



IDSolutions

Lösungen für die Sanierung mit Innendämmung im mehrgeschoßigen Gebäudebestand auf Ebene der Nutzungseinheit

Leitfaden für die Sanierung mit Innendämmung Teil 3: Muster-Sanierungs-Lösungen

Steiner, T.
Turner, C.
Huemer-Kals, V.

IBO – Österreichisches Institut
für Bauen und Ökologie GmbH



Inhalt

IDSolutions Lösungen für die Sanierung mit Innendämmung im mehrgeschoßigen Gebäudebestand auf Ebene der Nutzungseinheit	1
Leitfaden für die Sanierung mit Innendämmung Teil 3: Muster-Sanierungs-Lösungen	1
1 Einleitung	5
2 Bauepochenbezogene Charakteristika.....	6
2.1 Gründerzeit.....	6
2.1.1 Gründerzeit	6
2.1.2 Charakteristika der Bauweise	6
2.1.3 Außenwände und erdberührte Außenwände	7
2.1.4 Kellerdecken.....	7
2.1.5 Erdberührter Fußboden	7
2.1.6 Innenwände.....	7
2.2 Zwischenkriegszeit.....	8
2.2.1 Zwischenkriegszeit	8
2.2.2 Charakteristika der Bauweise	8
2.2.3 Außenwände und erdberührte Außenwände	9
2.2.4 Kellerdecken.....	9
2.2.5 Erdberührter Fußboden	9
2.2.6 Innenwände.....	10
2.2.7 Geschloßdecken	10
2.3 Wiederaufbau	11
2.3.1 Gebäude der 50er und 60er Jahre.....	11
2.3.2 Charakteristika der Bauweise	11
2.3.3 Außenwände und erdberührte Außenwände	11
2.3.4 Kellerdecken.....	11
2.3.5 Erdberührter Fußboden	11
2.3.6 Innenwände.....	12
2.3.7 Geschloßdecken	12
2.3.8 Oberste Geschloßdecke.....	12
2.3.9 Dach.....	12
2.3.10 Fenster	12
2.4 Gebäude der 70er Jahre	13



2.4.1	Gebäude der 70er Jahre	13
2.4.2	Charakteristika der Bauweise	13
2.4.3	Außenwände und erdberührte Wände	13
2.4.4	Kellerdecke	14
2.4.5	Erdberührter Fußboden	14
2.4.6	Innenwände	14
2.4.7	Geschoßdecken	14
2.4.8	Oberste Geschoßdecke	14
2.4.9	Dach	15
2.4.10	Fenster	15
2.5	Bauordnung ab 1976.....	16
2.5.1	Bauordnung ab 1976	16
2.5.2	Charakteristika der Bauweise	16
2.5.3	Außenwände und erdberührte Wände	16
2.5.4	Kellerdecke	16
2.5.5	Erdberührter Fußboden	16
2.5.6	Innenwände	17
2.5.7	Geschoßdecken	17
2.5.8	Oberste Geschoßdecke	17
2.5.9	Dach	17
2.5.10	Fenster	17
3	Lösungen für die Sanierung mit Innendämmung.....	18
3.1	Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen	19
3.1.1	Korkplatte	19
3.1.2	Strohplatte unverputzt	23
3.1.3	Zellulosefaserflocken	25
3.1.4	Holzfasерplatte porös 250 kg/m ³	28
3.2	Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen.....	34
3.2.1	Perlitedämmplatte	34
3.2.2	Calciumsilikatplatte – Mineralschaumplatte	38
3.2.3	Schaumglasplatte	49
3.2.4	Steinwolle	53
3.2.5	Aerogel	56
3.3	Dämmstoffe aus Kunststoffen	59
3.3.1	Dämmstoffe aus Polystyrol	59
3.3.2	Polyurethan-Hartschaum	66
3.4	Dämmstoffe aus zusammengesetzten Materialien	68
3.4.1	Kalkzementputz – Wärmedämmputz	68



3.4.2	Vakuum-Isolations-Panel.....	69
4	Fenster.....	73
4.1	Fensterglas.....	73
4.2	Fensterrahmen und Profile.....	74
4.3	Sanierung Fenster	75
4.3.1	Winddichtheit.....	75
4.3.2	Verglasung	76
4.3.3	Rahmen.....	76
4.3.4	Ökologische und ökonomische Bewertung	79
4.4	Holz.....	85
4.4.1	Holzschutz.....	85
4.4.2	Beschichtungen und Holzrenovierungsmassen	88
5	Heizung.....	99
6	Lüftung	100
7	Glossar	102
7.1	Styrol	102
7.2	PU.....	102
7.3	Phosgen.....	105
7.4	Dicumylperoxid.....	105
8	Literatur.....	106



1 Einleitung

Teil 3 fasst die Sanierungsaufgaben nach ausgewählten Bauepochen zusammen: Gründerzeit, Zwischenkriegszeit, Wiederaufbau, Gebäude der 70er Jahre sowie Bauordnung ab 1976. Für die Sanierung wesentliche Charakteristika der jeweiligen Epochen wurden herausgearbeitet. Die Bauweise der unterschiedlichen Bauepochen ist geprägt von technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftspolitischen Entwicklungen. Für jede Bauweise werden die typischen Ausführungsvarianten für Wände, Decken und Böden und Fenster beschrieben.

Vor diesem Hintergrund erfolgt eine detaillierte Beschreibung der für die Sanierung relevanten Komponenten (Dämmung, Fenster, Heizung und Lüftung). Diese Beschreibung umfasst eine Bewertung hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Praxistauglichkeit, Raumkomfort und Lebenszyklus und gibt wertvolle Hinweise für die Anwendung in der Praxis.



2 Bauepochenbezogene Charakteristika

2.1 Gründerzeit

2.1.1 Gründerzeit

Als Gründerzeit wird die wirtschaftliche Phase in Deutschland und Österreich im 19. Jahrhundert bezeichnet. Sie endet mit dem Börsenkrach von 1873. In dieser Zeit der Industrialisierung Mitteleuropas wuchs der Bedarf nach Wohnraum. Ganze Stadtviertel wurden auf die „grüne Wiese“ gebaut. Typisch für die Gründerzeitarchitektur ist die etwa vier- bis sechsgeschossige Blockrandbebauung. Für das reich gewordene Groß-Bürgertum entstanden Villen und Palais. (vgl. [1]).

Typisch für Gründerzeithäuser sind reich gegliederte Straßenfassaden, das Ziegelmauerwerk mit hohen Wandstärken, große Geschoßhöhen und Wohnungsgrößen, Holzbalken- bzw. Doppelbaumdecke, Holzfenster als Einfach- oder Kastenfenster.. In Österreich befinden sich ca. 18 % der Wohnungen in Gebäuden vor 1919, in Wien sind es ca. 32 % [2]. (Vgl. [3])

Eine detaillierte Beschreibung der Bauepoche gibt [4].

2.1.2 Charakteristika der Bauweise

- Außenwände Vollziegelmauerwerk, teilweise Misch- oder Natursteinmauerwerk
- Fachwerkbau, ursprünglich oft verkleidet
- Straßenseitig meist Stuckornamentik oder Klinkerfassade
- Kellerdecke als Gewölbe oder Kappendecke ausgeführt
- Holzbalken- oder Doppelbaumdecken
- Kastenfenster oder Fenster mit Einfachglas
- Große Geschoßhöhen

Im Wohnbau wurde vor allem in den großen Städten eine Vielzahl von mehrgeschoßigen Gebäuden für vom Land zuziehende Menschen errichtet. Diese wurden meist in gekoppelter, sehr dichter Weise ausgeführt. Die Straßenfassaden waren mit oder ohne Ornamentik (Gesimse, Figuren, kleine Balkone) ausgeführt, die Hofseiten waren einfach verputzt oder in Rohbau-Sicht belassen.

Neben diesen für die „Masse“ errichteten Gebäuden wurden in der Vorstadt und am Land Villen und Bürgerhäuser für die zum Wohlstand gekommenen Bürger und Unternehmer errichtet. (vgl. [5])



2.1.3 Außenwände und erdberührte Außenwände

Die Außenwände wurden in der Gründerzeit in der Regel mit Vollziegeln errichtet, wobei sich die Verbände regional unterscheiden. Für die Mauerung wurde vor allem Mörtel mit Luftkalk verwendet, welcher in Verbindung mit Luft aushärtet. Dies führte zu einer verzögerten Erhärtung im Mauerinneren.

Im Kellerbereich wurden je nach Region Natursteine zum Feuchteschutz eingesetzt, wobei teilweise innenseitig mit Ziegeln aufgemauert wurde. Auch zweischalige Ausführungen bei Kellerwänden waren üblich, wobei der Zwischenraum mit Schutt und Bruchsteinen gefüllt wurde.

Im ländlichen Bereich wurden auch Mischbauweisen mit Abbruchsteinen und Vollziegeln ausgeführt. Die Wände wurden mit Kalkputz innen und außen in mehreren Lagen verputzt. Die Putzstärken innen lagen bei 2 bis 3 cm. Außen wurden zwischen 2 und 5 cm aufgebracht.

Die Stärke der tragenden Außenmauern, die meist parallel zum Straßenverlauf errichtet waren, wurde von unten nach oben verjüngt (vgl. [5]).

2.1.4 Kellerdecken

Kellerdecken wurden aus Gründen des Feuchteschutzes meist massiv ausgeführt. Konstruktiv waren dies meist Gewölbedecken. Ab der Jahrhundertwende häufig nur mehr als Teilgewölbe ausgeführt (Kappendecke, bzw. Platzldecke). (vgl. [5])

2.1.5 Erdberührter Fußboden

Erdberührte Fußböden von Kellern waren meist gestampfte Lehm Böden. Zum Teil mit Ziegelpflaster belegt. Bei Problemen der Standfestigkeit des Untergrundes wurde auch Stampfbeton verwendet, teilweise aufbauend auf in das Erdreich getriebenen Holzpfählen.

Nicht oder teilweise unterkellerte Gebäude hatten meist einen gestampften Lehm Boden als Rohdecke. Darauf wurde eine Schüttung aufgebracht (Kies, Schlacken, Bauschutt), in den die Polsterhölzer getrieben waren. Darauf waren Holzdielen direkt verlegt. Je nach Nutzung des Raumes darüber wurden auch Parkettböden auf Blindboden verlegt. In Gängen u.Ä. wurden auch Steinplatten oder Pflasterziegel verlegt. (vgl. [5])

2.1.6 Innenwände

Tragende Innenwände wurden meist wie die Außenwände ausgeführt. In vielen Fällen sind auch die Kamine integriert. Vermauert wurde meist mit Kalkmörtel, z.T. mit leichten Zusätzen an Zement.

Für die nicht tragenden Wände wurden entweder Vollziegel oder Steine verwendet. Ab der Jahrhundertwende wurden zunehmend leichtere Steine eingesetzt (z.B. Schlackensteine), aber auch Holzkonstruktionen, die mit Strohlehm oder Lehm ausgefacht waren. Aufgenagelte Putzträger wurden mit Kalkmörtel verputzt. (vgl. [5])



2.2 Zwischenkriegszeit

2.2.1 Zwischenkriegszeit

Mit dem Ende des Ersten Weltkriegs, der einen technischen Innovationsschub brachte und mit dem Zusammenbruch der Monarchie erfolgte in den Jahren 1918 bis 1934 eine radikale Umwälzung der Kommunalpolitik. Diese umfasste soziale Wohnbauprojekte und tiefgreifende Reformen der Sozial-, Gesundheits- und Bildungspolitik. Das architektonische Schaffen dieser Periode – welche das Stadtbild nachhaltig prägte – verdeutlicht eindrucksvoll den Reichtum an unterschiedlichsten formalen Lösungen und Bautypologien innerhalb der Gemeindebauarchitektur.

Die Gründerzeit wurde von der Moderne abgelöst. Schlagworte waren: ehrlich, sachlich, zweckmäßig, hell, luftig, natürlich und gesund. Die Gründung von Verbänden und Gruppen zur Durchsetzung gemeinsamer Interessen führte zu Vereinheitlichungstendenzen in der industriellen Produktion. Es entstanden Normenverbände, die in der Folge wesentlichen Einfluss auf das Bauen hatten. Vereinheitlichungen dieser Art waren jedoch nur sinnvoll, wenn Baustoffe und Bauteile industriell vorgefertigt und auch überregional vermarktet werden und mit geeigneten Baumaschinen (z.B. Baukränen) verbaut werden konnten..

Die Auswirkungen der Weltwirtschaftskrise waren bis zum Zweiten Weltkrieg spürbar. Krise, Kriegsvorbereitung und Kriegsbeginn wirkten sich auch auf die Bautechniken aus. Da Rohstoffe wie Stahl für die Rüstungsindustrie benötigt wurden, kam es zu starken Einschränkungen bereits gebräuchlicher Bauweisen wie dem Stahlbetonbau. Es kamen wieder vermehrt Techniken des 19. Jahrhunderts zum Einsatz. Die Folgen der Weltwirtschaftskrise waren knappe und dadurch teure Baustoffe einerseits sowie billige Arbeitskräfte andererseits. Zusammen mit neuen wissenschaftlichen und technischen Erkenntnissen führte der Rohstoffmangel zur Minimierung von Bauteilen durch statische Berechnung, welche die bisher vorherrschende Dimensionierung aus Erfahrung ersetzt.

Die Bauweise der 1920er-Jahre mit dem Bauhaus o. Ä. gleichzusetzen, greift zu kurz, da die Masse der europäischen Bauten diesem nicht zuzurechnen ist. Eine entscheidende Rolle spielten Konzepte um die gesamtgesellschaftlich geforderten Verbesserungen der Lebensbedingungen für die Masse umzusetzen. (Vgl. [6])

Eine detaillierte Beschreibung der Bauepoche gibt [6].

2.2.2 Charakteristika der Bauweise

Die Baukunst kommt ohne ornamentales Beiwerk aus. Sachliche Gliederung und zweckbewusste Herausstellung der von der Technik geschaffenen Bauformen und Werkstoffe werden gezeigt. Es entstanden unverzierte, geradlinige und voluminöse Baukörper.

Konstruktiv handelt es sich nahezu ausschließlich um Stahl- oder Stahlbetonskelettbauten mit massiven, gemauerten Außenwänden. Eine Folge der Normierungseuphorie ist die Modularisierung von Bürogebäuden auf ein Achsmaß zwischen 125 und 135 cm, das bis heute europaweit gebräuchlich ist.



