wert
A3 – Leibungsdämmung	$\psi=0.10$ [W/mK]	Undefinierter Wert	Undefinierter Wert

LEGENDE: *: Geschätzter Wert aus Ähnlichkeiten mit KBOB | H: Holz | HM: Holz-Metall | K: Kunststoff

Tabelle 10: Ertüchtigungsvarianten Bestimmung Energiekennwerte (A)

Für nicht alle Ertüchtigungsvarianten lassen sich Energie- und Emissionswerte (THGE und GE) aus der KBOB definieren. Einige Werte (*) in Tabelle 9 wurden auf Basis der folgenden Prinzipien geschätzt:

- V1: THGE- und GE-Werte vergleichbar mit der Differenz zwischen einem 2-IV VSG-Glas und einem 3-IV ESG/VSG-Glas. Die Verwendung eines simplen Glaswertes wäre aus Sicht des Autors hier zu gering gewesen. Daher wurde eine Annäherung gewählt, die ein zusätzliches ESG-Glas berücksichtigt, das aussen montiert wird.
- V2: Trotz Anfragen konnten keine Werte für Vakuumglas ermittelt werden; für die Berechnungen wurden daher die Werte eines 2-IV VSG-Glases um 35% erhöht.
- R4: Werte entsprechen 50% eines neuen Holzrahmens.
- R5: Werte entsprechen 60% eines neuen Holzrahmens.
- A3: Leibungsdämmung mit ψ -Wert, z.B. mit 18 mm PU ($\lambda=0.024$ [W/mK]) oder 28 mm EPS ($\lambda=0.035$ [W/mK]) [11]. Keine Werte für THGE und GE.

4.3 Schlussfolgerung

Dieses Kapitel fasst die Ergebnisse der vorangegangenen Kapitel zusammen, basierend auf Publikationen (Quellen: [1; 2; 11; 13; 15; 16; 17; 18]) und Interviews [IN02; 04; 06; 08; 12; 14] (siehe Anhang α). Es ist wichtig zu beachten, dass nicht alle Massnahmen bei Holz-/Metall-, Metall- oder PVC-Fenstern umgesetzt werden können. Holzfenster wurden gewählt, da sie am einfachsten zu sanieren sind. Da es sich um eine Ertüchtigung handelt, wurden Ersatz und Kastenfenster nicht als Massnahmen berücksichtigt.

Für ein vollständiges Bild muss auch das Thema der Lebenszykluskosten aus Kapitel 6 berücksichtigt werden. So lässt sich die Ertüchtigung umfassend mit dem Ersatz vergleichen. Im Folgenden wird zunächst das Lebensende von Fensterbauteilen sowie deren potenzielle Wiederverwertung untersucht.

Abb. 49 zeigt eine 3D-Zeichnung einer Rahmenaufdoppelung der Firma Quadra Ligna AG.

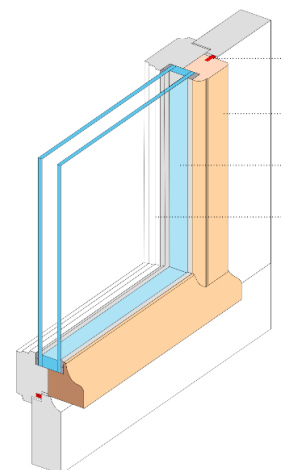


Abb. 49: Rahmenaufdoppelung [30]

5 Lebensende eines Fensters

In diesem Kapitel wird beschrieben, was passiert oder passieren kann, wenn ein Fenster ausgebaut wird und das Ende seines Lebenszyklus erreicht. Analysiert werden der mögliche Kreislauf und der Stand der Technik. Die Analyse basiert auf verschiedenen Dokumentationen und Interviews. Einige Themen gelten als bekannt und werden nicht vertieft, um Raum für Überlegungen oder interessante Ansätze zu lassen.

5.1 Lebenszyklus eines Fensters

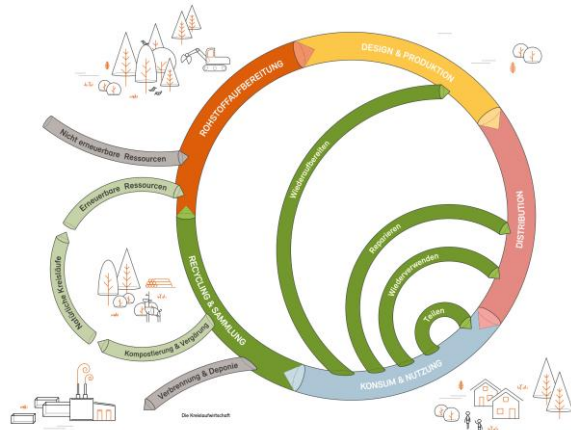


Abb. 50: Kreislaufwirtschaft vom BAFU [77]

Herstellungsphase			Errichtungsphase		Nutzungsphase							Entsorgungsphase				Zirkular																	
Rohstoffbereitstellung			Transport		Herstellung		Transport		Errichtung, Einbau			Nutzung		Instandhaltung			Reparatur		Ersatz		Erneuerung		Betrieblicher Energieeinsatz		Betrieblicher Wassereinsatz		Rückbau, Abriss		Transport		Abfallbehandlung		Beseitigung
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D																	

Abb. 51: Bild von SIA 2032 und verändert [27]; (A)

Abb. 51 zeigt die Phasen gemäss SN EN 15804, übernommen aus der SIA 2032, ergänzt um das Modul D aus [27].

Abb. 50 und Abb. 51 zeigen die verschiedenen Phasen des Lebenszyklus eines Bauteilelements. Abb. 50 stellt die Funktionsweise der Kreislaufwirtschaft dar, bei der Materialien wiederverwendet, geteilt, repariert oder recycelt werden, um Abfall zu vermeiden. Ziel ist es, den Wert der Bauteilelemente so lange wie möglich zu erhalten und den übermässigen Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen zu vermeiden. Die Entsorgung (thermische Verwertung) bleibt in diesem Kreislauf die letzte Option.

Die genaue Menge an jährlich entsorgten Fenstern ist schwer zu bestimmen, da keine spezifischen Entsorgungsdaten vorliegen. Wie in Kapitel 3.1 erwähnt, liegt der jährliche Fensterimport bei ca. 100'000 Tonnen. Laut dem Interview mit Kreislaufscheiz (Yann Huet IN05) wurden in einem Teil der Schweiz (19 Kantone siehe IN05) im Jahr 2022 ca. 12'388 Tonnen Flachglas entsorgt (entspricht bei 4 mm Verglasung rund 10 kg/m², also ca. 1'233'800 m²). REWIN spricht von 20'000'000 m² jährlich in Schweiz ausgebauten Fenstern [3]. Ein Artikel im Baublatt vom November 2024 nennt ca. 1.84 Millionen jährlich in Schweiz demontierte Fensterflügel [87]. Die FHNW berichtet von ca. 1.1 Millionen jährlich in Schweiz ersetzten Fenstern, die ca. 40'000 Tonnen Abfall verursachen [2]. Die gesammelten Daten können zwar schlecht miteinander in Einklang gebracht werden und weichen voneinander ab, die Aussage bleibt jedoch gleich: Der Austausch von Fenstern führt derzeit zu grossen Abfallmengen, die entsorgt werden müssen. Im Schweizer Bausektor herrscht derzeit noch eine lineare Wirtschaft (Abb. 53), die jährlich eine erhebliche Menge Bauschutt verursacht. Die Nachhaltigkeitsziele der nächsten Jahre gehen einher mit dem Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft (Abb. 52), um auch die Deponien zu entlasten.

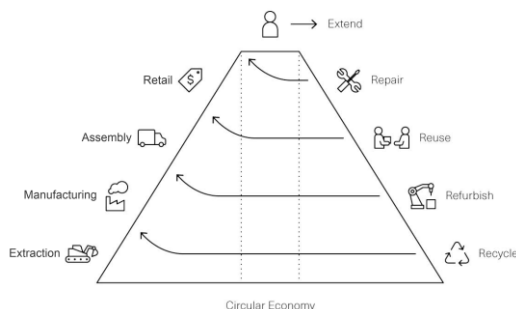


Abb. 52: Kreislaufwirtschaft [3]

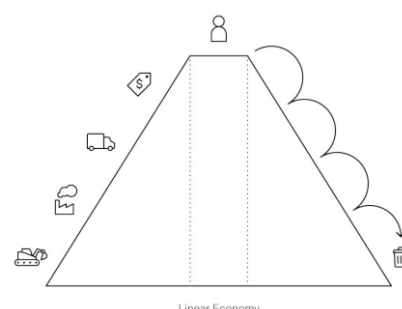


Abb. 53: Lineare Wirtschaft [3]

5.2 Sammelstellen und Deponien

Laut Umfrage 1 (UM1) werden in den Sammelstellen am häufigsten Holzfenster abgegeben, gefolgt von PVC-Fenstern und dann von Metallfenstern. In den letzten Jahren ist ein kontinuierlicher Anstieg des Anteils an abgegebenen PVC-Fenstern zu beobachten. Teilweise befinden sich die entsorgten Fenster noch in gutem Zustand und sind weniger als Zehn Jahre alt. Die Entsorgungskosten für ein Fenster variieren stark. Basierend auf den Interviews liegt der Wert zwischen 25–50 CHF/Fenster. Für grosse Mengen (z.B. Resag AG in Bern) werden hingegen 200–210 CHF/Tonne für den Rahmen und 45 CHF/Tonne für Floatglas genannt. Bei einem Neupreis von ca. 1'500–2'000 CHF machen die Entsorgungskosten etwa 1–2% aus. Offen bleibt die Frage, ob diese Kosten dem Aufwand entsprechen und ob alle Nebenkosten der Entsorgung (z.B. Umwelt- und Gesundheitskosten) berücksichtigt sind. Laut REWIN landen derzeit 75% der ausgebauten Fenster auf der Deponie, 5% werden thermisch verwertet und 20% recycelt [3]. Aufgrund der gesammelten Daten und Interviews scheint der Deponieanteil zu hoch, da Metall immer recycelt wird, Glas meist verbrannt oder für andere Zwecke recycelt wird und ein grosser Teil des restlichen Materials verbrannt wird. Klar ist aber, dass ein wesentlicher Teil dieser Materialien für lange Zeit oder möglicherweise dauerhaft auf Deponien verbleibt. Besonders problematisch erscheinen Holz und PVC; Holz enthält oft Schadstoffe (Druckimprägnierungen, Anstriche, etc.), und PVC setzt mit der Zeit Mikroplastik frei. Werden diese Materialien auf Deponien gelagert, verschmutzen sie langfristig den Boden und später auch das Grundwasser. Angesichts der im vorherigen Kapitel genannten Mengen wird deutlich, wie dringlich dieses Thema bereits heute ist und dass es im Hinblick auf zukünftige Energievorgaben gelöst werden muss. Laut BAFU entstehen bei der Verbrennung in der Regel 22% Rückstände, die schliesslich auf Deponien landen [91].

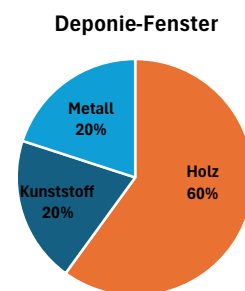


Abb. 54: UM01 Anteil Material (A)

5.3 Instandhaltung

Die Wartung (siehe auch Kapitel 6) ist ein zentrales, aber oft unterschätztes Thema. Im Jahr 2016 hat der FFF (Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche) auf Wunsch vieler Fensterhersteller eine offizielle Vorlage für einen Wartungsvertrag erstellt [97]. Herr Budimir vom FFF bestätigt, dass der Wartungsvertrag für viele Eigentümer nicht attraktiv ist. Bei genauer Analyse zeigt sich, dass der Vertrag zahlreiche Pflichten für die Eigentümer vorsieht, was zu einer einseitigen Begünstigung des Wartungsunternehmens zu führen scheint. Vielleicht ist dies ein Grund, warum der Vertrag wenig Anwendung findet, und das Modell müsste überarbeitet werden (z.B. die ersten 5 Jahre im Fensterpreis inbegriffen). Derzeit wird meist nur bei Bauschäden, Energiebedarf oder unvermeidbarem Austausch eingegriffen. Leider verkürzt fehlende Wartung die Lebensdauer des Bauteils signifikant. Abb. 56 zeigt ein Beispiel fehlender Wartung. Im Auszug der Lignum, Abb. 55, wurden neben Wartungsempfehlungen auch Kontrollpunkte definiert [87].

Empfohlene Intervalle	KONTROLLE	MASSNAHMEN, wenn notwendig	UNTERHALT
OBERFLÄCHENBEHANDLUNG VON HOLZ			
Transparente Beschichtung im Freien, z.B. Lasur	Während der vier ersten Jahre alle zwei Jahre, jährlich ab dem 5. Jahr	Erneuerung oder teilweise Erneuerung der Beschichtung gemäss den Angaben des Herstellers	2-5 Jahre
Deckende Beschichtung im Freien	Während der ersten acht Jahre alle zwei Jahre, jährlich ab dem 9. Jahr		8-12 Jahre
Beschichtung raumtrocken	Nach Bedarf		12-15 Jahre
VERGLASUNG			
Isolierglas	Alle zwei Jahre	Ersetz	20-25 Jahre
Befestigung mit Dichtungsmittel	Während der ersten acht Jahre alle zwei Jahre, jährlich ab dem 9. Jahr	Ersetz oder teilweise Ersetz	15-20 Jahre
Befestigung mit Dichtungsprofil		Ersetz	30-35 Jahre
BESCHLÄGE			
Sicherheitsprofile	Jährlich	Einsteilen, evtl. ersetzen	20-25 Jahre
Funktionselemente	Alle zwei Jahre	Einsteilen	2-5 Jahre
DICHTUNGSPROFILE			
Rahmenfugen	Während der ersten acht Jahre alle zwei Jahre, jährlich ab dem 9. Jahr	Ersetzen	20-25 Jahre
VERBINDUNG MIT DEM GEBÄUDE			
Fugen der Gebäudeverbindung (Zuschlag)	Jährlich	Instandsetzung oder Ersetz	20-25 Jahre

Abb. 55: Kontrolle und Unterhalt [87]



Abb. 56: Fenster ohne Unterhalt (A)

In einer Forschungsstudie (siehe Abb. 57) wurden verschiedene Wartungsszenarien in Bezug auf die Umweltbelastung bewertet. Szenario 1 beinhaltet minimale, fast keine Wartung, während die anderen Szenarien eine regelmässige Wartung vorsehen [57].

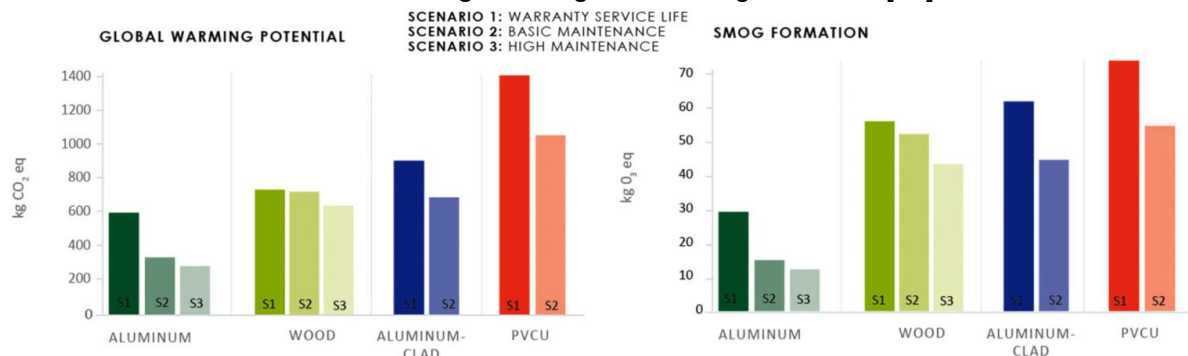


Abb. 57: Unterhalt GWP und SMOG-Szenarien [57]

Holz ist ein Material, das viel Wartung benötigt. Daher bleiben die THGE unabhängig vom Wartungsgrad stabil. Gute Wartung bietet vor allem bei Rahmen mit höheren Emissionen in Herstellung und Entsorgung Nutzen. Wartungskosten werden in Kapitel 6 näher behandelt.

5.4 Wiederverwendung

5.4.1 Wiederverwendung eines Fensters

Die Wiederverwendung von Fenstern ist eine Möglichkeit, bleibt aber bislang ein Nischenmarkt. In dieser Arbeit wurden zwei Bauteilbörsen (eine geschlossen, eine noch aktiv) sowie REWIN (eine Non-Profit-Organisation, die ausgebautes, gut erhaltenes Fenstermaterial in Kriegsgebiete liefert) interviewt. Aus diesen Gesprächen ging hervor, dass Fenster aufgrund ihrer hohen Anschaffungskosten ein interessantes Wiederverwendungspotenzial haben. Ein gut erhaltenes, wiederverwendetes Fenster kostet lediglich etwa 30-50% eines neuen.

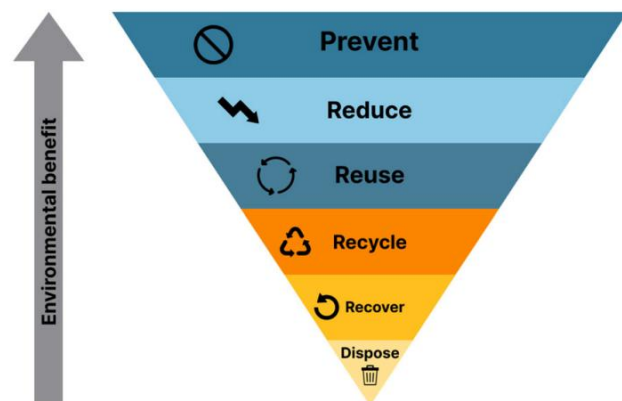


Abb. 58: Der richtige Zyklus [60]

Bauteilbörsen existieren dank eines signifikanten Anteils an sozialen Programmen (z.B. Wiedereingliederung nach Unfällen, Arbeitsuchende, usw.). Dadurch können die Börsen Kosten senken und Bauteile günstiger weiterverkaufen. Ist der schadlose Ausbau eines Bauteils einmal verstanden worden, braucht es keine weiteren Fachkenntnisse mehr, und somit lassen sich auch Personen aus anderen Bereichen für den Ausbau, die Reinigung und den Verkauf einsetzen. Die soziale Arbeit bedingt jedoch, dass Bauteilbörsen klein bleiben, da die Organisation aufgrund der Personalfuktuation sonst sehr – wenn nicht zu – komplex wäre.

REWIN verfolgt das Ziel, gut erhaltene, ausgebaute Fenster in Kriegs- und Krisengebiete zu liefern (aktuell primär in die Ukraine). Es wird geschätzt, dass mit diesem System die ökologische Belastung im Vergleich zu neuen Fenstern um mindestens 91% reduziert wird; zusätzlich spielt der soziale und wirtschaftliche Aspekt eine wichtige Rolle. Dank der grossen Anzahl von Fenstern, die REWIN sammelt, konnten einige Auswertungen durchgeführt werden [3]. Rund 62% der gesammelten Fenster bestehen aus Holz, etwa 28% aus PVC. Etwa 18% der Fenster sind mit Dreifachglas ausgestattet (und erfüllen weiterhin die Grenzwerte); 28% sind Dreifachverglasungen mit U_w -Werten von 1.1-1.2 [W/m²K] und weitere 32% Doppelverglasungen mit U_w -Werten von 1.2-1.8 [W/m²K]. Zu den häufigsten Fenster-Dimensionen gehören Breiten zwischen 120 cm und 160 cm sowie Höhen von 160 bis 200 cm.

Abb. 59 und Abb. 60 zeigen die Verteilung von Fensterproduzenten im Vergleich zu Abbruchunternehmen in der Schweiz.



Abb. 59: Karte Fensterproduzenten (FFF) [3]

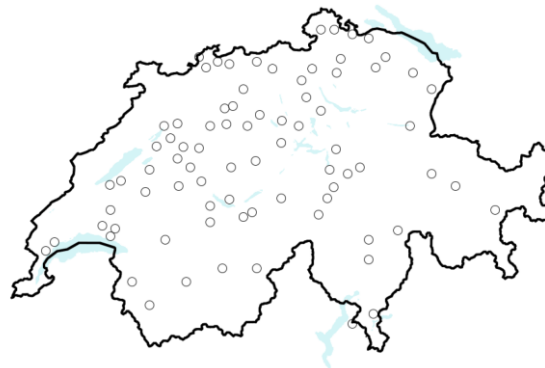


Abb. 60: Karte Abbruchunternehmen (FFF) [3]

Die von REWIN durchgeführte Analyse zeigt, dass es auf dem Rückbaumarkt derzeit ein grosses ungenutztes Wiederverwendungspotenzial gibt. Ein kleiner Teil der ausgebauten Fenster wäre noch verwendbar, und ein grosser Teil könnte es sein, wenn entsprechende Verbesserungsmassnahmen ergriffen würden. Die Möglichkeit besteht, aber das Hauptproblem ist die Nutzung: Laut Frau Sidler (Bauteilbörse Syphon AG; siehe IN01) gab es in den 2000er-Jahren über 25 Bauteilbörsen, heute sind es nur noch 8. Daraus wird deutlich, dass es auf gesellschaftlicher und gedanklicher Ebene noch viele Aspekte zu verbessern gibt. Bei den Bauteilbörsen ist eines der grössten Probleme die Lagerhaltung, da viel Platz benötigt wird, um die Zeit zwischen dem Erhalt eines Bauteils aus einem Quellobjekt und dem Verkauf an ein Zielobjekt zu überbrücken. Die Lagerhaltung (neben dem Personal) gehört zu den höchsten Kosten, die eine Bauteilbörse tragen muss (Arealmiete). Ein weiterer Punkt ist, dass es heute verschiedene – vielleicht zu viele – Plattformen auf kantonaler und privater Ebene für den Verkauf von ReUse-Bauteilen gibt. Um eine marktfähige Kreislaufwirtschaft zu erreichen, braucht es Zusammenarbeit und Vereinfachung, wo immer möglich (die Schweiz ist ohnehin ein kleines und komplexes Land).

Nicht zuletzt sind Anreize vonseiten der Kantone und des Bundes erforderlich, um das ReUse-Denken zu fördern, das derzeit noch in vielen Köpfen fehlt. Unsere Denkweise muss sich von 'linear' nach 'kreislaufend' ändern, und man muss sich von der Vorstellung „neu ist besser“ lösen. Schliesslich wird die Zusammenarbeit zwischen Abbruchunternehmen, Depo- nien und Bauteilbörsen immer wichtiger! Es braucht eine Art zentraler Leit- und Anlaufstelle.

5.4.2 Wiederverwendung von Glas

Neben dem ReUse von Fenstern wird auch die Wiederverwendung von Floatglas für neue Isoliergläser geprüft. Glas ist für einen grossen Teil der THGE und GE verantwortlich, und aktuell laufen viele Studien, um die Möglichkeiten zur ReUse zu bewerten. Laut dem Dokument „Reuse and Remanufacturing of Insulated Glass Units“ [62] zeigen die Analysen und Tests (an Scheiben aus 1980 und 2001), dass dieses Verfahren mit den richtigen Massnahmen machbar ist. Ausgangspunkt ist die aktuelle Lage der einzelnen Scheibe im Verbundglas (Abb. 61), welche die mögliche zukünftige Montage bestimmt. In den durchgeführten Versuchen wurde Glas gereinigt, in Stücke geteilt und anschliessend getestet.

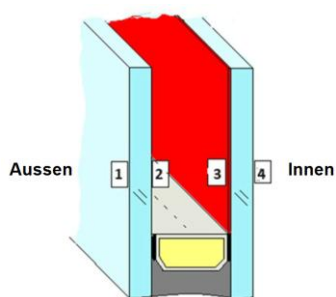


Abb. 61: Flächen und Glas [62]



Abb. 62: Reinigung [62]

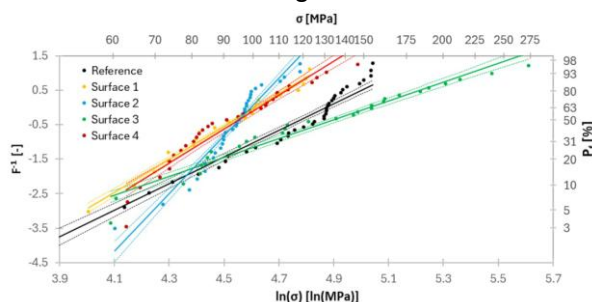


Abb. 63: Druckfestigkeitsprüfung pro Fläche [62]

Der durchschnittliche Druckwiderstand des Glases lag bei ca. 90–95 MPa (Surface 1, 2 und 4) und über 130 MPa (Surface 3); Referenzwert (Neuglas) ist ca. 117 MPa (siehe Abb. 63).

Vor dem Ausbau der Scheiben (Surface) wurden Analysen des Taupunkts (wie in Kapitel 2 erwähnt, normalerweise bei -60°C) und somit des Gasinhalts durchgeführt. Nach dem Ausbau wurden der Druckwiderstand, die Oberflächenqualität und die Rauigkeit geprüft (Scheibe 1 war oft die raueste, zeigte jedoch keine geringere Widerstandsfähigkeit). Nach der Wiederverwendung erfolgte - üblicherweise werden die Scheiben gedreht (die 4 wird zur 3, die 3 zur 4 usw.) - ein Alterungstest mit visueller Kontrolle (kleine optische Mängel festgestellt) und Qualitätsprüfung (ausreichende Gasmenge und Taupunkt meist bei -60°C). Das Fazit ist, dass die Methode grundsätzlich funktioniert, obwohl die Tests nur an einer kleinen Stichprobe durchgeführt wurden. Leider ist der Zeitaufwand hoch, was die Kosten deutlich erhöht.



Abb. 64: Reinigung [62]

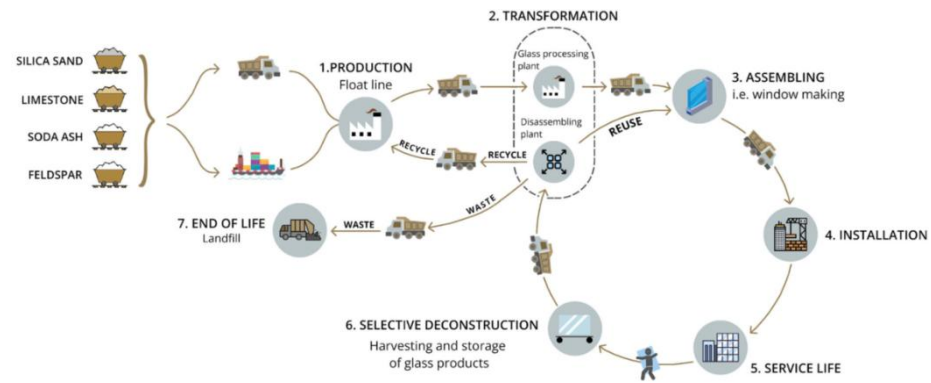


Abb. 65: Lebenszyklus des Glases mit Recycling und selektiver Abriss [60]

Seit 2021 wird diese Methode von der Firma GSF in den Niederlanden angewendet, die ein Verfahren entwickelt hat, um Glas in ihren neuen Produkten wiederzuverwenden. Das System heisst isoMAX und ist das erste zirkuläre Glasprodukt auf dem Markt, mit einer CO_2 -Reduktion von ca. 72%. Laut Studien von GSF sind ca. 70% des zurückgewonnenen Glases für die Wiederverwendung geeignet, während die restlichen 30% über die herkömmlichen Kanäle recycelt werden können. Derzeit gibt es zwei Systeme: Circutherm 50, bei dem die innere Scheibe neu und die äussere wiederverwendet ist, und Circutherm 100, das aus zwei wiederverwendeten Glasscheiben besteht. Das funktioniert allerdings nur, wenn die Gläser in gutem Zustand sind. Die Firma ist hauptsächlich im Bereich Glasaustausch tätig und konnte deshalb (während der COVID-Zeit) dieses funktionierende System aufbauen. [108, 109]

Abb. 65 zeigt den Lebenszyklus des Glases mit der möglichen Wiederverwendung der Scheiben zur Reduktion der THGE. Die grösste Herausforderung bleibt derzeit die wirtschaftliche Tragfähigkeit – besonders da alle europäischen Vorschriften auf energetische Sanierungen drängen, was viel Abfall erzeugt. Gleichzeitig ergeben sich Chancen: Politisch könnten mit strengeren Energievorgaben auch Zirkularität Anforderungen kommen, und höhere Deponiekosten könnten die Kreislaufwirtschaft wirtschaftlich attraktiver machen.

5.5 Umnutzung, Ertüchtigung und andere Verwendungen



Abb. 66: ReUse für einen anderen Zweck [3]



Abb. 67: Ertüchtigung mit einem Roboter – IN08 (A)

Falls eine direkte Wiederverwendung von Fenstern nicht möglich ist, gibt es einige Alternativen, bevor das Recycling/Verbrennung/Deponie Prozessen zum Einsatz kommt. Wie in Abb. 66 gezeigt, können Fenster für andere Zwecke genutzt werden, z.B. als Raumtrenner, für kleine Aussenkonstruktionen (Gartenhäuser), als Kunstobjekte usw. Einzige Grenzen sind

Zustand, Nutzen und Kreativität. Eine weitere Möglichkeit, die noch nicht vertieft wurde, ist der Rückbau, die Ertüchtigung und der Wiederverkauf von Fenstern. Das Problem dabei ist der organisatorische Aufwand: „Wer könnte sich genau für dieses Fenster interessieren?“ – und wahrscheinlich auch die hohen Kosten. Die Herausforderung liegt auch darin, dass vorgängig investiert werden muss, ohne den späteren Käufer zu kennen und man bräuchte ein grosses Lager, Arbeitskräfte u/o Roboter und ein umfangreiches Ertüchtigungsdispositiv. Neben den Restaurierungskosten fallen Transport-, Demontage-/Montage- und Lagerkosten an (laut REWIN können Lagerkosten bis zu 75 CHF/m² jährlich betragen, die geschätzten Kosten pro Fenster liegen bei ca. 10–15 CHF [3]). Vielleicht wäre ein solches Konzept in einem grösseren, geografisch nahen Markt machbarer, in Zusammenarbeit mit Bauteilbörsen und Entsorgungszentren sowie mit neuen Technologien (z.B. dem Roboter von Quadra Ligna AG in Abb. 67). Die Idee bleibt offen, und ihr Einfluss auf THGE und GE wäre sicher interessant – möglicherweise könnte ein solches Modell in der Hand einer einzigen Firma sogar wirtschaftlich sein.

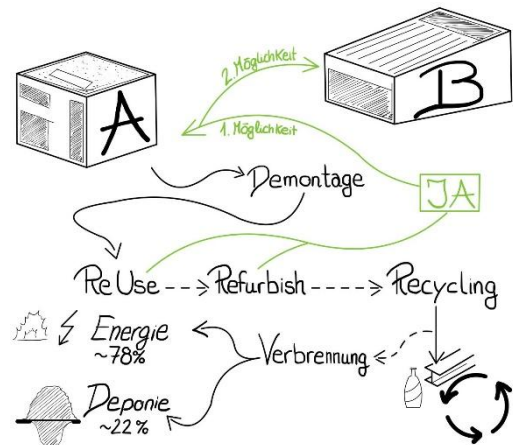


Abb. 68: Konzept ReUse + Ertüchtigung (A)

5.6 End-of-Life & Recycling vs Heute

Wie in Kapitel 5.2 festgestellt, wird ein grosser Teil des Materials in der Schweiz derzeit verbrannt. Im Folgenden werden die verschiedenen Möglichkeiten und Prozesse erläutert.

5.6.1 Rahmen

Holz

Holzrahmen enthalten meist Schadstoffe wie Blei, Biozide, Arsen oder andere. Sie gelten als problematisches Holz (B3-Holz) mit dem Referenzcode 17.02. Da es sich um behandeltes Holz handelt, darf es nicht in kleinen Anlagen (z.B. < 350 kW) verbrannt werden, aufgrund benötigter Filter und Verbrennungstemperatur. B3-Holz muss in Kehrichtverbrennungsanlagen oder Zementwerken bei ca. 1'450 °C verbrannt werden, damit Schadstoffe eliminiert werden. Dies ist derzeit der Schweizer Standard zur Entsorgung von Holzrahmen. Eine Wiederverwendung ist aus gesundheitlichen Gründen nicht möglich. Künftig sollte unbehandeltes Holz verwendet werden, um Bau und Entsorgung zu erleichtern. Andere Option wäre, Fenster mit Aussen austauschbaren Rahmen-Holzteilen zu entwickeln. *Quellen:* [63; IN05].

PVC

PVC kann 6–8-mal recycelt werden. Laut VinylPlus wurden 2024 in Deutschland ca. 400'000 Tonnen PVC aus Fenstern gesammelt, was fast 50% des recycelten PVC ausmacht. 2023 wurden 39% davon für neue sogenannte rPVC-Profile verwendet. Recycling spart viel Energie: Rewindo zufolge benötigt eine Tonne Neumaterial ca. 18'453 [kWh], rPVC nur ca. 3'814 [kWh] (Ersparnis ca. 79%). Die THGE-Reduktion beträgt ca. 74%; pro kg rPVC entstehen ca. 2 kg CO₂ weniger als bei Neuware. *Quellen:* [38; 84; 85].

Es gibt bereits Firmen, die rPVC-Produkte mit 70–80% Recyclinganteil anbieten. Leider, so die Interviews [UM01; IN05] und der Baublatt-Artikel vom November 2024 [86], wird PVC-Recycling in der Schweiz kaum genutzt. Meist wird PVC in Sammelstellen verbrannt oder deponiert. Nur wenige Schweizer Firmen sammeln PVC und schicken es nach Deutschland.

Metall und Aluminium (auch für Beschläge)

Metall und Aluminium werden für Fensterrahmen, als äusserer Schutz bei Holz- oder PVC-Profilen und für Beschläge verwendet. Diese Materialien sind weit verbreitet, und ihr Recycling ist seit Jahren etabliert, da Neu-Herstellung viel Energie und Kosten verursacht. Deshalb wird Metall bereits optimal recycelt, und die Nachfrage nach Recyclingmaterial übersteigt heute deutlich das Angebot [57]. Zusammenfassend gehört die Metallrecyclingkette heute zu den am besten funktionierenden.

