

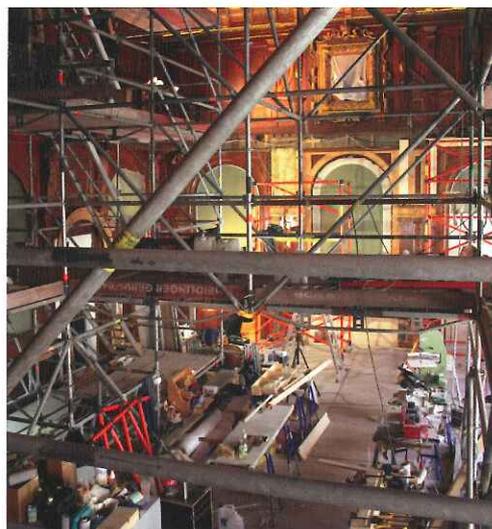
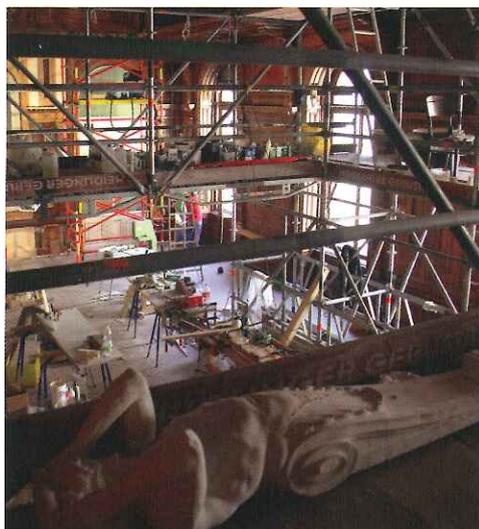
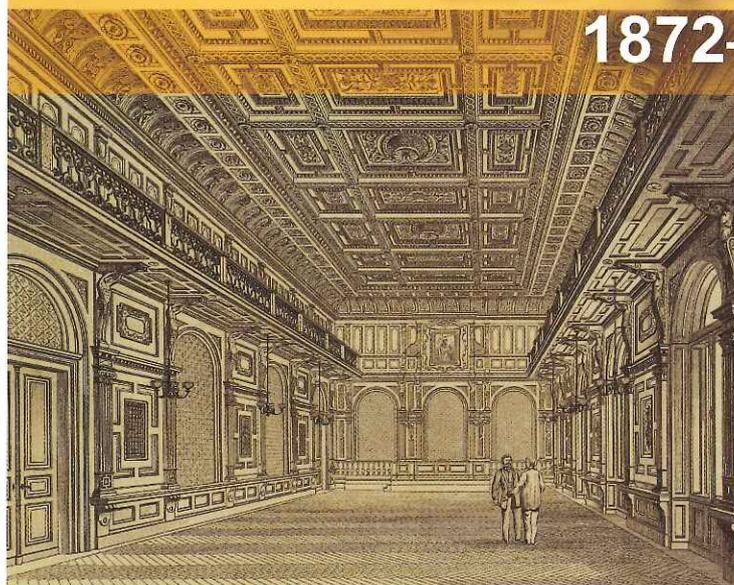


gegründet 1848



ÖIAV-Ingenieurhaus

1872–2012



Lebenszykluskosten von Fenstern – Einfluss der Wartungskosten

Life cycle costs of windows – influence of maintenance costs

Von Christian Schranz und Hans Georg Jodl, Wien

Mit 7 Abbildungen



Dipl.-Ing. Dr.techn.
Christian Schranz, M.Sc.



o.Univ.-Prof.
Dipl.-Ing. Dr.techn.
Dr.h.c. Hans Georg Jodl

Kurzfassung

Eine umfassende Betrachtung der während der Lebensdauer entstehenden Kosten muss auch bei Fenstern die oft vernachlässigten Wartungskosten inkludieren. Die jährlichen Wartungskosten werden oft in Prozentsätzen der Anschaffungskosten angegeben. Diese Prozentsätze werden ermittelt und begründet. Laborversuche unterstützen die Begründung; sie zeigen auch, dass vor allem Fenster mit sehr steifen Rahmen sehr lange mit geringen bzw. ohne Wartung funktionstüchtig bleiben. Beispiele veranschaulichen den Einfluss der Wartungskosten auf die Lebenszykluskosten von Fenstern unterschiedlicher Rahmenmaterialien schon in frühen Jahren des Lebenszyklus.

Abstract

A comprehensive consideration of all costs which arise during the lifecycle of a window must also include the maintenance costs. These costs are too often neglected. The annual maintenance costs are defined as a percentage rate of the purchase costs. The percentage rate for different window materials will be determined and justified. Laboratory tests support the justification. They also show that windows with a very stiff frame can work very well for a long time even with little or no maintenance. Life cycle cost calculations show the influence of maintenance costs on the overall life cycle costs for different window materials already in the early stage of the life cycle.