Der häufig genossenschaftlich durchgeführte Wohnungsbau der 1920er-Jahre überzeugt vor allem durch seine Geschlossenheit. Die Siedlungen sind inzwischen zentrumsnah und trotzdem – als Reaktion auf die Hinterhöfe des 19. Jahrhunderts – weniger dicht bebaut und begrünt. Die Wohnungen zeichnen sich durch gute Belichtung und Belüftung aus – auch die Bäder sind meistens natürlich belichtet. Städtische Großwohnungen und Einfamilienhäuser der 1920er-Jahre haben trotz deutlich kleinerer Abmessungen ähnliche Qualitäten wie ihre gründerzeitlichen Pendanten. Die damals bereits ausgereiften Bautechniken wie Holzbalkendecken, Mauerwerk und Steildach weisen in der Regel keine Schäden auf.

Als Schwächen der damaligen Bauweise sind u.a. geringe Raumtiefen, geringe Wand- und Deckenstärken mit entsprechend schlechtem Schall- und Wärmeschutz, schlechter Schallschutz aufgrund durchlaufender Decken, schadensträchtige Konstruktionen durch Sparmaßnahmen und Unkenntnis bei neuen Technologien wie im Betonbau oder bei Abdichtungen zu nennen.

Bauten zwischen 1930 und 1945 ähneln jenen der 1920er Jahre oder nehmen Bauweisen der Gründerzeit wieder auf. (Vgl. [5] und [6])

2.2.3 Außenwände und erdberührte Außenwände

Teilweise ist die Bauweise der Wände sehr ähnlich derjenigen vor 1918. Vollziegel waren weiterhin das bevorzugte Baumaterial für alle Arten von Wänden. Daneben wurden aus Gründen der Materialersparnis und des Wärmeschutzes auch Hohlziegel und Leichtbetonsteine eingesetzt, vor allem in Gebäuden mit geringeren statischen Erfordernissen.

Außenseitig wurden nicht nur aus ästhetischen Gründen unverputzte Wände ausgeführt. Diese wurden zum Teil als zweischalige Außenwände mit einer Klinkerschale außen ausgeführt, wobei der Luftraum hinterlüftet oder auch nur mit stehender Luftschicht ausgeführt wurde. Die Verbindung der Schalen erfolgt mit Bindersteinen oder Eisenankern. Vor allem im Gewerbebau findet sich auch eine einschalige Bauweise mit direkt eingemauerten Klinkerverblendungen.

Für die Vermauerung wurden größtenteils Kalkmörtel mit Zementanteil eingesetzt. Die Innenputze waren meist noch Kalkputze. (vgl. [5])

2.2.4 Kellerdecken

Kellerdecken wurden aus Gründen des Feuchteschutzes meist massiv ausgeführt. Neben den bereits vor 1918 verstärkt eingesetzten Kappendecken kommen nunmehr auch Stahlträger, Betonplatten und Leichtbetonsteine zum Einsatz. In den meisten Fällen wird auch ein 3 bis 5 cm starker Aufbeton hergestellt. Auch Stahlbetondecken kommen zum Einsatz. (vgl. [5])

2.2.5 Erdberührter Fußboden

Bauten zwischen 1930 und 1945 ähneln jenen aus den 1920er-Jahren oder nehmen Bauweisen der Gründerzeit wieder auf. (Vgl. [6])



2.2.6 Innenwände

Bauten zwischen 1930 und 1945 ähneln jenen aus den 1920er-Jahren oder nehmen Bauweisen der Gründerzeit wieder auf. (Vgl. [6])

2.2.7 Geschoßdecken

Im Wohnbau waren weiterhin Tramdecken die bevorzugte Deckenkonstruktion. Im Gewerbebau wurden auch in den oberen Geschoßen vermehrt Stahlträger und Rippenbetondecken ausgeführt.

Unter dem Endbelag wurden vermehrt Zementestriche ausgeführt, auch Anhydrit- und Magnesitestriche kamen zum Einsatz. Lehm- und Kalkestriche verschwanden fast völlig. (vgl. [5])

2.2.7.1 Oberste Geschoßdecke

Die oberste Geschoßdecke führt meist in einen ungenutzten Dachraum, der als „Kaltdach“ ausgeführt und mehr oder weniger mit Außenluft hinterlüftet ist.

In der Zwischenkriegszeit wurden zwar noch viele Decken als Tramdecken oder Dippelbaumdecken ausgeführt (vor allem im Wohnbau), vermehrt kamen aber auch Stahlträger- und Stahlbetondecken zum Einsatz. (vgl. [5])

2.2.7.2 Dach

Dächer von Gebäuden in der Zwischenkriegszeit wurden ähnlich denjenigen vor 1918 fast durchgehend als Zimmermannskonstruktion errichtet.

Für die Eindeckung wurden meist Dachziegel in unterschiedlicher Form verwendet, die auf Dachlatten befestigt sind. Daneben wurden auch Blechdächer ausgeführt wie auch, vor allem im ländlichen Raum, Eindeckungen mit Holzschindeln, Stroh oder Steinplatten. (vgl. [5])

2.2.7.3 Fenster

Fenster sind je nach Standort als Kastenfenster oder als Fenster mit Einfachflügel ausgeführt. Die Ausführung ist derjenigen vor 1918 sehr ähnlich. Formal wurden die Fenster liegend und nicht aufgestellt ausgeführt.

Bereits im Einsatz sind Holzverbundfenster aufgrund des geringeren Versetzungsaufwands. Sie wurden vor allem ab 1950 verstärkt eingesetzt.

Daneben wurden vor allem im Gewerbebau auch Stahlfenster eingesetzt, meist mit Einfachverglasung, teilweise aus Wärmeschutzgründen auch 2-fach verglast. (vgl. [5])



2.3 Wiederaufbau

2.3.1 Gebäude der 50er und 60er Jahre

Die Periode beginnt nach Ende des 2. Weltkriegs und dauert bis Ende der 60er Jahre.

2.3.2 Charakteristika der Bauweise

In Mitteleuropa war die unmittelbare Nachkriegszeit durch Materialknappheit gekennzeichnet. Häufig wurden Baustoffe aus den im Krieg zerstörten Gebäuden recycelt. Keller wurden meist betoniert. Häufig wurden horizontale und vertikale Abdichtungen verlegt. Ab den 60er Jahren wurden diese Abdichtungen per Normung gefordert. Tragende Wände wurden weiterhin als Mauerwerk ausgeführt, allerdings mit Hohlziegeln, die teilweise durch Betonsteine mit Ziegelsplitt-Zuschlag ausgeführt wurden. Die Geschoßdecken aus Holz wurden durch massive Decken (Einhänge und Fertigteildecken) ersetzt.

Die Fassaden sind glatt und ohne jede Ornamentik. Dachkonstruktionen sind denjenigen der Zwischenkriegszeit ähnlich, Eindeckungen bestehen allerdings zunehmend aus Beton- und Faserzementziegeln. (vgl. [5])

Eine detaillierte Beschreibung der Bauepoche gibt [7].

2.3.3 Außenwände und erdberührte Außenwände

Wände in Vollziegel wurden nur noch selten realisiert, diese wurden durch Hochlochziegel oder zementgebundene Steine ersetzt. Wegen des hohen Anfalls an Ziegel aus zerstörten Wohngebäuden wurden häufig auch Ziegelsplitt-Betonsteine verbaut. Daneben wurden auch unterschiedliche Leichtbetonsteine eingesetzt (Gasbeton-, „Ytong“; Holzmantelsteine-, „Durisol“ etc.).

Vor allem im Schul- und Gewerbebau wurden ab 1960 verstärkt Stahlbetonskelettkonstruktionen realisiert, die Ausfachung geschah mit Mauersteinen oder Betonfertigteilen.

Im erdberührten Bereich kamen verstärkt Betonwände zum Einsatz, im Einfamilienhausbereich wurde aber immer noch oft gemauert. (vgl. [5])

2.3.4 Kellerdecken

Kellerdecken wurden fast ausschließlich als Betondecken realisiert. Neben den verstärkt eingesetzten „ebenen“ Stahlbetondecken wurden, zumeist im großvolumigen Wohnbau, Rippendecken eingesetzt, während in kleinvolumigen Gebäuden Einhängendecken üblich waren. Auch Stahlträger waren im Einsatz. (vgl. [5])

2.3.5 Erdberührter Fußboden

Eine Unterkellerung war üblich, in vielen Fällen wurde der Keller höherwertig als Wohnraum, Partykeller etc. verwendet. Standard waren auf einer Rollierung betonierte Platten von mindestens



10 cm Stärke. Bituminöse Abdichtungen wurden verstärkt eingesetzt, obwohl die Normung in Deutschland und Österreich diese nur für spezielle Fälle vorschrieb. (vgl. [5])

2.3.6 Innenwände

Tragende Innenwände wurden ähnlich den Außenwänden aufgebaut. Es kamen sowohl Mauerwerkverbände wie Stahlbetonwände zum Einsatz. (vgl. [5])

2.3.7 Geschoßdecken

Die Geschoßdecken wurden im Unterschied zur Vorkriegszeit fast durchwegs massiv ausgeführt. Eine Reihe von speziellen Deckentypen kam zum Einsatz, wobei die (Flach-) Stahlbetondecke vor allem im mehrgeschoßigen Wohnbau langsam verstärkt Verbreitung fand. (vgl. [5])

2.3.8 Oberste Geschoßdecke

Die Ausführung der obersten Decke unterschied sich von den (Roh-)Geschoßdecken nur wenig. In den späten 60er Jahren wurden knapp bemessene Dämmschichten (vor allem Holzwolleleichtbau-Platten, aber auch Mineralwolle, Kork und Polystyrol) eingesetzt. (vgl. [5])

2.3.9 Dach

Auch in der Nachkriegszeit wurden die meisten Dächer als Steildächer ausgeführt. Durch den Einsatz von Flachdachpfannen, anstatt der früher üblichen Biberschwanzdeckung, konnten geringere Dachneigungen ausgeführt werden, die für Gebäude der 50er und insbesondere der 60er typisch sind. Vor allem in mehrgeschoßigen Gebäuden wurde auf eine Drempe wand verzichtet. Auflager für die Dachkonstruktion in Holz waren die oberste Massivdecke oder darauf ausgeführte Betonfertigteile.

Neben den Steildächern wurden erstmals verstärkt Flachdächer realisiert, die meist mit bituminösen Abdichtungen ausgeführt wurden. Teilweise werden Dämmschichten unter diesen vorgesehen. Meist waren diese aus Holzwolleleichtbau-Platten mit einer Stärke bis 5 cm. (vgl. [5])

2.3.10 Fenster

Als Fenster kamen verstärkt Holzverbundfenster zum Einsatz, da deren Einbau deutlich weniger aufwändig war als der von Kastenfenstern. (vgl. [5])



2.4 Gebäude der 70er Jahre

2.4.1 Gebäude der 70er Jahre

Die späten 60er und frühen 70er Jahre waren von einem unbeschränkten Zukunftsglauben bestimmt. Die Ölkrise (1973) und der Bericht an den Club of Rome (1972) zeigten die „Grenzen des Wachstums“ auf. Die Bauweise änderte sich gegenüber der 60er Jahre nur geringfügig, durch die Normung verbesserte sich allerdings der Wärmeschutz.

2.4.2 Charakteristika der Bauweise

Die Rohkonstruktion unterscheidet sich nicht wesentlich von den 60er Jahren. Im mehrgeschoßigen Wohnbau wurden Innenwände verstärkt als tragende Wände herangezogen, um größere Gebäudetiefen zu erreichen. Balkone wurden durch Loggien ersetzt. Die Brüstungen wurden zum Teil zur Begrünung verwendet. Diese Fertigteile wurden in vielen Fällen auch statisch miteinbezogen. Flachdächer wurden für größere Gebäude und Nutzbauten üblich, wenn auch die Probleme der Abdichtung noch nicht ausreichend gelöst waren. Ab 1973 wurden die Anforderungen an den Wärmeschutz in allen europäischen Ländern deutlich verstärkt. Die Folge war der Einsatz von Dämmstoffen im mehrgeschoßigen Wohnbau (innen, aber auch außen, bzw. in Sandwichbauweise), beim Bau von Einfamilienhäusern kamen verstärkt porosierte Ziegel und Leichtbetone mit zunehmenden Mauerstärken zum Einsatz. Die ersten Leichtbau-Fertigteilhäuser wurden gebaut.

Als problematisch stellten sich Sichtbetonteile dar, da die Überdeckung der Bewehrung meist unter 2 cm liegt.

Materiell setzte sich der Stahlbeton für Geschoßdecken durch, die Stahlbetonskelettbauweise war im Gewerbebau weit verbreitet.

Verglasungen wurden vor allem als 2-Scheibenisolierverglasung mit Alu-Abstandhaltern realisiert (teilweise bereits 3-Scheibenverglasungen), als Rahmenmaterial blieb Holz das Material der Wahl. Häufig wurden auch hochwertige Tropenhölzer eingesetzt. Die Behandlung der Hölzer mit bedenklichen Holzschutzmitteln (z.B. Lindan, PCP etc.) war gängig. (vgl. [5])

Eine detaillierte Beschreibung der Bauepoche gibt [8].

2.4.3 Außenwände und erdberührte Wände

Im großvolumigen Wohnbau kamen stark Normalbetonwände mit Innendämmung oder in Sandwichbauweise (mit Sichtbeton außen) zum Einsatz. Daneben erfuhren auch



Mantelbetonbauweisen einen Höhepunkt, die (meist nur leicht) wärmedämmende Mantelschichten mit dem statisch wirksamen und meist bewehrten Kernbeton verbanden. Das Bauen mit Fertigteilen wurde immer öfter eingesetzt.

In Einfamilienhäusern waren porosierte Ziegel, Leichtbetone wie Gasbeton, Bimsbeton, Blähbeton mit zunehmenden Wandstärken im Einsatz.

Kellerwände wurden im mehrgeschoßigen Wohnbau in Stahlbetonbauweise ausgeführt, die mit bituminösen Abdichtungen gegen Feuchteintrag geschützt wurden. Teilweise wurden bereits weiße Wannen hergestellt. (vgl. [5])

2.4.4 Kellerdecke

Kellerdecken wurden vermehrt als (Flach-)Stahlbetondecken ausgeführt. Eine Wärmedämmung, die auch eine Trittschallfunktion (Schallnebenwege) besitzt, wurde meist oberseitig ausgeführt.