5.6.2 Verglasung

Glas ist eines der kritischsten Elemente eines Fensters, sowohl in Bezug auf GE und THGE als auch auf die Kreislauffähigkeit am Ende seines Lebenszyklus. Der aktuelle Stand in der Schweiz (und Europa) ist, dass Floatglas einem Downcycling unterzogen und für andere Zwecke verwendet wird oder verbrannt bzw. deponiert wird. Die Umleitung zur Herstellung anderer Produkte wie Vasen, Flaschen oder Glaswolle scheint die bevorzugte und am meisten akzeptierte Praxis zu sein, auch wenn sie nicht die beste Lösung darstellt [9, 59; UM01]. Heute wird das Glas, das nach dem Produktionsprozess (Modul A3) auf die Baustelle gelangt, nicht in seinen „Cradle-to-Cradle“-Kreislauf zurückgeführt, sondern für andere Verwendungen umgeleitet. Das liegt daran, dass bei Abbrucharbeiten oft keine korrekte Trennung erfolgt und das Glas beim Recycling zu viele Verunreinigungen aufweist [UM01; IN05]. Gerade bei Floatglas sind die Verunreinigungen eines der grössten Hindernisse, da sehr hohe Qualitäts- und Garantieanforderungen bestehen. Es gibt bereits einige Produkte aus recyceltem Floatglas, wie z.B. ORAÉ von Saint-Gobain, dass ca. 64% recyceltes Glas enthält und einen ca. 30% geringeren CO₂-Fussabdruck aufweist als herkömmliches Glas [110]. Das Recycling dieses Glases erfolgt jedoch nur mit intern anfallendem Glas, das die Produktionskette (bis Modul A3) nie verlässt. Derzeit laufen verschiedene Tests, um das Glas mit geringeren Emissionen zu recyceln, z.B. durch Schmelzen bei niedrigeren Temperaturen (zwischen 750–1'200 °C) [58]. Auch hier bestehen die grössten Herausforderungen darin, ein verunreinigungsfreies Cooling zu erreichen und die fehlenden geeigneten Sammelinfrastrukturen zu schaffen. Verschiedene Versuche wurden bereits unternommen, doch die aktuellen technischen Hürden verhindern ein Recycling von Floatglas, wenn es nicht schon auf der Baustelle sauber getrennt wird. Ohne diese Trennung wird der Prozess sehr aufwändig, mit Sortiermaschinen und manueller Sortierung. Zudem hat ein Isolierglas eine Lebensdauer von ca. 25–30 Jahren, die Glasscheibe selbst kann jedoch problemlos über 60 Jahre halten. Das aktuelle Problem liegt hauptsächlich bei den Dichtungen und Abstandhaltern [1]; hier sind neue Lösungen für die Zukunft erforderlich.

5.7 Massnahmen für die Zukunft

Das Lebensende von Fenstern wird derzeit statistisch nicht nachverfolgt, verursacht jedoch offensichtlich erhebliche Auswirkungen: Die thermische Verwertung erzeugt problematische Rückstände und darf nicht die Endlösung sein. Sammelstellen erzielen Gewinne aus den angelieferten Materialien, und die Entsorgungskosten bleiben somit relativ (zu) niedrig. Die Wartung im Betrieb wird oft vernachlässigt, was die Lebensdauer der Fenster verkürzt, während die Wiederverwendung auf eine Nische beschränkt bleibt, da Bauteilbörsen mit hohen Lagerkosten und geringer Nachfrage kämpfen. Eine engere Zusammenarbeit zwischen Bauteilbörsen, Sammelstellen und Abbruchunternehmen sowie die Schaffung z.B. einer nationalen Datenbank für die Wiederverwendung sind unerlässlich. Die Wiederverwendung von Glas ist technisch möglich, erfordert jedoch weitere Entwicklungen, ebenso wie das Recycling von Floatglas zu neuem Floatglas. Das Recycling nicht wiederverwendbarer Materialien muss zur Priorität werden, beginnend mit einer sorgfältigen Trennung auf der Baustelle und geeigneten Sammelinfrastrukturen. PVC und Glas müssen den etablierten Recyclingstandard von Metall und Aluminium erreichen, während Holzrahmen künftig behandlungsfrei und vereinfacht werden sollten, um die Wiederverwendung zu erleichtern. Die Planung und Systemtrennung spielt dabei eine entscheidende Rolle: Es braucht Fenster, die leicht demontierbar und trennbar sind und dennoch hohe Leistungsstandards erfüllen. Schliesslich wird es eine der grössten Herausforderungen sein, die Denkweise „neu ist besser“ zu überwinden, was nur durch gezielte staatliche Anreize (z.B. Deponie- oder CO₂-Abgaben), Katalogisierung und einen tiefgründigen kulturellen Wandel möglich ist. Das Thema Lebensende/Zirkularität von Fenstern bleibt heute hinter der technologischen Entwicklung neuer Materialien und Systeme zurück. Dies verdeutlicht das derzeit vorherrschende lineare Wirtschaftsmodell.

6 Lebenszykluskosten

Bei Fenstern werden häufig nur die anfänglichen Investitionskosten betrachtet. Es werden keine Analysen über die gesamte Lebensdauer des Elements durchgeführt, die auch Wartung und Austausch während des Gebäudelebenszyklus einbeziehen. Die SIA 2032 sowie die Paritätische Lebensdauertabelle [73] geben eine Lebensdauer von 25–30 Jahren an, da angenommen wird, dass die Kosten dieses Elements innerhalb von ca. 30 Jahren amortisiert sein sollten. Wie in Tabelle 1 gezeigt, ist diese Lebensdauer gegenüber der möglichen Lebensdauer des Elements um mindestens 20–30% (wenn nicht mehr) reduziert. In diesem Kapitel werden die Kosten für den Bau neuer Fenster, für die Ertüchtigung und für die Wartung analysiert. Um die Kosten realistischer und konsistenter darzustellen, wurden vier gängige Fenstertypen aus den analysierten Gebäudekategorien definiert.

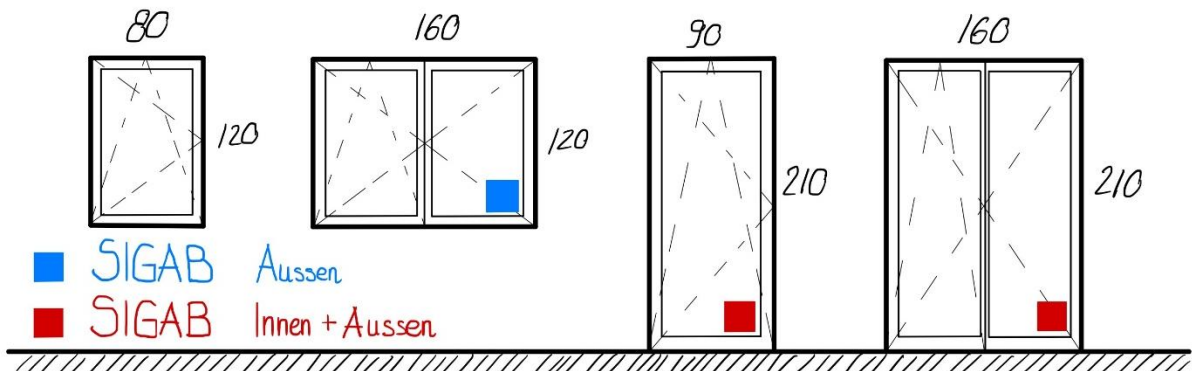


Abb. 69: Fenstertypen für wirtschaftliche Berechnungen (A)

Die vier Fenstertypen dienen dazu, eine Vergleichsbasis für die Kosten nicht nur pro m², sondern auch für ein komplettes Bauelement zu erhalten. So war es möglich, bei ca. fünf Firmen Offerten einzuholen und die verschiedenen Kosten miteinander zu vergleichen.

6.1 Investitionskosten

Für die vier Fenstertypen wurden die Investitionskosten für den Ersatz bei fünf Schweizer Firmen angefragt. Diese sind anonym in Abb. 70 aufgeführt. Firma 1 und 2 sind kleinere Fensterbauer, Firma 3 ist ein mittelgrosses Fensterbauunternehmen, und Firma 4 und 5 sind grosse Spezialfirmen für den Neubau von Fenstern. Eine Preisabweichung ist deutlich erkennbar, teils bedingt durch die verwendeten Materialien; z.B. stellen Firma 1 und 3 die Rahmen selbst her. Die Daten wurden mit den Kosten für Schallschutzfenster des Kantons Zürich [53] verglichen (diese sind grundsätzlich höher als bei Standardfenstern). Auf Basis der Kosten wurde manuell ein Richtpreis pro Fenstertyp je nach Material festgelegt und schliesslich ein Preis pro m² ermittelt. Die Analyse zeigt, dass ein Holz-Metall-Fenster in der Regel 10–15% teurer ist als ein Holzfenster, während ein PVC-Fenster ca. 20–30% günstiger ist.

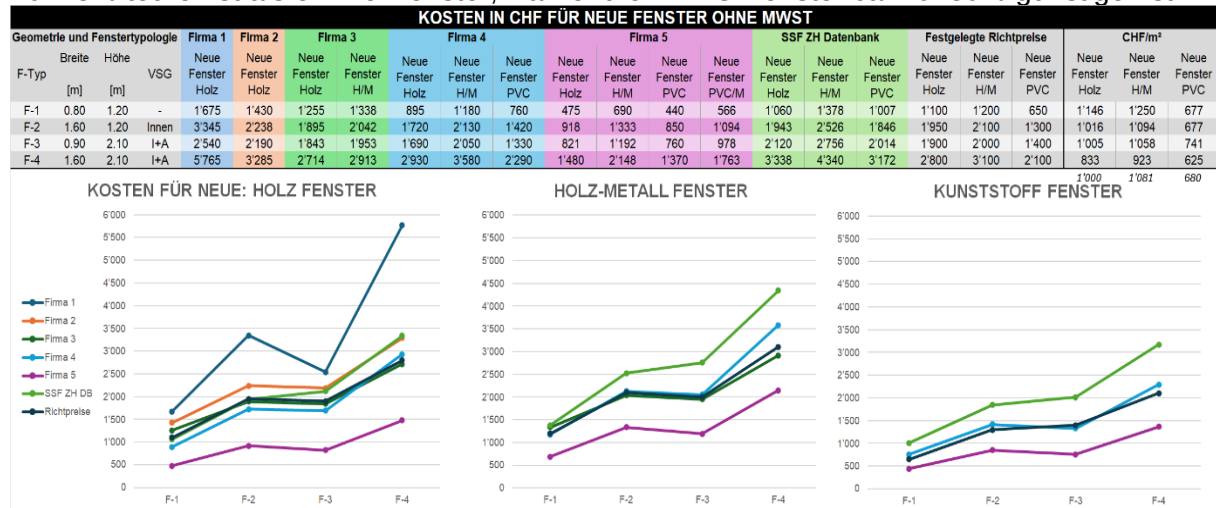


Abb. 70: Kostenanalyse Investition neue Fenster (A)

6.3 Wartungskosten

Wie bereits in Kapitel 6.2 erwähnt, sind die Wartungskosten unklar und variieren je nach Fenster. Die Fensterbauer empfehlen eine regelmässige Wartung, um die Lebensdauer eines Fensters zu verlängern, und bieten hierfür Wartungspakete an. Für grosse Immobilienbesitzer sind diese Kosten jedoch hoch (wenn sie nur punktuell anfallen), weshalb oft nichts unternommen wird, bis ein Austausch notwendig ist. Das ist bedauerlich, da dadurch das Material nicht optimal genutzt wird und vermeidbare Abfälle entstehen. Experten geben als Richtwert für die Wartungskosten ca. 1% des Investitionswertes pro Jahr an. Da keine konkreten Grundlagen vorlagen, wurde der Aufwand anhand von Empfehlungen und Kostendaten von Fensterbauern, vom FFF sowie aus Hinweisen im Lignum-Dokument [87] geschätzt. Für den spezifischen Fall wurde Fenster Typ 2 (160×120 cm) aus Holz mit zwei Dichtungen gewählt. Die Lebensdauer dieses Fensters wurde auf 30 Jahre festgelegt. Basierend auf den Kosten aus Kapitel 6.1 wurde ermittelt, dass ein neues Fenster dieses Typs aus Holz ca. 1'950 CHF (ohne MwSt.) kostet. Für die Wartung wurde ein jährlicher Aufwand von ca. 30–35 CHF/Stk angenommen, was etwa 1.5–2.0% entspricht. Dieser Wert verdeutlicht, dass kontinuierliche Wartung im Verhältnis zur gesamten Investition als moderat betrachtet werden kann und sich positiv auf die Verlängerung der Lebensdauer auswirkt. Der Betrag wurde auf Stundenbasis berechnet (120 CHF/Std. Arbeit + 30 CHF Material) oder, wo möglich, auf Basis der in Kapitel 6.2 ermittelten Kosten. Diese Angaben sind in Tabelle 13 gefasst.

Code	Zeitpunkt	Tätigkeit	Wer	Beschreibung der Arbeit	Zeit [Min/Stk]	Kosten [CHF/...]	Effektive Kosten [CHF/Stk]	Bemerkungen
IH01	Jährlich	Kleine Kontrolle	Besitzer	Sichtkontrolle der Beschläge und der Fugen zwischen Fenster und Wand.	2	-	-	Nicht zählbar.
IH02	Alle zwei Jahre	General Kontrolle	Besitzer	Sichtkontrolle der äusseren Rahmenfläche, des Glases, der Fugen zwischen Rahmen und Glas, der Dichtungen und der Verriegelungssysteme.	5	-	-	Nicht zählbar.
IH03	Alle 5 Jahre	General Kontrolle mit Stichproben	Fensterbauer	Vollständige Kontrolle gemäss UN01 und UN02, einschliesslich Punktbelastungsproben und Anpassungen.	7.5	19 CHF/Stk	95	-
IH04	Alle 10 Jahre	Aussenfläche (bei Holz)	Fensterbauer	Erneuerung oder teilweise Erneuerung der Aussenbeschichtung.	30	75 CHF/Stk	150	Nur wenn Holzfenster.
IH05	Alle 10 Jahre	Beschläge	Fensterbauer	Wartung der Beschläge und gegebenenfalls Austausch von Teilen.	7.5	19 CHF/Stk	38	-
IH06	Alle 10-12 Jahre	Dichtung zwischen Glas und Rahmen	Fensterbauer	Zustand prüfen und punktuell verbessern (im Hinblick auf UN10).	-	24 CHF/lm	216	-
IH07	Alle 10–12 Jahre	Aussenfugen	Fensterbauer	Zustand der Aussenfugen prüfen und gegebenenfalls erneuern.	10	25 CHF/Stk	37.5	-
IH08	Alle 15 Jahre	Dichtungen ersetzen	Fensterbauer	Austausch der Fensterdichtungen.	-	35 CHF/lm	420	Nur einmal gezählt, inklusive 2 Dichtungen.
IH09	Alle 15 Jahre	Sonnenschutz	Storenbauer	Zustand prüfen, Elemente ersetzen oder reparieren.	30	200 CHF/Stk	-	Nicht gezählt (ausserhalb des Fensters).
IH10	Alle 20–30 Jahre	Verglasung	Fensterbauer	Wenn sich das Fenster in gutem Zustand befindet und die Anforderungen erfüllt, sollte ein Austausch der Verglasung geprüft werden.	-	500 CHF/m ²	-	Teil der Ertüchtigungsarbeiten.
Durchschnittliche Kosten (erwartete Lebensdauer 30 Jahre; stündliche Kosten 120 CHF/Std + 30 CHF Material):						32 CHF/a	957 CHF	(gesamte Lebensdauer)

Tabelle 13: Übersicht der Wartungs- und Instandhaltungskosten für Holz Fenster über 30 Jahre Lebensdauer (A)

Für die Massnahmen IH09 und IH10 wurden nur allgemeine Kosten berücksichtigt, sie wurden jedoch nicht als Wartungskosten eingerechnet, da:

- IH09 nicht zum Fensterelement gehört und die Werte verfälschen würde.
- IH10 bereits unter den Ertüchtigungsmassnahmen erfasst und berücksichtigt ist.

Aus energetischer Sicht wird der Austausch einer Verglasung als invasive (Baugesuchs-relevante) statt unterhaltender Massnahme betrachtet, er wurde jedoch in die Tabelle aufgenommen, um die Thematik des Austauschs nach 25–30 Jahren nachvollziehbar zu machen.

Wenn das Glas noch in gutem Zustand ist und das Gebäude mit einem erneuerbaren Wärmeerzeuger beheizt wird, könnte ein Austausch aus ökologischer Sicht nicht die beste Lösung sein – dies wird im nächsten Kapitel noch vertieft.

Die Analyse konzentrierte sich auf Holzfenster; bei Holz/Metall-, PVC-, PVC/Aluminium- oder Metallfenstern reduzieren sich die jährlichen Kosten um ca. 15–20%, was zu jährlichen Gesamtkosten von ca. 22–27 CHF/Stk führt, abhängig von der Lebensdauer. Bei einem Kunststofffenster (angenommene Lebensdauer 35 Jahre) entspricht dies Kosten von über 2% der gesamten Investition. Bei einem Holz/Metall-Fenster (angenommene Lebensdauer 40 Jahre) liegt dieser Wert bei ca. 1% der Gesamtkosten.

Diese Berechnungen verdeutlichen, wie stark die Materialwahl und die erwartete Nutzungsdauer die jährlichen Wartungskosten beeinflussen können.

6.4 Lebenszykluskosten

Es werden keine Berechnungen vorgenommen, um die LCC exakt zu bestimmen, da dies den Rahmen dieser Studie sprengen würde und eine eigenständige Untersuchung erfordert. Zudem sind die in kurzer Zeit erhaltenen Daten nicht repräsentativ genug, um eine plausible Aussage zu treffen. Das Thema wird daher nur auf allgemeiner und konzeptioneller Ebene behandelt. Unter LCC versteht man sämtliche während des gesamten Lebenszyklus anfallenden Kosten, einschliesslich Baukosten, Betriebskosten (Wartung und Reparatur), Erneuerung, Austausch sowie Rückbau und Entsorgung. Diese können entweder statisch (Nominalkostenansatz) oder dynamisch (Kapitalwertansatz, z.B. über die DCF-Methode) berechnet werden. Üblicherweise werden die Kosten auf einen definierten Zeitraum bezogen, wie etwa die gewählte Nutzungsdauer oder die Amortisationszeit (z.B. 60 Jahre bei einem Gebäude). Für die Berechnung der LCC stehen zahlreiche Werkzeuge zur Verfügung, entweder über qualitative Ansätze (z.B. SNBS) oder quantitative Methoden (z.B. CRB, IFMA usw.).

Im Fall von Fenstern lassen sich im Wesentlichen drei Szenarien unterscheiden:

- Szenario 1: Ersatz vor Ablauf der vorgesehenen Lebensdauer.
- Szenario 2: Ersatz beim Erreichen der vorgesehenen Lebensdauer.
- Szenario 3: Ersatz nach Überschreiten der vorgesehenen Lebensdauer:
 - wenn ein vorbeugender Austausch erfolgt, oder
 - das Fenster so stark beschädigt ist, dass es nicht mehr verwendet werden kann.

Jedes dieser Szenarien bringt unterschiedliche Kostenstrukturen und Bewertungen mit sich, einschliesslich möglicher Restwerte. Anhand einer einfachen Berechnung basierend auf dem Beispiel aus Kapitel 6.3 einer angenommenen Lebensdauer von 30 Jahren:

- Neubau eines Holzfensters 160×120 cm: ca. 1'950 CHF
- Wartungskosten ca. 30–35 CHF/a: ca. 900–1'050 CHF
- Demontagekosten: nicht berücksichtigt (Daten nicht verfügbar)
- Entsorgungskosten (Kapitel 5.2): 25–50 CHF

Auf Basis dieser vereinfachten Analyse lässt sich feststellen, dass die Lebenszykluskosten eines Holzfensters rund 45–60% über den ursprünglichen Investitionskosten liegen.

Für PVC- oder Holz/Metall-Fenster ergeben sich abweichende Werte. *Quellen: [2; 40; 99].*

6.5 Schlussfolgerung

Die Analyse hatte zum Ziel, die Investitions- und Wartungskosten eines Fensters zu untersuchen, um die Kosten der verschiedenen Massnahmen zu ermitteln. Offen bleibt die Frage, welchen Einfluss Wartung auf die Verlängerung der Lebensdauer eines Elements hat. Bei guter Wartung eines für die Ertüchtigung geeigneten Fensters könnten künftig gemäss Abb. 48 folgende Massnahmen umgesetzt werden:

- B1 – Beschläge
- V1 – Verglasung
- R1+R3 – Rahmen
- A1+A2 – Anschlag

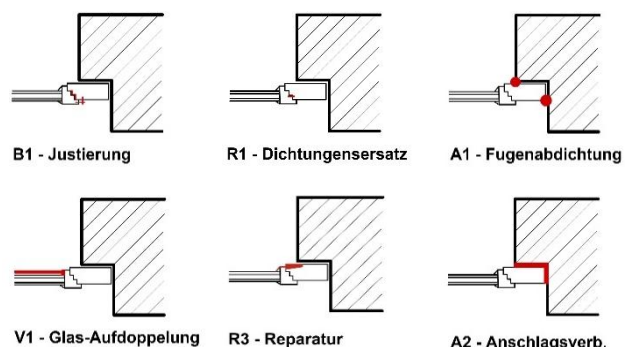


Abb. 72: Auswahl der Massnahmen nach Abb. 48 (A)

Diese Eingriffe wären ökologisch wie wirtschaftlich deutlich weniger invasiv. Auch energetisch wäre ihre Wirkung vergleichbar mit einem neuen Fenster. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Wartung die Lebensdauer von Fenstern verlängern und einfache Massnahmen

anstatt einem vollständigen Ersatz ermöglichen könnte. Dadurch würden Deponien entlastet, weniger THGE ausgestossen und weniger Energie verbraucht (graue Energie und Betriebsenergie). Offen bleibt, ob Menschen bereit sind, Fenster zu akzeptieren, die sich zwar in gutem Zustand befinden, aber älter sind und nicht wie neu aussehen. Dafür ist ein grundlegender Wandel im Denken notwendig. Auch eine mögliche zukünftige Entwicklung der Energie- oder Steuerkosten könnte heute wenig attraktive Massnahmen begünstigen.

7 Berechnungen

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit ist es, die tatsächlichen ökologischen Auswirkungen einer Fenstersanierung zu vergleichen und besser zu verstehen. In der Praxis erfolgt die Bewertung häufig auf wirtschaftlicher Ebene oder auf energetischer Ebene, um gesetzliche Anforderungen zu erfüllen und Energieeinsparungen zu erzielen. In der vorliegenden Analyse hingegen wird der wirtschaftliche Aspekt bewusst ausgeklammert; der Fokus liegt ausschliesslich auf der energetischen und ökologischen Betrachtung.

7.1 Modelle

Für deren Berechnung wurden insgesamt 26'880 Systemnachweise mit dem Excel-Tool SIA 380/1:2016 erstellt, das im Auftrag des Kantons Luzern zur Berechnung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden entwickelt wurde (verfügbar unter: <https://www.energie-zentral-schweiz.ch/vollzug/planungshilfen.html>). In dieses Tool wurden verschiedene feste Parameter sowie variable Eingaben integriert, um typische Bestandsgebäude abzubilden. Auf dieser Grundlage wurde der Energiebedarf jeder Variante im Betrieb berechnet. Durch die Verknüpfung mit unterschiedlichen Wärmeerzeugern und den KBOB-Daten konnten sowohl die energetische Verbesserung als auch die ökologische Wirkung – gemessen an Treibhausgasemissionen (THGE) und grauer Energie (GE) – bewertet werden. Ein schematischer Überblick zur Funktionsweise der Analyse ist in Abb. 74 dargestellt.

Eine eindeutige Bewertung ist jedoch nicht möglich, da viele externe und interne Faktoren nicht berücksichtigt werden konnten. Allein die gewählten Rahmenbedingungen bringen Einschränkungen mit sich – wie die Gebäudetypen, Klimazonen oder die prozentuale Fensterverteilung. Weitere Aspekte wie Kosten, Schadstoffe aus Herstellung und Entsorgung oder die Verfügbarkeit bestimmter Energieträger (Holz, Strom usw.) konnten nicht berücksichtigt werden. Zum Beispiel ist die Stromnachfrage im Winter besonders hoch, weshalb die Schweiz in dieser Zeit häufig Strom aus dem Ausland einkauft – aus unterschiedlichen, teils nicht nachhaltigen Quellen (Woher stammt der Strom? Wurde er mit Holz erzeugt? Kommt das Holz z.B. aus Frankreich oder aus Brasilien?). All diese Faktoren können die ökologische Sinnhaftigkeit einer Sanierung erheblich beeinflussen.

Ziel dieser Analyse ist es, Resultate zu liefern, die eine bessere Bewertung möglicher Massnahmen und ihrer Auswirkungen ermöglichen. Gleichzeitig wird durch klar definierte Rahmenbedingungen sichergestellt, dass ein konsistenter Vergleich möglich ist.

7.2 Variablen

Die Berechnung basiert auf verschiedenen festen Werten und 36 Variablen, die in Kategorien unterteilt und miteinander verknüpft sind. Daraus ergeben sich insgesamt 26'880 Resultate. Auf der nächsten Seite werden die sechs berücksichtigten Variablenfamilien sowie einige grundlegende Fix Werte tabellarisch zusammengefasst. Ursprünglich war vorgesehen, deutlich mehr Variablen einzubeziehen – z.B. verschiedene Arten von Verschattungen, unterschiedliche thermische Masse, variable Rahmen-Glas-Anteile und weitere Faktoren, die das Ergebnis hätten beeinflussen können. Dies hätte jedoch zu rund 2'700'000 möglichen Kombinationen geführt und eine Berechnungszeit von mehreren Tagen erfordert, was eine Auswertung stark erschwert hätte und den Rahmen dieser Diplomarbeit sprengen würde. Aus diesem Grund wurde die Analyse vereinfacht, indem bestimmte Variablen ausgeschlossen wurden, um eine ausreichend differenzierte, aber bearbeitbare Datenbasis zu erhalten – basierend auf den sechs in Abb. 73 dargestellten Variablen-Kategorien.

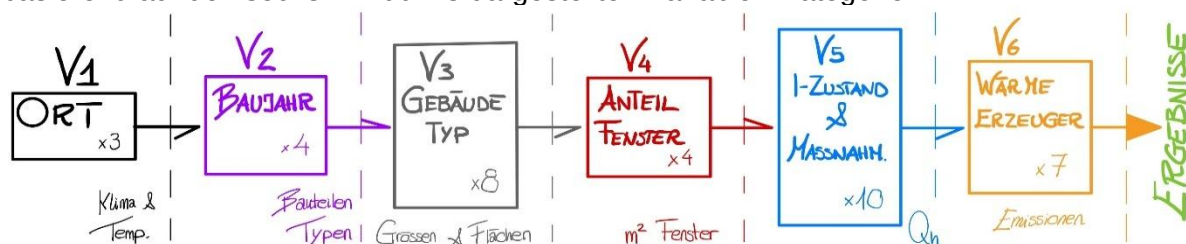


Abb. 73: Erklärendes Schema der Funktionsweise der Berechnungen (A)

7.3 Varianten

In Tabelle 14 werden die Kategorien mit den einzelnen Variablen detailliert dargestellt, inklusive der Daten, die Einfluss auf die Ergebnisse hatten. Die Variable 5 – Gebäudehülle – stellt eine Ausnahme dar, da sie mit Variable 2 verknüpft ist. Sie beschreibt eine umfassende Sanierung der Gebäudehülle unter Berücksichtigung neuer U-Werte der Bauteilelemente gemäss aktueller Nutzung. Der Ist-Zustand hingegen basiert direkt auf den Werten der Variablen 1 bis 4 und bildet damit den Ausgangspunkt für den Vergleich der Massnahmen. In der Tabelle sind zudem fixe Parameter enthalten, wie der Anteil Rahmen, Verschattung, die Lebensdauer der Bauteile und weitere grundlegende Werte für die Berechnung. Die Lebensdauer der Komponenten ist – wenig überraschend – ein zentraler Faktor für die ökologische Bilanz der Simulationen. Es wurden die in Tabelle 1 (vorletzte Spalte) definierten Werte «Normal Lebensdauer» ausgewählt, um einen Durchschnittswert für die Analyse zu erhalten. Das bedeutet: Je länger eine Sanierung hält, desto geringer ist ihr ökologischer Impact.

ZUSAMMENFASSENDE ERLÄUTERUNGEN ZU DEN VARIABLEN UND ZUR BERECHNUNG									
V1 - Variable 1 - Meteostation		Erläuterungen:							
Meteostation	GE:	En. nicht ern. / Graue Energie kWh oil-eq/m²·a						Jährliche Berechnungen: Alle Werte werden jährlich angegeben (a). Sie beziehen sich häufig auf die Lebensdauer des Bauteilelements.	
Zürich	THGE:	Treibhausgasemissionen kg CO2-eq/m²·a							
Davos	U/U-Wert:	W/m²K		ψ-Wert:		W/mK			
Lugano	EBF:	Energiebezugsfläche [m²]		WB: Wärmebrücken %					
V2 - Variable 2 - Baujahr									
Jahr	U-Dach	U-Fassade	U-Fenster	U-Boden	WB	Ug	Uf	g-Wert	ψ-Wert
1955	0.90	1.00	3.50	1.00	5%	5.00	2.50	0.80	0.02
1970	0.70	0.70	2.30	0.70	5%	2.70	2.00	0.78	0.08
1985	0.50	0.50	1.55	0.50	10%	1.90	1.70	0.65	0.06
2000	0.30	0.30	1.10	0.30	15%	1.30	1.40	0.60	0.05
V5 - Gebäudehülle	0.15	0.17	1.00	0.20	20%	0.60	1.10	0.50	0.04
V3 - Variable 3 - Gebäude Typ									
Gebäude	Typ/Name	Breite (S/N)	Tiefe (O/W)	Anz. Stock	Höhe Stock	EBF	Boden m²	Wände m²	Dach m²
Wohnen MFH 1	MFH-1	16	12.5	3	2.75	600	200	470	200
Wohnen MFH 2	MFH-2	25	15	4	2.75	1'500	375	880	375
Wohnen MFH 3	MFH-3	40	15	5	2.75	3'000	600	1'513	600
Wohnen EFH 1	EFH-1	10	7	2	3.00	140	70	204	70
Wohnen EFH 2	EFH-2	12	10	2	3.00	240	120	264	120
Wohnen EFH 3	EFH-3	12	10	3	3.00	360	120	396	120
Verwaltung 1	BÜR-1	30	18	3	3.00	1'620	540	864	540
Verwaltung 2	BÜR-2	35	22	5	3.00	3'850	770	1'710	770
V4 - Variable 4 - Anteil Fenster					Andere (Variable 5 GE und THGE):				
Hypothese	O	S	W	N	Bauteile V5 - Gebäudehülle				
Hypothese 1	15%	30%	15%	10%	Bauteile	Leb.Dauer	GE (a)	THGE (a)	
Hypothese 2	25%	50%	25%	15%	Boden	8 cm PIR	30	6.3	1.8
Hypothese 3	35%	60%	35%	20%	Fassade	20 cm Wolle	30	3.6	1
Hypothese 4	50%	80%	50%	30%	Dach	12.5 cm PIR	30	7.7	3
V5 - Variable 5 - Sanierung									
Sanierungs Typ	Ug	Uf	g-Wert	ψ-Wert	Leb.Dauer	GE-g (a)	THGE-g (a)	GE-f (a)	THGE-f (a)
Ist-Zustand	Gemäss Variable 2				-	-	-	-	-
Glaserersatz 2-IV	1.10	-	0.60	0.06	25	12.96	3.17	-	-
Glaserersatz 3-IV	0.60	-	0.50	0.04	25	16.46	4.11	-	-
Glaserersatz Vakuum	0.70	-	0.50	0.06	25	*17.50	*4.28	-	-
Glasaufdopplung	1.00	-	0.55	0.05	20	*5.61	*1.30	-	-
Fensterersatz H	0.60	1.10	0.50	0.04	g(30)/f(30)	13.72	3.43	5.73	1.21
Fensterersatz HM	0.60	1.20	0.50	0.04	g(30)/f(40)	13.72	3.43	10.00	2.19
Fensterersatz K	0.60	1.00	0.50	0.04	g(30)/f(35)	13.72	3.43	10.94	2.11
Fensterersatz M	0.60	1.40	0.50	0.04	g(30)/f(45)	13.72	3.43	18.43	4.40
Gebäudehülle	Gemäss Variable 2 (V5 - Gebäudehülle)				g(30)/f(35)	13.72	3.43	*8.89	*1.84
V6 - Variable 6 - Wärmeerzeuger					Andere Informationen:				
Heizung	COP/JAZ	GE (a)	THGE (a)	Δ GE	Δ THGE	Variable 3: Abmessungen in m und m²			
Öl-Heizung	0.90	1.39	0.36	100%	100%	g	Verglasung		
Fernwärme	0.85	0.39	0.08	28%	22%	f	Fensterrahmen		
WP Luft/Wasser CH Mix	2.70	0.78	0.06	56%	16%	Leb. Dauer: Lebensdauer nach Bauteilelementen			
WP Luft/Wasser CH Zer	2.70	0.02	0.02	2%	5%	g(x)/f(y): Lebensdauer Glas und Rahmen			
WP Erdsonden CH Mix	5.30	0.42	0.04	30%	10%	S/N: Sud und Nord Ausrichtung			
Solarthermie	*0.95	0.07	0.02	5%	5%	O/W Ost und West Ausrichtung			
Holz Schnitzel	0.85	0.04	0.01	3%	3%	* Geschätzter oder theoretischer Wert			
Feste Berechnungswerte:									
Typisches Fenster: berechnet auf der Grundlage der häufigsten Fenster in Wohn- und Verwaltungsgebäuden:									
Fläche: 2.07 m²; Länge ψ-Wert 6.22 m; Anteil Rahmen: 22% (Basis 5 Fenstertypen von 1 bis 3 Flügeln)									
η-Speicherfähigkeit: Mittelwert SIA 380/1:2016 (0.08 kWh/m²·K) zur Vereinfachung der Berechnung und zur Reduktion der Variablen.									
Verschattungsfaktor f _s : Einzel- und Standardwert zur Reduzierung der berechenbaren Varianten: f _{s1} (0.68); f _{s2} (0.77); f _{s3} (0.96)									
Gebäudehülle (V5): (Tragwerk immer vorhanden) Annahme: Boden mit 8 cm PUR; Wand mit 20 cm Steinwolle; Dach mit 12.5 cm PIR.									