1. Einleitung

Ein Fenster erfüllt sehr wichtige Aufgaben im Gebäude und muss dabei vielen Anforderungen genügen [8]. Neben der Raumbeleuchtung, dem Wärme-, Schall- und Brandschutz muss es auch Beständigkeit gegen Witterungsbeanspruchung von außen und gegen Wasserdampfbeanspruchung von innen aufweisen. Zusätzlich ist es mechanischen Belastungen ausgesetzt, wie Windlasten, Schneelasten, Nutzungslasten und Bauwerksbewegungen (siehe Abb. 1). Bauphysikalische Bedürfnisse erfordern, dass Fenster ein bis zwei Mal täglich geöffnet werden (Lüftung, Luftfeuchtausgleich etc.). Somit kommt es zu einer zusätzlich hohen Beanspruchung der Fenster im Verlauf des Lebenszyklus eines Fensters (ca. 20.000 Öffnungszyklen in 30 Jahren).

Lebenszykluskosten umfassen eine ganzheitliche Betrachtung der Kostenentwicklung eines Bauteils für seine gesamte Lebensdauer [2]. Bei Bauteilen treten dabei z.B. Planungskosten, Errichtungskosten, Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie Abtrags- und Demontagekosten auf. Oftmals werden bei Kaufentscheidungen nur die Errichtungskosten berücksichtigt, die Betriebs- und Instandhaltungskosten fallen jedoch unter den Tisch.

Die Betriebs- und Instandhaltungskosten entstehen bei Fenstern vor allem aus Wartungs- und Einstellungsarbeiten an Beschlägen, Griffen und Dichtungen bzw. Erneuerung von Schutzanstrichen bei Holzrahmen. Da einige Teile von Fenstern geringere Lebensdauern als das Fenster selbst aufweisen, werden diese innerhalb der Fensterlebensdauer ein- oder mehrmals ausgetauscht. Ein Unterlassen dieser Arbeiten führt zu einer Reduktion der Lebensdauer.

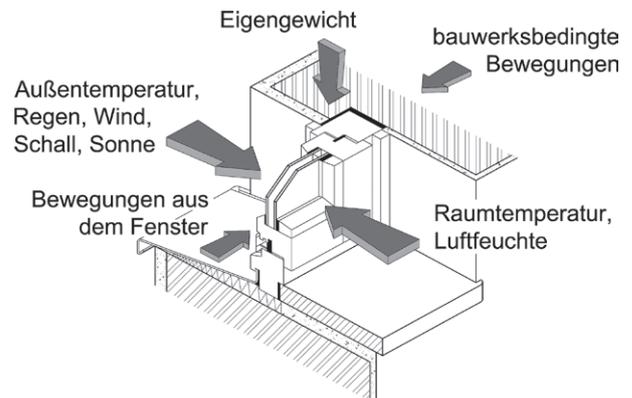


Abb. 1: Anforderungen an Fensterkonstruktionen [8]
Fig. 1: Requirements on windows

2. Versuche im Labor der MA 39

Im Zuge der Studie Jodl et al. [1] wurden auch Prüfungen an Alu-Fensterkonstruktionen in den Labors der MA 39 (Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien) durchgeführt. Diese sollten zeigen, ob sich die Qualitätsmerkmale und die Leistungseigenschaften der Fenster während ihrer Lebensdauer ändern. Der folgende Prüfablauf wurde angewandt:

- Eingangsprüfung mit Luftdurchlässigkeitsprüfung gemäß ÖNORM EN 1026 [5] und Schlagregendichtheitsprüfung gemäß ÖNORM EN 1027 [6].
- Dauerfunktionsprüfung mit 30.000 Zyklen gemäß ÖNORM EN 1191 [7]. Diese Zyklen simulieren abwechselnd das Öffnen und Kippen des Fensters; somit besteht ein Zyklus aus „drehen-verriegeln-kippen-verriegeln“.
- Abschlussprüfung wieder mit Luftdurchlässigkeitsprüfung und Schlagregendichtheitsprüfung.

Da die Dauerfunktionsprüfung die mechanische Alterung einer mehrjährigen Überprüfung simuliert, zeigen sich hier die Schwachpunkte einer Fensterkonstruktion. Diese Prüfung gilt daher als KO-Kriterium der Fensterprüfung. Normalerweise werden 10.000 Zyklen getestet. Diese entsprechen bei durchschnittlich 2 Öffnungen pro Tag einer Dauer von knapp unter

14 Jahren. Dieser Durchschnittswert entspricht der langjährigen Erfahrung der MA 39 im kommunalen Wohnbau. Die getesteten 30.000 Zyklen simulieren somit eine Lebensdauer von ca. 40 Jahren!