Einhängedecken wurden vor allem im Einfamilienhausbau realisiert. (vgl. [5])

2.4.5 Erdberührter Fußboden

Eine Unterkellerung war üblich. In vielen Fällen wurde der Keller als höherwertiger Wohnraum verwendet. Standard war eine Betonplatte von mindestens 10 cm Stärke, die auf einer Rollierung betoniert wurde. Bituminöse Abdichtungen wurden standardmäßig eingesetzt.

2.4.6 Innenwände

Tragende Innenwände wurden meist wie die Außenwände ausgeführt.

Nicht neu, aber verstärkt eingesetzt wurden Leichtbauwände aus mehrschaligen Gipskarton/faserwänden oder Gipsdielen. (vgl. [5])

2.4.7 Geschoßdecken

Im mehrgeschoßigen Wohnbau wurden fast ausschließlich Stahlbetondecken eingesetzt. Im Einfamilienhausbau wurden auch Eihängedecken ausgeführt. (vgl. [5])

2.4.8 Oberste Geschoßdecke

Wegen der Anforderungen an den Wärmeschutz mussten oberste Geschoßdecken in Stahlbeton zusätzlich gedämmt werden: Als Dämmstoffe kamen zunächst Holzwolleleichtbau-Platten, später vor allem Mineralwolle und, wenn aus Brandschutzgründen möglich, expandiertes Polystyrol zum Einsatz. (vgl. [5])



2.4.9 Dach

Dächer wurden vielfältiger ausgeführt: Im mehrgeschoßigen Wohnbau setzten sich Flachdächer vermehrt durch, wobei Warm- und Umkehrdächer zum Einsatz kamen. Zusätzlich waren Blechdächer, die nach innen entwässern, stark verbreitet. (vgl. [5])

2.4.10 Fenster

Die Isolierverglasung mit Alu-Abstandhaltern setzte sich durch. Üblich waren 2-Scheibenverglasungen, wegen der großen Formate wurden auch bereits 3-Scheibenverglasungen ausgeführt. Häufig wurden wegen der großen Fensterformate Fixverglasungen und Terrassentüren realisiert.

Als Rahmenmaterial diente vorwiegend Nadelholz, verstärkt wurden auch Tropenhölzer eingesetzt. Vor allem im Objektbau kamen Pfosten-Riegelfassaden zum Einsatz.

Die Behandlung mit heute als toxikologisch bedenklich eingestuften Holzschutzmitteln (Lindan, PCP) war gängig. (vgl. [5])



2.5 Bauordnung ab 1976

2.5.1 Bauordnung ab 1976

Nach der ersten Energiekrise 1973 wurden in Österreich sukzessive die Bautechnischen Vorschriften um wärmeschutztechnische Anforderungen erweitert. In Wien wurde dies 1976 mit den ersten wärmeschutztechnischen Anforderungen an Außenbauteile bewerkstelligt. Insbesondere die oberste Geschoßdecke erhielt die erste wärmeschutztechnische Anforderung, die die Verwendung von Wärmedämmung zusätzlich zum lastabtragenden Bauteil notwendig machte.

2.5.2 Charakteristika der Bauweise

Die Bauweisen ab den 80er Jahren gleichen denjenigen der 70er Jahre, wobei die Anforderungen an den Wärme- und Schallschutz immer wieder erhöht wurden.

Im großvolumigen Wohnbau setzte sich die Stahlbetonbauweise (in Ortbeton oder Fertigteilen) endgültig durch. Im Bereich Einfamilienhäuser wurde eine Vielfalt an gut gedämmten monolithischen Außenwänden eingesetzt. Zunehmend wurden in Wänden und Dächern Dämmstoffe in geringen Stärken eingesetzt.

Eine große Verbreitung gab es von in Holz-Fertigteilbauweise errichteten Einfamilienhäusern. . (vgl. [5])

Eine detaillierte Beschreibung der Bauepoche gibt [8].

2.5.3 Außenwände und erdberührte Wände

Stahlbetonwände erhielten außenseitig ca. 4 bis 6 cm Wärmedämmung, als sogenannter „Vollwärmeschutz“, oder wurden als hinterlüftete Faserzement- oder Blechfassaden ausgeführt. (vgl. [5])

2.5.4 Kellerdecke

Die Kellerdecken ähneln, abgesehen von leicht erhöhten Dämmstärken, jenen der 70er Jahre. (vgl. [5])

2.5.5 Erdberührter Fußboden

Eine Unterkellerung war üblich, in vielen Fällen wurde der Keller höherwertig als Wohnraum verwendet. Standardausführung war eine Betonplatte von mindestens 10 cm Stärke, die auf einer Rollierung betoniert wurde. Bituminöse Abdichtungen wurden standardmäßig eingesetzt. In Fertigteilhäusern wurde häufig auf den Keller verzichtet. (vgl. [5])



2.5.6 Innenwände

Tragende Innenwände werden meist wie die Außenwände ausgeführt.

Verstärkt eingesetzt wurden Leichtbauwände aus mehrschaligen Gipskarton/faserwänden oder Gipsdielen. (vgl. [5])

2.5.7 Geschoßdecken

Im mehrgeschoßigen Wohnbau wurden fast nur noch Stahlbetondecken eingesetzt. Im Einfamilienhausbau wurden auch Einhängedecken ausgeführt. (vgl. [5])

2.5.8 Oberste Geschoßdecke

Die oberste Geschoßdecke als wärmedämmende Hülle wurde zunehmend durch ausgebaute Dachgeschoße ersetzt. (vgl. [5])

2.5.9 Dach

Die Dächer wurden häufig Teil der wärmedämmenden Hülle. Sie wurden entsprechend gedämmt und als Kaltdächer mit hinterlüfteter Bitumenpappe ausgeführt. Dacheindeckungen ähneln jenen der 70er Jahre. Innenseitig kommen vermehrt Gipskarton- und Gipsfaserplatten zum Einsatz. (vgl. [5])

2.5.10 Fenster

Neben Holzrahmen kamen verstärkt PVC- und Alufenster auf den Markt. Der Wärmeschutz war meist schlechter als bei den Holzfenstern. Verstärkt wurden auch 3-Scheiben-Isolierverglasungen eingesetzt, beschichtete Scheiben oder Füllungen mit Edelgasen kamen erst in den 90er Jahren auf den Markt. (vgl. [5])



3 Lösungen für die Sanierung mit Innendämmung

Klimawandel ist nicht nur ein Thema des fossilen Energieeinsatzes in Verkehr und Gebäudebetrieb. Komplexer sind Bereiche, in denen der CO₂-Ausstoß nicht auf den ersten Blick sichtbar ist. Dies ist beispielsweise bei Baumaterialien der Fall. Hier wird oft nicht erneuerbare Energie in Form von grauer Energie in die Herstellung und den Transport gesteckt. Darüber hinaus werden heute fast alle verwendeten Chemikalien aus Erdöl gewonnen, wobei auch hier die Energie zur Erzeugung in der Regel fossilen Ursprungs ist. Etwa 10 % des geförderten Erdöls direkt in die chemische Industrie, zur Erzeugung von Chemikalien und Kunststoffen. Alles, was von diesen Kunststoffen nicht unkontrolliert in Meer oder Umwelt landet, muss, nach dem österreichischen Deponiegesetz, in Müllverbrennungsanlagen verbrannt werden. Es dürfen keine Stoffe mehr deponiert werden, die mehr als 5 Gew-% oder mehr als 10 Vol-% organischen Anteil enthalten. Damit ist am Ende des Lebenszyklus von Kunststoffen das gesamte Produkt in CO₂ umgesetzt. Künftigen Generationen wird ein stiller CO₂-Rucksack mitgegeben. Wenn schon längst alle Reserven für eine Temperaturerhöhung der Atmosphäre erschöpft sein werden, werden immer noch beträchtliche Mengen an Kunststoff verbrannt werden müssen.

Daraus folgt der Schluss, dass Klimaschutz direkt auch mit einer sorgsamem Materialwahl im Bau verbunden ist.

Auch bei Dämmstoffen gibt es kaum noch Produkte, die ohne die Vermischung mit Kunststoffen, sei es als Leichtzuschlag, als Fasern oder als Faserstabilisatoren, auskommen. Dies wirkt sich nicht zuletzt auf die Entsorgung der Baumaterialien aus. Der Einsatz als Leichtzuschlag oder Fasermaterial in mineralischen Baustoffen wie Schüttungen oder Putzen macht eine Entsorgung auf der Deponie unmöglich. Demnach müssen diese in Müllverbrennungsanlagen entsorgt werden, was einen Anstieg der Schlacke nach sich haben wird, welche wiederum als Sondermüll gelagert werden muss. Dies lässt eine Kostensteigerung für die Entsorgung künftigen Bauschutts vermuten. Als Klebemittel für Bauplatten aus nachwachsenden Rohstoffen macht Kunststoff ein Recycling dieser Materialien unmöglich. Ebenfalls ausgeschlossen ist die Kompostierung von Stroh- oder Hanfplatten, denn dies hätte ein Einbringen der Kunststoffe in das Erdreich zur Folge, mit ungeahnten Folgen für das Ökosystem.

In den nachfolgenden Kapiteln wird auf die einzelnen Komponenten und Bestandteile der Muster-Sanierungs-Lösungen eingegangen. Da diese Betrachtungen in der Regel unabhängig von der Bauepoche Gültigkeit haben erfolgte die Einteilung und Beschreibung nach den Komponenten der Muster-Sanierungs-Lösungen Dämmung, Fenstersanierung, Heizung und Lüftung.



3.1 Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

3.1.1 Korkplatte

Beschreibung

Korkdämmplatten werden als Wärmedämmstoffe vor allem in Wärmedämmverbundsystemen eingesetzt. Die Dämmplatten werden aus niedrig expandiertem Backkork (dunkler Kork) aus der Rinde der Korkeiche erzeugt. Für die Produktion von Backkork werden die Äste der Korkeiche (Falca) oder die Rinde aus der ersten Ernte im Baumalter von 25–40 Jahren (Virges) verwendet. Das Hauptanbaugebiet für Korkeiche liegt in Portugal (ca. 51 %), in Spanien liegen 28 % der Anbaugebiete. Der Kork wird zu Korkschröt gemahlen und mit Wasserdampf in Druckbehältern bei 350–380 °C expandiert – durch Heißaktivierung der korkeigenen Harze bildet sich beim Pressen Backkork. Dieser wird nach Ablüften und Abkühlen (ca. 14 Tage) in Platten zerschnitten.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Korkdämmplatten bestehen zu 100 % aus einem nachwachsenden Rohstoff. Der Korkan- und -abbau ist in Portugal strengen gesetzlichen Regeln unterworfen, deren Einhaltung von der Korkbehörde überwacht wird. Dank der wachsenden Nachfrage nach Kork wurde die Abholzung der artenreichen Korkeichenwälder eingestellt und die Wälder werden wieder maßvoll bewirtschaftet. Korkeichenwälder sind widerstandsfähig bei Waldbränden, erosionsmindernd durch tiefes Wurzelwerk, schattengebend und wasserspeichernd. Das Abrinden der Korkeiche ist für den Baum unschädlich. Nachteilig ist aus mitteleuropäischer Sicht der weite Transportweg aus Portugal (in den ökologischen Kennwerten nicht berücksichtigt, da Systemgrenze Werkstoff für alle Bauprodukte gilt). Der Expansionsprozess kann mit Geruchsemissionen verbunden sein. Es werden Wasserdampf, Kohlendioxid und flüchtige Kohlenwasserstoffe an die Luft abgegeben. Von minderwertigen Backkorkprodukten, die bei zu hohen Prozesstemperaturen erzeugt wurden oder von denen die äußere, verkohlte Schicht nicht entfernt wurde, können Verschmelzungsprodukte wie z.B. Furfural abgegeben werden. Minderwertige Qualitäten sind meist am unangenehmen Geruch erkennbar. Korkplatten sollten trocken angeliefert und vor länger einwirkender Nässe geschützt in belüfteten Räumen gelagert werden, da sich sonst allergener Schimmelpilz bilden kann (Suberinose). Bei ausreichendem Schutz vor dauernder Durchfeuchtung ist die Alterungsbeständigkeit sehr hoch. Kork ist unempfindlich gegen Insekten (außer Wespen), ungeeignet als Nistplatz für Nagetiere und schwer verrottbar. Bei länger einwirkender Nässe kann er von Pilzen befallen werden. Lose verlegter, trockener und sauberer Korkabbruch kann zerkleinert zu Korkgranulat als Dämmschüttung oder Zuschlagstoff verwertet werden. Die Beseitigung erfolgt in Müllverbrennungsanlagen. Problematischer ist die Entsorgung von Korkdämmplatten aus Wärmedämmverbundsystemen. Wegen der Verunreinigung mit



Putzen und Kleber ist keine Verwertung möglich. Vor der Beseitigung in Müllverbrennungsanlagen müssen Kork und mineralische Bestandteile getrennt werden oder die Platten werden bei sehr hohen Temperaturen (z.B. in der Zementindustrie) mitverbrannt. Die Deponierung von organischen Abfällen und damit von Korkdämmplatten ist nur mehr in Ausnahmefällen (als geringer Anteil von Bauschutt) erlaubt. Bei Anwendung mit Innenraumkontakt sollten nur hochwertige, geruchs- und emissionsarme bis -freie Produkte verwendet werden.