Tabelle 14: Erläuternde Tabelle der Variablen und der für die Berechnung grundlegenden Daten (A)

7.4 Berechnungsprozess

Abb. 74 Abb. 73 zeigt schematisch den Ablauf der Simulationen. Zunächst werden mithilfe eines Python-Codes die Variablendaten aus einer Tabelle ausgelesen und in eine Eingabetabelle (1) übertragen, das mit dem Excel-Tool der SIA 380/1:2016 (2) verknüpft ist. Nach Eingabe der Daten wartet das Skript kurz, bis die Berechnung abgeschlossen ist. Die Resultate (3) werden dann in eine Ausgabetable (4) überführt, anschliessend extrahiert und in eine Gesamttabelle (5) integriert, welche anschliessend analysiert werden kann (6). Der Ablauf wird so lange wiederholt, bis alle Varianten durchgerechnet sind – in diesem Fall dauerte der Prozess über 24 Stunden.

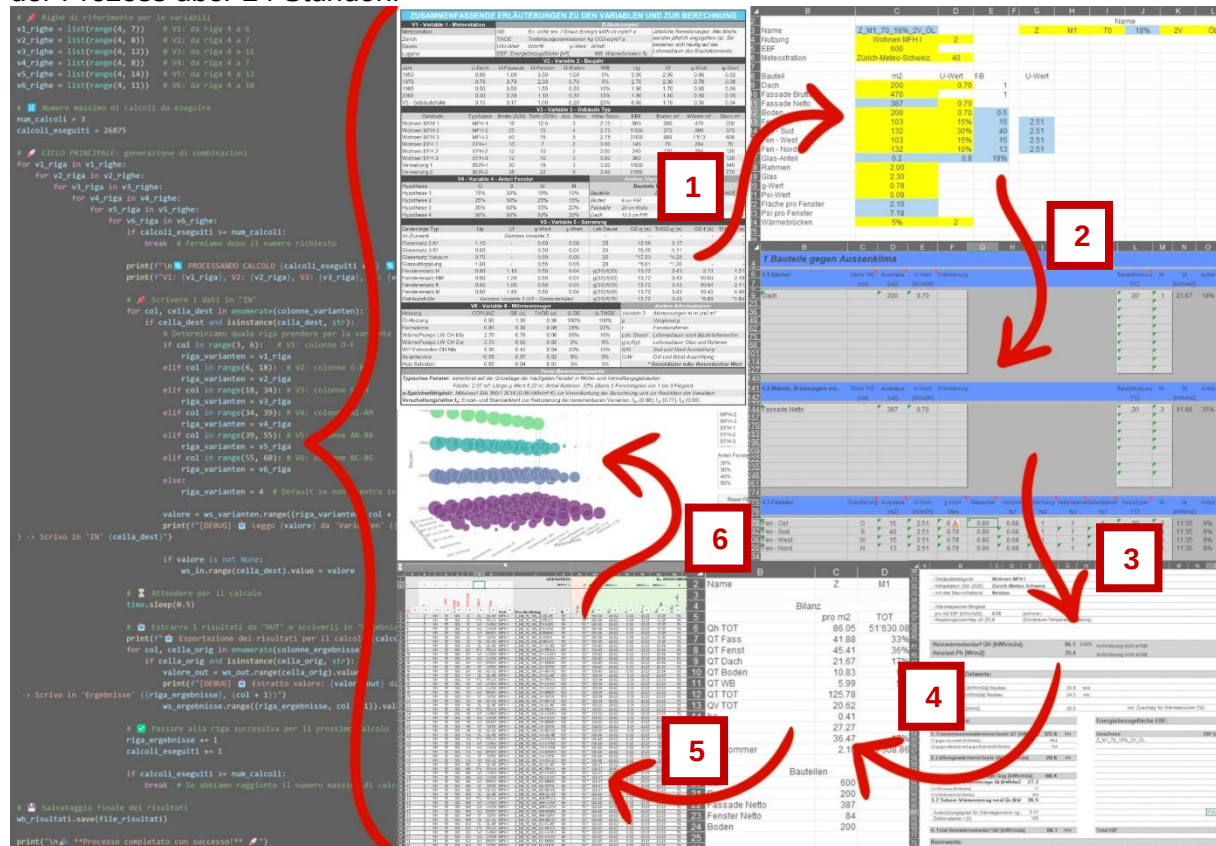


Abb. 74: Mappe des Ablaufs der Simulationen (A)

Die Analyse basiert auf der Veränderung des Energieverbrauchs jeder Variante. Diese kann anhand der verschiedenen Parameter interpoliert werden – zum Beispiel: Gebäudetyp EFH1 aus dem Jahr 1970, Standort Zürich, Fensterfläche gemäss Annahme 2. Für dieses Gebäude lässt sich der Energieverbrauch im Ist-Zustand bestimmen und mit jenem nach der Sanierung vergleichen (z.B. Glasersatz mit 2-IV). Aus diesem Vergleich ergibt sich das Δ des jährlichen Energiebedarfs, das mit den GE- und THGE-Daten des Wärmeerzeugers (z.B. Luft/Wasser-Wärmepumpe mit zertifiziertem Schweizer Strom) verknüpft wird. So kann die jährliche Emissionsreduktion durch die Sanierung berechnet werden.

Gleichzeitig werden die durch die Sanierung verursachten Emissionen ermittelt und auf die Lebensdauer des Bauteils verteilt. Der Vergleich dieser beiden Werte zeigt, ob die Sanierung ökologisch sinnvoll ist. Ist die durch den Wärmeerzeuger eingesparte Emission höher als die durch die Sanierung verursachte, fällt das Resultat positiv aus.

Die Analyse wird sowohl für die GE als auch für die THGE durchgeführt. Nur wenn beide Resultate positiv sind, gilt die Sanierung in dieser Betrachtung als ökologisch sinnvoll. Wenn auch nur ein Parameter negativ ausfällt, ist die Sanierung unter den gegebenen Kriterien ökologisch nicht ideal.

Die Emissionen des Ist-Zustands werden zwar berechnet, doch im Fokus der Analyse steht ausschliesslich der Differenz zwischen Energieverbrauch. Betrachtet werden nur Nutzenergie, GE und THGE – andere Umweltindikatoren wie Sommersmog (O_3), Versäuerung (SO_2) oder Eutrophierung bleiben unberücksichtigt.

7.5 Ergebnisse

Die neusten Normen und Richtlinien – SIA 390/1:2025 und MuKE 2025 – konzentrieren sich auf die Reduktion von Treibhausgasemissionen aufgrund des derzeitigen Klimawandels. Aus diesem Grund liegt auch der Fokus der folgenden Kapitel auf diesem Thema, während andere Bewertungen (wie GE und Gesamtbewertung) bewusst in den Hintergrund treten. Die diesbezüglichen Resultate sind jedoch ebenfalls im Anhang β und γ zu finden.

Basierend auf der in Kapitel 7.4 beschriebenen Analyse wurden durch die Berechnungsprozesse Prozentwerte ermittelt, die zeigen, wie sinnvoll eine bestimmte Massnahme in Bezug auf die THGE ist. Je höher der Prozentwert, desto sinnvoller ist die Massnahme ökologisch. Die Bewertung erfolgt auf Basis von Mittelwerten aller „Ja“ und „Nein“-Antworten und liefert so eine erste Orientierung über die ökologische Wirkung.

Um genauere Werte für konkrete Fallstudien zu erhalten, müssen die Variablen gezielt ausgewählt werden. Zu diesem Zweck steht unter <https://www.orsega.eu/mas-nachhaltiges-bauen-2025/> eine Excel-Datei mit vorgefertigten Pivot-Tabellen zum Download bereit, mit der sich die gewünschten Variablen individuell auswählen lassen. Zudem sind PDF-Analysen sowie ein erläuterndes Dokument verfügbar. Auch ein interaktives 3D-Diagramm (wie Abb. 75 und Abb. 76) kann aufgerufen werden, mit dem – je nach Baujahr, Heizsystem und gewählter Massnahme – weitere Variablen (einzeln oder kombiniert) ausgewählt und in Bezug auf die THGE bewertet werden können. Je grösser die Kugel, desto sinnvoller ist die Sanierung aus ökologischer Sicht. Beim Überfahren der Kugel mit dem Mauszeiger erscheinen die Werte des jeweiligen Falls. Nachfolgend sind einige Ansichten des interaktiven Diagramms abgebildet (alle Variablen aktiv). Daraus wird ersichtlich, wie stark der Sanierungseffekt vom Baujahr des Gebäudes und vom eingesetzten Heizsystem abhängt – da im Diagramm deutlich erkennbare Leerzonen entstehen, je mehr man sich dem aktuellen Jahr nähert.

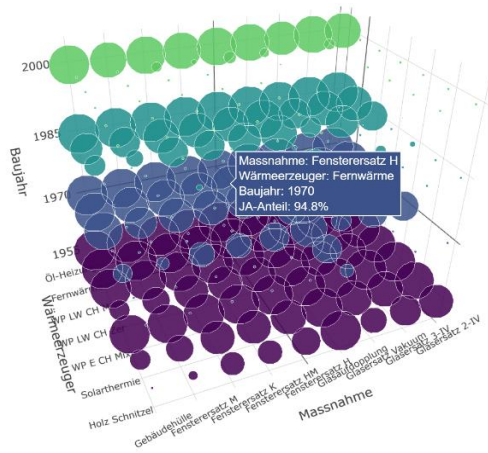


Abb. 75: Ansicht des interaktiven Diagramms (A)

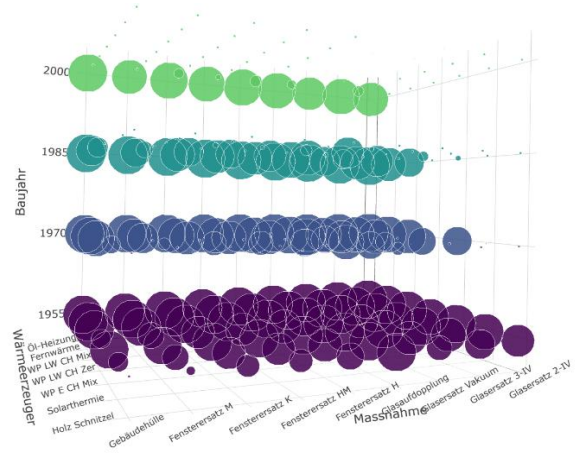


Abb. 76: Weitere Ansicht des interaktiven Diagramms (A)

Die folgenden Grafiken fassen die verschiedenen Variablen allgemeiner zusammen (Sanierungstyp oder Sanierung nach Heizungssystem). Die Analysen erfolgen in Kapitel 8.

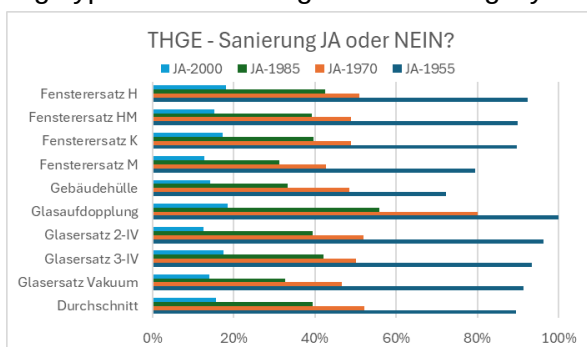


Abb. 77: Sanierung, ja/nein? Vergleich mit Massnahmen (A)

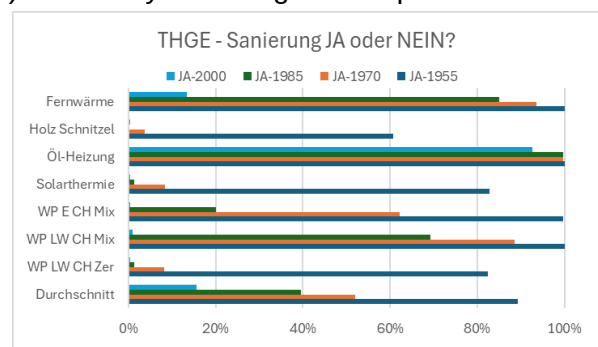


Abb. 78: Sanierung, ja/nein? Vergleich mit Wärmeerzeuger (A)

Tabelle 15 zeigt einen Auszug aus Anhang γ zur Bewertung der THGE. Diese Tabelle bildet den Mittelwert aller „Ja“ und „Nein“-Antworten in Abhängigkeit der gewählten Variablen. Überschreitet die Summe der „Ja“ 50%, wird das Feld grün – andernfalls rot – dargestellt, je nachdem ob die Sanierung als sinnvoll eingestuft wird oder nicht.

THGE BERECHNUNG: SANIERUNG JA ODER NEIN? UNTERTEILUNG WÄRMEERZEUGER								
Conteggio di Geb. Typ	Spaltenbeschriftungen							
Zeilenbeschriftungen	1955		1970		1985		2000	
	JA	NEIN	JA	NEIN	JA	NEIN	JA	NEIN
Fernwärme	100%	0%	94%	6%	85%	15%	13%	87%
Fensterersatz H	100%	0%	95%	5%	88%	13%	30%	70%
Fensterersatz HM	100%	0%	92%	8%	88%	13%	14%	86%
Fensterersatz K	100%	0%	93%	7%	88%	13%	25%	75%
Fensterersatz M	100%	0%	89%	11%	76%	24%	0%	100%
Gebäudehülle	100%	0%	98%	2%	79%	21%	0%	100%
Glasaufdopplung	100%	0%	98%	2%	96%	4%	23%	77%
Glasersatz 2-IV	100%	0%	96%	4%	88%	13%	0%	100%
Glasersatz 3-IV	100%	0%	93%	7%	88%	13%	27%	73%
Glasersatz Vakuum	100%	0%	91%	9%	77%	23%	2%	98%
Holz Schnitzel	61%	39%	4%	96%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz H	71%	29%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz HM	60%	40%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz K	59%	41%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz M	23%	77%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Gebäudehülle	6%	94%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glasaufdopplung	100%	0%	33%	67%	0%	100%	2%	98%
Glasersatz 2-IV	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glasersatz 3-IV	77%	23%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glasersatz Vakuum	65%	35%	1%	99%	0%	100%	2%	98%
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	93%	7%
Fensterersatz H	100%	0%	100%	0%	100%	0%	96%	4%
Fensterersatz HM	100%	0%	100%	0%	100%	0%	93%	7%
Fensterersatz K	100%	0%	100%	0%	100%	0%	96%	4%
Fensterersatz M	100%	0%	100%	0%	100%	0%	90%	10%
Gebäudehülle	100%	0%	100%	0%	100%	0%	99%	1%
Glasaufdopplung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	94%	6%
Glasersatz 2-IV	100%	0%	100%	0%	100%	0%	89%	11%
Glasersatz 3-IV	100%	0%	99%	1%	100%	0%	94%	6%
Glasersatz Vakuum	100%	0%	99%	1%	98%	2%	85%	15%
Solarthermie	83%	17%	8%	92%	1%	99%	0%	100%
Fensterersatz H	88%	13%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz HM	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz K	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz M	68%	32%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Gebäudehülle	51%	49%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glasaufdopplung	100%	0%	72%	28%	11%	89%	2%	98%
Glasersatz 2-IV	95%	5%	2%	98%	0%	100%	0%	100%
Glasersatz 3-IV	89%	11%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glasersatz Vakuum	88%	13%	1%	99%	0%	100%	2%	98%
WP E CH Mix	100%	0%	62%	38%	20%	80%	0%	100%
Fensterersatz H	100%	0%	72%	28%	29%	71%	0%	100%
Fensterersatz HM	100%	0%	63%	38%	11%	89%	0%	100%
Fensterersatz K	100%	0%	63%	38%	15%	85%	0%	100%
Fensterersatz M	98%	2%	31%	69%	0%	100%	0%	100%
Gebäudehülle	99%	1%	47%	53%	1%	99%	0%	100%
Glasaufdopplung	100%	0%	90%	10%	81%	19%	2%	98%
Glasersatz 2-IV	100%	0%	75%	25%	14%	86%	0%	100%
Glasersatz 3-IV	100%	0%	71%	29%	26%	74%	0%	100%
Glasersatz Vakuum	100%	0%	49%	51%	3%	97%	2%	98%
WP LW CH Mix	100%	0%	89%	11%	69%	31%	1%	99%
Fensterersatz H	100%	0%	90%	10%	81%	19%	1%	99%
Fensterersatz HM	100%	0%	88%	13%	75%	25%	0%	100%
Fensterersatz K	100%	0%	88%	13%	75%	25%	0%	100%
Fensterersatz M	100%	0%	79%	21%	43%	57%	0%	100%
Gebäudehülle	100%	0%	94%	6%	52%	48%	0%	100%
Glasaufdopplung	100%	0%	97%	3%	91%	9%	4%	96%
Glasersatz 2-IV	100%	0%	90%	10%	75%	25%	0%	100%
Glasersatz 3-IV	100%	0%	89%	11%	81%	19%	1%	99%
Glasersatz Vakuum	100%	0%	84%	16%	51%	49%	2%	98%
WP LW CH Zer	83%	17%	8%	92%	1%	99%	0%	100%
Fensterersatz H	88%	13%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz HM	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz K	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz M	68%	32%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Gebäudehülle	50%	50%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glasaufdopplung	100%	0%	71%	29%	11%	89%	2%	98%
Glasersatz 2-IV	94%	6%	1%	99%	0%	100%	0%	100%
Glasersatz 3-IV	88%	13%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glasersatz Vakuum	88%	13%	1%	99%	0%	100%	2%	98%
Gesamtergebnis	89%	11%	52%	48%	40%	60%	16%	84%

Ort

Davos

Lugano

Zürich

Typ Ant.Fenster

20%

30%

40%

50%

Geb. Typ

BÜR-1

BÜR-2

EFH-1

EFH-2

EFH-3

MFH-1

MFH-2

MFH-3

Massnahmen

Fensterersatz H

Fensterersatz HM

Fensterersatz K

Fensterersatz M

Gebäudehülle

Glasaufdopplung

Glasersatz 2-IV

Glasersatz 3-IV

Glasersatz Vakuum

Ist-Zustand

Tabelle 15: THGE-Analyse: Sanierung Ja oder Nein? Unterteilung Wärmeerzeuger – siehe Anhang γ (A)

8 Analyse und Vergleich

In diesem Kapitel wird eine übergeordnete Analyse der erzielten Ergebnisse vorgenommen. Bei der Auswertung der Gesamttabelle, der Pivot-Tabellen und des interaktiven Diagramms zeigt sich, dass bestimmte Massnahmen – ausschliesslich basierend auf den analysierten Daten – ökologisch nachteilig ausfallen können (siehe nächste Unterkapitel).

8.1 Analyse der Treibhausgasemissionen

Allgemeine Tendenzen

Je älter das Gebäude, desto wirksamer ist die Fenstersanierung in Bezug auf die Reduktion der Treibhausgasemissionen. Gebäude aus den Jahren 1955 und 1970 – meist ohne Dämmung und mit veralteten Fenstern – bieten das grösste ökologische Potenzial für Verbesserungen. Im Gegensatz dazu zeigen neuere Gebäude (insbesondere ab dem Jahr 2000) nur marginale oder gar keine Verbesserungen. In solchen Fällen lässt sich ein Eingriff meist nur durch andere Gründe rechtfertigen (Komfort, gesetzliche Vorgaben, Wirtschaftlichkeit).

Schwelleneffekt beim Ausgangsverbrauch

In den Berechnungen zeigt sich ein Referenzwert: Sobald der Heizwärmebedarf unter 100–120 [kWh/m²a] fällt, nimmt der ökologische Nutzen von Glas- oder Austauschmassnahmen deutlich ab. Effiziente Gebäude starten bereits mit niedrigem Verbrauch, sodass der zusätzliche Nutzen die THGE-Belastung durch neue Komponenten oft nicht mehr aufwiegt.

Wärmeerzeuger als Schlüsselfaktor

Die Art der Heizung ist der zentrale Treiber für die ökologische Wirksamkeit der Sanierung:

- Ölheizung: In allen Fällen – auch bei neueren Gebäuden – führt jede Sanierung zu Umweltvorteilen. Allerdings gleicht der Ersatz einzelner Bauteile ohne Wechsel des fossilen Energieträgers einem Pflaster auf einen löchrigen Sack.
Kurz gesagt: Der Systemwechsel auf erneuerbares Heizen ist zu bevorzugen.
- Fernwärme (CH-Mix): Sanierungen sind bis etwa Baujahr 1980 sinnvoll. Bei jüngeren Gebäuden muss im Einzelfall geprüft werden, da die Vorteile deutlich abnehmen.
- Solarthermie und Luft/Wasser-Wärmepumpen mit zertifiziertem Strom: Ab Baujahr 1970 ist die Sanierung oft ökologisch nicht mehr sinnvoll – die Sanierungsemissionen übersteigen häufig die Einsparungen im Betrieb.
- Erdwärmepumpen (COP 5.3): Die ökologische Wirksamkeit nimmt bereits ab Baujahr 1985 deutlich ab.

Die naheliegendste Schlussfolgerung aus dieser Analyse ist: Zuerst sollte der Energieträger dekarbonisiert werden – erst danach sollte die Gebäudehülle analysiert werden.

Sanierungsarten: Gewichtung der Massnahmen

Das Glasaufdopplung stellt eine leichte, aber wirksame Lösung dar – insbesondere in Kombination mit effizienten Heizsystemen. Trotz derzeitiger Kosten und geringer Verbreitung ist sie eine vielversprechende Option.

Glaserersatz 2-IV vs. 3-IV: In älteren Gebäuden ist 2-IV in der Regel leicht vorteilhafter als 3-IV. Dieser Unterschied verringert sich jedoch bei Gebäuden ab den 1980er-Jahren, wo 3-IV bessere Leistungen bei nur geringfügig höheren Umweltauswirkungen bietet. Insgesamt bleibt der Unterschied gering.

Ausschlaggebend wird die Wahl vor allem bei hohem Fensterflächenanteil: Hier zeigt sich die Überlegenheit von 3-IV deutlicher. In Gebäuden mit geringerer Fensterfläche wird der Unterschied vernachlässigbar (ca. bei 30% Fensteranteil).

Daher sollte die Wahl zwischen 2-IV und 3-IV nicht nur vom Baujahr abhängen, sondern auch vom Fensteranteil und dem konkreten Nutzungskontext.

Ist das Resultat zwischen beiden Varianten vergleichbar, sollten andere Kriterien den Ausschlag geben: Zustand der Rahmen, Innenkomfort, gestalterische Vorgaben, Lebensdauer und Wartung, Lebenszykluskosten oder auch andere Umweltbelastungen. Kurz: Allein der energetische Vorteil reicht oft nicht für eine fundierte Entscheidung aus.

Gebäudetyp und Standort

Grosse und kompakte Gebäude profitieren weniger von einer Fenstersanierung – der Gesamteffekt auf die Emissionsbilanz ist begrenzt oder in einigen Fällen sogar negativ, insbesondere wenn bereits effiziente Wärmeerzeuger vorhanden sind. Neben dem Gebäudetyp spielt oft auch der Anteil der Fensterfläche eine entscheidende Rolle.

Die Klimastation hat im Mittel nur geringen Einfluss, kann aber in spezifischen Fällen zu deutlichen Unterschieden führen. Beispielsweise zeigt sich, dass bei mittelalten Gebäuden in Lugano der Effekt einer Sanierung geringer ist als in kälteren Regionen wie Davos. Es lässt sich daraus schliessen, dass in wärmeren Gebieten eine Fenstersanierung typischerweise weniger ins Gewicht fällt, jedoch generell mit der Höhenlage ansteigt. Bei sehr alten oder sehr neuen Gebäuden hat der Standort dagegen tendenziell weniger Bedeutung.

Der Fall Vakuumglas

Das Vakuumglas (basierend auf nicht realen Ökobilanz-Daten) erweist sich fast durchgehend als schlechtere Option im Vergleich zu 2-IV, 3-IV oder Glasaufdopplung. Selbst bei identischen Emissionen wie bei einem 2-IV-Glas wäre der geringe Vorteil nicht ausreichend, um die Wahl zu rechtfertigen – insbesondere im Hinblick auf Kosten, Produktionsaufwand und Einbau. Die Berechnungen zeigen, dass Vakuumglas insbesondere in Bezug auf die THGE oft nachteilig ist – und selbst bei der GE (wenn auch nur leicht) negativ abschneidet. Aktuellere und Grundlagen-Daten sowie weitere vertiefende Analysen sind hier notwendig.

Massnahmenkombinationen: strategische Synergien

Die Analyse zeigt, dass die Kombination von Wärmeerzeugerersatz mit leichten Eingriffen an der Gebäudehülle – z.B. Glasaustausch – wirksamer ist als isolierte Einzelmassnahmen. Solche Synergien helfen, Wirksamkeitsschwellen zu überschreiten – auch bei effizienten Gebäuden – und übertriebene Eingriffe zu vermeiden, die nicht immer gerechtfertigt sind.

Lebensdauer und Wartung: der entscheidende Hebel

Eine längere Nutzungsdauer der Bauteile verbessert die THGE-Bilanz deutlich. Wird die Lebensdauer eines Glasersatzes von 25 auf 30 Jahre erhöht (also um 5 Jahre oder 20%), ergibt sich ein Vorteil von 5–10%, sofern die Massnahme ohnehin als sinnvoll gilt. In Fällen, in denen die Sanierung vorher als grenzwertig oder negativ galt, kann sich der Nutzen sogar um bis zu 20% verbessern. Grundsätzlich gilt: Ein längeres Nutzungsintervall macht Sanierungsmassnahmen ökologisch sinnvoller (bei erneuerbaren Wärmeerzeugern hat die Verlängerung der Lebensdauer einen noch grösseren Einfluss.).

Regelmässige Wartung ist deshalb entscheidend, um die Lebensdauer von Fenstern zu verlängern und die ökologische Wirksamkeit insgesamt zu maximieren. Weitere Details zu Materialien und deren spezifischen Emissionen finden sich in Tabelle 14, die die zentralen Bewertungsgrundlagen der ökologischen Auswirkungen einzelner Komponenten enthält.

Gebäudehülle: sinnvoll oder nicht?

Die Sanierung der Gebäudehülle stellt bei Gebäuden ab Baujahr 1985 mit erneuerbaren Wärmeträgern oft ein zweifelhaftes Thema dar. Ihre energetische Wirksamkeit hängt stark von der bestehenden Konstruktion (benötigter Aufwand) den eingesetzten Materialien und deren energetisch-ökologischen Auswirkungen ab. Für eine genauere Bewertung der Materialwahl und deren Effekte wird auf den unteren Bereich von Tabelle 14 verwiesen.

Abschliessende Zusammenfassung

Die Fenstersanierung ist aus ökologischer Sicht vor allem bei älteren Gebäuden mit veralteten Heizsystemen sinnvoll. Entscheidend sind der gewählte Wärmeerzeuger und die Fähigkeit, gezielte Massnahmen sinnvoll zu kombinieren. Radikale Eingriffe in bereits effizienten Gebäuden sollten vermieden werden. Stattdessen gilt es, leichte Massnahmen zu bevorzugen und auf eine lange Lebensdauer der Bauteile zu achten – das sind die Schlüssel zu einer nachhaltigen und wirksamen Sanierungsstrategie. Für die Bewertung einzelner Fallbeispiele wird auf das interaktive Diagramm und die Excel-Tabellen verwiesen.

8.2 Analyse der grauen Energie und Gesamtbewertung

Im Anhang γ sind auch Vergleiche zur grauen Energie sowie eine kombinierte Gesamtbewertung (basierend auf THGE und GE) dargestellt. Die in Abb. 79 und Abb. 80 gezeigten Grafiken – vergleichbar mit Abb. 77 und Abb. 78 – ermöglichen eine schnelle Einschätzung, in welchem Ausmass eine bestimmte Massnahme in Abhängigkeit vom Baujahr sinnvoll ist bzw. wie sie im Durchschnitt in Bezug auf den gewählten Wärmeerzeuger abschneidet.

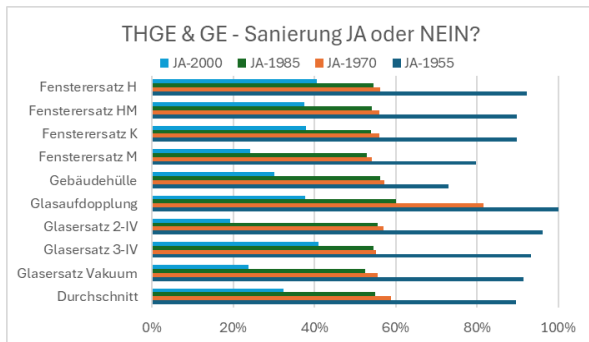


Abb. 79: Sanierung, ja/nein? Vergleicht mit Massnahmen (A)

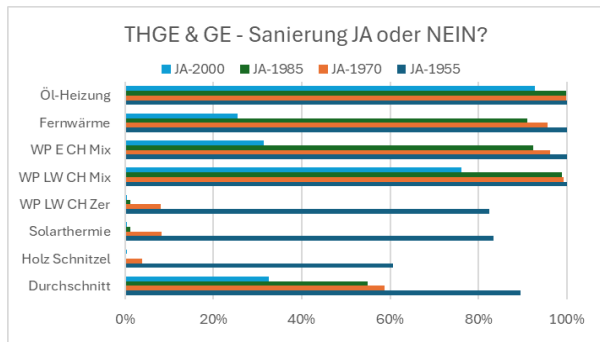


Abb. 80: Sanierung, ja/nein? Vergleicht mit Wärmeerzeuger (A)

In dieser Bewertung gilt eine Sanierung dann als „nicht sinnvoll“, wenn sowohl GE als auch THGE negativ ausfallen. Dieser Ansatz führt insgesamt zu einer tendenziell positiveren Einschätzung von Sanierungen im Vergleich zu einer Bewertung, die nur auf den THGE basiert. Das Grundprinzip bleibt jedoch gleich: Je neuer das Gebäude und je effizienter der eingesetzte Energieträger, desto geringer ist die ökologische Sinnhaftigkeit einer Sanierung. Es zeigen sich dabei klare allgemeine Tendenzen in Abhängigkeit der gewählten Sanierung. Für Grenzfälle – z.B. effizientere Wärmeerzeuger – wird eine detaillierte Einzelbewertung empfohlen. Insgesamt sind die Trends jedoch mit denen der THGE-Analyse vergleichbar.

8.3 Analyse des Energieverbrauchs

Die Analyse zeigt die Reduktion des Energieverbrauchs in Abhängigkeit von der gewählten Massnahme (Var. 5) und ist in den vier Grafiken dargestellt – jeweils bezogen auf die Bauperiode (Var. 2). Die Variablen 1, 3 und 4 haben ebenfalls einen grossen Einfluss, werden hier jedoch als gemittelte Werte dargestellt. Der Wärmeerzeuger (Var. 6) wurde ausgeschlossen, da er keinen Einfluss auf die Ergebnisse hatte. Dargestellt sind Minimal- und Maximalwerte sowie die 50. und 80. Perzentile, um die Bandbreite der Einflüsse sichtbar zu machen.

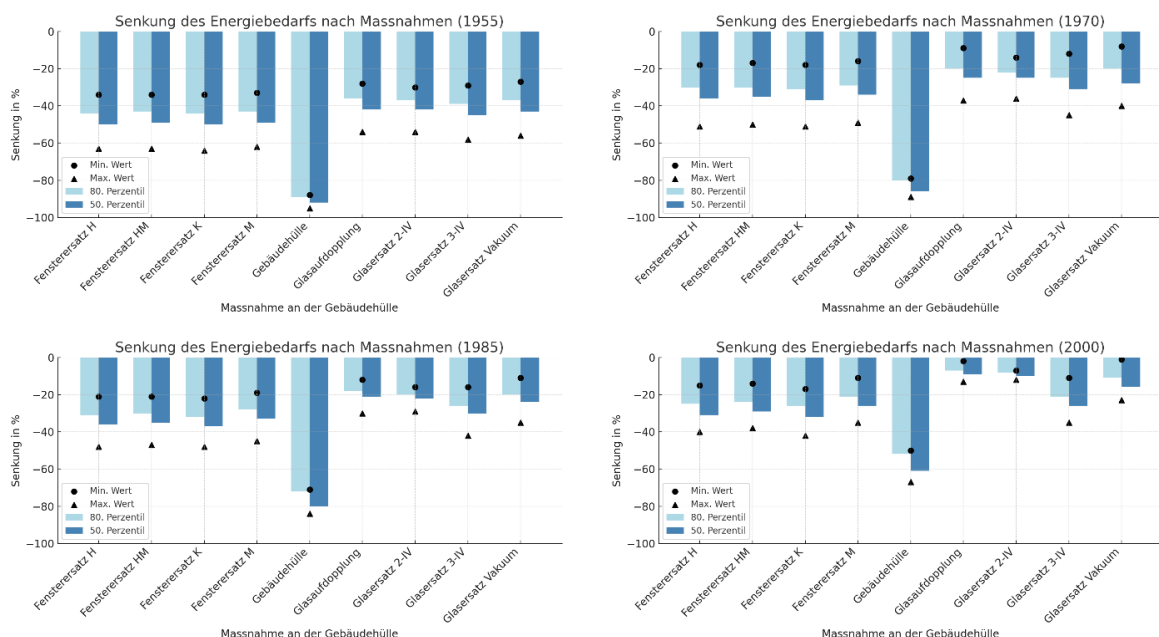


Abb. 81: Grafiken zur Reduktion des Energiebedarfs in Abhängigkeit von der Massnahme und dem Alter (A)

Wie zu erkennen ist, ist der Einfluss bestimmter Massnahmen bei älteren Gebäuden deutlich grösser als bei neueren. So kann ein Glasersatz bei einem Gebäude aus dem Jahr 1955 eine Einsparung von über 40–50% bringen, während dieser Effekt bei einem Gebäude aus den 2000er-Jahren nur noch etwa 10–20% beträgt. Auch der Fensterflächenanteil hat einen starken Einfluss: Die Grafiken in Abb. 81 zeigen Mittelwerte bei Anteilen von 20%, 30%, 40% und 50%. Bei Gebäuden mit geringem Fensteranteil nimmt der Einfluss der Massnahmen entsprechend ab, wie in Abb. 82 mit einem Fensteranteil von 20–30% dargestellt.