In den Untersuchungen wurden drei Fensterarten getestet: ein einflügeliges Fenster mit fixverglaster Unterlichte, eine einflügelige Balkontür und ein zweiflügeliges Stulpfenster. Abb. 2 zeigt ein vollfunktionsfähiges, einflügeliges Fenster nach Absolvierung aller Tests. In Abb. 3 ist eine Balkontür im Prüfstand dargestellt. Alle drei Fensterkonstruktionen durchliefen die 30.000 Zyklen wartungsfrei, d.h. ohne Schmier- und Nachstellarbeiten. Danach waren alle drei Fensterkonstruktionen noch voll funktionsfähig. Am zweiflügeligen Fenster wurden dann weitere 20.000 Zyklen ohne Wartung und ohne Funktionsstörung



Abb. 2: Voll funktionsfähiges, einflügeliges Drehkipp-Fenster nach den Prüfungen

Fig. 2: Fully functional, single-leaf window after laboratory tests



Abb. 3: Einflügelige Balkontür im Dauerfunktionsstand

Fig. 3: Single-leaf balcony door in the durability test

durchgeführt. Diese Fensterart wies dabei eine simulierte wartungsfreie Lebensdauer von ca. 68 Jahren auf. Danach war der Schließteil locker und der Flügel musste nachkorrigiert (höher gestellt) werden.

Die Versuche zeigten, dass Alu-Fenster mit einem sehr geringen Wartungsaufwand auskommen und dabei auch die Anforderungen an Luftdurchlässigkeits- und Schlagregendichtheit gewährleistet bleiben.

3. Kostenansätze für die Wartung der Fenster

Das zuvor vorgestellte Lebenszykluskostenberechnungsmodell für Fenster erfordert die Festlegung der jährlichen Wartungskosten. Die in mehrjährigen Abständen auftretenden Wartungen werden dabei gleichmäßig auf eine jährliche Betrachtung aufgeteilt. Die Festlegung der Wartungskosten (siehe Tabelle 1) erfolgte gemeinsam mit der MA 39 und Branchenexperten.

Tabelle 1: Prozentsatz für die jährliche Wartung bezogen auf den Kaufpreis für die unterschiedlichen Rahmenwerkstoffe

Table 1: Percentage rate of the annual maintenance costs related to the purchase costs for different window materials

Werkstoff	%-Satz
Alu	0,25
Holz	2,50
Holz/Alu	1,00
Kunststoff	2,50

Im Folgenden wird die Höhe der Prozentsätze für vier untersuchte Rahmenmaterialien genauer erklärt. Dabei ist immer zu beachten, dass sich die Wartungskosten auf den Kaufpreis der Fenster beziehen. In den Wartungskosten sind aber auch „neutrale“ Kostenelemente enthalten, also vom Rahmenmaterial unabhängige Kosten (z.B. Lohnkosten). Diese sind konstant und wirken sich dann bei günstigeren Fenstern relativ mit höheren Prozentsätzen aus.

3.1. Rahmenwerkstoff Aluminium

Der Werkstoff Aluminium weist eine sehr hohe Resistenz gegen Umwelteinflüsse auf. Er besitzt einen hohen Korrosionsschutz und kann nicht verwittern. Aufgrund der hohen Festigkeit ist er auch für große Profile geeignet. Aluminiumfenster sind daher nahezu wartungsfrei. Den im Vergleich zu anderen Rahmenmaterialien höheren Anschaffungskosten stehen während der Nutzungsphase sehr geringe Unterhaltskosten gegenüber. Generell zeigen Alu-Fenster eine lange Lebensdauer. [1], [8]

Aufgrund der Materialeigenschaften entfällt eine Erneuerung des Schutzanstrichs und somit auch Wartungskosten für Anstrichserneuerungen.

In einer Untersuchung von Topritzhofer et al. 1994 [9] wurde festgestellt, dass bei allen Rahmenwerkstoffen in regelmäßigen Abständen Justierarbeiten an den Dichtungen und Beschlägen des Fensters notwendig sind. Die Versuche der MA 39 zeigten, dass sich Fenster aus Aluminium während der gesamten Versuchszyklen kaum verzogen. Somit werden die Justierarbeiten mit moderaten, jährlichen 0,25% der Anschaffungskosten angesetzt.

3.2. Rahmenwerkstoff Holz

Holz ist ein organischer Werkstoff, der einem Alterungsprozess unterliegt und eine wesentlich geringere Resistenz gegen Umwelteinflüsse als Aluminium aufweist. Maßgeblichen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit von Holzfenster haben der konstruktive und der chemische Holzschutz. Letzterer wird durch eine regel-

mäßige Erneuerung des Schutzanstriches gewährleistet. Die regelmäßige Wartung und Pflege des Holzrahmens ist notwendig, um die Funktionsweise des Bauteils auf Dauer zu sichern. [1], [8] Topritzhofer et al [9] geben als Richtwert 8% der Herstellungskosten für einen Wartungseinsatz an, wobei die Wartung alle 3 bis 5 Jahre erforderlich ist. Somit kann angenommen werden, dass im Mittel alle 4 Jahre eine Wartung erfolgen soll. Dieser Ansatz wird auch von Novak [3] geteilt. Der Ansatz wird nun auf eine jährliche Wartung aufgeteilt. Es ergibt sich ein Wartungsansatz von jährlich 2% der Anschaffungskosten für die Erneuerung des Anstrichs der Fenster.