Ökologische und ökonomische Bewertung

Im Folgenden sind die Kosten und Umweltwirkungen einer Innendämmung mit Kork dargestellt. Die erste Grafik zeigt, welcher u-Wert ab einer bestimmten Dämmstärke erreicht werden kann. Aus den weiteren Grafiken ist die Höhe der ökologischen Belastungen pro m² und Jahr für Dämmstärken von 0–20 cm sowie die Ersparnis im Vergleich zur Sanierung ohne Dämmung (0 cm) ablesbar. Als Energieträger für die Raumheizung wird Gas bzw. Fernwärme angenommen.

u-Wert [W/m²K]

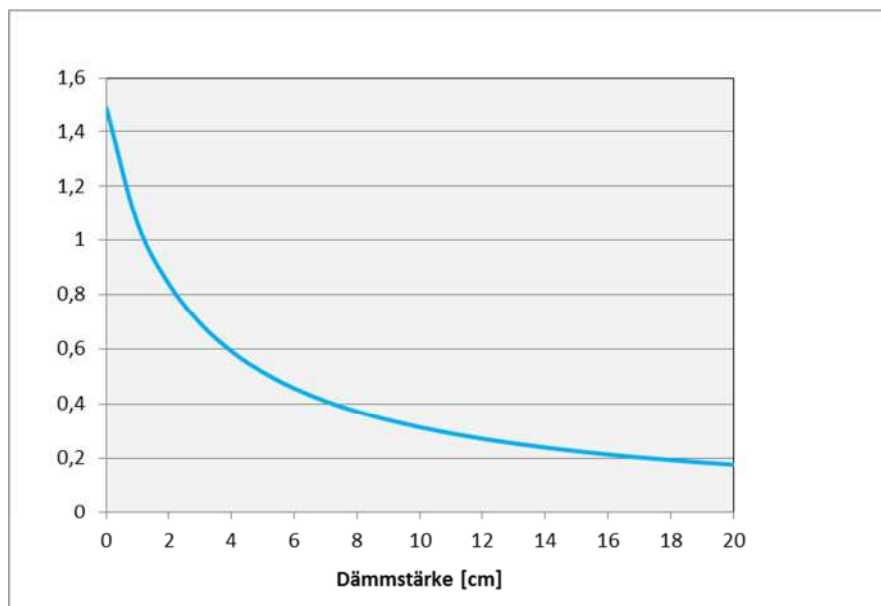


Abbildung 1: u-Wert nach Dämmstärke für das Innendämmsystem Kork verputzt

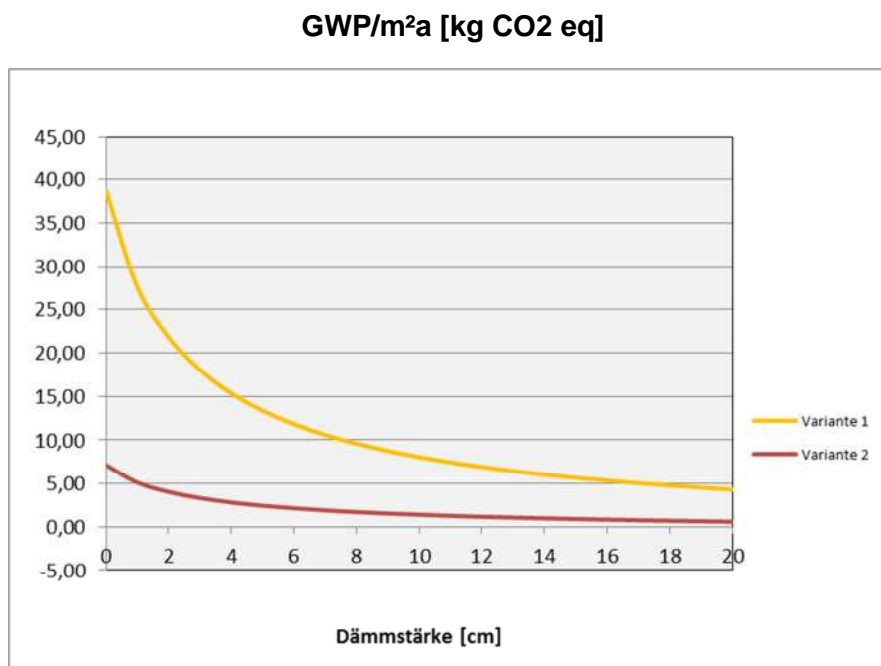


Abbildung 2: GWP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Kork verputzt sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

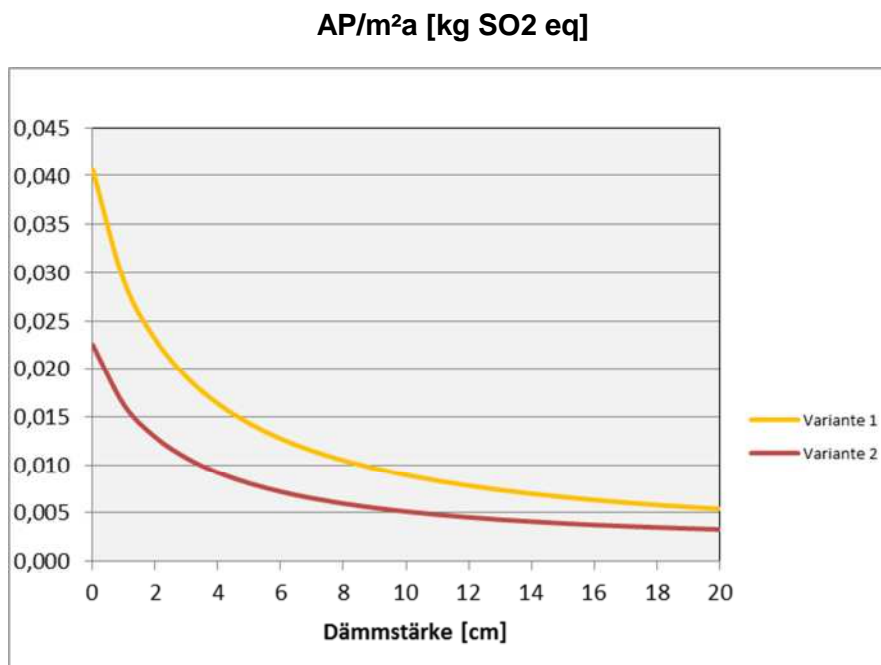


Abbildung 3: AP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Kork verputzt sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme



PEI n.e./m²a [MJ]

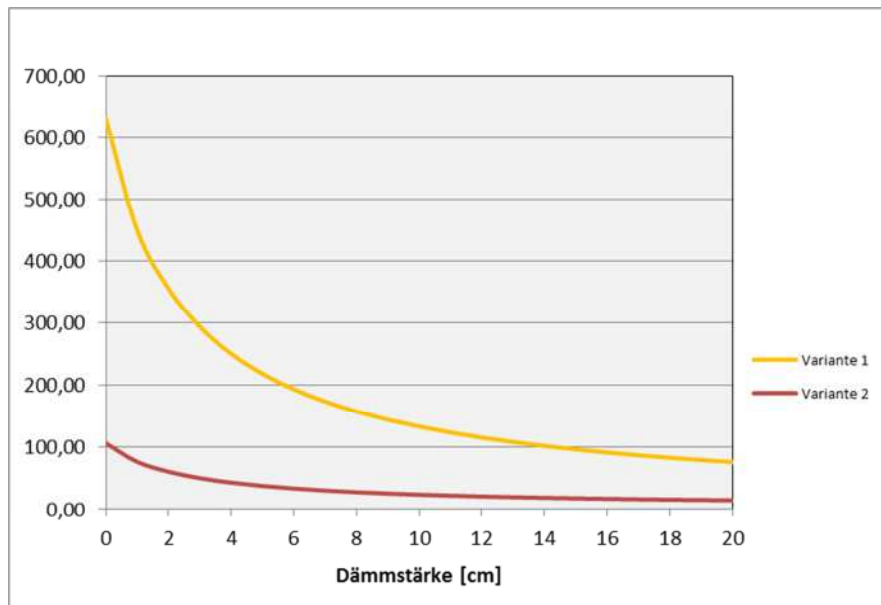


Abbildung 4: PEI n.e. Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Kork verputzt sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

Kosten [€/m²a]

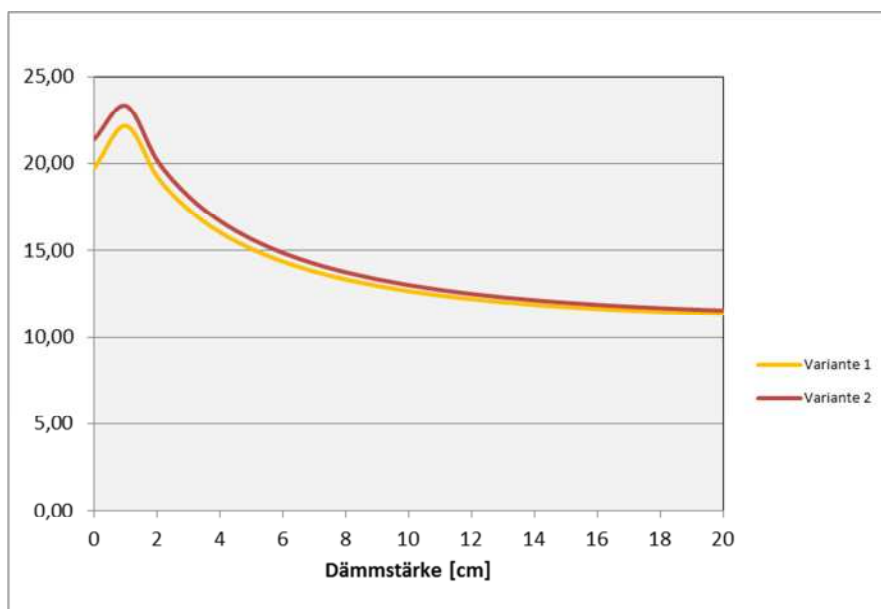


Abbildung 5: Kosten für die Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Kork verputzt sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

Bei einem Ziel-u-Wert von 0,35 W/m²K liegt die Amortisationsdauer für das Innendämmsystem Kork verputzt bei 7 (Gas) bzw. 6 Jahren (Fernwärme).



3.1.2 Strohplatte unverputzt

Beschreibung

Stroh wird zur Wärmedämmung in Wand- und Dachkonstruktionen eingesetzt. Stroh ist ein Nebenprodukt der Landwirtschaft und fällt bei der Getreideernte an. Eine Zugabe von Zusatzstoffen ist nicht erforderlich. Das Stroh wird direkt bei der Ernte zu Rohballen gepresst, für den Einsatz als Wärmedämmung zu quaderförmigen Ballen weiterverarbeitet und auf das gewünschte Endformat geschnürt. Stroh enthält noch verrottbare Bestandteile und es besteht daher die Gefahr für Pilz- und Insektenbefall. Entsprechend der bautechnischen Zulassung wird der Feuchtegehalt der Strohballendämmung im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle überwacht. Dem Pilz- und Insektenbefall kann zudem durch feuchtetechnisch korrekten Einsatz entgegengewirkt werden. Da das Stroh nicht behandelt wird, kann es nach Ablauf der Lebenszeit dem natürlichen Kreislauf wieder zurückgegeben werden.

Ökologische Bewertung

Im Folgenden sind die Umweltwirkungen einer Innendämmung mit Schilf/Strohplatte auf Lehmörtel mit Lehmputz dargestellt. Als Energieträger für die Raumheizung wird Gas bzw. Fernwärme angenommen.

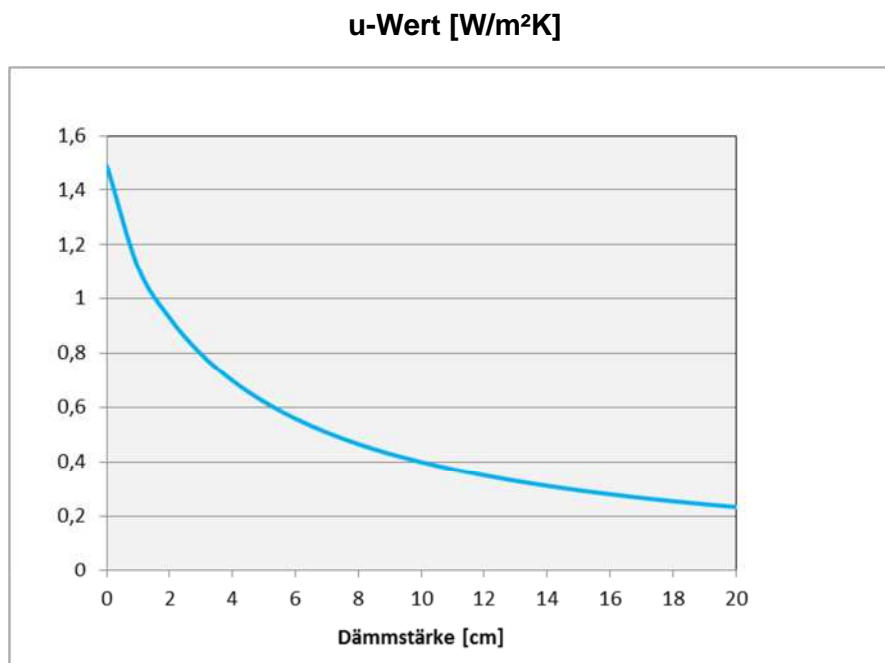


Abbildung 6: u-Wert nach Dämmstärke für das Innendämmsystem Schilf/Strohplatte

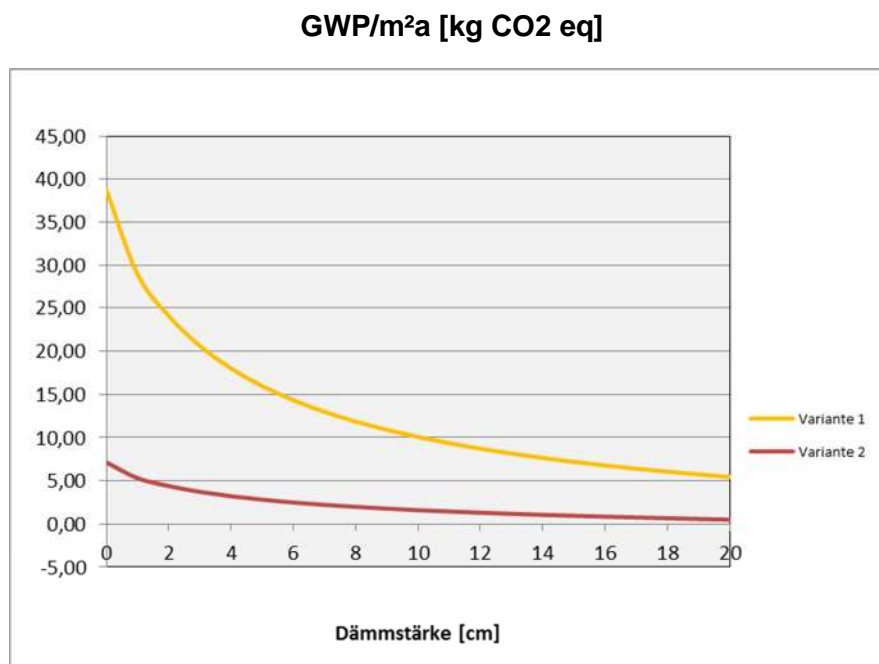


Abbildung 7: GWP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Schilf/Strohplatte sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