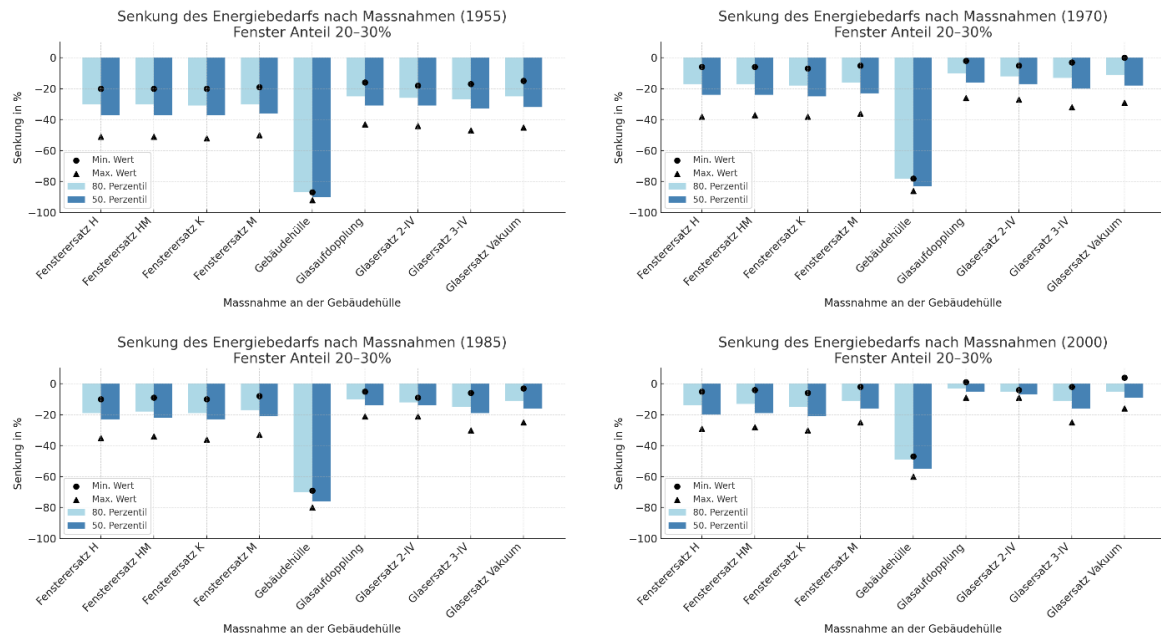


Abb. 82: Grafiken zur Reduktion des Energiebedarfs mit Fensteranteil 20-30% (A)

Je grösser der Fensteranteil, desto stärker wirkt sich der Einsatz von 3-IV im Vergleich zu 2-IV aus. Für Neubauten stellt sich daher die grundlegende Frage, welcher Glasanteil sinnvoll ist – um solare Gewinne zu ermöglichen, Wärmeverluste und Überhitzung zu minimieren, Tageslicht zu maximieren und gleichzeitig den Innenraumkomfort sicherzustellen.

8.4 Fazit

Diese Analyse hat zentrale Themen bestätigt und gezeigt, dass die ökologisch sinnvollste Lösung nicht immer eindeutig ist – sie hängt von vielen Faktoren ab, wie etwa der Glasart (2-IV oder 3-IV) oder dem eingesetzten Energieträger. In den meisten Fällen erwies sich der Austausch des Glases als vorteilhafter als der vollständige Ersatz desisterelements. Bei energetisch ineffizienten Gebäuden und/oder leistungsschwachen Wärmeerzeugern ist eine Fenstersanierung fast immer ökologisch sinnvoll. Anders sieht es bei Gebäuden mit erneuerbaren Energieträgern aus: Hier muss jedes Projekt individuell bewertet werden – allgemeingültige Regeln gibt es nicht. Bemerkenswert ist, dass bei Gebäuden der letzten 40 Jahre mit effizientem Heizsystem der Fensterersatz oft nicht die ökologisch optimale Lösung darstellt. Dies wirft wichtige Fragen auf, denn genau diese Gebäude werden gemäss aktueller Vorschriften bald saniert.

Die Reduktion der CO₂-Emissionen während der Nutzungsphase ist wichtig, reicht jedoch nicht aus: Einseitig auf einen einzelnen Parameter wie den energetischen Standard zu fokussieren, führt zu einem verzerrten Gesamtbild. Ein bewusster und sparsamer Umgang mit Ressourcen sowie ein umfassender Blick auf die gesamte Umweltbilanz sind unerlässlich. Die Pivot-Tabellen und das interaktive Diagramm bieten Denkanstösse für die Bewertung konkreter Projekte. Die Ergebnisse stellen Durchschnittswerte dar und sollten auch als solche interpretiert werden. Mit einem verfeinerten Berechnungsmodell und mehr Variablen könnte dies noch gezielter dargestellt werden. Auch wenn die Prozentwerte vielversprechend erscheinen, sind ein Umdenken sowie bessere Infrastrukturen und Erneuerungsprozesse erforderlich. Statt allgemeiner Lösungen braucht es projektspezifische Bewertungen – nur so lassen sich ökologische und nachhaltige Sanierungen wirklich umsetzen.

9 Interviews

Ein zentraler Bestandteil meiner MAS-Arbeit war die Durchführung von Interviews und Umfragen mit dem Ziel, die Sichtweisen verschiedener Fachleute der Branche besser zu verstehen. Insgesamt habe ich rund 18 Interviews und 6 Umfragen durchgeführt, von denen 16 Interviews und 2 Umfragen in Tabelle 16 zusammengefasst und im Anhang 5 vollständig aufgeführt sind.

REF	THEMA	DATUM	WO	NAME	FIRMA/FUNKTION
UM01	Entsorgung und Recycling von Fensterelemente.	11.01.25	Mail	Fabio Vismara	Vismara & Co. SA
		07.01.25	Mail	René Schneider	RESAG AG
		18.02.25	Mail	Stefan Häuselmann	AREC AG
IN01	Erfahrung in der Bauteilbörse Syphon AG und Wiederverwendung von Materialien.	08.01.25	Online	Karin Sidler	Bauteilbörse Syphon AG Loopalia GmbH
IN02	Bauphysikalische Aspekte und Wiederverwendung von Materialien.	15.01.25	Online	Harald Huth	3D Bauphysik Huth GmbH
IN03	Sanierungserfahrung und Wiederverwendung von Fenstern.	16.01.25	Liebefeld	Matthias Rothe	Eigentümer
IN04	Erfahrung mit Fensteraustausch und Sanierungsmassnahmen.	17.01.25	Bellinzona	Marco Pagliuca	Famarco
IN05	Recycling und Verwaltung von Baumaterialien.	22.01.25	Online	Yann Huet	Baustoff Kreislauf Schweiz
IN06	Erfahrungen und Lösungen zur Fensterertüchtigung.	24.01.25	Worb	Stefan Kilchenmann	Schreinerei Kilchenmann AG
IN07	Innovation und Material Wiederverwendung im Bauprojekt.	24.01.25	Online	Reto Largo	NEST - EMPA
IN08	Ertüchtigung von Fenstern in historischen Gebäuden und Innovation.	17.01.25	Online	Jochen Ganz	Quadra Ligna AG
		31.01.25	Basel	Stephan Hasler	
IN09	Verwaltung der Bauteilbörse Basel und Wiederverwendung von Baumaterialien.	31.01.25	Basel	Ayra Tice	Bauteilbörse Basel
IN10	Wiederverwendung und Kreislaufwirtschaft von Glas.	10.02.25	Online	Vlad-Alexandru Silvestru	ETH Zürich
IN11	Wiederverwendung von Fenstern und Kreislaufwirtschaft bei RE-WIN.	12.02.25	Online	Felix Dillmann	RE-WIN
IN12	Möglichkeiten der Ertüchtigung von Fenstern aus Sicht des Fensterbauers.	21.02.25	Ruswil	Ruedi von Moos	Haupt AG
IN13 / UM02	Nachhaltigkeit und Innovation in der Glasproduktion	27.02.25	Online	Nils Fiedler	Vandaglas AG
		05.03.25	Mail	Deborah Obrist	Glas Müller AG
IN14	Zukunft der Fenster: Innovation, Nachhaltigkeit und ReUse	10.03.25	Online	Urs Uehlinger	BFH
IN15	Glas- und Fenstertechnik im Wandel; Energieeffizienz, Kreislaufwirtschaft	13.03.25	Online	Urs Thomas Gerber	BFH
IN16	Zwischen Strategie und Realität: Perspektiven zur Fenstersanierung	28.03.25	Online	Martin Schmidt	AUE Kanton Bern

Tabelle 16: Übersicht Interviews und Umfragen - siehe Anhang 5 (A)

Ziel war es, Erfahrungen, Perspektiven und Meinungen in offenen Gesprächen zu erfahren, um die obenstehend analysierten Faktoren besser gewichten und einordnen zu können. Diese Phase war eine der spannendsten und zugleich herausforderndsten des gesamten Projekts und hat meinen anfänglichen Blickwinkel stark erweitert, indem sie viele meiner bisherigen Annahmen in Frage gestellt hat. Einige Überzeugungen wurden bestätigt, andere haben sich grundlegend verändert.

Ich bin allen Menschen dankbar, die sich Zeit genommen, ihr Wissen geteilt und mich in ihrem beruflichen Umfeld empfangen haben. Der Austausch mit erfahrenen Handwerkern, Technikern, Forschern und Fachpersonen unterschiedlichster Altersgruppen und Bereiche war für mich bereichernd, anregend und inspirierend. Aus den Interviews sind zahlreiche Denkanstösse hervorgegangen – einige davon werden auf den nächsten zwei Seiten als Zusammenfassung des gesammelten Materials vorgestellt.

Kultur und Wahrnehmung des Fensters

Die Ertüchtigung von Fenstern ist nicht nur eine Frage – doch leider wird der Ersatz oft automatisch bevorzugt: aus Gewohnheit und im Rahmen eines linearen Wirtschaftssystems. In der Schweiz wird der Erhalt als Ausnahme wahrgenommen, die begründet werden muss, statt als naheliegende Option. Öffentliche Förderungen, Baubewilligungsverfahren und geltende Normen verstärken diese Tendenz, da sie Grenzwerte vorgeben, die mit bestehenden, noch funktionierenden Elementen kaum erreichbar sind. Das Fenster wird zum Symbol eines verbreiteten Denkens: «Neu ist sauberer und effizienter». Diese Argumentation, kombiniert mit Marketing, fördert diese Sichtweise – und die Projekte passen sich an. Das Resultat? Der Ersatz wird belohnt, unabhängig von der Qualität des Bestehenden.

Der Mangel an Wissen bei Bauherrschaften und Fachpersonen verstärkt diesen Mechanismus. Nur wenige sind in der Lage, Alternativen zu bewerten und Potenziale zu erkennen. Ohne vergleichende Instrumente und gezielte Weiterbildung dominieren vorschnelle Entscheidungen, bei denen versteckte Kosten unberücksichtigt bleiben. Meist entscheidet der Bauherr – basierend auf eigenen Prioritäten wie Investitionskosten – und nur selten mit einer Verantwortung für nachhaltige Lösungen.

Grenzen des heutigen Systems

Das System belohnt den Erhalt nicht! Förderinstrumente und Richtlinien begünstigen den vollständigen Ersatz, auch wenn eine Sanierung technisch und ökologisch sinnvoller wäre. Die Nebenwirkungen sind bekannt: höherer Ressourcenverbrauch, Verlust von Bausubstanz, Entsorgungskosten und Materialien, die auf der Deponie landen. Das Ziel der Klimaneutralität, wie es von der Bundespolitik verfolgt wird, konzentriert sich immer noch fast ausschliesslich auf CO₂-Emissionen während der Nutzungsphase – die graue Energie bleibt weitgehend unberücksichtigt. Auch die Kantone, an Bundesvorgaben gebunden, haben Mühe, tragfähige Alternativen zu fördern. Technische Normen und komplexe Bewilligungsverfahren erschweren kreative Lösungen, da sie strenge Anforderungen stellen, die den Einsatz neuer Produkte oder standardisierter Systeme begünstigen. Fenster werden oft als isolierte Bauteile behandelt – nicht als Teil eines Ganzen. Die Qualität des Bestandes wird nicht gemessen und daher systematisch ignoriert.

Kreislaufwirtschaft und Wiederverwendung

ReUse existiert, ist aber oft unattraktiv! Es gibt Fenster mit guten Eigenschaften, die wiederverwendbar wären – mit ökologischen und wirtschaftlichen Vorteilen. Doch die Branche ist fragmentiert, kaum gefördert und leidet unter Platz- und Logistikmangel. Viele Bauteilbörsen mussten schliessen, weil sie wirtschaftlich nicht mithalten konnten. Die Normen verlangen Werte, die für neue Elemente gelten, und schliessen damit einen grossen Teil bestehender Fenster aus – unabhängig vom Energieträger – mit Fokus allein auf die Energieeffizienz, die nicht das einzige Entscheidungskriterium sein sollte. Kooperationen zwischen Rückbauunternehmen, Sammelstellen und ReUse-Plattformen sind selten, aber notwendig. Noch besser wären Institutionen oder Firmen, die diese Funktionen in einer Struktur vereinen könnten. Auch Fragen zu Verantwortung und Garantie erschweren die ReUse.

Es gibt jedoch Beispiele, die zeigen, dass wiederverwendete Fenster über 90% Emissionen einsparen und ein zweites Leben erhalten können. Auch das Glasrecycling hat grosses Potenzial, benötigt aber selektive Demontagen, passende Technologien und Zeit. Ein umfassender Blick ist nötig: Für ReUse muss von Anfang an geplant werden – mit lösbaren Verbindungen und schadstoffarmen, rückbaubaren Materialien. Nur so kann Wiederverwendung zur Regel werden statt zur Ausnahme. Technologien wie Automatisierung, Digitalisierung und KI könnten helfen, Prozesse effizienter, transparenter und günstiger zu machen.

Aktuelle Baupraxis

Die Realität auf der Baustelle steht nachhaltigen Lösungen oft im Weg! Zeit ist knapp, die Margen sind gering, der Markt unübersichtlich, und die Beteiligten handeln nach individuellen Bedürfnissen. Dadurch wird der schnellste Weg – der Ersatz – auch am häufigsten gewählt. Handwerker verfügen oft über Ideen und Kompetenzen für ökologischere und langlebigere Alternativen, doch es fehlen die Rahmenbedingungen, um diese einzubringen und umzusetzen. Das Wissen einzelner Handwerker ist wertvoll, wird jedoch durch wirtschaftliche Logiken an den Rand gedrängt. Auch Planungen leiden darunter: Lösungen werden gewählt, «weil man es immer so gemacht hat», und Techniker geraten in eine Kette aus verpflichtenden Entscheidungen und haben kaum Zeit, Alternativen zu prüfen – was zu konventionellen Abläufen führt.

Wartung, obwohl langfristig sinnvoll, wird oft vergessen oder aus den Budgetplanungen gestrichen – bei Fenstern wird sie selten umgesetzt. Modulares Design mit austauschbaren Teilen könnte diese Logik durchbrechen, aber dafür braucht es neue Geschäftsmodelle und Denkweisen.

Werkzeuge, Kennzahlen und Lebensdauer

Die heutigen Planungsinstrumente werden noch nicht optimal verwendet! Emissionsberechnungen, LCA, LCC und EPDs sind starke Werkzeuge, werden aber oft vereinfacht und nicht zielführend eingesetzt. Aspekte wie die tatsächliche Produktlebensdauer, Anpassungsfähigkeit oder Wartungsfreundlichkeit werden kaum berücksichtigt. Zudem sind diese Tools primär auf Neubauten ausgelegt und nur selten geeignet, den Bestand realistisch zu bewerten. Glas ist eines der kritischsten Elemente: Es macht den grössten Teil der Fläche aus, ist schwer wiedernutzbar/recyclbar (zumindest derzeit), seine Herstellung ist sehr energieintensiv, und es unterliegt einem unsichtbaren Alterungsprozess (z.B. Gasverlust). Dennoch bleibt es das zentrale Element jedes Fensters. Auch PVC ist problematisch: theoretisch 6–8-mal recycelbar, wird es in der Schweiz meist mit Holz zusammen verbrannt – sein wahres Potenzial bleibt ungenutzt. Es braucht mehr Aufmerksamkeit für die Materialanalyse – in der Herstellung, beim Ausbau und bei der Entsorgung bzw. Wiederverwertung. Und schliesslich fehlen gemeinsame Verständigung, Prozesse und Kennzahlen zur Bewertung der Qualität bestehender Fenster.

Fazit

Es braucht einen tiefgreifenden Paradigmenwechsel! Die Interviews zeigen klar: Wissen, technische Lösungen und alternative Ansätze sind grundsätzlich vorhanden. Was fehlt, ist ein organisatorischer Rahmen, der sie sichtbar macht, vervielfältigt und belohnt. Es gilt, kulturelle Prioritäten neu zu ordnen, neue Bewertungsmethoden zu entwickeln und Vertrauen zwischen den Akteuren zu schaffen – ob es nun um Fenster oder andere Bauelemente geht. Nur so können Ertüchtigung und Wiederverwertung zu verbreiteten, sinnvollen und nachhaltigen Praktiken werden. Je früher wir beginnen, desto besser – sonst wird der Einsatz, den wir und zukünftige Generationen leisten müssen, weiter steigen.



Abb. 83: Einige PVC-Fensterrahmen [q]

10 Gesamtvergleich

10.1 Bewertungsmatrix und Variantenanalyse

Die vorangegangenen Kapitel bilden die Grundlage für eine vergleichende Analyse unterschiedlicher Sanierungsansätze. Kapitel 1 definiert die Funktionen eines Fensters, seine Lebensdauer sowie relevante Komfort- und Normenanforderungen. Kapitel 2 untersucht bestehende Fensterkonstruktionen und bewertet deren physikalische und energetische Eigenschaften sowie mögliche Eingriffsoptionen. Kapitel 3 bietet einen Überblick über den Markt, die verfügbaren Systeme und deren energetische und ökologische Auswirkungen. Kapitel 4 befasst sich mit Sanierungsmassnahmen an Holzfenstern und deren ökologischer und energetischer Wirkung. Kapitel 5 behandelt die Nachnutzungsphase – ReUse, Recycling und heutige diesbezügliche Herausforderungen. Kapitel 6 fokussiert auf die wirtschaftliche Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus. Kapitel 7 vergleicht mithilfe von Simulationen die Energie- und Umweltauswirkungen unterschiedlicher Varianten. Kapitel 8 bringt die Stimmen von Fachpersonen ein und ergänzt das Bild mit praxisnahen Perspektiven.

Im Folgenden wird die bis anhin vorwiegend nachhaltigkeits-orientierte Analyse auf andere Aspekte ausgeweitet. Ziel dieses Vergleichs ist es nicht, eine universelle Lösung zu identifizieren. Vielmehr sollen Synergien und Grenzen der einzelnen Strategien aufgezeigt werden, um eine fundierte Entscheidungsgrundlage zu schaffen. Es ist offensichtlich, dass die optimale Lösung immer vom konkreten Kontext, den tatsächlichen Projekt und zahlreichen standortspezifischen Faktoren abhängt.

Um die Vergleichbarkeit möglichst transparent und systematisch zu gestalten, wurden acht Sanierungsoptionen entschieden und anhand von 19 Bewertungskriterien beurteilt, die ökologische, technische, wirtschaftliche, soziale und regulatorische Aspekte vereinen. Ergänzend wurde eine neunte Variante – der alleinige Austausch des Wärmeerzeugers – zu Vergleichszwecken mitaufgenommen.

Die Kriterien sind im Folgenden zusammengefasst und in Abb. 84 grafisch dargestellt.

Sanierungsoptionen:

- S1 - Allgemeine Wartung: Regelmässige Pflege ohne bauliche Eingriffe.
- S2 - Kleine Massnahme: Neue Dichtungen, Beschläge, Aussenbeschichtung.
- S3 - Kleine Massnahme Plus: S2 + zusätzlich Glasaufdopplung.
- S4 - Mittlere Massnahme: S2 + Austausch der Verglasung mit 2-IV oder 3-IV.
- S5 - Mittlere Massnahme Plus: S2 + Austausch der Verglasung mit Vakuumglas.
- S6 - Vollständige Ertüchtigung: S2 + S4 + Rahmenaufdopplung mit neuen Dichtungen.
- S7 - Fensterersatz Holz: Kompletter Ersatz durch neue Holzfenster.
- S8 - Fensterersatz Kunststoff: Kompletter Ersatz durch Kunststofffenster.
- S9 - Austausch des Wärmeerzeugers: Wechsel zu einem System mit erneuerbaren Energien.

Entscheidungsfaktoren:

- E1 - Architektur/Baukultur: Einfluss der Massnahme auf die architektonische Qualität und das Ortsbild.
- E2 - Nutzung: Beeinträchtigung der Nutzung oder Freiheit der Bewohnenden vor und nach Umsetzung.
- E3 - Einsatz & Aufwand: Einfachheit und Umsetzungsaufwand (Montage, Logistik, Bauzeit).
- E4 - Fachliche Anforderungen: Fachwissen oder Erfahrung für fachgerechte Ausführung erforderlich.
- E5 - Sanierungskosten: Direkte Investitionskosten für die jeweilige Massnahme.
- E6 - Lebenszykluskosten: Gesamtkosten über die Nutzungsdauer (inkl. Wartung, Ersatz usw.).
- E7 - Energieeinsparung: Reduktion des Energieverbrauchs im Betrieb dank der Massnahme.
- E8 - Energetischer Payback: Zeitspanne bis zur energetischen Amortisation der Massnahme.
- E9 - Fördermittel: Verfügbarkeit von Subventionen oder Förderprogrammen.
- E10 - Gesetzliche Vorschriften: Einhaltung der rechtlichen Rahmenbedingungen oder Ausnahmen.
- E11 - THGE & GE: Treibhausgasemissionen und graue Energie über den Lebenszyklus hinweg.
- E12 - Restlebensdauer: Verbleibende Lebensdauer der bestehenden Bauteile.
- E13 - Zukunftsfähigkeit: Möglichkeit für zukünftige Nachrüstungen oder Anpassungen.
- E14 - Entsorgungsaufwand: Abfallmenge und Aufwand für Entsorgung oder Recycling.
- E15 - Nutzerakzeptanz: Wahrgenommene Akzeptanz und Komfort aus Sicht der Nutzer.
- E16 - Immobilienwert: Einfluss der Massnahme auf den Marktwert der Liegenschaft.
- E17 - Systemintegration: Kompatibilität mit weiteren geplanten Massnahmen.
- E18 - Innenkomfort: Oberflächentemperatur, Schallschutz, Bauschäden usw.
- E19 - Nachhaltigkeit (gesamt): Gesamtbewertung aus ökologischer, ökonomischer und sozialer Sicht.

Die Bewertung erfolgt anhand einer Skala von Einteilungen zwischen ++ und --. Jeder Wertung ist ein Zahlenwert zugewiesen, von 0 (für --) bis 1 (für ++). Sechs der insgesamt 19 Kriterien – E6, E11, E12, E13, E14 und E19 – erhalten ein doppeltes Gewicht (angesichts ihrer grösseren Bedeutung nach Ansicht des Autors) gegenüber den anderen. Durch einen gewichteten (inklusive erhöhten Beträgen) Mittelwert wird für jede Sanierungsoption ein Gesamtwert ermittelt, der die Grundlage für die vergleichende Bewertung bildet. Die resultierende Grafik macht die Unterschiede zwischen den Sanierungsstrategien deutlich sichtbar.

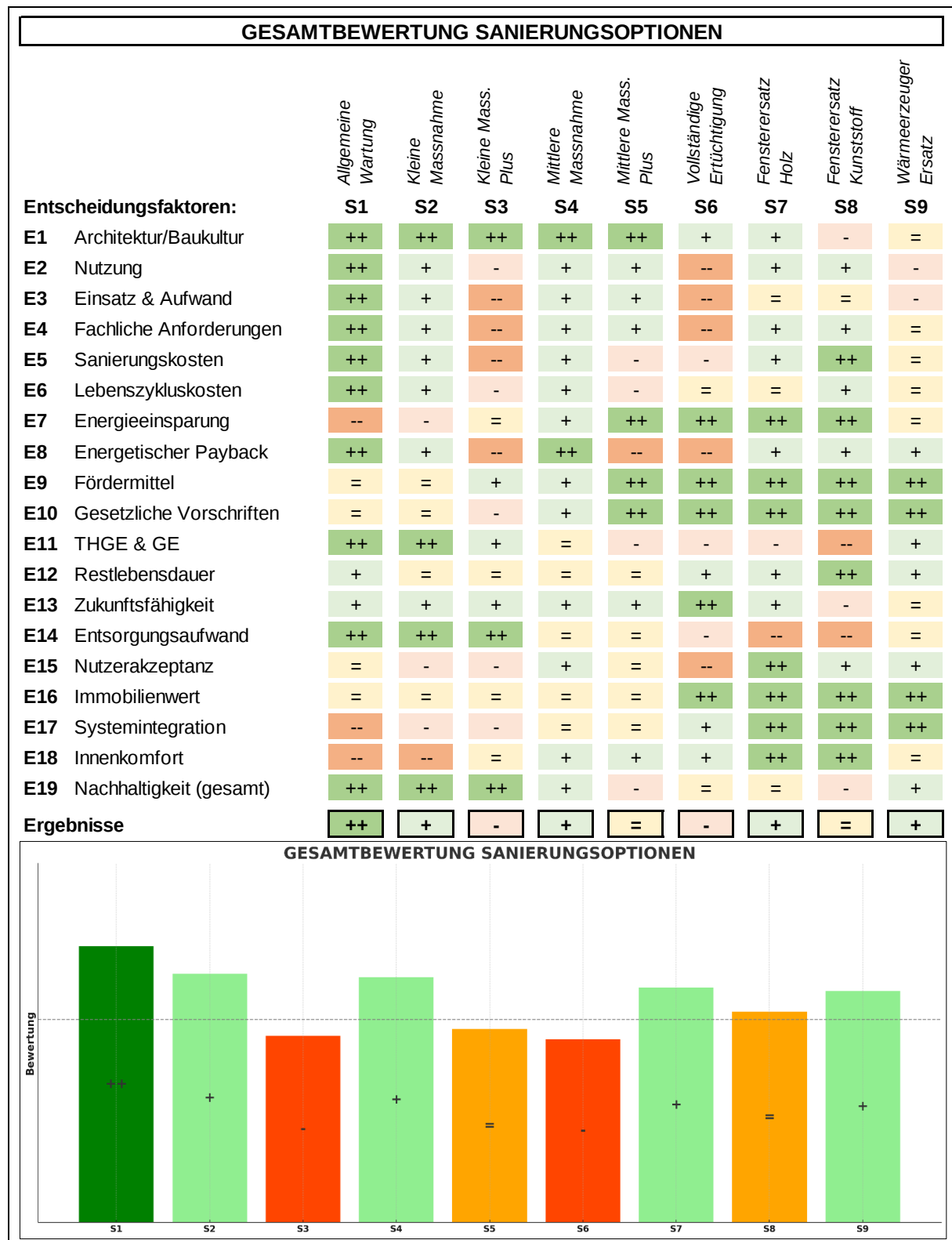


Abb. 84: Vergleichende Bewertung der Sanierungsstrategien nach 19 Entscheidungskriterien (A)

Diese Analyse stellt eine persönliche Einschätzung dar, basierend auf dem im Verlauf dieser Arbeit erworbenen Wissen. Die Bewertungen beruhen auf allgemeinen Mittelwerten, die aus dem Vergleich der unterschiedlichen Optionen abgeleitet wurden.

Grundsätzlich ist eine gute Wartung die empfehlenswerteste Lösung. In vielen Fällen gilt: Je geringer der Eingriff, desto besser fällt die Gesamtbewertung aus. Der Austausch der Verglasung und der vollständige Fensteraustausch (in Holz) zeigen – wie bereits in Kapitel 7 – auch hier vergleichbare Bewertungen. Beim Glasaustausch wurden sowohl 3-IV als auch 2-IV berücksichtigt, unter der Voraussetzung, dass der bestehende Rahmen das neue Glas hinsichtlich Dicke und Beschlägen aufnehmen kann. Aufgrund dessen fallen die Bewertungen mittelmässig aus, denn z. B. ein 2-IV ohne begleitende Massnahmen erfüllt in der Regel nicht die heutigen Energieanforderungen.

Sowohl die Glasaufdopplung als auch die Ertüchtigung mit Rahmenaufdopplung schneiden aktuell in der Kosten-Nutzen-Betrachtung am schlechtesten ab. Dies liegt vor allem am heutigen Stand der Technik, der sich künftig wohl weiterentwickeln wird. Der Austausch durch Vakuum oder Kunststofffenster stellt keine ideale, aber eine mittlere Lösung dar. Zwischen einem Vakuumglas und einem 2-IV erweist sich letztere Variante in der Regel als vorteilhafter. Es sollten grundsätzlich Lösungen bevorzugt werden, die auch zukünftig Flexibilität für weitere Verbesserungen ermöglichen.

Die Option S9 – Wärmeerzeuger Ersatz wurde aus informativen und vergleichenden Gründen einbezogen, obwohl einige Bewertungskriterien fehlen. Dennoch zeigt sich erneut, dass der Ersatz des Wärmeerzeugers – trotz teilweisen hohen Kostens – fast immer eine ökologisch sinnvolle Lösung darstellt.

10.2 Fazit – Fenster ersetzen oder ertüchtigen?

Ökologische Überlegungen

Die Analysen zeigen, dass weniger invasive Eingriffe oft den besten Kompromiss zwischen Umweltwirkung und Nutzen darstellen. Bei älteren Gebäuden führen Fenstersanierungen oder ein Austausch der Verglasung zu einer deutlichen Reduktion der Wärmeverluste und einer ausgeglichenen Umweltbilanz. Bei neueren Gebäuden hingegen können gewisse Eingriffe ökologische Nachteile verursachen.

Neue Fenster – insbesondere solche aus PVC, Holz/Alu, Aluminium oder Metall – verursachen hohe Emissionen bei der Herstellung. Holz weist laut KBOB (die allerdings die Module A4–A5 und D nicht berücksichtigt) die geringsten Umweltauswirkungen auf, erfordert aber im Vergleich eine intensivere Wartung. EPDs und ökologische Bewertungssysteme sind heute komplex, oft schwer vergleichbar und nicht immer konsistent. Entscheidend bleibt in jedem Fall die Lebensdauer, die von vielen Faktoren beeinflusst wird.

Aufgrund des hohen Flächenanteils ist das Glas der Hauptverursacher von Emissionen – eine Reduktion der Glasdicke könnte ein wirkungsvoller Ansatz sein. Wiederverwendung und Recycling von Glas bieten bislang ungenutztes Potenzial. Die Einhaltung von Normen und Vorgaben (SIGAB, SIA, MuKE usw.) kann technische Lösungen in manchen Fällen überdimensionieren. Heute wird das End-of-Life-Potenzial der Materialien unzureichend genutzt: Metalle werden aufgrund ihres Wertes korrekt recycelt, Flachglas landet häufig im Downcycling oder wird eingeschmolzen, PVC wird teils recycelt, teils zusammen mit Holz verbrannt. Selektiver Rückbau muss künftig zum verbindlichen Standard werden, und die Materialien müssen korrekt weiterbehandelt werden. Aktuelle Entsorgungskosten berücksichtigen externe Umwelt- und Gesellschaftskosten bislang nicht ausreichend.

Wirtschaftliche und technische Überlegungen

Ertüchtigungen sind häufig vorteilhaft, erfordern jedoch hohe Fachkompetenz und teils erhebliche Investitionen. Der Ersatzprozess hingegen ist etabliert und standardisiert – eine Montageteam kann in der Regel 6–8 Fenster pro Tag installieren.

Das energetische Payback hängt stark vom Kontext ab (Heizsystem, Verbrauch, Klimazone); häufig wird dieser erst gegen Ende der Lebensdauer erreicht.

Gute Wartung bleibt stets die einfachste und beste Lösung: Sie ist ökologisch nachhaltig, verlängert die Lebensdauer der Elemente und eröffnet spätere Eingriffsmöglichkeiten.

Vernachlässigte Wartung hingegen führt oft zwangsläufig zum Ersatz der Bauteile.

Massnahmen wie Dichtungserneuerung, Nachdichtung und Neuanstriche haben minimale ökologische Auswirkungen und Kosten, verbessern aber spürbar den Komfort und die Lebensdauer von Fensterbauteilen.

Der Austausch der Verglasung – sofern vom bestehenden Rahmen unterstützt – bietet oft das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis, erzeugt jedoch heute noch erhebliche Materialabfälle. Ob 2-IV oder 3-IV bevorzugt wird, hängt vom Einzelfall ab; Vakuumglas überzeugt derzeit hauptsächlich aus Betriebsenergetischer Sicht. Glasaufdopplung wäre theoretisch eine ideale Lösung, ist aktuell jedoch noch zu teuer.

Ein kompletter Fenstertausch bietet hohe energetische Leistungen, geht jedoch oft mit erheblichen Umweltbelastungen einher.

Die Rahmen spielen bislang eine untergeordnete Rolle, sollten aber künftig stärker in die ökologische Optimierung einbezogen werden. Eine Verlängerung der Lebensdauer eines Fensters ist sowohl ökologisch als auch wirtschaftlich immer vorteilhaft.