Holz ist als Werkstoff nicht so stabil wie Aluminium. Es „arbeitet“ mehr. Daher wird für die Justierarbeiten an Dichtung und Beschlägen der doppelte Wert des Rahmenwerkstoffs Aluminium festgesetzt, also jährlich 0,5% der Anschaffungskosten für Justierarbeiten.

Der Wartungsansatz für Erneuerung des Anstrichs und Justierarbeiten ergibt sich somit zu jährlich 2,5% der Anschaffungskosten.

3.3. Rahmenwerkstoff Holz/Alu

Bei diesem Rahmenwerkstoff werden an den Holzprofilen außen Aluminium-Vorsatzschalen befestigt, um die Witterungsbeständigkeit zu verbessern. Die Tragfunktion übernimmt weiterhin der Werkstoff Holz. Dieser Werkstoff ist auf der Gebäudeinnenseite weiterhin Änderungen der Luftfeuchtigkeit ausgesetzt. [1], [8]

Da die Außenseite des Holzrahmens jetzt durch die Aluminium-Vorsatzschale geschützt ist, erfolgt die wartungsmäßige Erneuerung des Anstrichs vor allem innen. Somit ist die Erneuerung nur für eine Fläche von ca. 50% notwendig. Gleichzeitig wird die Innenseite im Vergleich zur Fensteraußenseite wesentlich geringer beansprucht, daher können die Wartungsintervalle im Vergleich zum Holzfenster ausgedehnt werden. Die Wartungskosten reduzieren sich durch die Annahme von doppelt so langen Wartungsintervallen und der Hälfte der zu bestreichenden Fläche auf ein Viertel der Wartungskosten des Holzfensters, also jährlich 0,5% der Anschaffungskosten für die Erneuerung des Anstrichs.

Das Tragsystem ist gleich dem Holzfenster, dies gilt somit auch für den Aufwand für Justierarbeiten an Dichtungen und Beschlägen. Die Wartungskosten werden hierbei ebenfalls mit jährlich 0,5% der Anschaffungskosten angesetzt.

Die gesamten Wartungskosten belaufen sich somit auf jährlich 1,0% der Fensteranschaffungskosten.

3.4. Rahmenwerkstoff Kunststoff

Thermoplastische Kunststoffe (meist auf PVC-Basis) eignen sich für die Herstellung von Kunststoffprofilen. Da Kunststoff für sich auf Dauer keine ausreichende Verwindungssteifigkeit aufweist, erfolgt eine Aussteifung durch Stahl- oder Aluminiumprofile. Der Kunststoffrahmen selbst weist eine Wasserunempfindlichkeit auf. [1], [8]

Somit entfällt die Notwendigkeit, Schutzanstriche zu erneuern. Kunststofffenster haben daher keine Wartungskosten für Erneuerung von Anstrichen.

Dagegen sind die Justierarbeiten an Dichtungen und vor allem Beschlägen wesentlich häufiger erforderlich, da Kunststoff im Vergleich zu Aluminium wesentlich weicher und weniger steif ist (dies gilt abgemindert auch im Vergleich zu Holz). Verformungen und Abnützungen treten im Laufe der Lebensdauer des Fensters stärker hervor. Die durchzuführenden Wartungen werden im Laufe der Nutzungsdauer umfangreicher und damit kostenintensiver. Intensives Nutzerverhalten beansprucht den Kunststoffrahmen stärker, da er weicher ist. Für die zugrunde gelegten 25 Jahre Lebensdauer werden die Wartungskosten abgeschätzt. Die Lohnkosten der Wartung sind ein wesentlicher

Bestandteil der Wartungskosten, gleichzeitig aber unabhängig von den Anschaffungskosten. Die konstanten Lohnkosten wirken sich daher relativ stärker bei günstigeren Fenstern aus. Sie ergeben bei günstigeren Fenstern einen höheren Prozentsatz. Aufgrund dieser Zusammenhänge werden die Wartungskosten mit jährlich 2,5% der Anschaffungskosten für Justierarbeiten angesetzt. Dieser Ansatz entspricht auch den Erfahrungen der MA 39.

Da der Anstrich entfällt, belaufen sich die gesamten Wartungskosten auf jährlich 2,5% der Anschaffungskosten.