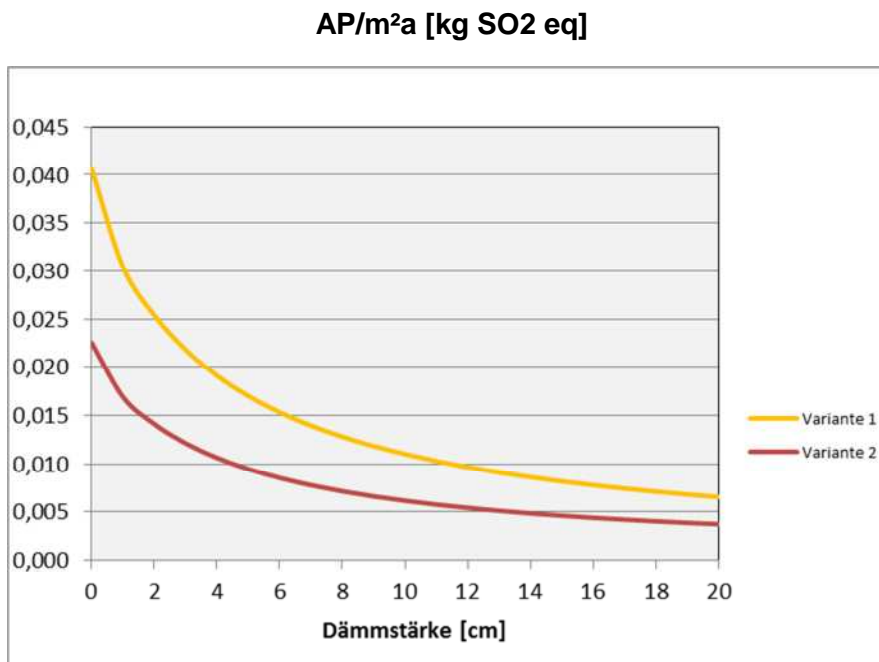


Abbildung 8: AP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Schilf/Strohplatte sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

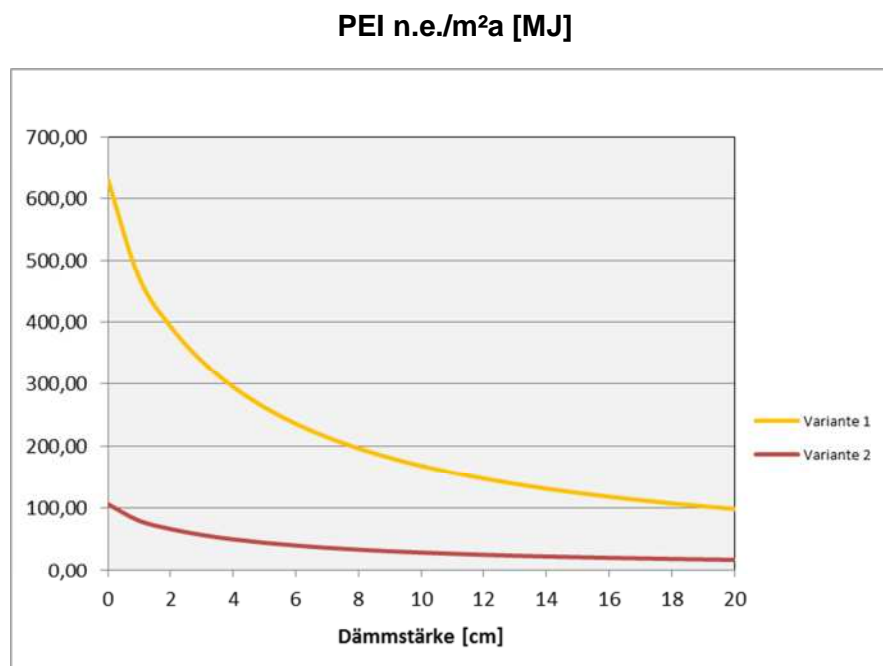


Abbildung 9: PEI n.e. Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Schilf/Strohplatte sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

3.1.3 Zellulosefaserflocken

Beschreibung

Zellulosefaser-Dämmflocken werden mit Hilfe einer Verarbeitungsmaschine pneumatisch in das zu dämmende Bauteil eingebracht. Dies geschieht durch offenes Aufblasen, Einblasen oder Aufsprühen. Zellulosefaser-Dämmflocken werden überwiegend aus Altpapier (Druckereiabfälle) hergestellt. Hochglanz- und verunreinigtes Papier werden händisch aussortiert. Seltener bestehen die Flocken aus Rohcellulose (Holz). Als Brandschutz werden Borsalze oder Ammoniumpolyphosphate/sulfate zugegeben (ca. 14–20 M%). Das Papier wird in einem mehrstufigen Zerreiß- und Mahlverfahren zerfasert und trocken mit dem Flammschutzmittel vermengt. Zur Herstellung von Zellulosefaserplatten wird das Altpapier mit Kunststofffasern oder Stärkefasern verstärkt und gebunden.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Die Herstellung verursacht nur sehr geringe Umweltbelastungen. Der Einsatz eines ausreichend vorhandenen Sekundärrohstoffes vermeidet Umweltbelastungen. Bei der Einbringung kann es zu sehr hohen Staubbelastungen kommen. Alle sich im Baustellenbereich aufhaltenden Personen müssen geeignete Staubfilter oder Frischlufthelme benutzen. Bei der Innenanwendung muss auch die Staubübertragung in umliegende Räume verhindert und der Arbeitsbereich nach Abschluss der Einblasarbeiten sorgfältig gereinigt werden. Für Zellulosefasern existieren in arbeitsmedizinischer Hinsicht keine besonderen



Einstufungen. Hinweise für eine krebserzeugende Wirkung von natürlichen organischen Fasern wie z.B. Zellulosefasern gibt es in der Literatur bisher keine. Hingegen sind berufsbedingte gutartige Lungenerkrankungen als Folge des Einatmens von organischen Stäuben bekannt (z.B. Byssinose durch Baumwollstaub, Berufsasthma, allergische Alveolitis). Bei luftdichten Konstruktionen können keine Fasern in den Innenraum gelangen. Bei sortenreiner Rückgewinnung können die Zellulosefasern verwertet werden, indem die Fasern abgesaugt, getrocknet und neu eingeblasen werden. Beim Ausbau ohne Absaugmaschinen können hohe Staubkonzentrationen auftreten. Zellulosefaserplatten sind wiederverwendbar, vom Hersteller wurde dafür auch eine Rücknahmelogistik aufgebaut. Die Beseitigung erfolgt in Müllverbrennungsanlagen. Die Deponierung von organischen Abfällen wie Zellulose-Dämmflocken ist nur mehr in Ausnahmefällen (als Teil von Bauschutt in geringem Ausmaß) erlaubt. Selbstbausysteme werden nicht empfohlen. Die korrekte Einbringung sollte durch geschulte und erfahrene Fachbetriebe erfolgen.

Ökologische Bewertung

Im Folgenden sind die Umweltwirkungen einer Innendämmung mit Zellulosefaserflocken dargestellt. Als Energieträger für die Raumheizung wird Gas bzw. Fernwärme angenommen.

u-Wert [W/m²K]

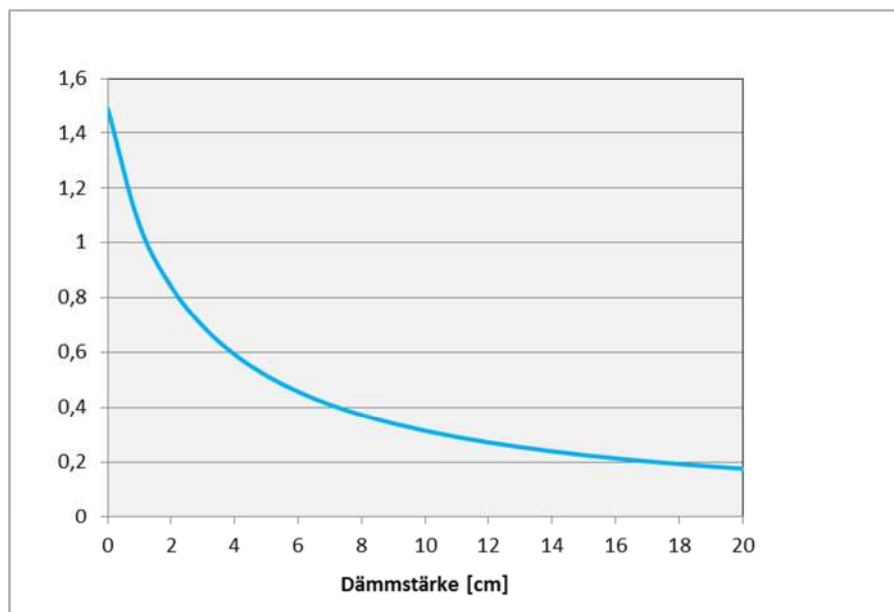


Abbildung 10: u-Wert nach Dämmstärke für das Innendämmsystem Zellulosefaserflocken mit Kalkzementputz



GWP/m²a [kg CO₂ eq]

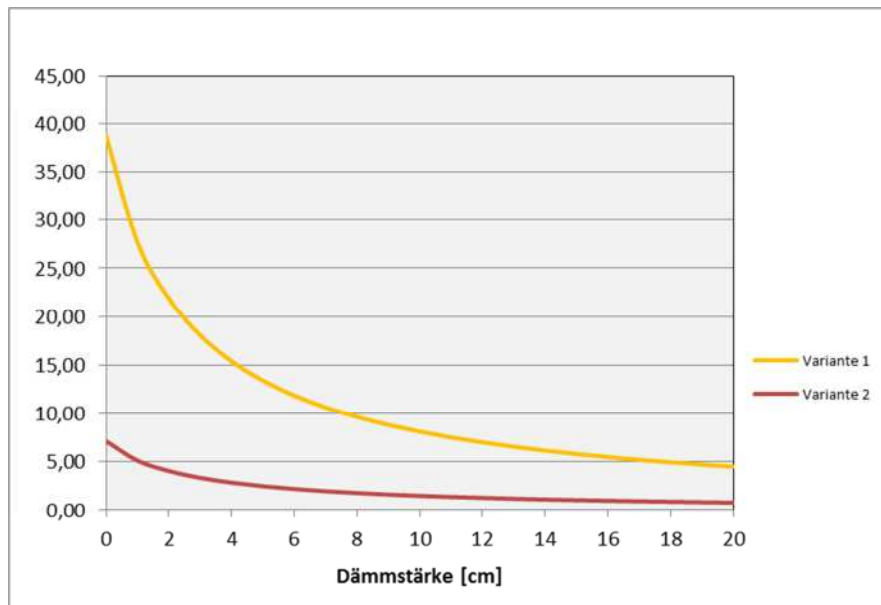


Abbildung 11: GWP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Zellulosefaserflocken mit Kalkzementputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

AP/m²a [kg SO₂ eq]

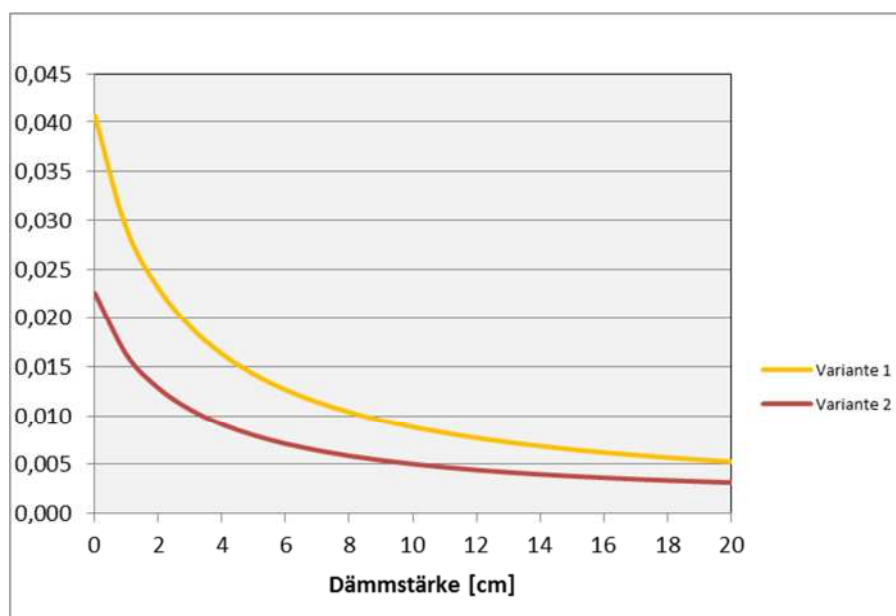


Abbildung 12: AP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Zellulosefaserflocken mit Kalkzementputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

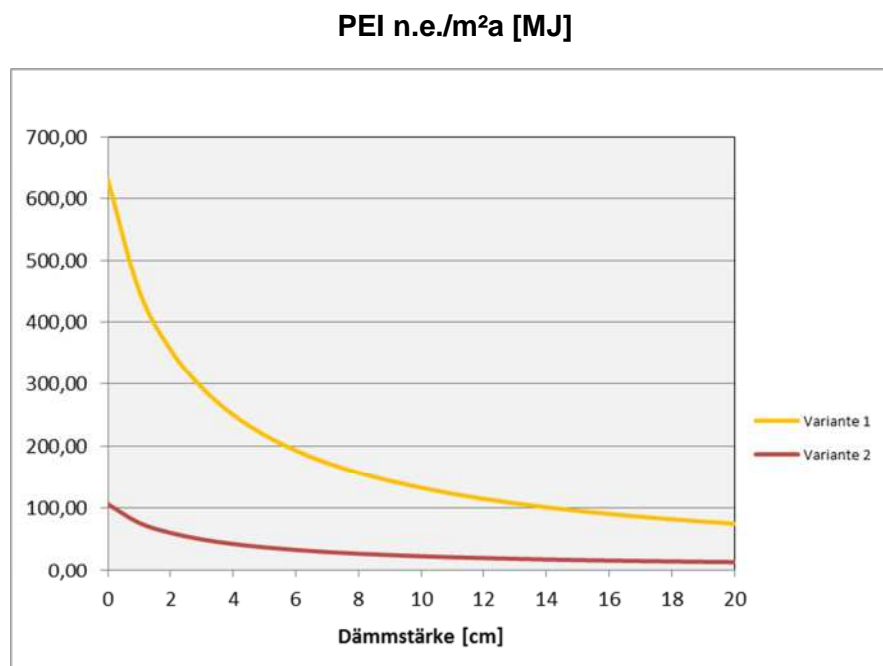


Abbildung 13: PEI n.e. Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Zellulosefaserflocken mit Kalkzementputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

3.1.4 Holzfaserplatte porös 250 kg/m³

Beschreibung

Holzfaserdämmplatten (WF nach EN 13171) werden für Wärme- und Schalldämmung in Boden-, Wand-, Decken- und Dachkonstruktionen und auch als Putzträger eingesetzt. Holzfaserplatten haben eine hohe Wärmespeicherfähigkeit bei gleichzeitig guten Wärmedämmeigenschaften, sind diffusionsoffen und können winddicht eingebaut werden. Poröse Faserplatten (SB nach EN 622-4: < 400 kg/m³) sind üblicherweise dünner und schwerer als Holzfaserdämmplatten und werden z. B. für Trittschalldämmungen und als Unterdachplatten eingesetzt. Bituminierte Holzfaserdämmplatten werden für wasserabweisende Unterdächer und Schutzschichten auf der Außenseite von Holzständerwänden bei gleichzeitiger Verbesserung der Wärme- und Schalldämmung eingesetzt. Rohstoffe sind Resthölzer der Sägeindustrie und Durchforstungshölzer (meist Fichte, Tanne und Kiefer). Bei der Herstellung unterscheidet man Nass- oder Trockenverfahren:

- Nassverfahren: Aufschluss der Hackschnitzel mit Wasserdampf, Mahlen, Vermengen mit Wasser und evtl. Zusatzstoffen, Absaugen des Produktionswassers aus dem Faserstoff mittels Vakuumsaugern; Trocknen im Etagentrockner über mehrere Tage bei 120–190 °C von 40 % auf ca. 2 % Restfeuchte; Ablängen und Kantenausbilden. Als Bindemittel dienen lediglich die holzeigenen Harze. Zur Aktivierung des holzeigenen Harzes Lignin wird



Aluminiumsulfat (1–3 M %) beigegeben, die Hydrophobierung erfolgt mit Wachsemulsionen (max. 1 M %). Dickere Platten werden aus dünneren Platten mit Weißleim geklebt (ca. 0,8 M %). Durch den Trocknungsprozess ist der Energiebedarf bei der Herstellung gegenüber dem Trockenverfahren vergleichsweise hoch.