Gleichzeitig muss das Thema Garantien vertieft werden: Während neue Fenster gemäss SIA 118 Garantien von 2, 5 oder 10 Jahren erhalten, fehlen klare Standards für Ertüchtigungen. Bestehende Normen sind auf Neuprodukte ausgelegt – für Eingriffe im Bestand braucht es flexiblere Regeln, etwa unter Berücksichtigung von erneuerbarer Energie und Machbarkeit, um gleichzeitig Komfort und Bauschadenfreiheit zu gewährleisten. Schadstoffe (z. B. Blei, Asbest) erfordern spezialisierte Fachkräfte, was Vorabklärungen erfordert sowie Zeit und Kosten erhöht.

Der Markt und die aktuellen Förderinstrumente begünstigen den vollständigen Ersatz.

Die hohen Investitionskosten sowie der Mangel an qualifizierten Handwerkern behindern die Verbreitung von Ertüchtigungen. Gezielte Anreize – eventuell kombiniert mit neuen Entsorgungsabgaben – wären notwendig, um die Ertüchtigung attraktiver zu machen.

Praktische, kulturelle Aspekte und Schlussfolgerungen

Zustand, Qualität und Material des Rahmens sind entscheidende Kriterien.

Ein guter Holzrahmen kann einfach ertüchtigt werden; bei PVC oder Metall bleiben meist nur Glasersatzoptionen. Wo möglich, sollte der Erhalt des Rahmens aus Umwelt-, Denkmal-, architektonischen und kulturellen Gründen bevorzugt werden.

Wiederverwendung von Fenstern ist derzeit selten, bedingt durch Standardisierungslücken und fehlende Infrastrukturen. In Kombination mit einer strukturierten Prozess-Kette – Rückbau, Bauteilbörsen, Entsorgung – könnte hier jedoch ein vielversprechender Markt entstehen. Kantonale Förderungen könnten die Anfangskosten senken und diese Option wettbewerbsfähiger machen.

Ist ein Fenster in gutem Zustand und wird das Gebäude mit einem klimafreundlichen Heizsystem betrieben, sollte ein Ersatz möglichst lange hinausgezögert werden.

Ein Fenster sollte nur, als letzte Option ersetzt werden – um Ressourcen, Emissionen und Abfälle zu minimieren. Eine Mentalitätsänderung weg vom «Neu ist besser»-Prinzip ist dringend erforderlich. Die nächsten Sanierungsobjekte sind Gebäude von etwa 30 Jahren – oft mit leicht ertüchtig baren Rahmen. Um darauf vorbereitet zu sein, braucht es sofort Investitionen in Sensibilisierung, Weiterbildung und Prozess-Infrastruktur.

11.1 Mindmap – Fenstersanierung

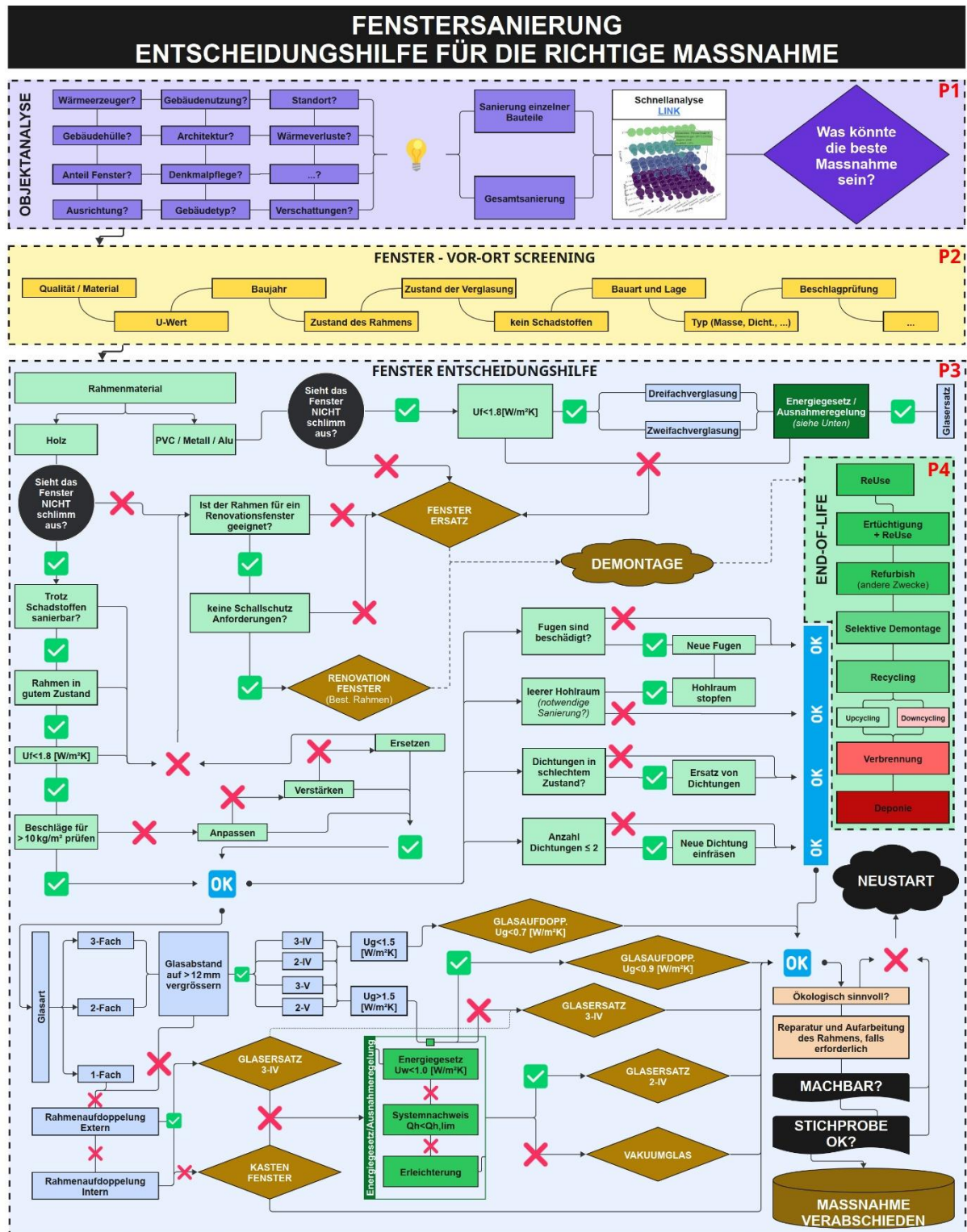


Abb. 85: Entscheidungspfad für Fenstersanierungsmassnahmen - Anhang ε (A)

Abb. 85 (auch im Anhang ε einsehbar) zeigt eine Mindmap zum Entscheidungsprozess bei der Fenstersanierung, basierend auf den in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnissen und Erfahrungen der letzten Monate. Die Mindmap ist in vier Phasen (P1-P4) gegliedert:

Phase 1 bezieht sich auf das Gebäude als Gesamtsystem, wobei alle möglichen Massnahmen berücksichtigt werden. Hier wird das Fenster nicht als Einzelkomponente, sondern als Teil der Gebäudehülle verstanden. In dieser Phase unterstützen die Analyse aus Kapitel 8 sowie das interaktive Diagramm (LINK) die Bestimmung sinnvoller Massnahmen.

Phase 2 fasst die Vor-Ort-Analyse des Fensters zusammen; detaillierte Informationen finden sich in Kapitel 6.2.5 des Dokuments «FenSanReuse» der FHNW [2].

Phase 3 dient der Auswahl der praktisch sinnvollsten Lösung. In einem Ausschluss- und Bestätigungsprozess werden geeignete Massnahmen identifiziert und im Hinblick auf ökologische und wirtschaftliche Aspekte bewertet. Eine Stichprobe soll die Umsetzbarkeit der gewählten Massnahme prüfen.

Parallel dazu wird auch der END-OF-LIFE-Zyklus abgebildet, um die ökologischen Konsequenzen jeder Entscheidung sichtbar zu machen.

Die Mindmap beinhaltet sowohl die ökologisch sinnvollste Lösung – Glasaufdopplung – samt möglicher Erleichterungen, als auch standardisierte Ansätze oder speziellere Varianten wie z. B. Kastenfenster.

Fünf operative Handlungsempfehlungen für jedes Projekt:

1. Immer mit der minimalinvasiven Lösung beginnen.
2. Den Kontext analysieren und Synergien mit anderen Massnahmen bewerten (Gebäudetyp, Ort, Ausrichtung, Heizsystem, Zustand der Hülle, vorgesehene Nutzung usw.).
3. Kosten-Nutzen-Verhältnis ganzheitlich betrachten: ökonomisch, energetisch, ökologisch und ästhetisch.
4. Schadstoffe, Schallschutz, Luftqualität, lokale Vorschriften und mögliche Ausnahmen im Voraus prüfen.
5. ReUse-Potenzial prüfen – sowohl als Quellobjekt (durch demontierbare Elemente) als auch als Zielobjekt, mit wiederverwendbaren und recycelbaren Komponenten, bevorzugt aus lokaler Verfügbarkeit und kurzen Lieferketten.

11.2 Verbesserungen für die Zukunft

Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen ergeben sich klare Verbesserungsvorschläge für die Zukunft:

Zunächst muss die Kultur der Wartung und Wiederverwendung gefördert werden – durch Ausbildung qualifizierter Fachkräfte, die Etablierung allgemeingültiger Prozesse, sowie den Aufbau nationaler Gebrauchtmärkte und Plattformen (z. B. Bauteilbörsen oder kantonale RE-USE-Höfe). Qualitätssicherung sollte durch anerkannte Zertifizierungen und die Einführung von digitalen Materialpässen erfolgen.

Zudem braucht es gezielte Förderungen, um Einstiegskosten zu senken (z. B. für Lager, Schulung, Forschung & Entwicklung). Zirkuläres Denken muss in die strategischen Konzepte auf kantonaler und Bundesebene integriert werden – z. B. durch Mindestquoten für ReUse in öffentlichen Ausschreibungen.

Ertüchtigungen sollten durch gezielte Anreize attraktiver gemacht werden (z. B. Fördergelder von 150 CHF/m² für Glasaufdopplung) und durch Erleichterungen unterstützt werden, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind (z.B. Nutzung eines Heizsystems mit erneuerbarer Energie). Die vorgeschlagenen Lösungen müssen wirtschaftlich konkurrenzfähig sein, z. B. durch Anpassung von Entsorgungsgebühren. Zugleich sollten keine Anreize gewährt werden, wenn ein Sanierungskonzept ökologisch kontraproduktiv ist.

Neue Fenster – Glas wie Rahmen – sollten einen möglichst hohen Anteil an Recyclingmaterial enthalten und auf Langlebigkeit ausgelegt sein. Die Entwicklung reversibler, demontierbarer Bauteile ohne permanente Klebstoffe ist essenziell. Wartung muss als anerkannter technischer Standard etabliert werden – und darf keine freiwillige Option mehr sein.

12 Schlussfolgerungen und Danksagungen

12.1 Schlussfolgerung

Ich beende diesen Master müde und glücklich, enttäuscht und stolz zugleich. Müde, weil es eine intensive Reise war – vielleicht noch anspruchsvoller, als ich es mir am Anfang vorgestellt hatte. Glücklich, weil ich unglaublich viel gelernt habe und sich mein kritisches Denken in den letzten Monaten deutlich weiterentwickelt hat. Enttäuscht, weil ich gerne noch weitere Themen vertieft, zusätzliche Analysen durchgeführt und das Ganze noch fundierter gestaltet hätte – aber die Zeit war begrenzt. Stolz, weil ich die gesetzten Ziele erreicht und teilweise sogar übertroffen habe.

Einige Ergebnisse meiner Analysen haben mich überrascht und nicht meinen ursprünglichen Annahmen entsprochen – genau das hat meinen Lernprozess jedoch bereichert.

Im Rahmen dieser Arbeit hatte ich die Möglichkeit, interessante Menschen mit verschiedensten Hintergründen kennenzulernen und zu interviewen. Einige dieser Gespräche haben – teils unbeabsichtigt – meine Überzeugungen verändert und einen wertvollen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet. Diese Forschung hat mir zudem geholfen, über mein eigenes Verhalten, meine berufliche Tätigkeit und meinen Lebensstil nachzudenken. Einige Aspekte möchte ich in Zukunft ändern – dafür bin ich sehr dankbar. Trotz der Anstrengung, der schlaflosen Nächte und vielleicht auch ein paar verlorener Haare bin ich sehr froh, diese Arbeit gemacht und dieses Kapitel abgeschlossen zu haben. Jetzt ist es Zeit, neue Ziele zu definieren.

12.2 Danksagungen

Ohne die Unterstützung vieler Menschen – manchmal ganz unbeabsichtigt – wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Ich danke meinen Freunden und Bekannten, die mich unterstützt haben – und die es ausgehalten haben, über längere Zeit meine Gespräche über Fenster, Ökologie und Emissionen mitanzuhören. Danke an meine Familie, die stets an meiner Seite war, und ganz besonders an meine Grossmutter, die den Verlauf dieser Arbeit mit Interesse verfolgt hat.

Ein besonderer Dank geht an Pius – nicht nur ein grossartiger Kollege, sondern auch ein geduldiger Korrekturleser, der sich die Zeit genommen hat, mein "Papiermonster" sprachlich zu verbessern. Ich danke auch den Dozenten Gregor und Roger, die sich Zeit genommen haben, meine Fragen zu beantworten, meine Arbeit mit mir zu diskutieren und mir Orientierung zu geben. Ein grosses Dankeschön an alle, die diese Arbeit durch ihre Teilnahme an den Interviews unterstützt haben. Einige haben sich nicht nur interviewen lassen, sondern mir zusätzlich Informationen zur Verfügung gestellt – etwa Kostenangaben, Dokumente, Artikel, Podcasts, Datenblätter oder Hinweise, die meine Arbeit substanziell bereichert haben.

Danke auch an alle, die sich die Mühe gemacht haben, meine oft verstreuten Fragen zu beantworten. Dadurch konnte ich wichtige Lücken schliessen. Und nicht zuletzt entschuldige ich mich bei jenen Personen und Firmen, denen ich vielleicht 50 E-Mails geschickt habe, um eine Antwort zu bekommen.

Ich wünsche mir, dass diese Arbeit einen kleinen Beitrag leistet – zu einem bewussteren Umgang mit unseren Ressourcen. Nur wenn wir gemeinsam arbeiten und unser Wissen teilen, können wir eine echte Kreislaufwirtschaft oder Doughnut-Ökonomie erreichen.

Ich hoffe, dass das Teilen von Wissen und Technologien mit ökologischem Potenzial künftig selbstverständlicher wird – damit nachhaltige Lösungen entstehen, die nicht nur auf den Webseiten einzelner Hersteller glänzen, sondern real anwendbar werden.

Der Bund, die Kantone und die Gemeinden müssen diesen Weg aktiv unterstützen – mit engagierten Fachpersonen und gezielter Förderung. Es braucht Investitionen – und zwar jetzt – um diesen Wandel voranzutreiben.

Ich wünsche allen einen wunderbaren Tag!

III Abbildungsverzeichnis

ABB. 1: FENSTER IN DER DEPONIE – IN05 YANN HUET (VOM AUTOR BEARBEITET).....	1
ABB. 2: FILMSZENE: REAR WINDOW - 1954 [A]	5
ABB. 3: FILMSZENE: FORREST GUMP - 1994 [B].....	5
ABB. 4: FENSTER: IHR ANTEIL AN DER GE [98]	5
ABB. 5: FENSTER: IHR ANTEIL AN DER THGE [98].....	5
ABB. 6: BELASTUNGEN UND EINWIRKUNGEN AUF FENSTER [11]	6
ABB. 7: LUIS KAHN; FISCHER HOUSE [C].....	6
ABB. 8: KENNWERTE VON FENSTERN [A].....	7
ABB. 9: BAUPHYSIKALISCHE EBENEN (A).....	7
ABB. 10: EINBAU-STANDORTE [1]	7
ABB. 11: EINFLUSS DER GAS ART AUF DEN U-WERT [1].....	8
ABB. 12: F_{RSI} -WERT [11].....	8
ABB. 13: SIA 181GESAMTENERGIEDURCHLASSGRAD G_{TOT} GEMÄSS KAP. 5.2.4 [20]	9
ABB. 14: SIA 181 MAX. U-WERT MIT BAUTEILHÖHE [20]	9
ABB. 15: TAUWASSER- UND SCHIMMELPILZBILDUNG IN ABHÄNGIGKEIT VON TEMPERATUR UND R.F. [11]	10
ABB. 16: BAUSCHADEN (A).....	10
ABB. 17: INNENLEIBUNG THERMOGRAPHIE (A)	10
ABB. 18: ISOTHERMEN & TEMPERATUREN [11]	10
ABB. 19: LUKEN FENSTER [1].....	11
ABB. 20: FENSTERBESCHLÄGE [1]	11
ABB. 21: VERGLASUNG 16 JH. [1].....	11
ABB. 22: KASTENFENSTER [1].....	11
ABB. 23: WÄRMEVERLUSTE VON FENSTERN [1]	12
ABB. 24: U_F -WERTE FÜR FENSTERRAHMEN IM LAUFE DER ZEIT [1; 2; 13; 14]; (A).....	12
ABB. 25: BESCHLÄGE FRÜHER UND HEUTE [1; O]; (A)	13
ABB. 26: BEISPIELE FÜR ABSTANDSHALTER ZWISCHEN DEN SCHEIBEN UND Ψ -WERTE [1]	13
ABB. 27: ZEITLICHE VERÄNDERUNG DER U_G -WERTE UND G -WERTE FÜR GLÄSER [1; 2; 13; 14]; (A)	14
ABB. 28: U-WERT-BEEINFLUSSUNG IN % DURCH GASGEHALT IM ZWISCHENRAUM (A)	15
ABB. 29: BEISPIEL U-WERT-MESSGERÄT [107].....	15
ABB. 30: SPARKLIKE HANDHELD 3.0 [106]	15
ABB. 31: PORTABLE 2.1 [106].....	15
ABB. 32: ASBESTHALTIGE KITTFUGE (A)	16
ABB. 33: ANTEIL RAHMENMATERIAL NEUBAU [89]; (A)	17
ABB. 34: ANTEIL RAHMENMATERIAL UMBAU [89]; (A)	17
ABB. 35: TONNEN IMPORTIERTES MATERIAL FÜR FENSTER UND TÜREN (2012-2024) [89]; (A).....	17
ABB. 36: REPRÄSENTATIVES BILD DER VERSCHIEDENEN ARTEN VON FENSTERRAHMENMATERIALIEN [1].....	18
ABB. 37: EINIGE DETAILS EINES VAKUUMGLASES, VON LINKS NACH RECHTS: QUERSCHNITT, FOTOGRAFIE UND THERMISCHE BEWERTUNG. [1]	19
ABB. 38: ELEKTROCHROMES GLAS [1].....	19
ABB. 39: BETRIEB EINES ELEKTROCHROMES (EC) GLAS [1].....	19
ABB. 40: EINFLUSS DER ÖFFNUNGSART UND -WEITE AUF DIE LÜFTUNG [90]	20
ABB. 41: AUTOMATISCHE FLÜGELÖFFNUNG [K].....	20
ABB. 42: EINFACHE BELÜFTUNG [L]	20
ABB. 43: SIEGENIA - AEROMAT VT [M]	20
ABB. 44: RENSON – ENDURA TWIST [N; R]; (A).....	20
ABB. 45: GRAFIKEN BASIEREND AUF DEN KBOB-DATEN: PRODUKTIONSENERGIE; GE UND THGE [75]; (A)	21
ABB. 46: EPD-MODULE UND CRADLE-TO-... [76]; (A)	22
ABB. 47: EPD-VERGLEICH [76, 77, 78, 79]; (A)	22
ABB. 48: SAMMLUNG ALLER MÖGLICHEN FENSTER ERTÜCHTIGUNGEN (A).....	23
ABB. 49: RAHMENAUFDOPELUNG [30].....	24
ABB. 50: KREISLAUFWIRTSCHAFT VOM BAFU [77]	25
ABB. 51: BILD VON SIA 2032 UND VERÄNDERT [27]; (A)	25
ABB. 52: KREISLAUFWIRTSCHAFT [3]	25
ABB. 53: LINEARE WIRTSCHAFT [3]	25
ABB. 54: UM01 ANTEIL MATERIAL (A)	26
ABB. 55: KONTROLLE UND UNTERHALT [87]	26

ABB. 56: FENSTER OHNE UNTERHALT (A)	26
ABB. 57: UNTERHALT GWP UND SMOG-SZENARIEN [57]	27
ABB. 58: DER RICHTIGE ZYKLUS [60]	27
ABB. 59: KARTE FENSTERPRODUZENTEN (FFF) [3].....	28
ABB. 60: KARTE ABBRUCHUNTERNEHMEN (FFF) [3].....	28
ABB. 61: FLÄCHEN UND GLAS [62]	28
ABB. 62: REINIGUNG [62].....	28
ABB. 63: DRUCKFESTIGKEITSPRÜFUNG PRO FLÄCHE [62]	28
ABB. 64: REINIGUNG [62].....	29
ABB. 65: LEBENSZYKLUS DES GLASES MIT RECYCLING UND SELEKTIVER ABRISS [60]	29
ABB. 66: REUSE FÜR EINEN ANDEREN ZWECK [3].....	29
ABB. 67: ERTÜCHTIGUNG MIT EINEM ROBOTER – IN08 (A)	29
ABB. 68: KONZEPT REUSE + ERTÜCHTIGUNG (A)	30
ABB. 69: FENSTERTYPEN FÜR WIRTSCHAFTLICHE BERECHNUNGEN (A).....	32
ABB. 70: KOSTENANALYSE INVESTITION NEUE FENSTER (A)	32
ABB. 71: BEISPIEL FÜR DICHUNG EINFÄSEN - IN08 (A)	33
ABB. 72: AUSWAHL DER MASSNAHMEN NACH ABB. 48 (A)	35
ABB. 73: ERKLÄRENDES SCHEMA DER FUNKTIONSWEISE DER BERECHNUNGEN (A)	36
ABB. 74: MAPPE DES ABLAUFES DER SIMULATIONEN (A)	38
ABB. 75: ANSICHT DES INTERAKTIVEN DIAGRAMMS (A)	39
ABB. 76: WEITERE ANSICHT DES INTERAKTIVEN DIAGRAMMS (A)	39
ABB. 77: SANIERUNG, JA/NEIN? VERGLEICHT MIT MASSNAHMEN (A)	39
ABB. 78: SANIERUNG, JA/NEIN? VERGLEICH MIT WÄRMEERZEUGER (A).....	39
ABB. 79: SANIERUNG, JA/NEIN? VERGLEICHT MIT MASSNAHMEN (A)	43
ABB. 80: SANIERUNG, JA/NEIN? VERGLEICHT MIT WÄRMERZEUGER (A).....	43
ABB. 81: GRAFIKEN ZUR REDUKTION DES ENERGIEBEDARFS IN ABHÄNGIGKEIT VON DER MASSNAHME UND DEM ALTER (A)	43
ABB. 82: GRAFIKEN ZUR REDUKTION DES ENERGIEBEDARFS MIT FENSTERANTEIL 20-30% (A).....	44
ABB. 83: EINIGE PVC-FENSTERRAHMEN [Q]	47
ABB. 84: VERGLEICHENDE BEWERTUNG DER SANIERUNGSSTRATEGIEN NACH 19 ENTSCHEIDUNGSKRITERIEN (A)	49
ABB. 85: ENTSCHEIDUNGSPFAD FÜR FENSTERSANIERUNGSMASSNAHMEN - ANHANG E (A)	52

IV Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: NORMALE UND MÖGLICHE LEBENSDAUER VON FENSTERN UND BAUTEILELEMENTEN [1; 71; 72; 73; 74]; (AUTOR, AB JETZT ABK. (A))	7
TABELLE 2: OBERFLÄCHENTEMPERATUR (A)	8
TABELLE 3: VERGLASUNGSGRÖSSE UND R'_{w} (A)	8
TABELLE 4: U-WERT GRENZWERTE GEMÄSS NORMEN UND ENERGIEVORSCHRIFTEN [19; 20]	9
TABELLE 5: ZUSAMMENFASSUNG U_F -WERTE FÜR FENSTERRAHMEN IM LAUFE DER ZEIT [1; 2; 13; 14]; (A)	13
TABELLE 6: ZUSAMMENFASSUNG DER U_G -WERTE UND G-WERTE FÜR GLÄSER UND Ψ -WERTE VON ABSTANDHALTERN [1; 2; 13; 14]; (A)	14
TABELLE 7: EINFLUSS AUF DEN U-WERT (A)	15
TABELLE 8: TABELLE DER MATERIALIEN FÜR RAHMEN UND IHRE U_F -WERTE - TYPISCHERWEISE VERWENDETER WERT (A)	18
TABELLE 9: ERKLÄRUNGEN MÖGLICHER FENSTER-ERTÜCHTIGUNGEN GESAMMELT IN ABB. 48 (A)	23
TABELLE 10: ERTÜCHTIGUNGSVARIANTEN BESTIMMUNG ENERGIEKENNWERTE (A)	24
TABELLE 11: KOSTENANALYSE INVESTITION ERTÜCHTIGUNG (A)	33
TABELLE 12: ERTÜCHTIGUNG RICHTPREISE (A)	33
TABELLE 13: ÜBERSICHT DER WARTUNGS- UND INSTANDHALTUNGSKOSTEN FÜR HOLZ FENSTER ÜBER 30 JAHRE LEBENSDAUER (A)	34
TABELLE 14: ERLÄUTERnde TABELLE DER VARIABLEN UND DER FÜR DIE BERECHNUNG GRUNDLEGENDEN DATEN (A)	37
TABELLE 15: THGE-ANALYSE: SANIERUNG JA ODER NEIN? UNTERTEILUNG WÄRMEERZEUGER – SIEHE ANHANG Γ (A)	40
TABELLE 16: ÜBERSICHT INTERVIEWS UND UMFRAGEN - SIEHE ANHANG Δ (A)	45

V Quellen- und Hilfsmittelverzeichnis

Literatur:

- [1] Atlas – Fenster, Lüftungselemente, Aussentüren; 1. Auflage; Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG; München, 2015.
- [2] FenSanReuse – Sanierungsverfahren und ReUse von Fenstern – Materialpass und Wegleitung; Schlussbericht vom 31.12.2024 – ENTWURF; FHNW, Institut Nachhaltigkeit und Energie am Bau; Muttenz, 2024.
- [3] RE-USE Höfe – Zirkuläre Lieferketten anhand der Fensterwiederverwendung - ENTWURF; Verein RE-WIN & ZHAW, Institut Konstruktives Entwerfen; Basel, 2025.
- [4] Ökobilanz von Aluminiumtüren; Version 1.3; treeze Ltd., Philippe Stolz, Rolf Frischknecht; Uster, 2019.
- [5] Ökobilanz von Holzfenstern und Holztüren; Schlussbericht vom 16. Juni 2020; treeze Ltd., Livia Ramseier, Philippe Stolz, Rolf Frischknecht; Bern, 2020.
- [6] ift-Richtlinie Ökobilanzen – Allgemeiner Leitfaden zur Erstellung von Ökobilanzen; ift Rosenheim; Rosenheim, 2024.
- [7] Reuse Design Project – Strategie e strumenti per il riuso di elementi edilizi in architettura come preservazione delle risorse materiali; Tesi di Dottorato; Elisa Zatta; Università di Venezia, Scuola di Dottorato; Venezia, 2023.
- [8] Analisi comparativa tra tre diverse soluzioni di involucro edilizio dal punto di vista economico, ecologico, funzionale; Tesi di Laurea Magistrale; Camisassi Umberto; Politecnico di Torino, Dipartimento di Architettura e Design; Torino, 2023.
- [9] Materiali da riciclo e da scarto innovativi per l'edilizia: caratterizzazione acustica, termica ed analisi del ciclo di vita; Tesi di Dottorato; Francesca Maria Torchia; Università degli Studi di Pavia, Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura; Pavia, 2016.
- [10] Verso un'economia circolare: il ruolo della plastica e del riciclo nella sostenibilità ambientale; Prova Finale; Francesca Mingotto; Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Scienze Economiche ed Aziendali; Padova, 2023.
- [11] Fenster-Sanierungsatlas; 3. Auflage; Beck + Heun GmbH; Mengerskirchen; 2023.
- [12] Durability and/or Change? «Vademecum»; Master's Thesis HS 22, Revision 10.05.2022; Professur für Architektur und Konstruktion, ETH Zürich, Annette Gigon, Mike Guyer; Zürich, 2022.
- [13] Merkblatt Fenster – Das Fenster in der Energieberechnung; Ratgeber mit Unterstützung von Energie-Schweiz und EnDK; Bern, 2021.
- [14] Fenstertool, Vers. 3.1; EnDK; 2019
- [15] Merkblatt Fenster – Denkmalpflege und energetische Anforderungen an historische Fenster; Kantonale Denkmalpflege Bern; Bern, 2023.
- [16] Energie und Baudenkmal – Fenster und Türen; Kantonale Denkmalpflege Bern und Zürich, mit Beiträgen von CSD Ingenieure Bern; Burgdorf, 2014.
- [17] Beispiele für Fenster-Sanierungen – Zusatz zum Merkblatt; Stadt Bern, Denkmalpflege; Bern, 2022.
- [18] Beispiele für Fensterersatz – Rekonstruktion und Modernisierung historischer Fenster; Stadt Bern, Denkmalpflege; Bern, 2022.
- [19] Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich MuKE; EnDK; 2006/2014/2025
- [20] SIA-Norm 180 "Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden"; SIA; 2014
- [21] SIA-Norm 181 "Schallschutz im Hochbau"; SIA; 2020
- [22] SIA-Norm 271 "Abdichtungen von Hochbauten"; SIA; 2021
- [23] SIA-Norm 358 "Geländer und Brüstungen"; SIA; 1996
- [24] SIA-Norm 380/1 "Heizwärmebedarf"; SIA; 2016, 2009, 1988
- [25] SIA-Norm 390/1 "Klimapfad - Treibhausgasbilanz über den Lebenszyklus von Gebäuden"; SIA; 2025
- [26] SIA-Merkblatt 2024 "Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik"; SIA; 2021
- [27] SIA-Merkblatt 2032 "Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden"; SIA; 2020
- [28] Schallschutzfenster - Herausforderungen, Erfahrungen und praktische Anwendungen; Adrian Schlumpf; Biel - Windays 2025.
- [29] SIGAB-Richtlinie 002 – Sicherheit mit Glas: Anforderungen an Glasbauteile; Schweizerischer Flachglasverband (SFV) / Technische Fachstelle SIGAB; 3. Ausgabe; Schlieren; Juli 2024
- [30] QuadraLigna – Renovation von Fenstern architektonisch wertvoller Bauten; Quadra Ligna AG; Basel, 2019.
- [31] Manual Holzrechner; Version 1.0; Livia Ramseier, Rolf Frischknecht; treeze Ltd.; Uster, 2020.
- [32] Schallschutz- Fenster; Werner Stalder; 2017.
- [33] Bauen und Erhalten: Eine Einführung; Uta Hassler; München; 2020.
- [34] PVC-Taschenbuch; Eckhard Röhrli; München; 2007.
- [35] Einfach Bauen: Ein Leitfaden; Florian Nagler (Hrsg.); Basel; 2021.
- [36] Best Practice für die Umwelt – Werkstoffliches Recycling von PVC-Bauprodukten; Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V. (AGPU), Rewindo Fenster Recycling Service GmbH, AgPR Arbeitsgemeinschaft PVC-Bodenbelag Recycling; Bonn, 2018.
- [37] VinylPlus auf einen Blick – Die Verpflichtung der europäischen PVC-Branche zur nachhaltigen Entwicklung; VinylPlus; Brüssel, 2024.
- [38] VinylPlus Progress Report 2024 – Reporting on 2023 Activities; VinylPlus; Brüssel, 2024.