4. Beispielberechnung der Lebenszykluskosten für unterschiedliche Fensterkonstruktionen

4.1. Lebenszykluskostenmodell für Fenster

Für die Berechnung der Lebenszykluskosten von Fenstern dient ein Modell, das in Jodl et al. [1] präsentiert wurde. Dieses Modell dient vor allem dem Vergleich unterschiedlicher Optionen, d.h. es kann zeigen, welche Option günstigere Lebenszykluskosten im Vergleich zu den anderen Optionen aufweist. Das Modell kann nicht die genauen Lebenszykluskosten berechnen, da in jedem Modell Annahmen getroffen werden müssen, deren Realisierung zum Zeitpunkt der Berechnung nicht mit absoluter Sicherheit garantiert werden kann. Die Betrachtungsdauer wurde mit 60 Jahren festgesetzt. Dies entspricht einer längeren Nutzungsdauer im Wiener Wohnbau.

Das Fenster wird in einzelne Bauteile bzw. Bauteilgruppen unterteilt. Die Teile innerhalb einer Bauteilgruppe besitzen gleiche Lebensdauern, daher erfolgt ein Austausch dieser Teile zum gleichen Zeitpunkt. Im Falle des Fensters werden abweichend von der ÖNORM B5305 [4] folgende Bauteilgruppen unterschieden:

- Stock, Rahmen inkl. Oberflächenveredelung (Pulverbeschichtung bzw. Eloxierung) und Glas (Verglasung)
- Griffe und Beschläge
- Dichtungen

Die Lebensdauer der Bauteilgruppe „Stock, Rahmen und Glas“ hängt dabei vom verwendeten Rahmenmaterial ab. Die gewählte Lebensdauer ergab sich einerseits aus den oben angeführten Versuchsreihen und andererseits aus Gesprächen mit Experten der Fensterhersteller. Folgende Lebensdauern wurden nun angenommen: Alu 60 Jahre, Holz 40 Jahre, Holz/Alu 50 Jahre, Kunststoff 25 Jahre. Griffe und Beschläge werden nach 40 Jahren gewechselt. Dies gilt nur für Alu und Holz/Alu, da bei den anderen Rahmenmaterialien die Lebensdauer des Gesamtfensters schon erreicht ist. Der Austausch der Dichtungen erfolgt nach 25 Jahren. Da die Preisentwicklung nicht bekannt ist, werden vereinfachend gleichbleibende Preise angenommen. Diese Vereinfachung gilt für alle Rahmenmaterialien und hat sich daher bewährt.

Abb. 4 zeigt den Kostenverlauf, wenn einzelne Bauteile ausgetauscht werden müssen. Am Beginn fallen die Errichtungskosten an, während der Lebensdauer die Unterhaltungskosten (Wartung) und am Ende auch die Demontageskosten. Diese drei Kostenpunkte müssen für jede Lebensdauer angesetzt werden.

4.2. Lebenszykluskostenvergleich von einflügeligen Drehkipp-Fenstern

Als erstes werden einflügelige Drehkipp-Fenster betrachtet (siehe Abb. 2). Eine Studie der TU Wien erhob die Anschaffungskosten der Fenster für einen mehrgeschossigen Wohnbau. Die Kunststoff-Fenster weisen die geringsten Anschaffungskosten auf, die Preise der Fenster der anderen drei Rahmenmaterialien bewegen sich in einem engeren Rahmen.

Abb. 5 zeigt den unverzinsten Kostenverlauf der ersten 25 Jahre. Sehr klar ist dabei zu sehen, wie sich die Wartungskosten

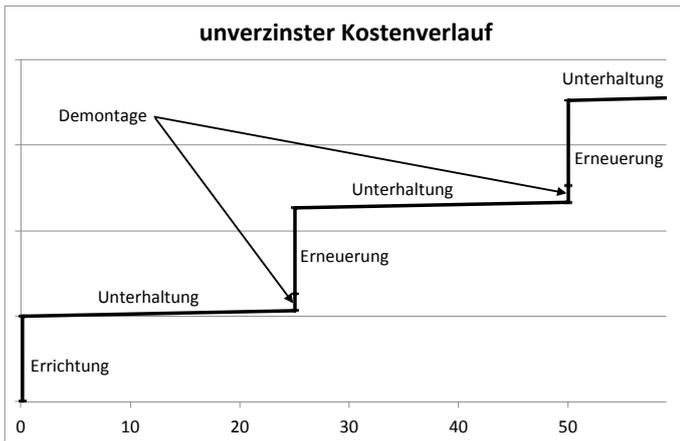


Abb. 4: Verlauf der unverzinsten Lebenszykluskosten bei mehrmaligem Austausch

Fig. 4: Life cycle costs (without interest) for a window with several replacements

auswirken. Das Alu-Fenster, das Holz-Fenster und das Holz/Alu-Fenster weisen ähnlich hohe Anschaffungskosten auf. Jedoch hat ersteres sehr geringe jährliche Wartungskosten. Die Real-kosten der beiden anderen Fenster steigen jedoch aufgrund der höheren Wartungskosten an. Obwohl das Kunststoff-Fenster die geringsten Anschaffungskosten hat, sind die unverzinsten Kosten schon nach 20 Jahren höher als jene des Alu-Fensters. Lebenszykluskosten werden generell verzinst berechnet. In Abb. 6 sind die verzinsten Lebenszykluskosten des einflügeligen Fensters (aller vier Rahmenmaterialien) über einen Lebenszyklus von 60 Jahren dargestellt.