- Trockenverfahren: Hackschnitzel werden im Refiner zu Fasern aufgeschlossen. Die Fasern werden mit Polyurethanharzen (→ 7.2 Polyurethan) benetzt oder mit Bikomponenten-Kunststofffasern vermischt und unter Druck und Hitze zu homogenen Platten gebunden. Dickere Platten können in einem Arbeitsgang gefertigt werden.

Holzwoleplatten (WW nach EN 13168) werden als Putzträger für Wand- und Deckenaufbauten sowohl innen als auch außen eingesetzt. Sie bestehen aus einem schwach verdichteten Gemisch aus längsgehobelter Holzwole und mineralischem Bindemittel (rund 65 M% Portlandzement oder Magnesitbinder). Als Mineralisierungsmittel können geringe Mengen anorganischer Salze zugegeben werden. Holz wird zu möglichst langen Spänen gehobelt. Die Späne werden gewogen und auf dem Förderband mit einem Mineralisierungsmittel (z. B. Calciumchloridlösung) befeuchtet. Zur Herstellung zementgebundener Platten wird Zement zugegeben und die Masse in Form gepresst. Zur Herstellung magnesitgebundener Platten wird Magnesiumsulfat (getrocknetes Bittersalz) in heißem Wasser gelöst und in einem Mischer auf die Holzwole aufgebracht. Danach wird eine aus Magnesiumsulfat und Magnesiumoxid bestehende Suspension in den Mischer gegeben. Das Holzwole-Magnesit-Gemisch wird anschließend gepresst. Nach zwei Tagen werden Platte und Form getrennt, die Platten gestapelt und gelagert. Holzwoleplatten mit einseitig mineralisch gebundener, trittfester Oberfläche werden als Porenverschlussplatten bezeichnet. Holzwoleplatten werden auch im Verbund mit Dämmstoffen (EPS-Dämmplatten, Polyurethan-Dämmplatten, Mineralwolle-Dämmplatten) hergestellt.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Der ökologische Vorteil von Holzfasernplatten und Holzfaserdämmplatten liegt in der guten Ausnutzung des eingeschlagenen Holzes. Dem geringeren Energiebedarf bei der Herstellung im Trockenverfahren steht der Einsatz synthetischer Bindemittel gegenüber. Die Herstellung der Kunstharze ist energieintensiv und umweltbelastend, zum Teil treten sehr problematische Zwischenprodukte auf. Die ökologischen Kennwerte von Holzwerkstoffen werden daher großteils über die Menge des zugegebenen Bindemittels bestimmt. Bei Platten, die ohne Bindemittel auskommen und im Nassverfahren hergestellt werden, ist der Energiebedarf für den Trocknungsprozess ausschlaggebend für die ökologischen Kennwerte. Beim Zerkleinern der Hölzer kommt es zu Staubentwicklung.

Zur Herstellung der Holzwoleplatten werden Resthölzer aus der Holzverarbeitenden Industrie, Durchforstungshölzer oder Gebrauchtholz verwendet. Die Mineralisierungsmittel



besitzen (auch bezüglich der eingesetzten Menge) keine Umweltrelevanz. Das Ablängen und Hobeln der Späne erfolgt mit geringem Energieaufwand. Starker Staubanfall ist beim Zerspanen, Hobeln oder Besäumen möglich (durch Absauganlagen verringert). Die Gewinnung der mineralischen Rohstoffe verursacht lokale Umweltbelastungen. Die ökologischen Kennwerte werden vor allem durch die Brennprozesse bei der Herstellung der Bindemittel bestimmt.

Verarbeitung und Nutzung

Zur Vermeidung von Gesundheitsbelastungen durch Holzstaub sind beim Bearbeiten persönliche Schutzmaßnahmen notwendig.

Neben Formaldehyd emittieren Holzfaserplatten und Holzfaserdämmplatten Terpene aus Holzinhaltsstoffen, kurzkettige Carbonsäuren und weitere Aldehyde. Aldehyde wie Hexanal, Pentanal, Benzaldehyd, Heptanal und Furfural bilden sich durch Oxidationsvorgänge bei der Trocknung von Spänen und Fasern aus Bestandteilen des Holzes. Die höchsten Emissionen weisen Holzwerkstoffe aus Kiefernholz auf [Zwiener/Mötzl 2006].

Für Holzwoleplatten sind keine gesundheitsbeeinträchtigenden Emissionen während der Nutzungsphase zu erwarten.

Entsorgung

Je nach Zustand der Platten und der Verlegungsmethode lassen sich Holzwerkstoffe rückbauen und weiterverwenden. Sie lassen sich rezyklieren als Rohstoff für neue Holzwerkstoffplatten oder in der Zellstoffindustrie. Organisch gebundene Holzwerkstoffe besitzen wie Holz einen hohen Heizwert. Sie sollten nur in Verbrennungsanlagen mit Rauchgasreinigung verbrannt werden, sodass Emissionen von problematischen Kohlenwasserstoffverbindungen unterbunden werden können. Die Deponierung von organischen Abfällen und damit von organisch gebundenen Holzwerkstoffplatten ist nur mehr in Ausnahmefällen (als geringer Anteil von Bauschutt) erlaubt.

Bei der üblichen Einbausituation ist von einer Wiederverwendung der Holzwoleplatten nicht auszugehen. Eine stoffliche Verwertung ist wegen des anorganisch-organischen Verbunds nur in geringem Ausmaß möglich. Sortenreine, saubere Abbruchmaterialien könnten wieder in die Produktion rückgeführt werden (Anteil am Neuprodukt bis zu ca. 10 %). Eine thermische Beseitigung ist aufgrund der dafür notwendigen hohen Temperaturen nicht sinnvoll. Magnesit- und zementgebundene Holzwerkstoffe sind in Österreich gem. BGBl. II - 39. Verordnung vom 30.01.2008 in der Aufzählung in Anhang 2 der Deponieverordnung 2008 (BGBl. II Nr. 39/2008 - Deponieverordnung 2008) angefügt. Die Platten können somit trotz des hohen Anteils organischer Bestandteile auf Baurestmassendeponien beseitigt werden, da das Holz mineralisiert und damit in einer für die Deponierung unbedenklichen Form vorliegt. Ein Verbund mit organischen Dämmstoffen (EPS oder Polyurethan) erschwert die Deponierung, da vorher die Kunststoffbestandteile abgetrennt werden müssen.



Empfehlung

Ein hoher Leimanteil beeinflusst die ökologischen Kennwerte wesentlich. Besonders bei großflächigem Einsatz auf Platten mit niedrigen Schadstoff- und Geruchsemissionen (z. B. natureplus-geprüft) achten.

Ökologische und ökonomische Bewertung

Im Folgenden sind die Kosten und Umweltwirkungen einer Innendämmung mit Holzfaserdämmplatte dargestellt. Als Energieträger für die Raumheizung wird Gas bzw. Fernwärme angenommen.

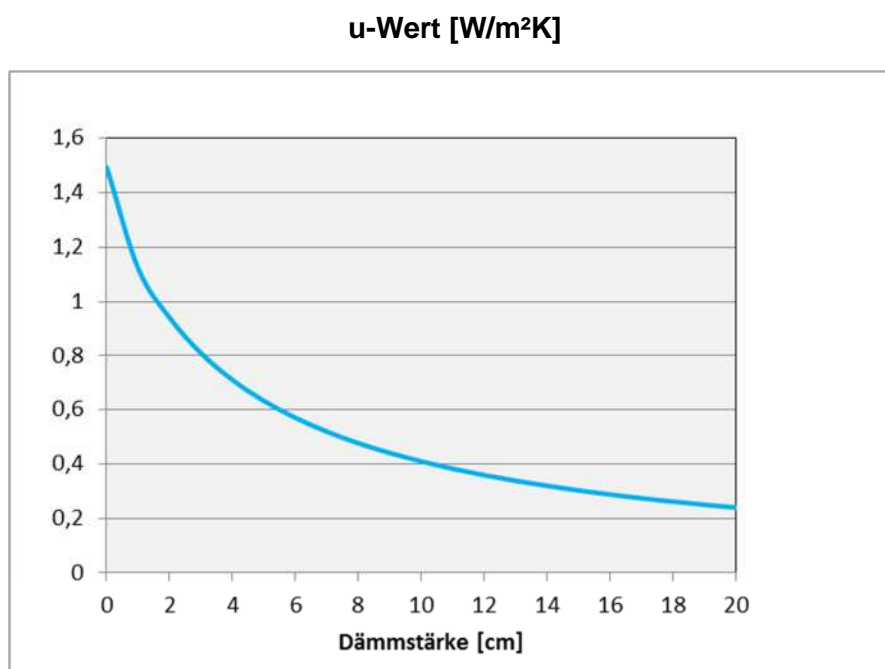


Abbildung 14: u-Wert nach Dämmstärke für das Innendämmsystem Holzfaserdämmplatte auf Lehmörtel mit Lehmputz

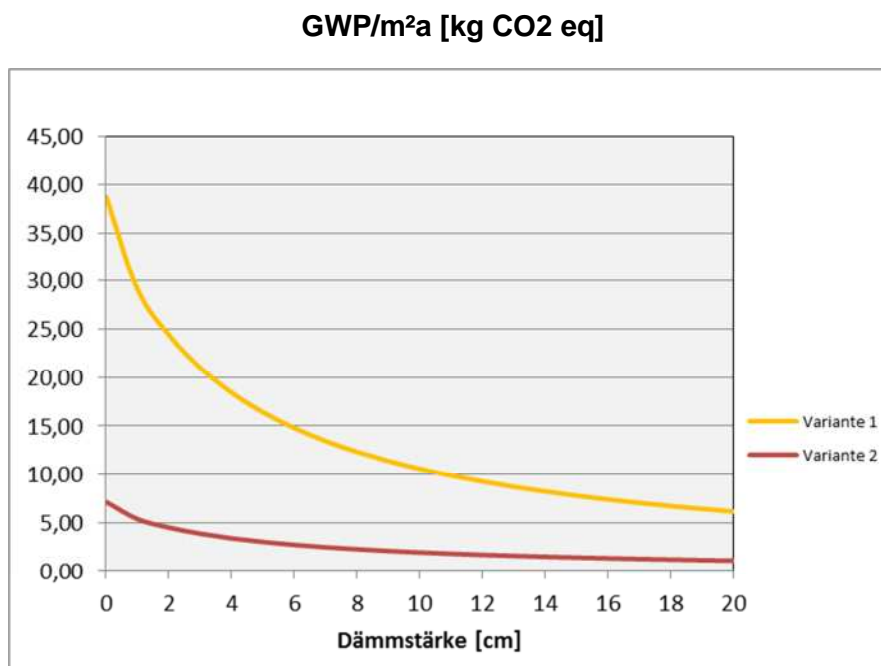


Abbildung 15: GWP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Holzfaserdämmplatte auf Lehmörtel mit Lehmputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

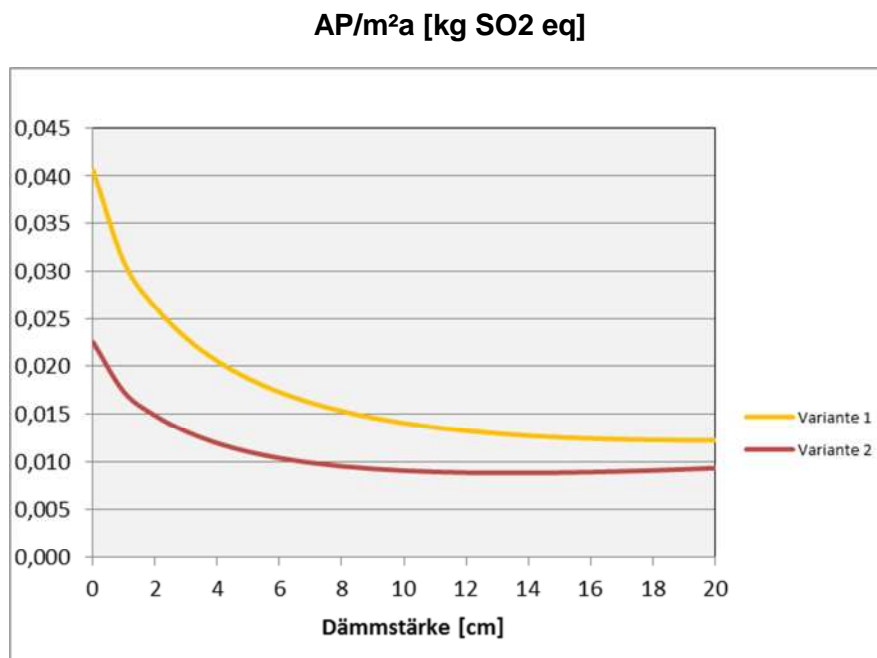


Abbildung 16: AP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Holzfaserdämmplatte auf Lehmörtel mit Lehmputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme



PEI n.e./m²a [MJ]