- [39] Sustainable Construction Award – Global Gold Interview; Holcim Awards Global Gold 2021; Holcim Foundation; 2021.
- [40] Lebenszykluskosten – eine effiziente und breite Anwendung; Schlussbericht vom 31. Oktober 2020; Bundesamt für Energie BFE, CSD Ingenieure AG, Hochschule Luzern – Technik & Architektur; Bern, 2020.
- [41] Recycling of Plastics; Norbert Niessner (Ed.); Carl Hanser Verlag; München, 2022.
- [42] Bauphysik-Apéro FHNW – ReUse; FHNW, Zirkular GmbH; Basel, 2023
- [43] Energetische Sanierung – Ganzheitliche Strategien für Gebäudehüllen; Stefanie Schwab (Hrsg.), Institut TRANSFORM, HES-SO Fachhochschule Westschweiz; Freiburg, 2018.
- [44] Life Cycle Inventories of Aluminium and Aluminium Profiles; Philippe Stolz, Rolf Frischknecht; treeze Ltd., Schweizerische Zentrale Fenster und Fassaden (SZFF); Uster, 2016.
- [45] Rinnovo – La costruzione continua sostenibile; Peter Schürch, Dieter Schnell; Berner Fachhochschule, Hochschule für Architektur, Holz und Bau; Zürich, 2021.
- [46] Solararchitektur – Häuser mit solarem Direktgewinn; Andrea Rüedi, Peter Schürch, Jörg Watter; Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau; Muttenz, 2016.
- [47] Recycling of Building Materials – Generation, Processing, Utilization; Anette Müller, Isabel Martins; Springer Fachmedien Wiesbaden; Wiesbaden, 2018.
- [48] Bioökonomie und Zirkulärwirtschaft im Bauwesen – Eine Einführung; Jan Grossarth; Springer Fachmedien Wiesbaden; Wiesbaden, 2024.
- [49] Kreislaufwirtschaft – Wie Projektplanung und Umsetzung gelingen; Ralf T. Kreutzer; Wiesbaden; 2023.
- [50] Zirkuläre Bauwirtschaft – Strategien und Best Practices für die beschleunigte Transformation des Bau-sektors; Martin Pauli; Wiesbaden; 2023.
- [51] Lehrbuch der Ökobilanzierung; Rolf Frischknecht; Uster; 2020.
- [52] Einführung in die Kreislaufwirtschaft – Planung, Recht, Verfahren; Martin Kranert (Hrsg.); Wiesbaden; 2018.
- [53] Richtpreise Schallschutzfenster; Fachstelle Lärmschutz Kanton Zürich; Zürich; 2018.
- [54] Holz und Transparenz – Glas als Baustoff; Lignum Holzwirtschaft Schweiz; Zürich; 2023.
- [55] Merkblatt Wiederverwendung von Bauteilen; Marc Angst, Vanessa Feri, Andreas Oefner, Cynthia Ott, Oliver Streiff, Anette Zoller-Eckenstein; Zürich; 2023.
- [56] Faktenblatt Planen und Bauen in der Kreislaufwirtschaft; Spurguppe Kreislaufwirtschaft; Schweiz; 2024.
- [57] The Influence of Durability and Recycling on Life Cycle Impacts of Window Frame Assemblies; Stephanie Carlisle, Elizabeth Friedlander; Philadelphia; 2016.
- [58] Glass Up-Casting: A Review on the Current Challenges in Glass Recycling and a Novel Approach for Recycling “As-Is” Glass Waste Into Volumetric Glass Components; Telesilla Bristogianni, Faidra Oikonomopoulou; Delft; 2023.
- [59] Case Study on the Re-Use Potential of Insulated Glass Units; Marcel Reshamvala et al.; TU Delft, Fachverband Konstruktiver Glasbau; Delft; 2024.
- [60] Towards a Quality Protocol for Enabling the Reuse of Post-Consumer Flat Glass; Angelica Rota, Marco Zaccaria, Francesco Fiorito; AGC Glass Europe, Polytechnic University of Bari; 2023.
- [61] Reuse Potential of Architectural Glass: Experimental Study on the Strength of Used Window Glazing; Jagoda Cupać, Kyriaki Corinna Datsiou, Christian Louter; TU Dresden, University of Hertfordshire, TU Delft; 2024.
- [62] Reuse and Remanufacturing of Insulated Glass Units; Martien Teich, Christian Scherer, Miriam Schuster, Max Brandenstein, Michael Elstner; TU Darmstadt, University of Applied Sciences Munich, AGC Glass Europe; 2024.
- [63] Déchets de Bois – Guide pour une Bonne Gestion des Ressources; Division Géologie, Sol et Déchets (GEODE), Direction Générale de l'Environnement (DGE); Lausanne; 2008.
- [64] Reuse, remanufacturing, recycling: the case of glass for buildings; Glass for Europe; Dezember 2023.
- [65] Optimal transformation strategies for buildings, neighbourhoods and districts to reach CO₂ emission reduction targets; Portia Murray, Julien Marquant, Mathias Niffeler, Georgios Mavromatidis, Kristina Ore-hounig; Energy & Buildings, Elsevier; 2020
- [66] Alle Wege führen im Kreis – Erfahrungen zu den R-Szenarien für Fenster und Türen aus Holz; Dr. Martin Weigl-Kuska; Fenster Türen Treff 2025, Salzburg; 06.03.2025
- [67] Umsetzung der zirkulären Wertschöpfung für Fenster – Wie gelingt die Kreislaufwirtschaft in der Praxis?; Prof. Dr.-Ing. Sabine Flamme; Fenster Türen Treff 2025, Salzburg; 06.03.2025
- [68] Holzfenster am Weg in die Zirkularität – Inspirationen, Potenziale und Herausforderungen; DI (FH) Christina Fürhapper, Dr. Martin Weigl-Kuska; Fenster Türen Treff 2025, Salzburg; 06.03.2025
- [69] Holzschutzmittelfrei – Wunsch oder Realität?; Notburga Pfabigan, Michael Truskaller; Fenster Türen Treff 2025, Salzburg; 06.03.2025
- [70] Recycling von PVC-Fenstern; Achim Kayser; Mörschwil; 2024
- [71] Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten; Kompetenzzentrum „Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen“ an der TU Berlin; Berlin; 2006
- [72] Nutzungszeiten von Gebäuden und Bauteilen; Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS), armasuisse; Bern; 2017
- [73] Paritätische Lebensdauertabelle; Mietrechtspraxis; Zürich; 2019
- [74] LCC-Handbuch; CRB; 2012
- [75] Liste der Ökobilanzdaten im Baubereich (2009/1:2022, Version 6.2); KBOB; 2022
- [76] EPD – FIN-Window Classic-line Aluminium-PVC; Finstral AG; EPD-HUB-0053; 2023
- [77] EPD – FIN-Window Classic-line PVC-PVC; Finstral AG; EPD-HUB-0104; 2023
- [78] EPD – FIN-Project Classic-line Aluminium-Aluminium; Finstral AG; EPD-HUB-0982; 2023

- [79] EPD – FIN-Project Classic-line Aluminium-Wood; Finstral AG; EPD-HUB-0983; 2023
- [80] Vergleich KBOB EPD v1.0 – Technische Grundlagen zur Prüfung eines Wechsels auf die europäischen EPD Normen; Werner F., Frischknecht R.; Zürich; Dezember 2018.
- [81] SAGE Electrochromics, EPD – Electrochromic Insulating Glass Unit; Saint-Gobain; 2020
- [82] FINEO – Technical Datasheet: Solar Control Vacuum Insulating Glass; AGC Glass Europe; Version 10/2021.
- [83] FINEO – Product Brochure UK; AGC Glass Europe – Energlaze UK Edition; 2021.
- [84] Kunststofffensterrecycling; Rewindo; 2023
- [85] Unser Beitrag zum Klimaschutz; EPPA; 2023
- [86] Wie PVC-Fenster wieder verwertet werden; Baublatt; Nr. 23; Freitag 8. November 2024
- [87] Holz und Transparenz – Glas – ein Baustoff als Ergänzung; Lignum
- [88] Fogging in Closed Cavity Fassaden; Fassade | Façade; Fachzeitschrift für Fenster- und Fassadenbau; 04-2024.
- [89] Entwicklungen im Bau- und Fenstermarkt in der Schweiz; Katrin Schönfisch; Biel – Windays 2025
- [90] Automatisierte Fenster für den Wohnbau; Manuel Hunkeler, Urs Uehlinger; Biel - Windays 2025
- [91] Kreislaufwirtschaft – Wege in eine nachhaltigere Zukunft; Urs-Thomas Gerber; Biel; 2025
- [92] Verdeckt liegende Motorik für Fenster; Siegenia Gruppe; Mörschwil; 2024
- [93] Technisches Datenblatt DRIVE axxent DK; Siegenia Gruppe; Mörschwil; 2022
- [94] AERO-Fensterlüfter im Rollladenkasten; Siegenia Gruppe; Mörschwil; 2022
- [95] Perfekte Fassadenlüftung AEROMAT VT; Siegenia Gruppe; Mörschwil; 2024
- [96] Mastering Ventilation Window Vents; Renson Ventilation; Waregem; 2024
- [97] Wartungsvertrag für Fenster; FFF; Ausgabe 2016
- [98] Projekte von Grolimund + Partner AG; interne Dokumentation; Bern; 2025
- [99] Entwerfen – Der Weg zur Architektur; Patrik Lehmann; Niggli Verlag; Sulgen; 2018

Webseiten:

- [100] Stop the Landfill Disposal of Used Vinyl Windows! Disseminating Vision for Vinyl Window Recycling Through Industry-Government-Academia Collaboration, and Taking on the Challenge of "Window-to-Win-dow" Recycling; YKK AP; 09.01.2024; <https://www.ykkapglobal.com/en/stories/20240109> [Stand: 06.01.2025]
- [101] Smaltimento infissi e serramenti Roma: ecco cosa devi sapere; <https://smaltimentorifiuti.roma.it/smaltimento-infissi-e-serramenti-roma/#:~:text=I%20cittadini%20privati%20possono%20recarsi,Formula-rio%20di%20identificazione%20dei%20Rifiuti> [Stand: 06.01.2025]
- [102] Interviewreihe SIGAB Glas-Termin: Die Kreislauffähigkeit von Glasprodukten; SIGAB; 06.01.2025; <https://www.sigab.ch/de/wissen/detail/interviewreihe-sigab-glas-termin-die-kreislauffaehigkeit-von-glas-produkten> [Stand: 10.02.2025]
- [103] Settore energetico; Ufficio federale di statistica (UST); <https://www.bfs.admin.ch/bfs/it/home/statistiche/costruzioni-abitazioni/edifici/settore-energetico.html> [Stand: 14.03.2025]
- [104] Pensionskassen und Klima – Liegenschaften von Pensionskassen verschleudern viel CO₂; SRF News; 07.03.2024; <https://www.srf.ch/news/wirtschaft/pensionskassen-und-klima-liegenschaften-von-pensions-kassen-verschleudern-viel-co> [Stand: 14.03.2025].
- [105] Wärmedämmisoliierglas; Glaströsch; <https://www.glastroesch.com/ch/de/service/datentabellen/waerme-daemmisoliierglas> [Stand: 15.03.2025]
- [106] Sparklike Handheld Kosten; <https://store.gedusa.com/en/sparklike> [Stand: 15.03.2025]
- [107] UVAL Wireless System Kosten; <https://shop.greenteg.com/building/uval-wireless-system-formerly-goms-ii/> [Stand: 15.03.2025]
- [108] ORAE Glas: <https://www.saint-gobain-glass.it/sostenibilita/orae> [Stand: 05.04.2025]
- [109] GSF Glasgroep: <https://gsfglasgroep.nl/> [Stand: 05.04.2025]
- [110] GSF isoMAX: <https://isomax.nl/> [Stand: 05.04.2025]

Anders:

- (A) Autor

Weitere Hilfsmittel:

- www.deepl.com - Allgemeine Textübersetzung: Italienisch - Deutsch
- www.chatpgt.com - Qualitätskontrolle und Bearbeitung von Texten

Webseiten Bilder:

- [a] https://en.wikipedia.org/wiki/Rear_Window [Stand 02.02.2025]
- [b] <https://screenrant.com/forrest-gump-movie-true-story-history-events-accuracy/> [Stand 02.02.2025]
- [c] <https://www.archdaily.com/342531/the-power-of-architecture-louis-kahn-exhibition/513df280b3fc4bc1b800003c-the-power-of-architecture-louis-kahn-exhibition-image> [Stand: 23.02.2025]
- [d] <https://www.xn--ing-bro-junge-0ob.de/html/fenster.html> [Stand: 10.03.2025]
- [e] https://oha-communication.com/wp_YkDw_live/wp-content/uploads/2018/10/Ensinger_Thermix-25-years-DE_3x4.jpg [Stand: 15.03.2025]
- [f] <https://www.greenteg.com/de/cases/so-funktioniert-das-uval-sup-gt-sup-kit> [Stand: 15.03.2025]
- [g] <https://sparklike.com/en/product/sparklike-handheld/> [Stand: 15.03.2025]
- [h] <https://sparklike.com/en/product/sparklike-laser-portable/> [Stand: 15.03.2025]
- [i] <https://aesg.com/wp-content/uploads/2024/01/Picture1-1536x1086.png> [Stand: 23.03.2025]
- [j] <https://www.quadraligna.ch/unser-angebot/fenster-renovieren> [Stand: 28.03.2025]
- [k] https://www.siegenia.com/siauv4/media/products/comfort-systems/drives-for-window-systems/drive-axxent-dk/md_komfortsysteme_motorik_fuer_fenster_drive_axxent_dk_tab_produkvorteile_01.png [Stand: 04.04.2025]
- [l] https://www.siegenia.com/siauv4/media/products/comfort-systems/window-ventilators/aeromat-midi/md_komfortsysteme_fensterluefter_aeromat_midi_tab_montagevorteile_01.jpg [Stand: 04.04.2025]
- [m] https://www.siegenia.com/siauv4/media/products/ventilation-systems/facade-ventilator/aeromat-vt-system/md_si-web_aeromat-vt_head.jpg [Stand: 04.04.2025]
- [n] <https://www.renson.eu/de-ch/producten-zoeken/ventilatie/raamverluchtingen/decentrale-mechanische-raamventilatie/endura-twist> [Stand: 04.04.2025]
- [o] <https://qfort.it/personalizzazioni/ferramenta/> [Stand: 10.04.2025]
- [p] <https://mcdonough.com/wp-content/uploads/2017/08/CradletoCradleLogo.jpg> [Stand: 14.04.2025]
- [q] https://www.baublatt.ch/storage/images/crop1/157180_1.jpg [Stand: 13.04.2025]
- [r] https://www.youtube.com/watch?v=AMGDWcgg36Y&ab_channel=Renson [Stand: 13.04.2025]

Weiteren Webseiten:

- I. www.forster-profile.ch
- II. www.smartwindows.ch
- III. www.4-b.ch
- IV. www.schueco.com
- V. www.jansen.com
- VI. www.egokiefer.ch

ANHÄNGE :

- Anhang α KBOB Zusammenfassung
- Anhang β Berechnungen: Tabelle mit einem Teil der Simulationen
- Anhang γ Analyse der Simulationsergebnisse
- Anhang δ Durchgeführte Interviews
- Anhang ε Mindmap-Entscheidungspfad für Fenstersanierungsmassnahmen

Anhang α

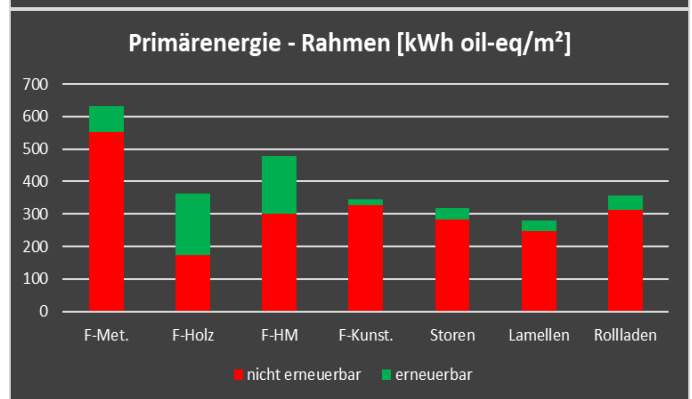
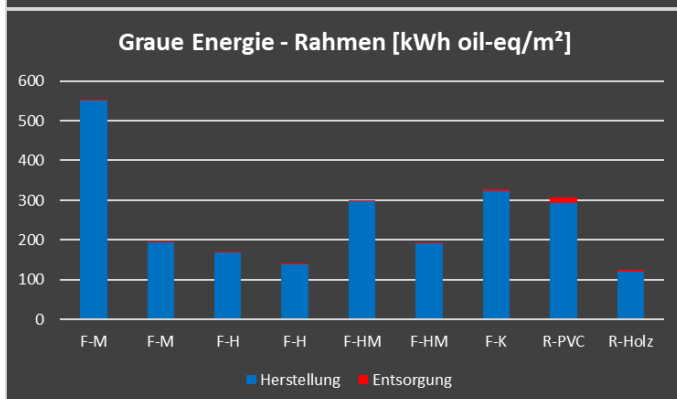
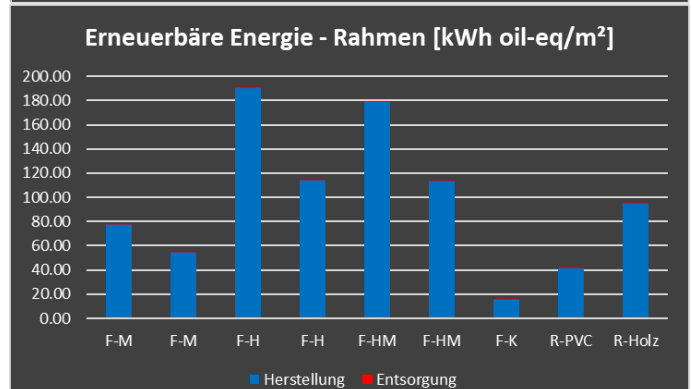
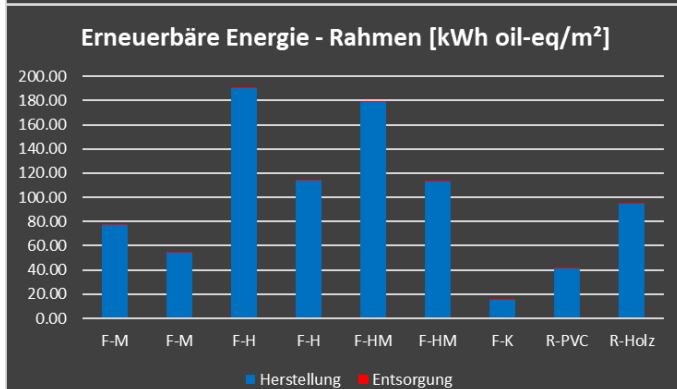
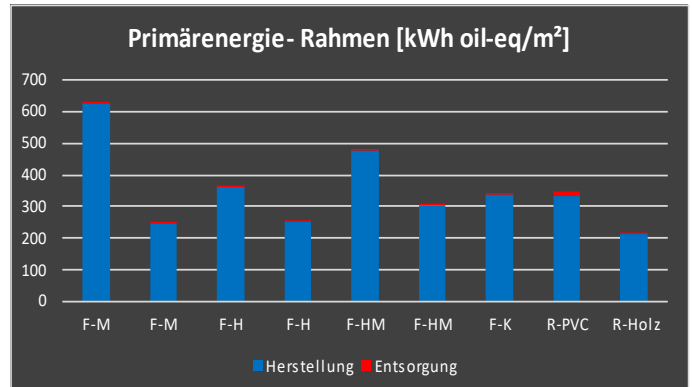
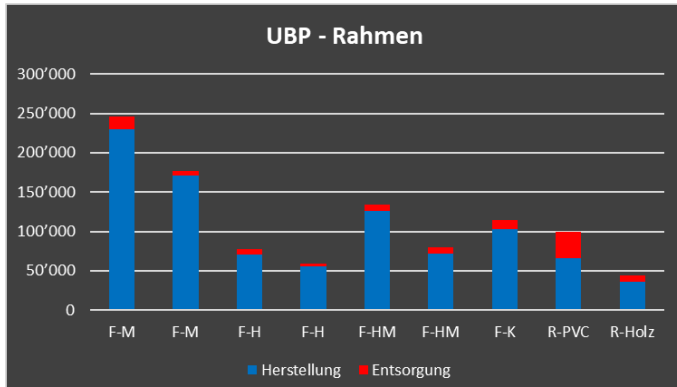
KBOB Zusammenfassung

KBOB Daten Version 6.2

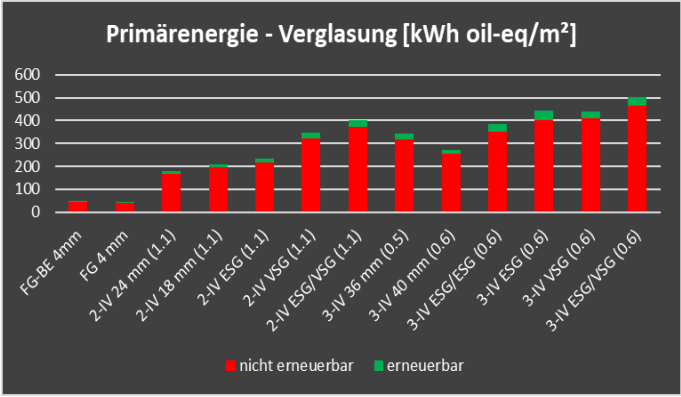
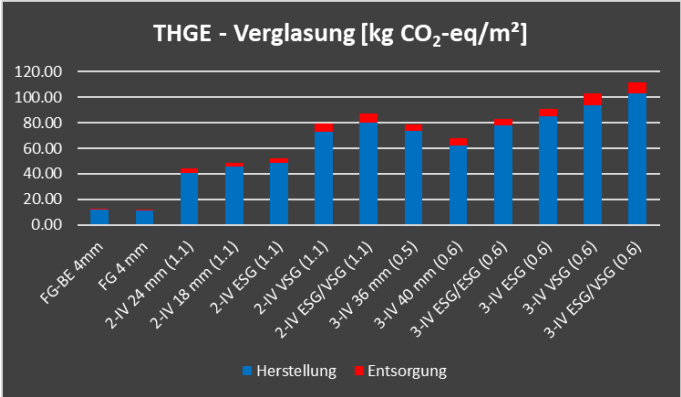
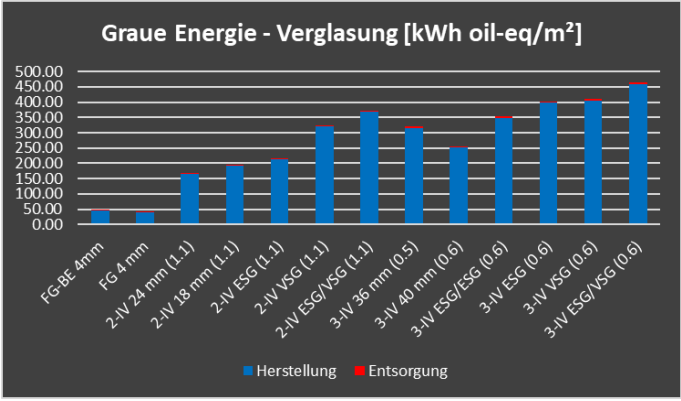
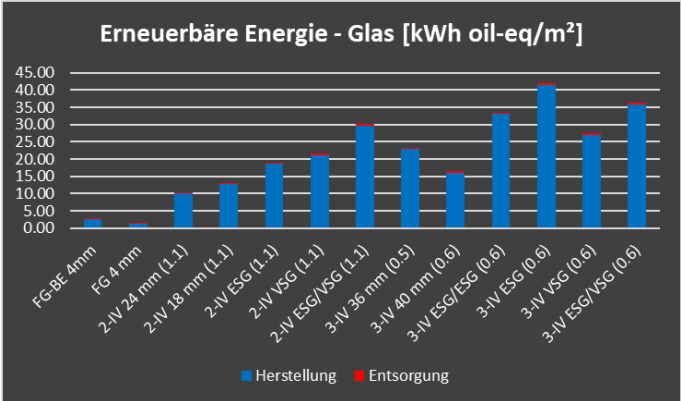
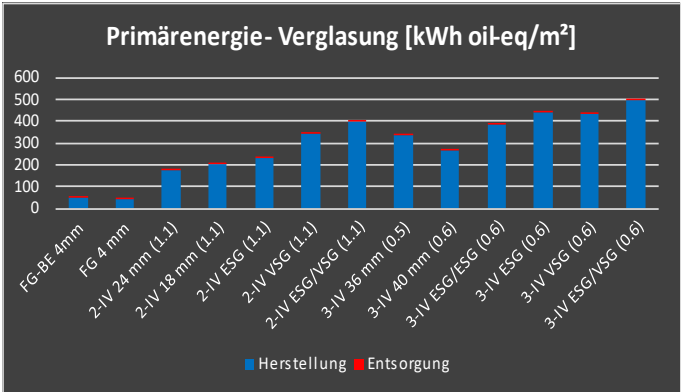
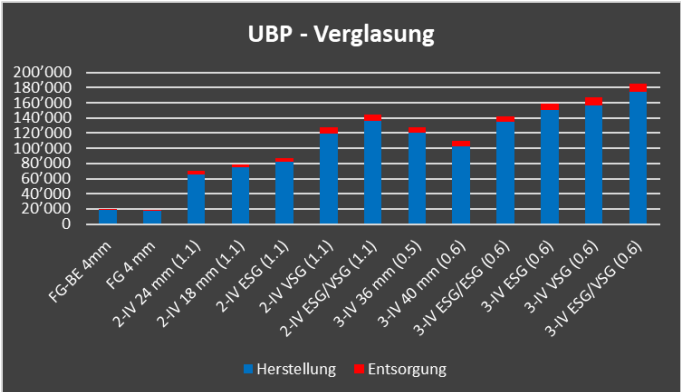
ZUSAMMENFASSUNG

Baustoffe		UBP		TOT Energie		Erneuerbare Energie		Graue Energie			THGE		
		Herstellung	Entsorgung	Herstellung	Entsorgung	Herstellung	Entsorgung	Herstellung	Entsorgung	Delta	Herstellung	Entsorgung	Delta
Fensterrahmen Aluminium 2,5	F-M	230'000	16'200	628	2.09	77	0.11	551	1.98	322%	117	14.90	364%
Fensterrahmen Aluminium, WICLINE 75evo, hergestellt mit Hydro	F-M	171'000	6'240	247	0.50	54	0.02	193	0.48		50	5.98	
Fensterrahmen Holz 2,6	F-H	70'600	7'120	360	2.04	190	0.04	170	2.00	100%	30	5.89	100%
Fensterrahmen Holz, Saphir integral 67/55, G. Baumgartner AG 2,	F-H	55'400	3'960	252	1.25	114	0.02	138	1.23		22	3.36	
Fensterrahmen Holz-Metall 2,6	F-HM	126'000	8'230	477	1.93	179	0.04	298	1.89	174%	59	7.11	182%
Fensterrahmen Holz-Metall, Saphir integral 55/55, G. Baumgartner	F-HM	71'900	7'640	304	1.49	113	0.03	191	1.46		31	6.90	
Fensterrahmen Kunststoff/PVC 2,6	F-K	103'000	11'800	338	5.80	15	0.49	323	5.31	191%	53	10.20	175%
Rahmenverbreiterung, PVC	R-PVC	66'500	33'300	335	13.56	41	1.06	294	12.50	246%	40	30.10	267%
Rahmenverbreiterung, Spanplatte	R-Holz	35'900	7'590	215	3.64	94	0.12	121	3.52	100%	20	6.59	100%
Flachglas beschichtet - pro kg (2500 kg m3)	-	1'920	69	5	0.12	0	0.01	5	0.11		1	0.02	
Flachglas unbeschichtet - pro kg (2500 kg m3)	-	1'720	69	4	0.12	0	0.01	4	0.11		1	0.02	
Flachglas beschichtet - 1 mm	FG-BE 1 mm	4'800	172	12	0.30	1	0.03	11	0.27		3	0.05	
Flachglas unbeschichtet - 1 mm	FG 1 mm	4'300	172	10	0.30	0	0.03	10	0.27		3	0.05	
Flachglas beschichtet - 4 mm	FG-BE 1 mm	19'200	688	48	1.21	3	0.12	45	1.09	114%	12	0.19	105%
Flachglas unbeschichtet - 4 mm	FG 4 mm	17'200	688	41	1.21	1	0.12	40	1.09	100%	11	0.19	100%
Isolierverglasung 2-fach, Ug-Wert 1.1 W/m2K, Dicke 24 mm 3	2-IV 24 mm (1.1)	65'800	4'910	175	2.94	10	0.28	165	2.66	52%	41	3.60	56%
Isolierverglasung 2-fach, Ug-Wert 1.1 W/m2K, Dicke 18 mm 3	2-IV 18 mm (1.1)	74'800	4'090	205	2.85	13	0.27	192	2.58	60%	46	2.84	61%
Isolierverglasung 2-fach, ESG, Ug-Wert 1.1 W/m2K 3	2-IV ESG (1.1)	82'100	4'910	233	2.94	19	0.28	214	2.66	67%	49	3.60	66%
Isolierverglasung 2-fach, VSG, Ug-Wert 1.1 W/m2K 3	2-IV VSG (1.1)	119'000	8'730	341	4.54	21	0.42	320	4.12	100%	73	6.68	100%
Isolierverglasung 2-fach, ESG/VSG, Ug-Wert 1.1 W/m2K 3	2-IV ESG/VSG (1.1)	136'000	8'730	399	4.54	30	0.42	369	4.12	115%	80	6.68	110%
Isolierverglasung 3-fach, Ug-Wert 0.5 W/m2K, Dicke 36 mm 3	3-IV 36 mm (0.5)	121'000	6'830	339	4.34	23	0.41	316	3.93	99%	73	4.92	99%
Isolierverglasung 3-fach, Ug-Wert 0.6 W/m2K, Dicke 40 mm 3	3-IV 40 mm (0.6)	102'000	7'680	267	4.44	16	0.42	251	4.02	79%	62	5.70	86%
Isolierverglasung 3-fach, ESG/ESG, Ug-Wert 0.6 W/m2K 3	3-IV ESG/ESG (0.6)	135'000	7'680	382	4.44	33	0.42	349	4.02	109%	78	5.70	105%
Isolierverglasung 3-fach, ESG/ESG/ESG, Ug-Wert 0.6 W/m2K 3	3-IV ESG (0.6)	151'000	7'680	440	4.44	42	0.42	398	4.02	124%	85	5.70	115%
Isolierverglasung 3-fach, VSG, Ug-Wert 0.6 W/m2K 3	3-IV VSG (0.6)	156'000	11'500	433	6.04	27	0.56	406	5.48	127%	94	8.78	130%
Isolierverglasung 3-fach, ESG/VSG, Ug-Wert 0.6 W/m2K 3	3-IV ESG/VSG (0.6)	174'000	11'500	495	6.04	36	0.56	459	5.48	143%	103	8.78	141%
Putzträgerplatte kunstharzgebunden 13 mm	P-kunsth	16'400	268	48	0.34	4	0.01	44	0.33		8	0.08	
Putzträgerplatte mineralisch gebunden 12,5 mm	P-mineralisch	9'300	612	21	0.79	2	0.03	18	0.76		6	0.18	
Sonnenschutz, Ausstellstoren motorisiert 4	Storen	148'000	2'110	318	0.57	36	0.03	282	0.54	114%	66	1.91	113%
Sonnenschutz, Lamellenstoren motorisiert 4	Lamellen	131'000	1'620	280	0.46	32	0.03	248	0.43	100%	59	1.47	100%
Sonnenschutz, Rollläden motorisiert 4	Rollläden	167'000	800	357	0.43	44	0.02	313	0.41	126%	74	0.69	125%

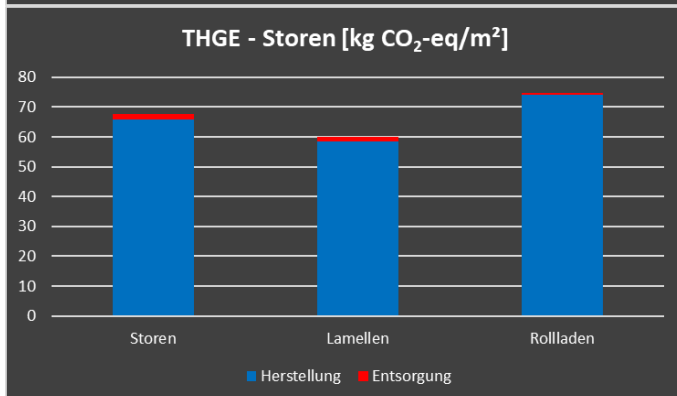
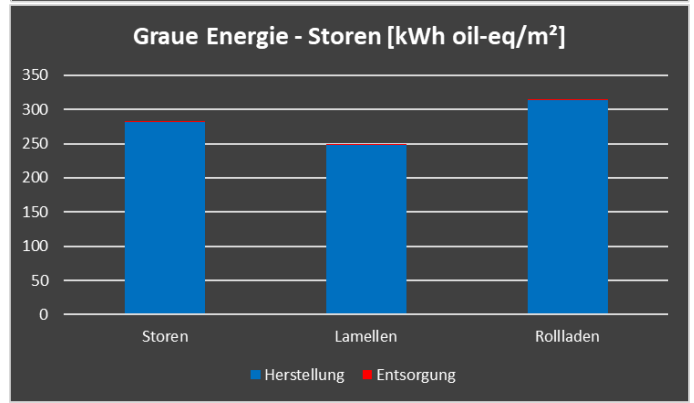
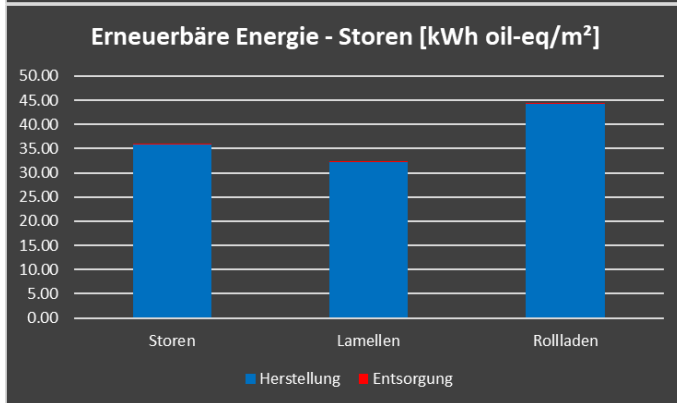
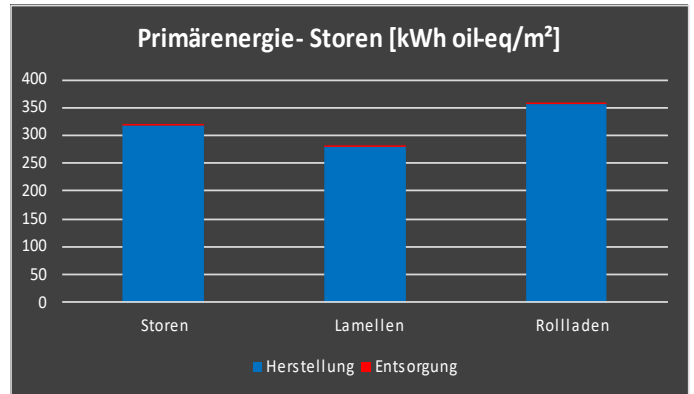
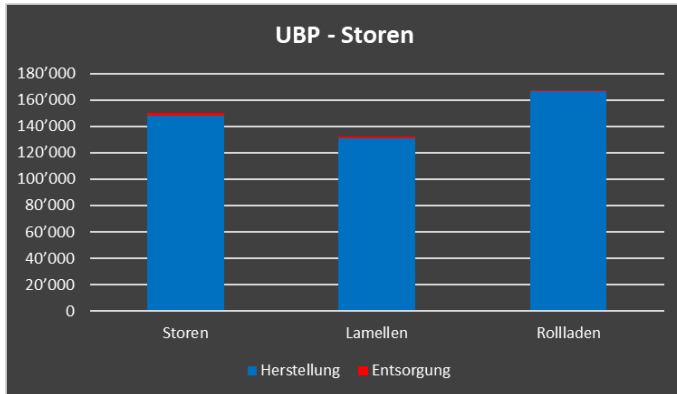
RAHMEN