Über den gesamten Lebenszyklus weist das Alu-Fenster die geringsten Lebenszykluskosten auf. Neben der geringen Wartung ist hier die lange Lebensdauer des sehr steifen Alu-Rahmens maßgebend. Dieser muss innerhalb des 60-jährigen Lebenszyklus nicht getauscht werden. Bei allen anderen Rahmenmaterialien fällt der Tausch des gesamten Fensters mit einem entsprechenden Kostensprung an. Zusätzlich weisen diese Rahmenmaterialien höhere Wartungskosten auf. Sie müssen öfter nachjustiert oder auch (bei Holz- oder Holz-Alu-Fenster) gestrichen werden.

Gerade das in den Anschaffungskosten sehr günstige Kunststoff-Fenster hat die geringste Lebensdauer und muss innerhalb der 60 Jahre zweimal getauscht werden. Ab dem ersten

Tausch sind die Lebenszykluskosten schon höher als jene des ursprünglich teureren Alu-Fensters.

4.3. Lebenszykluskostenvergleich von Balkontüren

In der Studie wurden auch die Auswirkungen der Wartung sowie der unterschiedlichen Lebensdauern der einzelnen Rahmenmaterialien auf Balkontüren (siehe Abb. 3) untersucht. Die Anschaffungskosten verhalten sich ähnlich wie beim einflügeligen Fenster: Kunststoff-Balkontüren haben die günstigsten Anschaffungskosten, die Anschaffungskosten der anderen drei Rahmenmaterialien sind höher, unterscheiden sich jedoch untereinander wenig.

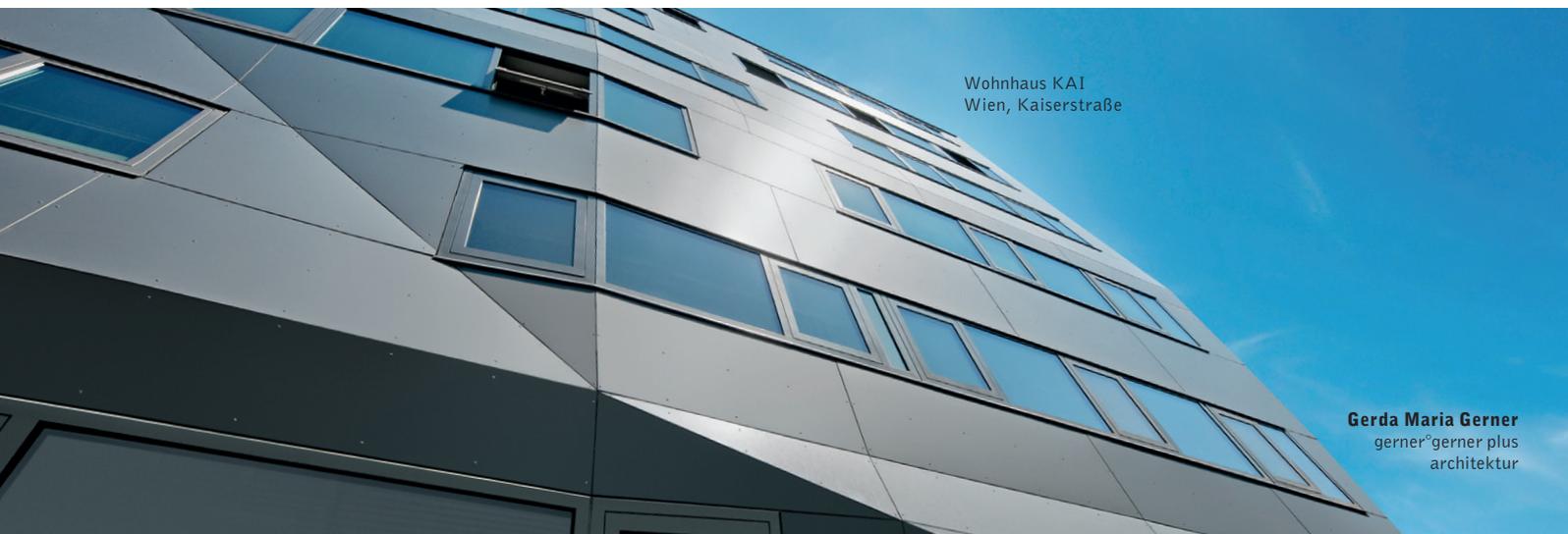
Die Wartung muss ebenso berücksichtigt werden; es gelten die gleichen Prozentsätze wie für die Wartung der einflügeligen Fenster. Daher ist der Einfluss auf die unverzinsten Kosten ähnlich wie vor (siehe Abb. 5).