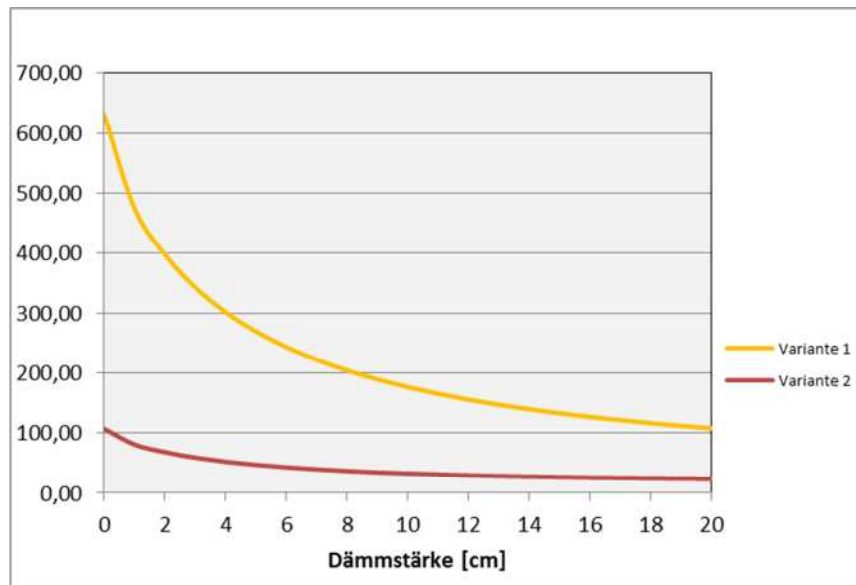


Abbildung 17: PEI n.e. Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Holzfaserdämmplatte auf Lehmörtel mit Lehmputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

Kosten [€/m²a]

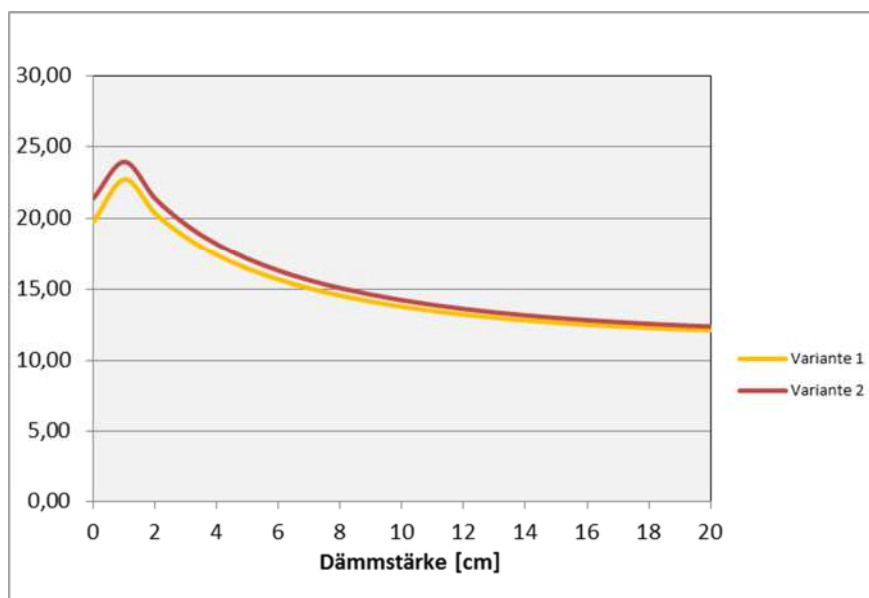


Abbildung 18: Kosten für die Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Holzfaserdämmplatte auf Lehmörtel mit Lehmputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

Bei einem Ziel-u-Wert von 0,35 W/m²K liegt die Amortisationsdauer für das Innendämmsystem Holzfaserdämmplatte bei 7 (Gas) bzw. 6 Jahren (Fernwärme).



3.2 Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen

3.2.1 Perlitedämmplatte

Beschreibung

Perlite finden Verwendung als Ausgleichs- oder Dämmschüttung in Wänden, Decken, Dächern und als innenliegende Dämmung auf Bodenplatten. Perlite sind eine Familie von wasserhaltigen, glasigen Gesteinen. Sie entstehen durch Vulkantätigkeit mit Wasserkontakt (unterseeisch oder unter Eis). Perlite werden bergmännisch gewonnen. Im europäischen Raum gibt es Vorkommen in Ungarn, Griechenland, der Türkei, Sizilien, Rumänien, Bulgarien und der Ukraine. Für Dämmschüttungen werden Blähperlite verwendet. Dabei wird Perlit kurzzeitig auf über 1000 °C erhitzt, wodurch schlagartig das chemisch gebundene Wasser des Gesteins entweicht und das Rohmaterial auf das 15- bis 20fache seines Volumens expandiert wird. Sie werden je nach Anwendungszweck rein, mit Silikonen hydrophobiert oder mit Bitumen, Naturharzen und Ähnlichem ummantelt, hergestellt.

Perlite ist ein nicht brennbarer Dämmstoff, der im Brandschutz eine wichtige Rolle einnehmen kann. Es ist ungezieferbeständig und verrottet nicht. Die Wärmeleitfähigkeit liegt um die 0,045 W/mK.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Perlite sind ausreichend verfügbar. Die Umweltbelastungen durch den Abbau sind mit jenen für den Trockenabbau von Splitt vergleichbar. Der Expandiervorgang wird mit den verschiedensten Verfahren und Energieeinsätzen durchgeführt, daher entsteht eine große Vielfalt an ökologischen Profilen. Das größte gesundheitliche Risiko bei der Verarbeitung geht von Staubexpositionen aus, deshalb sind Staubschutzmaßnahmen erforderlich. Aus bituminierten Perliten können ev. organische Substanzen ausgasen. Ungeziefer und Nagetiere können in der losen Schüttung weder Gänge noch Nester bauen. Das anorganische Material ist außerdem resistent gegen Chemikalien, Verrottung und Mikroorganismen. Als Schüttmaterial ist die Rückgewinnung von Perliten problemlos. Das Material kann nach Reinigung und Trocknung als Schüttmaterial oder Zuschlagstoff wiederverwendet werden. Die Deponierung erfolgt auf Inertstoffdeponie gemäß EU-Deponierichtlinie bzw. Baurestmassendeponie gemäß Österr. Deponieverordnung. Durch die Zugabe von Bitumen als Hydrophobierungsmittel geht der Vorteil einer hochwertigen Entsorgung des rein mineralischen Produktes verloren. Es gibt Perlitedämmplatten die mit Si₂O und mit Kieselol (Polykieselsäure) hydrophobiert sind.



Ökologische und ökonomische Bewertung

Im Folgenden sind die Kosten und Umweltwirkungen einer Innendämmung mit Perlitedämmplatte dargestellt. Als Energieträger für die Raumheizung wird Gas bzw. Fernwärme angenommen.

u-Wert [W/m²K]

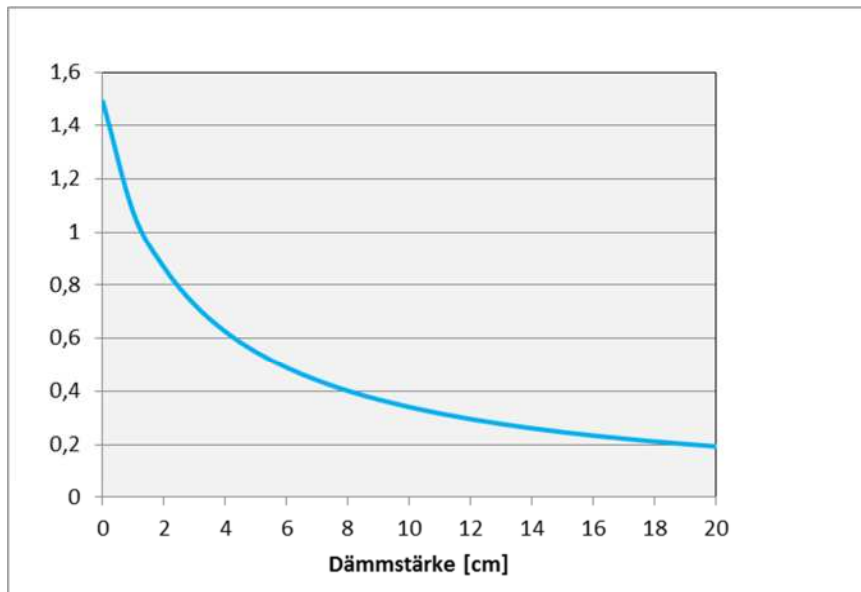


Abbildung 19: u-Wert nach Dämmstärke für das Innendämmsystem Perlitedämmplatte mit Grundputz und Oberputz

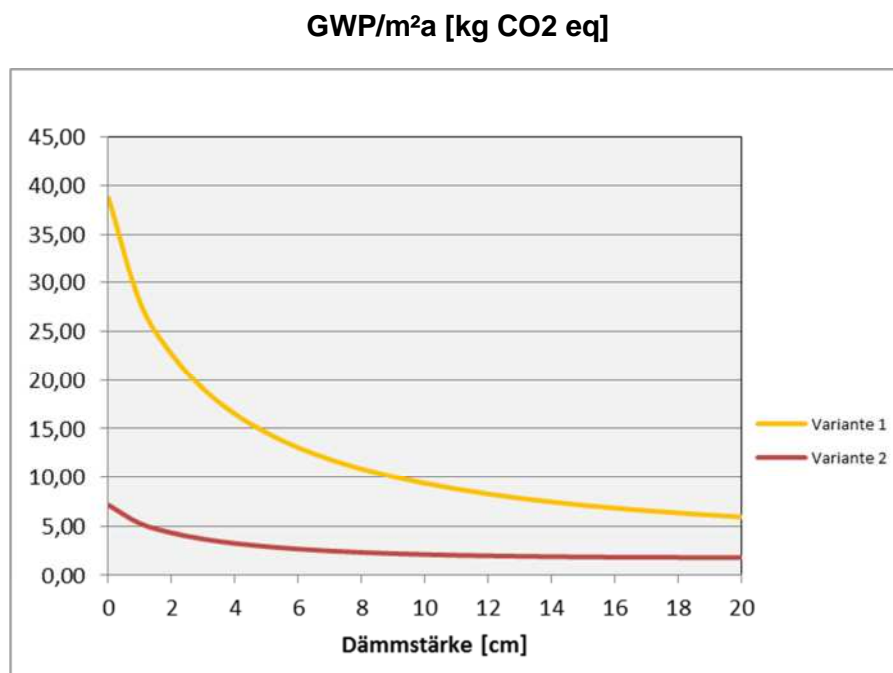


Abbildung 20: GWP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Perlitedämmplatte mit Grundputz und Oberputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

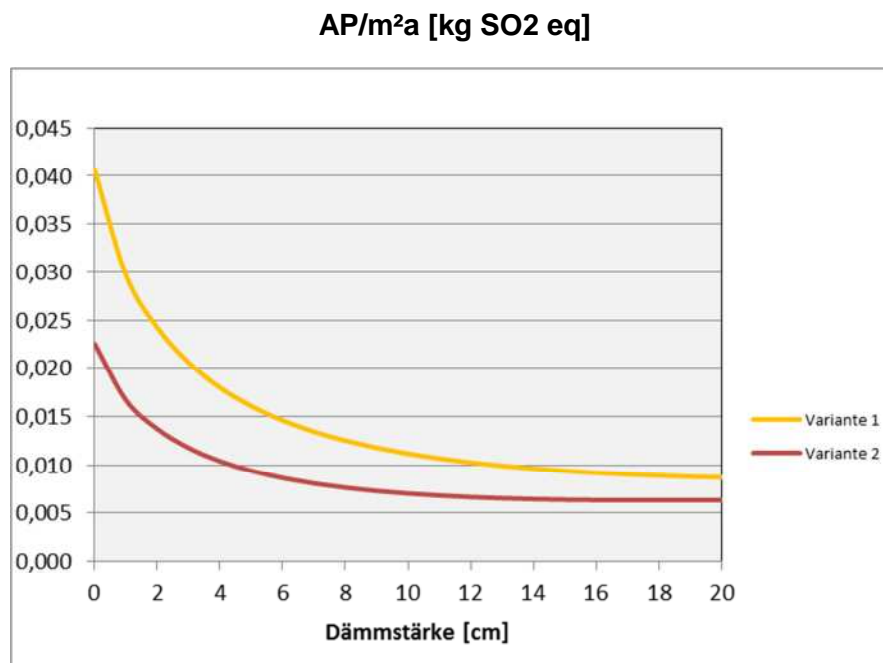


Abbildung 21: AP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Perlitedämmplatte mit Grundputz und Oberputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme



PEI n.e./m²a [MJ]

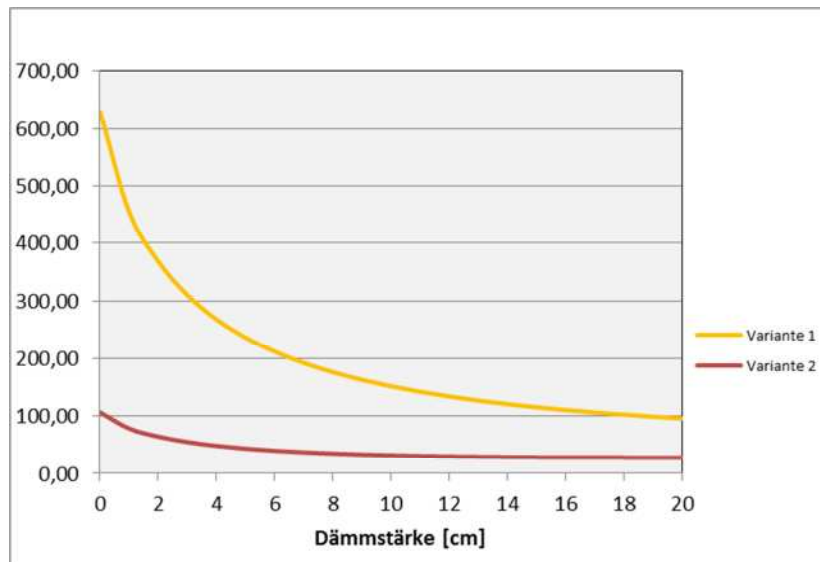


Abbildung 22: PEI n.e. Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Perlitedämmplatte mit Grundputz und Oberputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

Kosten [€/m²a]

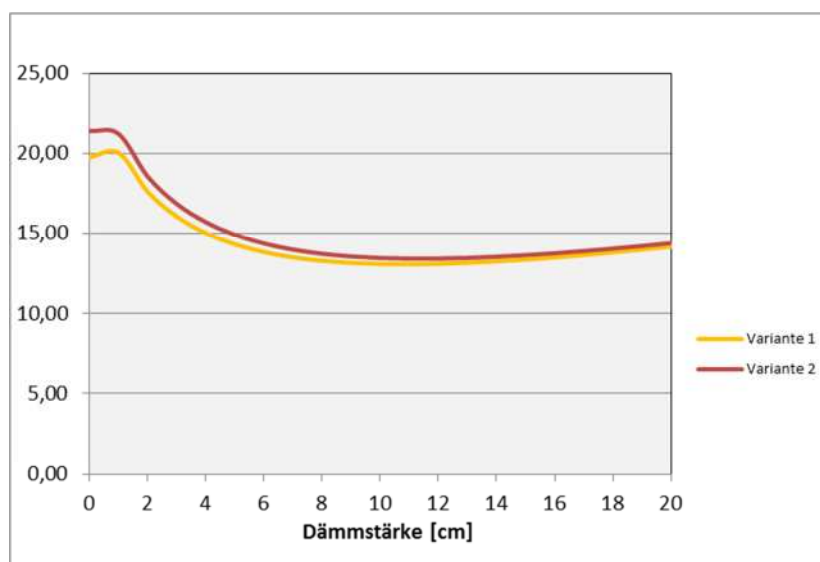


Abbildung 23: Kosten für die Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Perlitedämmplatte mit Grundputz und Oberputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

Bei einem Ziel-u-Wert von 0,35 W/m²K liegt die Amortisationsdauer für das Innendämmsystem Perlitedämmplatte mit Grundputz und Oberputz bei 7 (Gas) bzw. 6 Jahren (Fernwärme).