VERGLASUNG



STOREN



Anhang β

Berechnungen: Tabelle mit einem Teil der Simulationen

ZUSAMMENFASSENDE ERLÄUTERUNGEN ZU DEN VARIABLEN UND ZUR BERECHNUNG

V1 - Variable 1 - Meteostation		Erläuterungen:							
Meteostation	GE: En. nicht ern. / Graue Energie kWh oil-eq/m ² ·a						Jährliche Berechnungen: Alle Werte werden jährlich angegeben (a). Sie beziehen sich häufig auf die Lebensdauer des Bauteilelements.		
Zürich	THGE: Treibhausgasemissionen kg CO2-eq/m ² ·a								
Davos	U/U-Wert: W/m ² K ψ-Wert: W/mK								
Lugano	EBF: Energiebezugsfläche [m ²] WB: Wärmebrücken %								
V2 - Variable 2 - Baujahr									
Jahr	U-Dach	U-Fassade	U-Fenster	U-Boden	WB	Ug	Uf	g-Wert	ψ-Wert
1955	0.90	1.00	3.50	1.00	5%	5.00	2.50	0.80	0.02
1970	0.70	0.70	2.30	0.70	5%	2.70	2.00	0.78	0.08
1985	0.50	0.50	1.55	0.50	10%	1.90	1.70	0.65	0.06
2000	0.30	0.30	1.10	0.30	15%	1.30	1.40	0.60	0.05
V5 - Gebäudehülle	0.15	0.17	1.00	0.20	20%	0.60	1.10	0.50	0.04
V3 - Variable 3 - Gebäude Typ									
Gebäude	Typ/Name	Breite (S/N)	Tiefe (O/W)	Anz. Stock	Höhe Stock	EBF	Boden m ²	Wände m ²	Dach m ²
Wohnen MFH 1	MFH-1	16	12.5	3	2.75	600	200	470	200
Wohnen MFH 2	MFH-2	25	15	4	2.75	1'500	375	880	375
Wohnen MFH 3	MFH-3	40	15	5	2.75	3'000	600	1'513	600
Wohnen EFH 1	EFH-1	10	7	2	3.00	140	70	204	70
Wohnen EFH 2	EFH-2	12	10	2	3.00	240	120	264	120
Wohnen EFH 3	EFH-3	12	10	3	3.00	360	120	396	120
Verwaltung 1	BÜR-1	30	18	3	3.00	1'620	540	864	540
Verwaltung 2	BÜR-2	35	22	5	3.00	3'850	770	1'710	770
V4 - Variable 4 - Anteil Fenster					Andere (Variable 5 GE und THGE):				
Hypothese	O	S	W	N	Bauteile V5 - Gebäudehülle				
Hypothese 1	15%	30%	15%	10%	Bauteile	Leb. Dauer	GE (a)	THGE (a)	
Hypothese 2	25%	50%	25%	15%	Boden	8 cm PIR	30	6.3	1.8
Hypothese 3	35%	60%	35%	20%	Fassade	20 cm Wolle	30	3.6	1
Hypothese 4	50%	80%	50%	30%	Dach	12.5 cm PIR	30	7.7	3
V5 - Variable 5 - Sanierung									
Sanierungs Typ	Ug	Uf	g-Wert	ψ-Wert	Leb. Dauer	GE-g (a)	THGE-g (a)	GE-f (a)	THGE-f (a)
Ist-Zustand	Gemäss Variable 2				-	-	-	-	-
Glaserersatz 2-IV	1.10	-	0.60	0.06	25	12.96	3.17	-	-
Glaserersatz 3-IV	0.60	-	0.50	0.04	25	16.46	4.11	-	-
Glaserersatz Vakuum	0.70	-	0.50	0.06	25	*17.50	*4.28	-	-
Glasaufdopplung	1.00	-	0.55	0.05	20	*5.61	*1.30	-	-
Fensterersatz H	0.60	1.10	0.50	0.04	g(30)/f(30)	13.72	3.43	5.73	1.21
Fensterersatz HM	0.60	1.20	0.50	0.04	g(30)/f(40)	13.72	3.43	10.00	2.19
Fensterersatz K	0.60	1.00	0.50	0.04	g(30)/f(35)	13.72	3.43	10.94	2.11
Fensterersatz M	0.60	1.40	0.50	0.04	g(30)/f(45)	13.72	3.43	18.43	4.40
Gebäudehülle	Gemäss Variable 2 (V5 - Gebäudehülle)				g(30)/f(35)	13.72	3.43	*8.89	*1.84
V6 - Variable 6 - Wärmeerzeuger						Andere Informationen:			
Heizung	COP/JAZ	GE (a)	THGE (a)	Δ GE	Δ THGE	Variable 3: Abmessungen in m und m ²			
Öl-Heizung	0.90	1.39	0.36	100%	100%	g Verglasung			
Fernwärme	0.85	0.39	0.08	28%	22%	f Fensterrahmen			
WärmePumpe LW CH Mix	2.70	0.78	0.06	56%	16%	Leb. Dauer: Lebensdauer nach Bauteilelementen			
WärmePumpe LW CH Zer	2.70	0.02	0.02	2%	5%	g(x)/f(y): Lebensdauer Glas und Rahmen			
WP Erdsonden CH Mix	5.30	0.42	0.04	30%	10%	S/N: Sud und Nord Ausrichtung			
Solarthermie	*0.95	0.07	0.02	5%	5%	O/W Ost und West Ausrichtung			
Holz Schnitzel	0.85	0.04	0.01	3%	3%	* Geschätzter oder theoretischer Wert			
Feste Berechnungswerte:									
Typisches Fenster: berechnet auf der Grundlage der häufigsten Fenster in Wohn- und Verwaltungsgebäuden:									
Fläche: 2.07 m ² ; Länge ψ-Wert 6.22 m; Anteil Rahmen: 22% (Basis 5 Fenstertypen von 1 bis 3 Flügeln)									
η-Speicherfähigkeit: Mittelwert SIA 380/1:2016 (0.08 kWh/m ² ·K) zur Vereinfachung der Berechnung und zur Reduktion der Variablen.									
Verschattungsfaktor f _s : Einzel- und Standardwert zur Reduzierung der berechenbaren Varianten: f _{s1} (0.68); f _{s2} (0.77); f _{s3} (0.96)									

Geb. Typ	Beschreibung	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆	Q ₇	Q ₈	Q ₉	Q ₁₀	Q ₁₁	Q ₁₂	Q ₁₃	Q ₁₄	Q ₁₅	Q ₁₆	Q ₁₇	Q ₁₈	Q ₁₉	Q ₂₀	Q ₂₁	Q ₂₂	Q ₂₃	Q ₂₄	Q ₂₅	Q ₂₆	Q ₂₇	Q ₂₈	Q ₂₉	Q ₃₀	Q ₃₁	Q ₃₂	Q ₃₃	Q ₃₄	Q ₃₅	Q ₃₆	Q ₃₇	Q ₃₈	Q ₃₉	Q ₄₀	Q ₄₁	Q ₄₂	Q ₄₃	Q ₄₄	Q ₄₅	Q ₄₆	Q ₄₇	Q ₄₈	Q ₄₉	Q ₅₀	Q ₅₁	Q ₅₂	Q ₅₃	Q ₅₄	Q ₅₅	Q ₅₆	Q ₅₇	Q ₅₈	Q ₅₉	Q ₆₀	Q ₆₁	Q ₆₂	Q ₆₃	Q ₆₄	Q ₆₅	Q ₆₆	Q ₆₇	Q ₆₈	Q ₆₉	Q ₇₀	Q ₇₁	Q ₇₂	Q ₇₃	Q ₇₄	Q ₇₅	Q ₇₆	Q ₇₇	Q ₇₈	Q ₇₉	Q ₈₀	Q ₈₁	Q ₈₂	Q ₈₃	Q ₈₄	Q ₈₅	Q ₈₆	Q ₈₇	Q ₈₈	Q ₈₉	Q ₉₀	Q ₉₁	Q ₉₂	Q ₉₃	Q ₉₄	Q ₉₅	Q ₉₆	Q ₉₇	Q ₉₈	Q ₉₉	Q ₁₀₀	Q ₁₀₁	Q ₁₀₂	Q ₁₀₃	Q ₁₀₄	Q ₁₀₅	Q ₁₀₆	Q ₁₀₇	Q ₁₀₈	Q ₁₀₉	Q ₁₁₀	Q ₁₁₁	Q ₁₁₂	Q ₁₁₃	Q ₁₁₄	Q ₁₁₅	Q ₁₁₆	Q ₁₁₇	Q ₁₁₈	Q ₁₁₉	Q ₁₂₀	Q ₁₂₁	Q ₁₂₂	Q ₁₂₃	Q ₁₂₄	Q ₁₂₅	Q ₁₂₆	Q ₁₂₇	Q ₁₂₈	Q ₁₂₉	Q ₁₃₀	Q ₁₃₁	Q ₁₃₂	Q ₁₃₃	Q ₁₃₄	Q ₁₃₅	Q ₁₃₆	Q ₁₃₇	Q ₁₃₈	Q ₁₃₉	Q ₁₄₀	Q ₁₄₁	Q ₁₄₂	Q ₁₄₃	Q ₁₄₄	Q ₁₄₅	Q ₁₄₆	Q ₁₄₇	Q ₁₄₈	Q ₁₄₉	Q ₁₅₀	Q ₁₅₁	Q ₁₅₂	Q ₁₅₃	Q ₁₅₄	Q ₁₅₅	Q ₁₅₆	Q ₁₅₇	Q ₁₅₈	Q ₁₅₉	Q ₁₆₀	Q ₁₆₁	Q ₁₆₂	Q ₁₆₃	Q ₁₆₄	Q ₁₆₅	Q ₁₆₆	Q ₁₆₇	Q ₁₆₈	Q ₁₆₉	Q ₁₇₀	Q ₁₇₁	Q ₁₇₂	Q
----------	--------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	---

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Anhang Y

Analyse der Simulationsergebnisse

GRAUE ENERGIE BERECHNUNG: SANIERUNG JA ODER NEIN? UNTERTEILUNG WÄRMEERZEUGER

Conteggio di Geb. Typ	Spaltenbeschriftungen							
	1955		1970		1985		2000	
Zeilenbeschriftungen	JA	NEIN	JA	NEIN	JA	NEIN	JA	NEIN
Fernwärme	100%	0%	96%	4%	91%	9%	25%	75%
Fensterersatz H	100%	0%	96%	4%	90%	10%	46%	54%
Fensterersatz HM	100%	0%	96%	4%	90%	10%	36%	64%
Fensterersatz K	100%	0%	96%	4%	89%	11%	36%	64%
Fensterersatz M	100%	0%	90%	10%	88%	13%	4%	96%
Gebäudehülle	100%	0%	100%	0%	96%	4%	14%	86%
Glasaufdopplung	100%	0%	98%	2%	98%	2%	38%	63%
Glaserersatz 2-IV	100%	0%	98%	2%	93%	7%	0%	100%
Glaserersatz 3-IV	100%	0%	95%	5%	90%	10%	49%	51%
Glaserersatz Vakuum	100%	0%	94%	6%	88%	13%	6%	94%
Holz Schnitzel	22%	78%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz H	14%	86%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz HM	2%	98%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz K	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz M	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Gebäudehülle	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glasaufdopplung	92%	8%	0%	100%	0%	100%	2%	98%
Glaserersatz 2-IV	54%	46%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glaserersatz 3-IV	25%	75%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glaserersatz Vakuum	9%	91%	1%	99%	0%	100%	2%	98%
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	92%	8%
Fensterersatz H	100%	0%	100%	0%	100%	0%	94%	6%
Fensterersatz HM	100%	0%	100%	0%	100%	0%	92%	8%
Fensterersatz K	100%	0%	100%	0%	100%	0%	92%	8%
Fensterersatz M	100%	0%	100%	0%	100%	0%	90%	10%
Gebäudehülle	100%	0%	100%	0%	100%	0%	98%	2%
Glasaufdopplung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	94%	6%
Glaserersatz 2-IV	100%	0%	100%	0%	100%	0%	89%	11%
Glaserersatz 3-IV	100%	0%	99%	1%	100%	0%	94%	6%
Glaserersatz Vakuum	100%	0%	99%	1%	98%	2%	84%	16%
Solarthermie	83%	17%	7%	93%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz H	88%	13%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz HM	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz K	81%	19%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz M	67%	33%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Gebäudehülle	55%	45%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glasaufdopplung	100%	0%	58%	42%	4%	96%	2%	98%
Glaserersatz 2-IV	93%	7%	1%	99%	0%	100%	0%	100%
Glaserersatz 3-IV	89%	11%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glaserersatz Vakuum	88%	13%	1%	99%	0%	100%	2%	98%
WP E CH Mix	100%	0%	96%	4%	92%	8%	31%	69%
Fensterersatz H	100%	0%	98%	2%	93%	7%	54%	46%
Fensterersatz HM	100%	0%	96%	4%	90%	10%	46%	54%
Fensterersatz K	100%	0%	96%	4%	90%	10%	46%	54%
Fensterersatz M	100%	0%	92%	8%	88%	13%	8%	92%
Gebäudehülle	100%	0%	100%	0%	97%	3%	21%	79%
Glasaufdopplung	100%	0%	98%	2%	100%	0%	44%	56%
Glaserersatz 2-IV	100%	0%	98%	2%	96%	4%	0%	100%
Glaserersatz 3-IV	100%	0%	95%	5%	92%	8%	55%	45%
Glaserersatz Vakuum	100%	0%	94%	6%	88%	13%	9%	91%
WP LW CH Mix	100%	0%	99%	1%	99%	1%	76%	24%
Fensterersatz H	100%	0%	100%	0%	100%	0%	89%	11%
Fensterersatz HM	100%	0%	100%	0%	100%	0%	88%	13%
Fensterersatz K	100%	0%	100%	0%	100%	0%	88%	13%
Fensterersatz M	100%	0%	98%	2%	96%	4%	67%	33%
Gebäudehülle	100%	0%	100%	0%	100%	0%	77%	23%
Glasaufdopplung	100%	0%	99%	1%	100%	0%	83%	17%
Glaserersatz 2-IV	100%	0%	100%	0%	100%	0%	46%	54%
Glaserersatz 3-IV	100%	0%	98%	2%	100%	0%	90%	10%
Glaserersatz Vakuum	100%	0%	99%	1%	95%	5%	59%	41%
WP LW CH Zer	9%	91%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz H	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz HM	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz K	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz M	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Gebäudehülle	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glasaufdopplung	81%	19%	0%	100%	0%	100%	2%	98%
Glaserersatz 2-IV	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glaserersatz 3-IV	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glaserersatz Vakuum	0%	100%	1%	99%	0%	100%	2%	98%
Gesamtergebnis	73%	27%	57%	43%	55%	45%	32%	68%

Ort

Davos

Lugano

Zürich

Typ Ant.Fenster

20%

30%

40%

50%

Geb. Typ

BÜR-1

BÜR-2

EFH-1

EFH-2

EFH-3

MFH-1

MFH-2

MFH-3

Massnahmen

Fensterersatz H

Fensterersatz HM

Fensterersatz K

Fensterersatz M

Gebäudehülle

Glasaufdopplung

Glaserersatz 2-IV

Glaserersatz 3-IV

Glaserersatz Vakuum

Ist-Zustand

THGE BERECHNUNG: SANIERUNG JA ODER NEIN? UNTERTEILUNG WÄRMEERZEUGER

Conteggio di Geb. Typ	Spaltenbeschriftungen							
	1955		1970		1985		2000	
Zeilenbeschriftungen	JA	NEIN	JA	NEIN	JA	NEIN	JA	NEIN
Fernwärme	100%	0%	94%	6%	85%	15%	13%	87%
Fensterersatz H	100%	0%	95%	5%	88%	13%	30%	70%
Fensterersatz HM	100%	0%	92%	8%	88%	13%	14%	86%
Fensterersatz K	100%	0%	93%	7%	88%	13%	25%	75%
Fensterersatz M	100%	0%	89%	11%	76%	24%	0%	100%
Gebäudehülle	100%	0%	98%	2%	79%	21%	0%	100%
Glasaufdopplung	100%	0%	98%	2%	96%	4%	23%	77%
Glaserersatz 2-IV	100%	0%	96%	4%	88%	13%	0%	100%
Glaserersatz 3-IV	100%	0%	93%	7%	88%	13%	27%	73%
Glaserersatz Vakuum	100%	0%	91%	9%	77%	23%	2%	98%
Holz Schnitzel	61%	39%	4%	96%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz H	71%	29%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz HM	60%	40%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz K	59%	41%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz M	23%	77%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Gebäudehülle	6%	94%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glasaufdopplung	100%	0%	33%	67%	0%	100%	2%	98%
Glaserersatz 2-IV	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glaserersatz 3-IV	77%	23%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glaserersatz Vakuum	65%	35%	1%	99%	0%	100%	2%	98%
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	93%	7%
Fensterersatz H	100%	0%	100%	0%	100%	0%	96%	4%
Fensterersatz HM	100%	0%	100%	0%	100%	0%	93%	7%
Fensterersatz K	100%	0%	100%	0%	100%	0%	96%	4%
Fensterersatz M	100%	0%	100%	0%	100%	0%	90%	10%
Gebäudehülle	100%	0%	100%	0%	100%	0%	99%	1%
Glasaufdopplung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	94%	6%
Glaserersatz 2-IV	100%	0%	100%	0%	100%	0%	89%	11%
Glaserersatz 3-IV	100%	0%	99%	1%	100%	0%	94%	6%
Glaserersatz Vakuum	100%	0%	99%	1%	98%	2%	85%	15%
Solarthermie	83%	17%	8%	92%	1%	99%	0%	100%
Fensterersatz H	88%	13%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz HM	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz K	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz M	68%	32%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Gebäudehülle	51%	49%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glasaufdopplung	100%	0%	72%	28%	11%	89%	2%	98%
Glaserersatz 2-IV	95%	5%	2%	98%	0%	100%	0%	100%
Glaserersatz 3-IV	89%	11%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glaserersatz Vakuum	88%	13%	1%	99%	0%	100%	2%	98%
WP E CH Mix	100%	0%	62%	38%	20%	80%	0%	100%
Fensterersatz H	100%	0%	72%	28%	29%	71%	0%	100%
Fensterersatz HM	100%	0%	63%	38%	11%	89%	0%	100%
Fensterersatz K	100%	0%	63%	38%	15%	85%	0%	100%
Fensterersatz M	98%	2%	31%	69%	0%	100%	0%	100%
Gebäudehülle	99%	1%	47%	53%	1%	99%	0%	100%
Glasaufdopplung	100%	0%	90%	10%	81%	19%	2%	98%
Glaserersatz 2-IV	100%	0%	75%	25%	14%	86%	0%	100%
Glaserersatz 3-IV	100%	0%	71%	29%	26%	74%	0%	100%
Glaserersatz Vakuum	100%	0%	49%	51%	3%	97%	2%	98%
WP LW CH Mix	100%	0%	89%	11%	69%	31%	1%	99%
Fensterersatz H	100%	0%	90%	10%	81%	19%	1%	99%
Fensterersatz HM	100%	0%	88%	13%	75%	25%	0%	100%
Fensterersatz K	100%	0%	88%	13%	75%	25%	0%	100%
Fensterersatz M	100%	0%	79%	21%	43%	57%	0%	100%
Gebäudehülle	100%	0%	94%	6%	52%	48%	0%	100%
Glasaufdopplung	100%	0%	97%	3%	91%	9%	4%	96%
Glaserersatz 2-IV	100%	0%	90%	10%	75%	25%	0%	100%
Glaserersatz 3-IV	100%	0%	89%	11%	81%	19%	1%	99%
Glaserersatz Vakuum	100%	0%	84%	16%	51%	49%	2%	98%
WP LW CH Zer	83%	17%	8%	92%	1%	99%	0%	100%
Fensterersatz H	88%	13%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz HM	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz K	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Fensterersatz M	68%	32%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Gebäudehülle	50%	50%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glasaufdopplung	100%	0%	71%	29%	11%	89%	2%	98%
Glaserersatz 2-IV	94%	6%	1%	99%	0%	100%	0%	100%
Glaserersatz 3-IV	88%	13%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
Glaserersatz Vakuum	88%	13%	1%	99%	0%	100%	2%	98%
Gesamtergebnis	89%	11%	52%	48%	40%	60%	16%	84%

Ort
Davos
Lugano
Zürich

Typ Ant.Fenster
20%
30%
40%
50%

Geb. Typ
BÜR-1
BÜR-2
EFH-1
EFH-2
EFH-3
MFH-1
MFH-2
MFH-3

Massnahmen
Fensterersatz H
Fensterersatz HM
Fensterersatz K
Fensterersatz M
Gebäudehülle
Glasaufdopplung
Glaserersatz 2-IV
Glaserersatz 3-IV
Glaserersatz Vakuum
Ist-Zustand

GE+THGE BERECHNUNG: SANIERUNG JA ODER NEIN? UNTERTEILUNG WÄRMEERZEUGER

Conteggio di Geb. Typ	Spaltenbeschriftungen								Ort
Zeilenbeschriftungen	1955		1970		1985		2000		
	JA	NEIN	JA	NEIN	JA	NEIN	JA	NEIN	
Fernwärme	100%	0%	96%	4%	91%	9%	25%	75%	Davos
Fensterersatz H	100%	0%	96%	4%	90%	10%	46%	54%	Lugano
Fensterersatz HM	100%	0%	96%	4%	90%	10%	36%	64%	Zürich
Fensterersatz K	100%	0%	96%	4%	89%	11%	36%	64%	
Fensterersatz M	100%	0%	90%	10%	88%	13%	4%	96%	
Gebäudehülle	100%	0%	100%	0%	96%	4%	14%	86%	
Glasaufdopplung	100%	0%	98%	2%	98%	2%	38%	63%	
Glaserersatz 2-IV	100%	0%	98%	2%	93%	7%	0%	100%	
Glaserersatz 3-IV	100%	0%	95%	5%	90%	10%	49%	51%	
Glaserersatz Vakuum	100%	0%	94%	6%	88%	13%	6%	94%	
Holz Schnitzel	61%	39%	4%	96%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz H	71%	29%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz HM	60%	40%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz K	59%	41%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz M	23%	77%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Gebäudehülle	6%	94%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Glasaufdopplung	100%	0%	33%	67%	0%	100%	2%	98%	
Glaserersatz 2-IV	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Glaserersatz 3-IV	77%	23%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Glaserersatz Vakuum	65%	35%	1%	99%	0%	100%	2%	98%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	93%	7%	
Fensterersatz H	100%	0%	100%	0%	100%	0%	96%	4%	
Fensterersatz HM	100%	0%	100%	0%	100%	0%	93%	7%	
Fensterersatz K	100%	0%	100%	0%	100%	0%	96%	4%	
Fensterersatz M	100%	0%	100%	0%	100%	0%	90%	10%	
Gebäudehülle	100%	0%	100%	0%	100%	0%	99%	1%	
Glasaufdopplung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	94%	6%	
Glaserersatz 2-IV	100%	0%	100%	0%	100%	0%	89%	11%	
Glaserersatz 3-IV	100%	0%	99%	1%	100%	0%	94%	6%	
Glaserersatz Vakuum	100%	0%	99%	1%	98%	2%	85%	15%	
Solarthermie	83%	17%	8%	92%	1%	99%	0%	100%	
Fensterersatz H	88%	13%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz HM	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz K	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz M	68%	32%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Gebäudehülle	55%	45%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Glasaufdopplung	100%	0%	72%	28%	11%	89%	2%	98%	
Glaserersatz 2-IV	95%	5%	2%	98%	0%	100%	0%	100%	
Glaserersatz 3-IV	89%	11%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Glaserersatz Vakuum	88%	13%	1%	99%	0%	100%	2%	98%	
WP E CH Mix	100%	0%	96%	4%	92%	8%	31%	69%	
Fensterersatz H	100%	0%	98%	2%	93%	7%	54%	46%	
Fensterersatz HM	100%	0%	96%	4%	90%	10%	46%	54%	
Fensterersatz K	100%	0%	96%	4%	90%	10%	46%	54%	
Fensterersatz M	100%	0%	92%	8%	88%	13%	8%	92%	
Gebäudehülle	100%	0%	100%	0%	97%	3%	21%	79%	
Glasaufdopplung	100%	0%	98%	2%	100%	0%	44%	56%	
Glaserersatz 2-IV	100%	0%	98%	2%	96%	4%	0%	100%	
Glaserersatz 3-IV	100%	0%	95%	5%	92%	8%	55%	45%	
Glaserersatz Vakuum	100%	0%	94%	6%	88%	13%	9%	91%	
WP LW CH Mix	100%	0%	99%	1%	99%	1%	76%	24%	
Fensterersatz H	100%	0%	100%	0%	100%	0%	89%	11%	
Fensterersatz HM	100%	0%	100%	0%	100%	0%	88%	13%	
Fensterersatz K	100%	0%	100%	0%	100%	0%	88%	13%	
Fensterersatz M	100%	0%	98%	2%	96%	4%	67%	33%	
Gebäudehülle	100%	0%	100%	0%	100%	0%	77%	23%	
Glasaufdopplung	100%	0%	99%	1%	100%	0%	83%	17%	
Glaserersatz 2-IV	100%	0%	100%	0%	100%	0%	46%	54%	
Glaserersatz 3-IV	100%	0%	98%	2%	100%	0%	90%	10%	
Glaserersatz Vakuum	100%	0%	99%	1%	95%	5%	59%	41%	
WP LW CH Zer	83%	17%	8%	92%	1%	99%	0%	100%	
Fensterersatz H	88%	13%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz HM	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz K	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz M	68%	32%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Gebäudehülle	50%	50%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Glasaufdopplung	100%	0%	71%	29%	11%	89%	2%	98%	
Glaserersatz 2-IV	94%	6%	1%	99%	0%	100%	0%	100%	
Glaserersatz 3-IV	88%	13%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Glaserersatz Vakuum	88%	13%	1%	99%	0%	100%	2%	98%	
Gesamtergebnis	90%	10%	59%	41%	55%	45%	32%	68%	

Typ Ant.Fenster

20%

30%

40%

50%

Geb. Typ

BÜR-1

BÜR-2

EFH-1

EFH-2

EFH-3

MFH-1

MFH-2

MFH-3

Massnahmen

Fensterersatz H

Fensterersatz HM

Fensterersatz K

Fensterersatz M

Gebäudehülle

Glasaufdopplung

Glaserersatz 2-IV

Glaserersatz 3-IV

Glaserersatz Vakuum

Ist-Zustand

GRAUE ENERGIE BERECHNUNG: SANIERUNG JA ODER NEIN? UNTERTEILUNG MASSNAHMEN

Conteggio di Geb. Typ	Spaltenbeschriftungen								Ort
	1955		1970		1985		2000		
Zeilenbeschriftungen	JA	NEIN	JA	NEIN	JA	NEIN	JA	NEIN	
Fensterersatz H	72%	28%	56%	44%	55%	45%	40%	60%	Davos
Fernwärme	100%	0%	96%	4%	90%	10%	46%	54%	Lugano
Holz Schnitzel	14%	86%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	Zürich
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	94%	6%	
Solarthermie	88%	13%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	98%	2%	93%	7%	54%	46%	
WP LW CH Mix	100%	0%	100%	0%	100%	0%	89%	11%	
WP LW CH Zer	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz HM	69%	31%	56%	44%	54%	46%	37%	63%	
Fernwärme	100%	0%	96%	4%	90%	10%	36%	64%	
Holz Schnitzel	2%	98%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	92%	8%	
Solarthermie	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	96%	4%	90%	10%	46%	54%	
WP LW CH Mix	100%	0%	100%	0%	100%	0%	88%	13%	
WP LW CH Zer	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz K	69%	31%	56%	44%	54%	46%	37%	63%	
Fernwärme	100%	0%	96%	4%	89%	11%	36%	64%	
Holz Schnitzel	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	92%	8%	
Solarthermie	81%	19%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	96%	4%	90%	10%	46%	54%	
WP LW CH Mix	100%	0%	100%	0%	100%	0%	88%	13%	
WP LW CH Zer	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz M	67%	33%	54%	46%	53%	47%	24%	76%	
Fernwärme	100%	0%	90%	10%	88%	13%	4%	96%	
Holz Schnitzel	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	90%	10%	
Solarthermie	67%	33%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	92%	8%	88%	13%	8%	92%	
WP LW CH Mix	100%	0%	98%	2%	96%	4%	67%	33%	
WP LW CH Zer	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Gebäudehülle	65%	35%	57%	43%	56%	44%	30%	70%	
Fernwärme	100%	0%	100%	0%	96%	4%	14%	86%	
Holz Schnitzel	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	98%	2%	
Solarthermie	55%	45%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	100%	0%	97%	3%	21%	79%	
WP LW CH Mix	100%	0%	100%	0%	100%	0%	77%	23%	
WP LW CH Zer	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Glasaufdopplung	96%	4%	65%	35%	57%	43%	38%	62%	
Fernwärme	100%	0%	98%	2%	98%	2%	38%	63%	
Holz Schnitzel	92%	8%	0%	100%	0%	100%	2%	98%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	94%	6%	
Solarthermie	100%	0%	58%	42%	4%	96%	2%	98%	
WP E CH Mix	100%	0%	98%	2%	100%	0%	44%	56%	
WP LW CH Mix	100%	0%	99%	1%	100%	0%	83%	17%	
WP LW CH Zer	81%	19%	0%	100%	0%	100%	2%	98%	
Glasersatz 2-IV	78%	22%	57%	43%	56%	44%	19%	81%	
Fernwärme	100%	0%	98%	2%	93%	7%	0%	100%	
Holz Schnitzel	54%	46%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	89%	11%	
Solarthermie	93%	7%	1%	99%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	98%	2%	96%	4%	0%	100%	
WP LW CH Mix	100%	0%	100%	0%	100%	0%	46%	54%	
WP LW CH Zer	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Glasersatz 3-IV	73%	27%	55%	45%	54%	46%	41%	59%	
Fernwärme	100%	0%	95%	5%	90%	10%	49%	51%	
Holz Schnitzel	25%	75%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	99%	1%	100%	0%	94%	6%	
Solarthermie	89%	11%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	95%	5%	92%	8%	55%	45%	
WP LW CH Mix	100%	0%	98%	2%	100%	0%	90%	10%	
WP LW CH Zer	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Glasersatz Vakuum	71%	29%	56%	44%	53%	47%	24%	76%	
Fernwärme	100%	0%	94%	6%	88%	13%	6%	94%	
Holz Schnitzel	9%	91%	1%	99%	0%	100%	2%	98%	
Öl-Heizung	100%	0%	99%	1%	98%	2%	84%	16%	
Solarthermie	88%	13%	1%	99%	0%	100%	2%	98%	
WP E CH Mix	100%	0%	94%	6%	88%	13%	9%	91%	
WP LW CH Mix	100%	0%	99%	1%	95%	5%	59%	41%	
WP LW CH Zer	0%	100%	1%	99%	0%	100%	2%	98%	
Gesamtergebnis	73%	27%	57%	43%	55%	45%	32%	68%	

Typ Ant.Fenster

20%

30%

40%

50%

Geb. Typ

BÜR-1

BÜR-2

EFH-1

EFH-2

EFH-3

MFH-1

MFH-2

MFH-3

Massnahmen

Fensterersatz H

Fensterersatz HM

Fensterersatz K

Fensterersatz M

Gebäudehülle

Glasaufdopplung

Glasersatz 2-IV

Glasersatz 3-IV

Glasersatz Vakuum

Ist-Zustand

THGE BERECHNUNG: SANIERUNG JA ODER NEIN? UNTERTEILUNG MASSNAHMEN

Conteggio di Geb. Typ	Spaltenbeschriftungen								Ort
	1955		1970		1985		2000		
Zeilenbeschriftungen	JA	NEIN	JA	NEIN	JA	NEIN	JA	NEIN	
Fensterersatz H	92%	8%	51%	49%	43%	57%	18%	82%	Davos
Fernwärme	100%	0%	95%	5%	88%	13%	30%	70%	Lugano
Holz Schnitzel	71%	29%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	Zürich
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	96%	4%	
Solarthermie	88%	13%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	72%	28%	29%	71%	0%	100%	
WP LW CH Mix	100%	0%	90%	10%	81%	19%	1%	99%	
WP LW CH Zer	88%	13%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz HM	90%	10%	49%	51%	39%	61%	15%	85%	
Fernwärme	100%	0%	92%	8%	88%	13%	14%	86%	
Holz Schnitzel	60%	40%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	93%	7%	
Solarthermie	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	63%	38%	11%	89%	0%	100%	
WP LW CH Mix	100%	0%	88%	13%	75%	25%	0%	100%	
WP LW CH Zer	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz K	90%	10%	49%	51%	40%	60%	17%	83%	
Fernwärme	100%	0%	93%	7%	88%	13%	25%	75%	
Holz Schnitzel	59%	41%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	96%	4%	
Solarthermie	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	63%	38%	15%	85%	0%	100%	
WP LW CH Mix	100%	0%	88%	13%	75%	25%	0%	100%	
WP LW CH Zer	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz M	79%	21%	43%	57%	31%	69%	13%	87%	
Fernwärme	100%	0%	89%	11%	76%	24%	0%	100%	
Holz Schnitzel	23%	77%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	90%	10%	
Solarthermie	68%	32%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	98%	2%	31%	69%	0%	100%	0%	100%	
WP LW CH Mix	100%	0%	79%	21%	43%	57%	0%	100%	
WP LW CH Zer	68%	32%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Gebäudehülle	72%	28%	48%	52%	33%	67%	14%	86%	
Fernwärme	100%	0%	98%	2%	79%	21%	0%	100%	
Holz Schnitzel	6%	94%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	99%	1%	
Solarthermie	51%	49%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	99%	1%	47%	53%	1%	99%	0%	100%	
WP LW CH Mix	100%	0%	94%	6%	52%	48%	0%	100%	
WP LW CH Zer	50%	50%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Glasaufdopplung	100%	0%	80%	20%	56%	44%	18%	82%	
Fernwärme	100%	0%	98%	2%	96%	4%	23%	77%	
Holz Schnitzel	100%	0%	33%	67%	0%	100%	2%	98%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	94%	6%	
Solarthermie	100%	0%	72%	28%	11%	89%	2%	98%	
WP E CH Mix	100%	0%	90%	10%	81%	19%	2%	98%	
WP LW CH Mix	100%	0%	97%	3%	91%	9%	4%	96%	
WP LW CH Zer	100%	0%	71%	29%	11%	89%	2%	98%	
Glasersatz 2-IV	96%	4%	52%	48%	39%	61%	13%	87%	
Fernwärme	100%	0%	96%	4%	88%	13%	0%	100%	
Holz Schnitzel	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	89%	11%	
Solarthermie	95%	5%	2%	98%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	75%	25%	14%	86%	0%	100%	
WP LW CH Mix	100%	0%	90%	10%	75%	25%	0%	100%	
WP LW CH Zer	94%	6%	1%	99%	0%	100%	0%	100%	
Glasersatz 3-IV	93%	7%	50%	50%	42%	58%	17%	83%	
Fernwärme	100%	0%	93%	7%	88%	13%	27%	73%	
Holz Schnitzel	77%	23%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	99%	1%	100%	0%	94%	6%	
Solarthermie	89%	11%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	71%	29%	26%	74%	0%	100%	
WP LW CH Mix	100%	0%	89%	11%	81%	19%	1%	99%	
WP LW CH Zer	88%	13%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Glasersatz Vakuum	91%	9%	47%	53%	33%	67%	14%	86%	
Fernwärme	100%	0%	91%	9%	77%	23%	2%	98%	
Holz Schnitzel	65%	35%	1%	99%	0%	100%	2%	98%	
Öl-Heizung	100%	0%	99%	1%	98%	2%	85%	15%	
Solarthermie	88%	13%	1%	99%	0%	100%	2%	98%	
WP E CH Mix	100%	0%	49%	51%	3%	97%	2%	98%	
WP LW CH Mix	100%	0%	84%	16%	51%	49%	2%	98%	
WP LW CH Zer	88%	13%	1%	99%	0%	100%	2%	98%	
Gesamtergebnis	89%	11%	52%	48%	40%	60%	16%	84%	