Die Betrachtung des Verlaufs der verzinsten Lebenszykluskosten über einen Lebenszyklus von 60 Jahren ist in Abb. 7 dargestellt. Es zeigt sich, dass über einen weiten Bereich des 60-jährigen Lebenszyklus Alu-Balkontüren die geringsten Kosten aufweisen. Dies ist wie zuvor den geringen Wartungskosten und der langen Lebensdauer des Alu-Rahmens geschuldet. Die Balkontüren aus anderen Rahmenmaterialien müssen innerhalb des 60-jährigen Lebenszyklus zumindest einmal erneuert werden. Jedoch auch ohne diese Erneuerung stehen bei den Balkontüren dieser Rahmenmaterialien höhere Lebenszykluskosten als bei der Alu-Balkontür an. In Abb. 7 ist zu sehen, dass auch die Kunststoff-Balkontür schon vor deren erster Erneuerung nach 25 Jahren aufgrund der höheren Wartungskosten höhere Lebenszykluskosten als die Alu-Balkontür aufweist.

5. Zusammenfassung

Das Fenster stellt einen hochbeanspruchten und kritischen Bauteil eines Gebäudes dar. Der gute Zustand des Fensters ist daher von besonderer Bedeutung, um den Anforderungen auch viele Jahre nach dem Einbau noch zu genügen. Rahmenmaterialien, die eine geringere Steifigkeit aufweisen, müssen dabei öfter nachjustiert werden. Holzfenster wiederum benötigen eine Erneuerung des Schutzanstrichs. Diese notwendigen Wartungen schlagen sich in den Wartungskosten nieder. Diese wiederum müssen in den Lebenszyklusbetrachtungen entsprechend berücksichtigt werden.

Die gegenständliche Studie hat gezeigt, dass neben den Anschaffungskosten die Lebensdauer der Rahmenmaterialien so-



Wohnhaus KAI
Wien, Kaiserstraße

Gerda Maria Gerner
gerner²gerner plus
architektur

Abb. 5: Einflügeliges Fenster: Verlauf der unverzinsten Kosten innerhalb der ersten 25 Jahren
 Abb. 5: Single-leaf window: costs without interest for the first 25 years

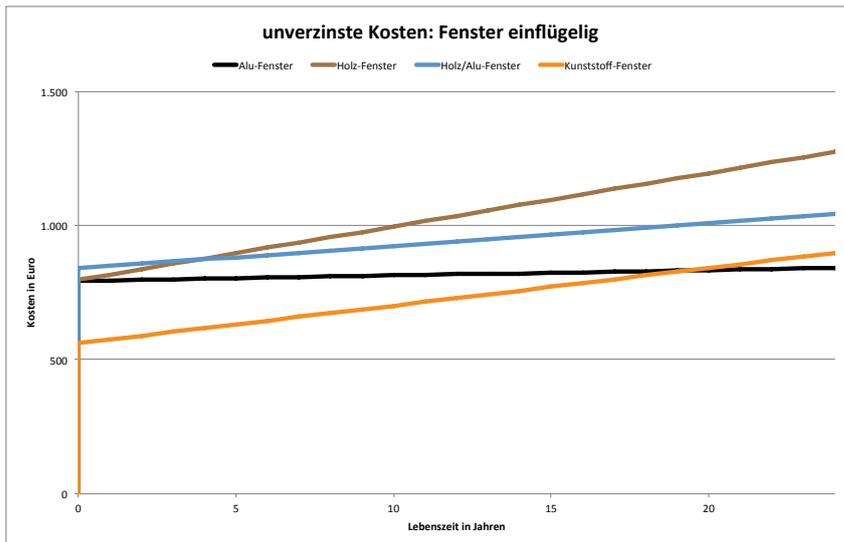
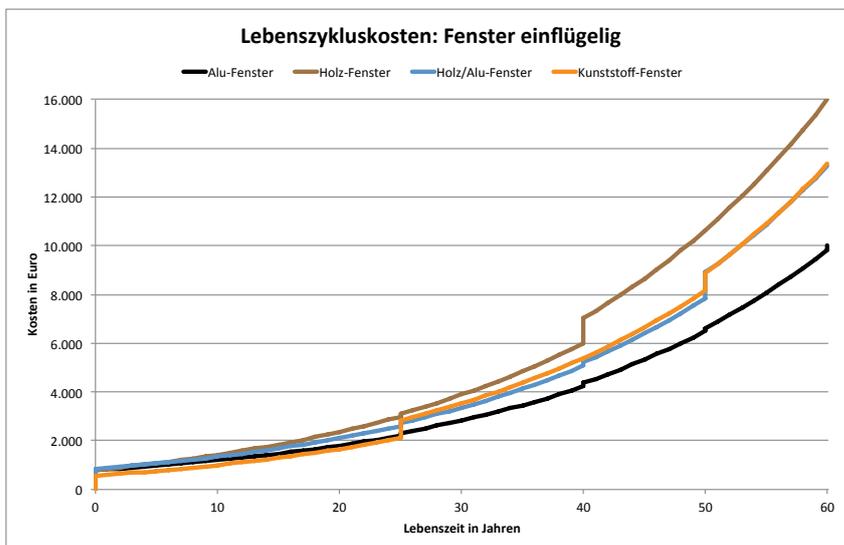