Ort

Davos

Lugano

Zürich

Typ Ant.Fenster

20%

30%

40%

50%

Geb. Typ

BÜR-1

BÜR-2

EFH-1

EFH-2

EFH-3

MFH-1

MFH-2

MFH-3

Massnahmen

Fensterersatz H

Fensterersatz HM

Fensterersatz K

Fensterersatz M

Gebäudehülle

Glasaufdopplung

Glasersatz 2-IV

Glasersatz 3-IV

Glasersatz Vakuum

Ist-Zustand

GE+THGE BERECHNUNG: SANIERUNG JA ODER NEIN? UNTERTEILUNG MASSNAHMEN

Conteggio di Geb. Typ	Spaltenbeschriftungen								Ort
	1955		1970		1985		2000		
Zeilenbeschriftungen	JA	NEIN	JA	NEIN	JA	NEIN	JA	NEIN	
Fensterersatz H	92%	8%	56%	44%	55%	45%	41%	59%	
Fernwärme	100%	0%	96%	4%	90%	10%	46%	54%	
Holz Schnitzel	71%	29%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	96%	4%	
Solarthermie	88%	13%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	98%	2%	93%	7%	54%	46%	
WP LW CH Mix	100%	0%	100%	0%	100%	0%	89%	11%	
WP LW CH Zer	88%	13%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz HM	90%	10%	56%	44%	54%	46%	38%	63%	
Fernwärme	100%	0%	96%	4%	90%	10%	36%	64%	
Holz Schnitzel	60%	40%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	93%	7%	
Solarthermie	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	96%	4%	90%	10%	46%	54%	
WP LW CH Mix	100%	0%	100%	0%	100%	0%	88%	13%	
WP LW CH Zer	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz K	90%	10%	56%	44%	54%	46%	38%	62%	
Fernwärme	100%	0%	96%	4%	89%	11%	36%	64%	
Holz Schnitzel	59%	41%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	96%	4%	
Solarthermie	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	96%	4%	90%	10%	46%	54%	
WP LW CH Mix	100%	0%	100%	0%	100%	0%	88%	13%	
WP LW CH Zer	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Fensterersatz M	80%	20%	54%	46%	53%	47%	24%	76%	
Fernwärme	100%	0%	90%	10%	88%	13%	4%	96%	
Holz Schnitzel	23%	77%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	90%	10%	
Solarthermie	68%	32%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	92%	8%	88%	13%	8%	92%	
WP LW CH Mix	100%	0%	98%	2%	96%	4%	67%	33%	
WP LW CH Zer	68%	32%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Gebäudehülle	73%	27%	57%	43%	56%	44%	30%	70%	
Fernwärme	100%	0%	100%	0%	96%	4%	14%	86%	
Holz Schnitzel	6%	94%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	99%	1%	
Solarthermie	55%	45%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	100%	0%	97%	3%	21%	79%	
WP LW CH Mix	100%	0%	100%	0%	100%	0%	77%	23%	
WP LW CH Zer	50%	50%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Glasaufdopplung	100%	0%	82%	18%	60%	40%	38%	62%	
Fernwärme	100%	0%	98%	2%	98%	2%	38%	63%	
Holz Schnitzel	100%	0%	33%	67%	0%	100%	2%	98%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	94%	6%	
Solarthermie	100%	0%	72%	28%	11%	89%	2%	98%	
WP E CH Mix	100%	0%	98%	2%	100%	0%	44%	56%	
WP LW CH Mix	100%	0%	99%	1%	100%	0%	83%	17%	
WP LW CH Zer	100%	0%	71%	29%	11%	89%	2%	98%	
Glaseratz 2-IV	96%	4%	57%	43%	56%	44%	19%	81%	
Fernwärme	100%	0%	98%	2%	93%	7%	0%	100%	
Holz Schnitzel	84%	16%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	100%	0%	100%	0%	89%	11%	
Solarthermie	95%	5%	2%	98%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	98%	2%	96%	4%	0%	100%	
WP LW CH Mix	100%	0%	100%	0%	100%	0%	46%	54%	
WP LW CH Zer	94%	6%	1%	99%	0%	100%	0%	100%	
Glaseratz 3-IV	93%	7%	55%	45%	54%	46%	41%	59%	
Fernwärme	100%	0%	95%	5%	90%	10%	49%	51%	
Holz Schnitzel	77%	23%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Öl-Heizung	100%	0%	99%	1%	100%	0%	94%	6%	
Solarthermie	89%	11%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
WP E CH Mix	100%	0%	95%	5%	92%	8%	55%	45%	
WP LW CH Mix	100%	0%	98%	2%	100%	0%	90%	10%	
WP LW CH Zer	88%	13%	0%	100%	0%	100%	0%	100%	
Glaseratz Vakuum	91%	9%	56%	44%	53%	47%	24%	76%	
Fernwärme	100%	0%	94%	6%	88%	13%	6%	94%	
Holz Schnitzel	65%	35%	1%	99%	0%	100%	2%	98%	
Öl-Heizung	100%	0%	99%	1%	98%	2%	85%	15%	
Solarthermie	88%	13%	1%	99%	0%	100%	2%	98%	
WP E CH Mix	100%	0%	94%	6%	88%	13%	9%	91%	
WP LW CH Mix	100%	0%	99%	1%	95%	5%	59%	41%	
WP LW CH Zer	88%	13%	1%	99%	0%	100%	2%	98%	
Gesamtergebnis	90%	10%	59%	41%	55%	45%	32%	68%	

Typ Ant.Fenster

20%

30%

40%

50%

Geb. Typ

BÜR-1

BÜR-2

EFH-1

EFH-2

EFH-3

MFH-1

MFH-2

MFH-3

Massnahmen

Fensterersatz H

Fensterersatz HM

Fensterersatz K

Fensterersatz M

Gebäudehülle

Glasaufdopplung

Glaseratz 2-IV

Glaseratz 3-IV

Glaseratz Vakuum

Ist-Zustand

Typ Ant.Fenster

20%
30%
40%
50%

Geb. Typ

BÜR-1
BÜR-2
EFH-1
EFH-2
EFH-3
MFH-1
MFH-2
MFH-3

Massnahmen

Fensterersatz H
Fensterersatz HM
Fensterersatz K
Fensterersatz M
Gebäudehülle
Glasaufdopplung
Glasersatz 2-IV
Glasersatz 3-IV
Glasersatz Vakuum
Ist-Zustand

ENERGIEBERECHNUNG: Δ ENERGIE VERBRAUCH IST-ZUSTAND ORT

Mittelwert von Δ % Verbi Spaltenbeschriftungen									
Zeilenbeschriftungen	Fensterersa	Fensterersa	Fensterersa	Fensterersa	Gebäudehül	Glasaufdop	Glasersatz 2-	Glasersatz 3-	Glasersatz
	tz H	tz HM	tz K	tz M	le	plung	IV	IV	Vakuum
BÜR-1	-32%	-32%	-33%	-30%	-78%	-21%	-22%	-28%	-23%
Davos	-27%	-26%	-28%	-25%	-80%	-16%	-19%	-23%	-18%
1955	-37%	-36%	-37%	-36%	-92%	-30%	-31%	-32%	-30%
1970	-24%	-24%	-25%	-23%	-86%	-15%	-17%	-19%	-16%
1985	-26%	-25%	-27%	-24%	-81%	-15%	-17%	-21%	-16%
2000	-22%	-20%	-23%	-18%	-60%	-5%	-9%	-18%	-9%
Lugano	-38%	-37%	-38%	-35%	-80%	-24%	-25%	-33%	-28%
1955	-50%	-50%	-50%	-49%	-93%	-42%	-43%	-46%	-44%
1970	-36%	-36%	-37%	-34%	-86%	-25%	-26%	-31%	-27%
1985	-35%	-34%	-36%	-32%	-80%	-21%	-22%	-30%	-24%
2000	-30%	-28%	-31%	-25%	-61%	-9%	-10%	-25%	-16%
Zürich	-32%	-32%	-33%	-30%	-73%	-21%	-21%	-28%	-24%
1955	-45%	-45%	-45%	-44%	-89%	-38%	-38%	-41%	-39%
1970	-32%	-31%	-32%	-30%	-80%	-22%	-22%	-27%	-24%
1985	-29%	-28%	-30%	-27%	-72%	-18%	-18%	-25%	-21%
2000	-23%	-22%	-24%	-20%	-51%	-7%	-7%	-20%	-13%
BÜR-2	-36%	-36%	-37%	-34%	-78%	-24%	-24%	-32%	-27%
Davos	-32%	-31%	-32%	-29%	-80%	-20%	-22%	-27%	-21%
1955	-42%	-42%	-43%	-41%	-93%	-35%	-36%	-37%	-35%
1970	-29%	-29%	-30%	-28%	-86%	-19%	-21%	-24%	-20%
1985	-30%	-30%	-31%	-28%	-80%	-18%	-20%	-25%	-20%
2000	-24%	-23%	-25%	-20%	-60%	-6%	-10%	-20%	-10%
Lugano	-42%	-41%	-43%	-40%	-80%	-28%	-28%	-37%	-31%
1955	-55%	-55%	-55%	-54%	-93%	-47%	-47%	-50%	-48%
1970	-41%	-40%	-42%	-39%	-87%	-29%	-29%	-35%	-31%
1985	-40%	-39%	-40%	-37%	-80%	-24%	-25%	-34%	-28%
2000	-33%	-31%	-34%	-28%	-61%	-11%	-11%	-28%	-18%
Zürich	-36%	-35%	-36%	-34%	-73%	-24%	-23%	-31%	-27%
1955	-49%	-49%	-50%	-48%	-89%	-42%	-42%	-45%	-43%
1970	-35%	-35%	-36%	-34%	-80%	-25%	-25%	-31%	-27%
1985	-32%	-31%	-33%	-30%	-71%	-20%	-19%	-28%	-23%
2000	-26%	-24%	-27%	-22%	-51%	-8%	-7%	-22%	-15%
EFH-1	-43%	-42%	-44%	-40%	-79%	-28%	-28%	-37%	-32%
Davos	-38%	-37%	-39%	-35%	-83%	-23%	-25%	-32%	-26%
1955	-47%	-46%	-47%	-46%	-93%	-38%	-39%	-41%	-39%
1970	-35%	-35%	-36%	-33%	-88%	-23%	-25%	-29%	-25%
1985	-36%	-35%	-37%	-33%	-83%	-21%	-23%	-30%	-24%
2000	-34%	-32%	-35%	-28%	-67%	-10%	-12%	-28%	-16%
Lugano	-48%	-47%	-49%	-45%	-80%	-32%	-31%	-43%	-36%
1955	-60%	-60%	-61%	-59%	-93%	-51%	-51%	-55%	-53%
1970	-48%	-47%	-49%	-46%	-86%	-34%	-34%	-42%	-37%
1985	-45%	-44%	-46%	-42%	-80%	-28%	-28%	-40%	-33%
2000	-39%	-37%	-40%	-34%	-63%	-13%	-12%	-34%	-22%
Zürich	-42%	-41%	-43%	-40%	-75%	-28%	-27%	-37%	-32%
1955	-55%	-54%	-55%	-53%	-89%	-46%	-46%	-50%	-47%
1970	-42%	-42%	-43%	-41%	-81%	-30%	-30%	-37%	-33%
1985	-39%	-38%	-40%	-37%	-74%	-24%	-24%	-34%	-29%
2000	-32%	-30%	-33%	-28%	-54%	-11%	-9%	-28%	-19%
EFH-2	-41%	-40%	-42%	-38%	-77%	-27%	-26%	-36%	-31%
Davos	-36%	-35%	-37%	-33%	-80%	-22%	-23%	-31%	-25%
1955	-45%	-45%	-45%	-44%	-92%	-37%	-38%	-40%	-38%
1970	-34%	-33%	-34%	-32%	-85%	-22%	-23%	-28%	-24%
1985	-34%	-33%	-35%	-31%	-80%	-20%	-21%	-29%	-23%
2000	-31%	-29%	-32%	-26%	-62%	-9%	-10%	-26%	-15%
Lugano	-46%	-45%	-47%	-44%	-78%	-31%	-30%	-41%	-35%
1955	-59%	-59%	-60%	-58%	-91%	-50%	-50%	-54%	-52%
1970	-46%	-46%	-47%	-45%	-84%	-33%	-33%	-41%	-36%
1985	-43%	-42%	-44%	-41%	-77%	-27%	-26%	-38%	-32%
2000	-36%	-35%	-38%	-32%	-59%	-12%	-11%	-32%	-21%
Zürich	-41%	-40%	-41%	-39%	-73%	-27%	-26%	-36%	-31%
1955	-53%	-53%	-54%	-52%	-88%	-45%	-44%	-49%	-46%
1970	-41%	-41%	-42%	-40%	-79%	-29%	-29%	-36%	-32%
1985	-38%	-37%	-39%	-36%	-71%	-23%	-23%	-33%	-28%
2000	-30%	-29%	-32%	-27%	-52%	-10%	-9%	-27%	-18%

EFH-3	-45%	-44%	-46%	-42%	-78%	-29%	-29%	-40%	-34%
Davos	-41%	-40%	-42%	-38%	-81%	-25%	-26%	-35%	-29%
1955	-50%	-49%	-50%	-49%	-93%	-41%	-42%	-44%	-42%
1970	-39%	-38%	-39%	-37%	-87%	-26%	-27%	-32%	-28%
1985	-39%	-38%	-40%	-36%	-81%	-23%	-24%	-33%	-26%
2000	-35%	-33%	-37%	-30%	-64%	-10%	-12%	-30%	-18%
Lugano	-50%	-49%	-51%	-48%	-79%	-33%	-33%	-45%	-39%
1955	-63%	-63%	-64%	-62%	-92%	-54%	-54%	-58%	-56%
1970	-51%	-50%	-51%	-49%	-85%	-37%	-36%	-45%	-40%
1985	-48%	-47%	-48%	-45%	-78%	-30%	-29%	-42%	-35%
2000	-40%	-38%	-42%	-35%	-61%	-13%	-12%	-35%	-23%
Zürich	-44%	-44%	-45%	-42%	-73%	-29%	-28%	-39%	-34%
1955	-57%	-57%	-58%	-56%	-89%	-48%	-48%	-52%	-50%
1970	-45%	-45%	-46%	-44%	-80%	-32%	-32%	-40%	-36%
1985	-41%	-41%	-42%	-39%	-72%	-26%	-25%	-36%	-31%
2000	-33%	-32%	-34%	-29%	-53%	-11%	-9%	-29%	-20%
MFH-1	-41%	-41%	-42%	-39%	-79%	-27%	-27%	-36%	-31%
Davos	-37%	-36%	-38%	-34%	-82%	-23%	-24%	-31%	-25%
1955	-46%	-45%	-46%	-45%	-93%	-38%	-38%	-41%	-39%
1970	-35%	-34%	-35%	-33%	-87%	-23%	-24%	-29%	-24%
1985	-35%	-34%	-36%	-32%	-82%	-21%	-22%	-30%	-24%
2000	-31%	-30%	-33%	-27%	-64%	-9%	-11%	-27%	-16%
Lugano	-47%	-46%	-48%	-44%	-80%	-31%	-31%	-42%	-36%
1955	-60%	-59%	-60%	-59%	-93%	-51%	-51%	-55%	-52%
1970	-47%	-46%	-47%	-45%	-86%	-33%	-33%	-41%	-36%
1985	-44%	-43%	-45%	-41%	-80%	-27%	-27%	-38%	-32%
2000	-37%	-36%	-39%	-33%	-62%	-12%	-11%	-33%	-22%
Zürich	-41%	-40%	-41%	-39%	-74%	-27%	-26%	-36%	-31%
1955	-54%	-54%	-54%	-53%	-89%	-45%	-45%	-49%	-47%
1970	-41%	-41%	-42%	-40%	-81%	-30%	-29%	-36%	-33%
1985	-38%	-37%	-38%	-35%	-73%	-23%	-23%	-33%	-28%
2000	-30%	-29%	-31%	-26%	-53%	-10%	-8%	-26%	-18%
MFH-2	-37%	-36%	-38%	-34%	-78%	-24%	-25%	-32%	-27%
Davos	-32%	-31%	-33%	-30%	-81%	-20%	-22%	-27%	-21%
1955	-42%	-42%	-42%	-41%	-93%	-35%	-36%	-37%	-35%
1970	-29%	-29%	-30%	-28%	-88%	-19%	-21%	-24%	-19%
1985	-31%	-30%	-32%	-28%	-82%	-18%	-21%	-26%	-20%
2000	-26%	-24%	-27%	-21%	-63%	-7%	-11%	-21%	-11%
Lugano	-42%	-42%	-43%	-40%	-81%	-28%	-28%	-37%	-31%
1955	-55%	-55%	-56%	-54%	-93%	-47%	-47%	-50%	-48%
1970	-41%	-41%	-42%	-39%	-87%	-29%	-29%	-35%	-31%
1985	-40%	-39%	-41%	-37%	-81%	-24%	-25%	-34%	-28%
2000	-34%	-32%	-35%	-29%	-62%	-11%	-11%	-29%	-18%
Zürich	-36%	-35%	-37%	-34%	-73%	-24%	-24%	-32%	-27%
1955	-50%	-49%	-50%	-49%	-89%	-42%	-42%	-45%	-43%
1970	-36%	-35%	-36%	-34%	-80%	-25%	-25%	-31%	-28%
1985	-33%	-32%	-34%	-31%	-72%	-20%	-20%	-28%	-24%
2000	-26%	-25%	-27%	-22%	-51%	-8%	-8%	-22%	-15%
MFH-3	-28%	-27%	-29%	-26%	-79%	-17%	-20%	-23%	-18%
Davos	-22%	-21%	-23%	-20%	-82%	-13%	-18%	-17%	-12%
1955	-34%	-34%	-34%	-33%	-94%	-28%	-30%	-29%	-27%
1970	-18%	-17%	-18%	-16%	-89%	-9%	-14%	-12%	-8%
1985	-21%	-21%	-22%	-19%	-83%	-12%	-17%	-16%	-11%
2000	-15%	-14%	-17%	-11%	-62%	-2%	-9%	-11%	-1%
Lugano	-34%	-33%	-35%	-31%	-83%	-21%	-24%	-29%	-23%
1955	-47%	-46%	-47%	-46%	-95%	-39%	-41%	-42%	-40%
1970	-31%	-30%	-32%	-29%	-89%	-20%	-22%	-25%	-21%
1985	-32%	-31%	-33%	-29%	-84%	-19%	-22%	-26%	-20%
2000	-27%	-25%	-28%	-22%	-65%	-7%	-10%	-22%	-11%
Zürich	-28%	-27%	-29%	-26%	-73%	-18%	-19%	-24%	-20%
1955	-41%	-41%	-41%	-40%	-89%	-34%	-35%	-37%	-35%
1970	-26%	-26%	-27%	-25%	-80%	-18%	-19%	-22%	-19%
1985	-25%	-25%	-26%	-23%	-72%	-15%	-16%	-21%	-17%
2000	-20%	-19%	-21%	-17%	-50%	-6%	-7%	-17%	-10%
Gesamtergebnis	-38%	-37%	-39%	-36%	-78%	-24%	-25%	-33%	-28%
Min. Wert	-15%	-14%	-17%	-11%	-50%	-2%	-7%	-11%	-1%
90. Perzentil	-26%	-25%	-27%	-22%	-60%	-9%	-9%	-21%	-15%
80. Perzentil	-30%	-29%	-31%	-27%	-63%	-11%	-11%	-25%	-18%
50. Perzentil	-36%	-36%	-38%	-34%	-81%	-23%	-24%	-32%	-27%
Max. Wert	-63%	-63%	-64%	-62%	-95%	-54%	-54%	-58%	-56%

ENERGIEBERECHNUNG: Δ ENERGIE VERBRAUCH IST-ZUSTAND JAHR

Mittelwert von Δ % Verbi Spaltenbeschriftungen									
Zeilenbeschriftungen	Fensterersa tz H	Fensterersa tz HM	Fensterersa tz K	Fensterersa tz M	Gebäudehül le	Glasaufdop plung	Glasersatz 2 IV	Glasersatz 3 IV	Glasersatz Vakuum
1955	-50%	-49%	-50%	-49%	-92%	-42%	-42%	-45%	-43%
Davos	-43%	-42%	-43%	-42%	-93%	-35%	-36%	-38%	-36%
BÜR-1	-37%	-36%	-37%	-36%	-92%	-30%	-31%	-32%	-30%
BÜR-2	-42%	-42%	-43%	-41%	-93%	-35%	-36%	-37%	-35%
EFH-1	-47%	-46%	-47%	-46%	-93%	-38%	-39%	-41%	-39%
EFH-2	-45%	-45%	-45%	-44%	-92%	-37%	-38%	-40%	-38%
EFH-3	-50%	-49%	-50%	-49%	-93%	-41%	-42%	-44%	-42%
MFH-1	-46%	-45%	-46%	-45%	-93%	-38%	-38%	-41%	-39%
MFH-2	-42%	-42%	-42%	-41%	-93%	-35%	-36%	-37%	-35%
MFH-3	-34%	-34%	-34%	-33%	-94%	-28%	-30%	-29%	-27%
Lugano	-56%	-56%	-57%	-55%	-93%	-48%	-48%	-51%	-49%
BÜR-1	-50%	-50%	-50%	-49%	-93%	-42%	-43%	-46%	-44%
BÜR-2	-55%	-55%	-55%	-54%	-93%	-47%	-47%	-50%	-48%
EFH-1	-60%	-60%	-61%	-59%	-93%	-51%	-51%	-55%	-53%
EFH-2	-59%	-59%	-60%	-58%	-91%	-50%	-50%	-54%	-52%
EFH-3	-63%	-63%	-64%	-62%	-92%	-54%	-54%	-58%	-56%
MFH-1	-60%	-59%	-60%	-59%	-93%	-51%	-51%	-55%	-52%
MFH-2	-55%	-55%	-56%	-54%	-93%	-47%	-47%	-50%	-48%
MFH-3	-47%	-46%	-47%	-46%	-95%	-39%	-41%	-42%	-40%
Zürich	-50%	-50%	-51%	-50%	-89%	-42%	-43%	-46%	-44%
BÜR-1	-45%	-45%	-45%	-44%	-89%	-38%	-38%	-41%	-39%
BÜR-2	-49%	-49%	-50%	-48%	-89%	-42%	-42%	-45%	-43%
EFH-1	-55%	-54%	-55%	-53%	-89%	-46%	-46%	-50%	-47%
EFH-2	-53%	-53%	-54%	-52%	-88%	-45%	-44%	-49%	-46%
EFH-3	-57%	-57%	-58%	-56%	-89%	-48%	-48%	-52%	-50%
MFH-1	-54%	-54%	-54%	-53%	-89%	-45%	-45%	-49%	-47%
MFH-2	-50%	-49%	-50%	-49%	-89%	-42%	-42%	-45%	-43%
MFH-3	-41%	-41%	-41%	-40%	-89%	-34%	-35%	-37%	-35%
1970	-37%	-36%	-37%	-35%	-84%	-25%	-26%	-31%	-27%
Davos	-30%	-30%	-31%	-29%	-87%	-20%	-21%	-25%	-21%
BÜR-1	-24%	-24%	-25%	-23%	-86%	-15%	-17%	-19%	-16%
BÜR-2	-29%	-29%	-30%	-28%	-86%	-19%	-21%	-24%	-20%
EFH-1	-35%	-35%	-36%	-33%	-88%	-23%	-25%	-29%	-25%
EFH-2	-34%	-33%	-34%	-32%	-85%	-22%	-23%	-28%	-24%
EFH-3	-39%	-38%	-39%	-37%	-87%	-26%	-27%	-32%	-28%
MFH-1	-35%	-34%	-35%	-33%	-87%	-23%	-24%	-29%	-24%
MFH-2	-29%	-29%	-30%	-28%	-88%	-19%	-21%	-24%	-19%
MFH-3	-18%	-17%	-18%	-16%	-89%	-9%	-14%	-12%	-8%
Lugano	-43%	-42%	-43%	-41%	-86%	-30%	-30%	-37%	-33%
BÜR-1	-36%	-36%	-37%	-34%	-86%	-25%	-26%	-31%	-27%
BÜR-2	-41%	-40%	-42%	-39%	-87%	-29%	-29%	-35%	-31%
EFH-1	-48%	-47%	-49%	-46%	-86%	-34%	-34%	-42%	-37%
EFH-2	-46%	-46%	-47%	-45%	-84%	-33%	-33%	-41%	-36%
EFH-3	-51%	-50%	-51%	-49%	-85%	-37%	-36%	-45%	-40%
MFH-1	-47%	-46%	-47%	-45%	-86%	-33%	-33%	-41%	-36%
MFH-2	-41%	-41%	-42%	-39%	-87%	-29%	-29%	-35%	-31%
MFH-3	-31%	-30%	-32%	-29%	-89%	-20%	-22%	-25%	-21%
Zürich	-37%	-37%	-38%	-36%	-80%	-26%	-26%	-33%	-29%
BÜR-1	-32%	-31%	-32%	-30%	-80%	-22%	-22%	-27%	-24%
BÜR-2	-35%	-35%	-36%	-34%	-80%	-25%	-25%	-31%	-27%
EFH-1	-42%	-42%	-43%	-41%	-81%	-30%	-30%	-37%	-33%
EFH-2	-41%	-41%	-42%	-40%	-79%	-29%	-29%	-36%	-32%
EFH-3	-45%	-45%	-46%	-44%	-80%	-32%	-32%	-40%	-36%
MFH-1	-41%	-41%	-42%	-40%	-81%	-30%	-29%	-36%	-33%
MFH-2	-36%	-35%	-36%	-34%	-80%	-25%	-25%	-31%	-28%
MFH-3	-26%	-26%	-27%	-25%	-80%	-18%	-19%	-22%	-19%

1985	-36%	-35%	-36%	-33%	-78%	-22%	-22%	-30%	-25%
Davos	-32%	-31%	-33%	-29%	-82%	-19%	-21%	-26%	-20%
BÜR-1	-26%	-25%	-27%	-24%	-81%	-15%	-17%	-21%	-16%
BÜR-2	-30%	-30%	-31%	-28%	-80%	-18%	-20%	-25%	-20%
EFH-1	-36%	-35%	-37%	-33%	-83%	-21%	-23%	-30%	-24%
EFH-2	-34%	-33%	-35%	-31%	-80%	-20%	-21%	-29%	-23%
EFH-3	-39%	-38%	-40%	-36%	-81%	-23%	-24%	-33%	-26%
MFH-1	-35%	-34%	-36%	-32%	-82%	-21%	-22%	-30%	-24%
MFH-2	-31%	-30%	-32%	-28%	-82%	-18%	-21%	-26%	-20%
MFH-3	-21%	-21%	-22%	-19%	-83%	-12%	-17%	-16%	-11%
Lugano	-41%	-40%	-42%	-38%	-80%	-25%	-25%	-35%	-29%
BÜR-1	-35%	-34%	-36%	-32%	-80%	-21%	-22%	-30%	-24%
BÜR-2	-40%	-39%	-40%	-37%	-80%	-24%	-25%	-34%	-28%
EFH-1	-45%	-44%	-46%	-42%	-80%	-28%	-28%	-40%	-33%
EFH-2	-43%	-42%	-44%	-41%	-77%	-27%	-26%	-38%	-32%
EFH-3	-48%	-47%	-48%	-45%	-78%	-30%	-29%	-42%	-35%
MFH-1	-44%	-43%	-45%	-41%	-80%	-27%	-27%	-38%	-32%
MFH-2	-40%	-39%	-41%	-37%	-81%	-24%	-25%	-34%	-28%
MFH-3	-32%	-31%	-33%	-29%	-84%	-19%	-22%	-26%	-20%
Zürich	-34%	-34%	-35%	-32%	-72%	-21%	-21%	-30%	-25%
BÜR-1	-29%	-28%	-30%	-27%	-72%	-18%	-18%	-25%	-21%
BÜR-2	-32%	-31%	-33%	-30%	-71%	-20%	-19%	-28%	-23%
EFH-1	-39%	-38%	-40%	-37%	-74%	-24%	-24%	-34%	-29%
EFH-2	-38%	-37%	-39%	-36%	-71%	-23%	-23%	-33%	-28%
EFH-3	-41%	-41%	-42%	-39%	-72%	-26%	-25%	-36%	-31%
MFH-1	-38%	-37%	-38%	-35%	-73%	-23%	-23%	-33%	-28%
MFH-2	-33%	-32%	-34%	-31%	-72%	-20%	-20%	-28%	-24%
MFH-3	-25%	-25%	-26%	-23%	-72%	-15%	-16%	-21%	-17%
2000	-30%	-28%	-31%	-25%	-59%	-9%	-10%	-25%	-16%
Davos	-27%	-26%	-29%	-22%	-63%	-7%	-10%	-22%	-12%
BÜR-1	-22%	-20%	-23%	-18%	-60%	-5%	-9%	-18%	-9%
BÜR-2	-24%	-23%	-25%	-20%	-60%	-6%	-10%	-20%	-10%
EFH-1	-34%	-32%	-35%	-28%	-67%	-10%	-12%	-28%	-16%
EFH-2	-31%	-29%	-32%	-26%	-62%	-9%	-10%	-26%	-15%
EFH-3	-35%	-33%	-37%	-30%	-64%	-10%	-12%	-30%	-18%
MFH-1	-31%	-30%	-33%	-27%	-64%	-9%	-11%	-27%	-16%
MFH-2	-26%	-24%	-27%	-21%	-63%	-7%	-11%	-21%	-11%
MFH-3	-15%	-14%	-17%	-11%	-62%	-2%	-9%	-11%	-1%
Lugano	-34%	-33%	-36%	-30%	-62%	-11%	-11%	-30%	-19%
BÜR-1	-30%	-28%	-31%	-25%	-61%	-9%	-10%	-25%	-16%
BÜR-2	-33%	-31%	-34%	-28%	-61%	-11%	-11%	-28%	-18%
EFH-1	-39%	-37%	-40%	-34%	-63%	-13%	-12%	-34%	-22%
EFH-2	-36%	-35%	-38%	-32%	-59%	-12%	-11%	-32%	-21%
EFH-3	-40%	-38%	-42%	-35%	-61%	-13%	-12%	-35%	-23%
MFH-1	-37%	-36%	-39%	-33%	-62%	-12%	-11%	-33%	-22%
MFH-2	-34%	-32%	-35%	-29%	-62%	-11%	-11%	-29%	-18%
MFH-3	-27%	-25%	-28%	-22%	-65%	-7%	-10%	-22%	-11%
Zürich	-28%	-26%	-29%	-24%	-52%	-9%	-8%	-24%	-16%
BÜR-1	-23%	-22%	-24%	-20%	-51%	-7%	-7%	-20%	-13%
BÜR-2	-26%	-24%	-27%	-22%	-51%	-8%	-7%	-22%	-15%
EFH-1	-32%	-30%	-33%	-28%	-54%	-11%	-9%	-28%	-19%
EFH-2	-30%	-29%	-32%	-27%	-52%	-10%	-9%	-27%	-18%
EFH-3	-33%	-32%	-34%	-29%	-53%	-11%	-9%	-29%	-20%
MFH-1	-30%	-29%	-31%	-26%	-53%	-10%	-8%	-26%	-18%
MFH-2	-26%	-25%	-27%	-22%	-51%	-8%	-8%	-22%	-15%
MFH-3	-20%	-19%	-21%	-17%	-50%	-6%	-7%	-17%	-10%
Gesamtergebnis	-38%	-37%	-39%	-36%	-78%	-24%	-25%	-33%	-28%
Min. Wert	-15%	-14%	-17%	-11%	-50%	-2%	-7%	-11%	-1%
90. Perzentil	-26%	-25%	-27%	-22%	-60%	-9%	-9%	-21%	-15%
80. Perzentil	-30%	-29%	-31%	-27%	-63%	-11%	-11%	-25%	-18%
50. Perzentil	-36%	-36%	-37%	-34%	-81%	-23%	-24%	-32%	-26%
Max. Wert	-63%	-63%	-64%	-62%	-95%	-54%	-54%	-58%	-56%

FENSTERSANIERUNG ENTSCHEIDUNGSHILFE FÜR DIE RICHTIGE MASSNAHME