Abb. 6: Einflügeliges Fenster: Verlauf der verzinsten Lebenszykluskosten
 Abb. 6: Single-leaf window: life cycle costs with interest



wie die Wartungskosten einen entscheidenden Einfluss auf die Lebenszykluskosten haben. Bei einer langfristigen Betrachtung führen somit eine lange Nutzungsdauer gepaart mit geringen Wartungskosten zu den geringsten Lebenszykluskosten.

6. Literaturverzeichnis

[1] Jodl, H. G.; Pommer, G.; et al.: Positionspapier ALU-FENSTER – Betrachtungen am Beispiel des kommunalen Wohnbaus; Aluminium-Fenster-Institut; Wien, 2010.



„ALU-FENSTER RECHNEN SICH AUF DAUER.“

TU Wien rechnet – MA 39 Wien testet:

- Längste Lebensdauer
- Dauerhaft hohe Dämmwerte
- Geringste Lebenszykluskosten

Mehr über nachhaltigen Wohnbau auf www.alufenster.at.

Ihr Metallbaubetrieb macht's möglich. Im Zeichen der Werthaltigkeit.



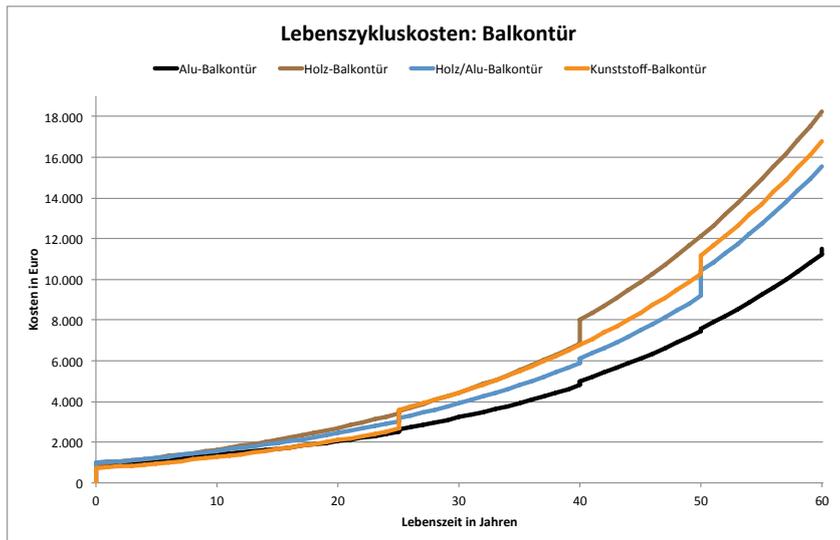


Abb. 7: Balkontür: Verlauf der verzinnten Lebenszykluskosten
 Abb. 7: Balcony door: life cycle costs with interest

- [2] König, H.; Kohler, N.; Kreißig, J.; Lützkendorf T.: Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung; DETAIL Green Books, München, 2009.
- [3] Novak, E.: Ökologische Betrachtung der Fenster-Werkstoffe, OFI, Wien, 1994.
- [4] ÖNORM B 5305:2006-11-01 Fenster – Kontrolle und Instandhaltung, Austrian Standards, Wien, 2006.
- [5] ÖNORM EN 1026:2000-10-01 Fenster und Türen – Luftdurchlässigkeit – Prüfverfahren, Austrian Standards, Wien, 2000.
- [6] ÖNORM EN 1027:2000-10-01 Fenster und Türen – Schlagregendichtheit – Prüfverfahren, Austrian Standards, Wien, 2000.
- [7] ÖNORM EN 1191:2000-05-01 Fenster und Türen – Dauerfunktionsprüfung – Prüfverfahren, Austrian Standards, Wien, 2000.
- [8] Pech, A.; Pommer, G.; Zeininger, J.: Fenster; 1. Auflage, Baukonstruktionen Band 11, Springer Verlag, Wien, 2005.
- [9] Topritzhofner, E.; Leopoldseher, T.: Wirtschaftlichkeit von Fenstern – ein betriebswirtschaftliches Entscheidungsmodell für einen Vergleich der Profilwerkstoffe PVC, Holz und Holz/Aluminium, Wirtschaftsuniversität Wien, 1994.

Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Schranz, M.Sc.
 EDV-Zentrum Bauingenieurwesen
 Karlsplatz 13/242, 1040 Wien
 E-Mail: christian.schranz@tuwien.ac.at

o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. Hans Georg Jodl
 Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement
 Karlsplatz 13/234/1, 1040 Wien
 E-Mail: hans.jodl@tuwien.ac.at