3.2.2 Calciumsilikatplatte – Mineralschaumplatte

Beschreibung

Calciumsilikatplatten sind faserdotierte Mineralschaumplatten, die besonders als Innendämmung bei Sanierungen zum Einsatz kommen. Die Herstellung erfolgt aus Quarzsand, Kalk, Zement, Wasser und einem porenbildenden Zusatzstoff (Proteinschaum oder (Recycling-)Aluminiumpulver). Die Platten sind massehydrophobiert und beschichtet. Aus den Rohstoffen wird eine leichte, ultraporöse Mischung hergestellt. Die Schaummasse (Kuchen) reift in Formen. Anschließend werden die halbsteifen Rohblöcke mit Drähten in einzelne Platten zerteilt und im Autoklaven gehärtet. Nach dem Schneiden und Beschichten werden die Platten bei 50–60 °C auf 5 % Feuchte getrocknet.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Mineralschaumplatten werden in einem vergleichsweise emissions- und energiearmen Verfahren ohne Produktionsabfälle hergestellt und weisen gute Ökobilanzergebnisse auf. Umweltbelastungen stammen vorwiegend aus den Vorprodukten Zement und Branntkalk. Im Vordergrund der ökologischen Diskussion stehen der Einsatz von Aluminiumpulver sowie Risiken durch silikogene Stäube:

- Während der Reaktion wird das Aluminiumpulver in Tonerde umgesetzt und dadurch einem höherwertigen Stoffrecycling entzogen. Bei Umgang mit Aluminiumpulver besteht erhöhte Brand- und Explosionsgefahr. Wird das Aluminiumpulver in Pasten und Pellets eingebunden, kann die Bildung eines explosiblen Aluminiumpulver-Luft-Gemisches nicht mehr stattfinden. Mineralschaumplatten können auch ohne Aluminium-Treibmittel hergestellt werden.
- Das Unternehmen hat dafür zu sorgen, dass die Atemluft an den Arbeitsplätzen möglichst frei von silikogenem Staub (Gefahr an Steinstaublunge oder Siliko-Tuberkulose zu erkranken) ist.

Bei der Verarbeitung sollten die üblichen Vorkehrungen zum Staubschutz gesetzt werden. Während der Nutzung werden keine gesundheitsschädlichen Stoffe in die Raumluft abgegeben.

Die Produkte sind nicht unzerstört rückbaubar und daher ausschließlich stofflich verwertbar. Die Wiedernutzung von Mineralschaumplatten im Werk ist mehrfach im Kreislauf möglich. Beträgt der Anteil an mineralischen Fremdstoffen, wie Putz- und Mörtelresten, im aufbereiteten Porenbeton max. 10 M%, ist eine Zugabe bis zu 15 M% der Trockenrezeptur möglich. Darüber hinaus kann Bruchmaterial als Granulat für Schüttungen oder als Sekundärrohstoff für Öl- und Flüssigkeitsbinder, Hygienestreu, Abdeckmaterial, Ölbinder, Klärschlammkonditionierung etc. weiterverarbeitet werden. Mineralschaumplatten bestehen



zu fast 100 % aus mineralischen Rohstoffen und sind daher aus ökologischer Sicht besonders für die Dämmung von mineralischen Tragkonstruktionen geeignet, da die Recyclingfähigkeit und Deponierbarkeit nicht durch Vermischen von organischen und anorganischen Materialien beeinträchtigt wird. Ein Verwertungskonzept für Mineralschaumplatten selbst gibt es derzeit noch nicht. Die Deponierung erfolgt auf Inertstoffdeponie gemäß EU-Deponie-Richtlinie bzw. Baurestmassendeponie gemäß Österr. Deponieverordnung.

Empfehlung

Für die Verklebung von Mineralschaumplatten als Innendämmung sollten lösemittelfreie Kleber verwendet werden.

Ökologische und ökonomische Bewertung

Im Folgenden sind die Kosten und Umweltwirkungen einer Innendämmung mit Calciumsilikatplatte/Mineralschaumplatte dargestellt. Als Energieträger für die Raumheizung wird Gas bzw. Fernwärme angenommen. Es ist zu beachten, dass sowohl bei der Calciumsilikatplatte mit PU-Kern, als auch bei der Calciumsilikatplatte mit Schaumglas-Kern die ökologischen Kennwerte die 2,5 cm dicke Calciumsilikatschicht sehr wohl berücksichtigen, in den jeweiligen Darstellungen wurden die 2,5 cm jedoch nicht auf der y-Achse (Dämmstärke) dazugezählt. Diese bezieht sich also nur auf die Dicke des PU- bzw. der Schaumglas-Kerns. Daher ergibt sich hier ein Knick in der Darstellung.

u-Wert [W/m²K]

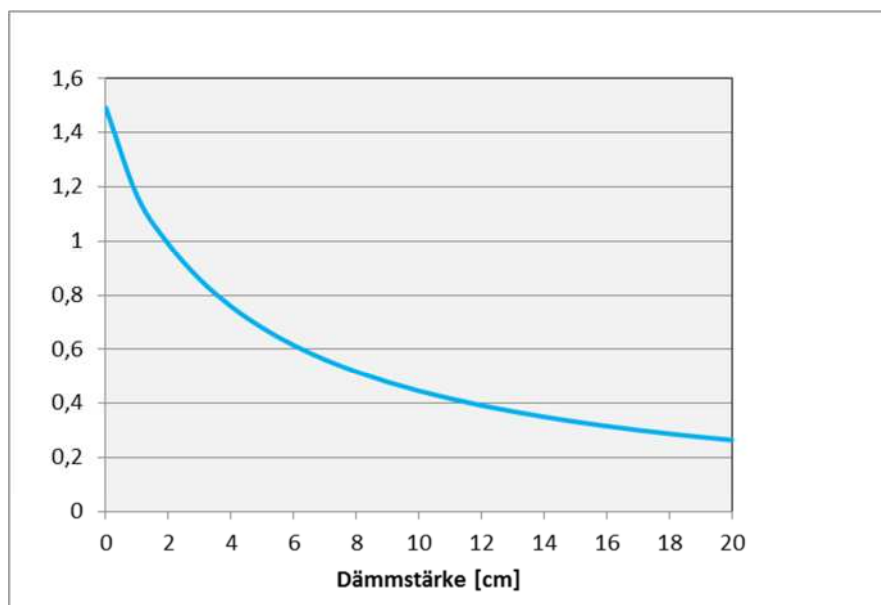


Abbildung 24: u-Wert nach Dämmstärke für das Innendämmsystem Calciumsilikatplatte mit Innenputz

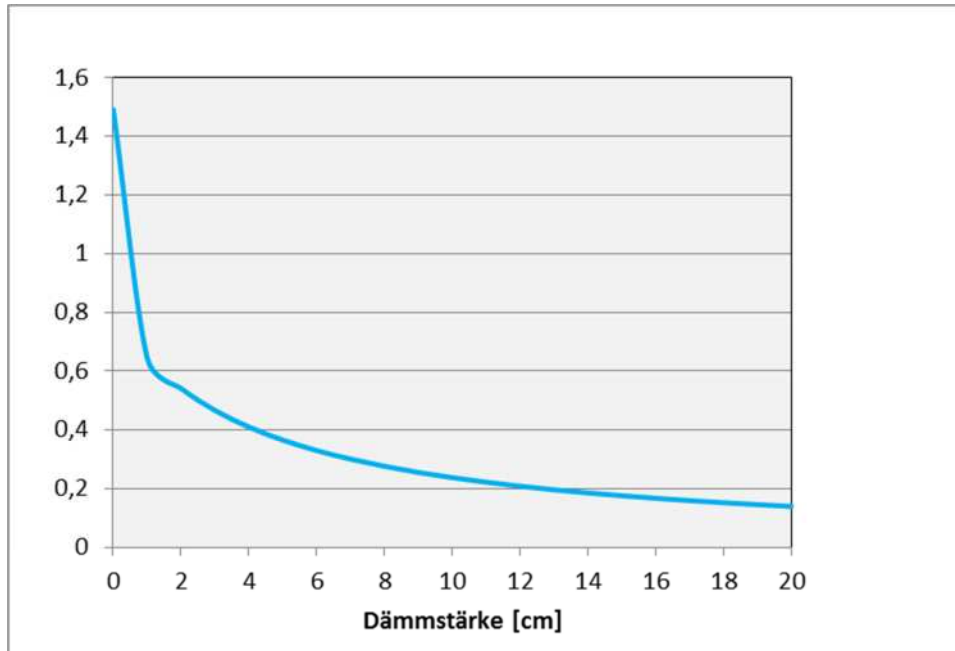


Abbildung 25: u-Wert nach Dämmstärke für das Innendämmsystem Calciumsilikatplatte mit PU Kern und Innenputz

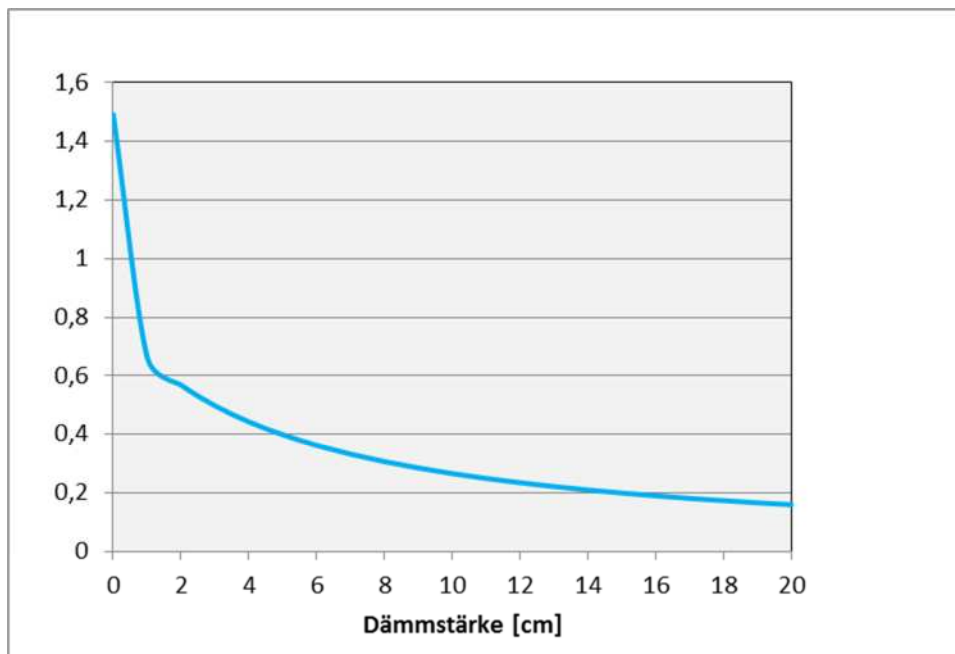


Abbildung 26: u-Wert nach Dämmstärke für das Innendämmsystem Calciumsilikatplatte mit Schaumglas-Kern und Innenputz

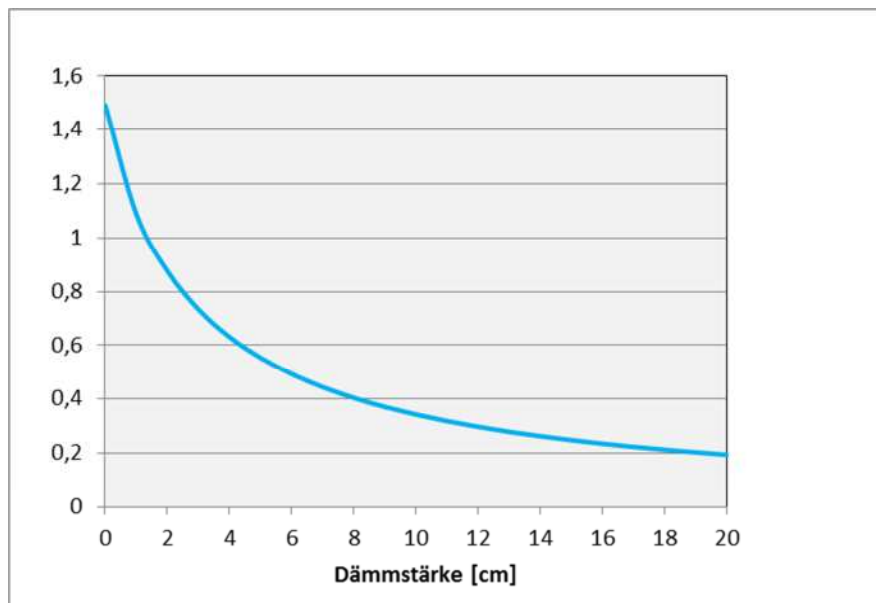


Abbildung 27: u-Wert nach Dämmstärke für das Innendämmsystem Mineralschaumplatte mit Abspachtelung

GWP/m²a [kg CO2 eq]

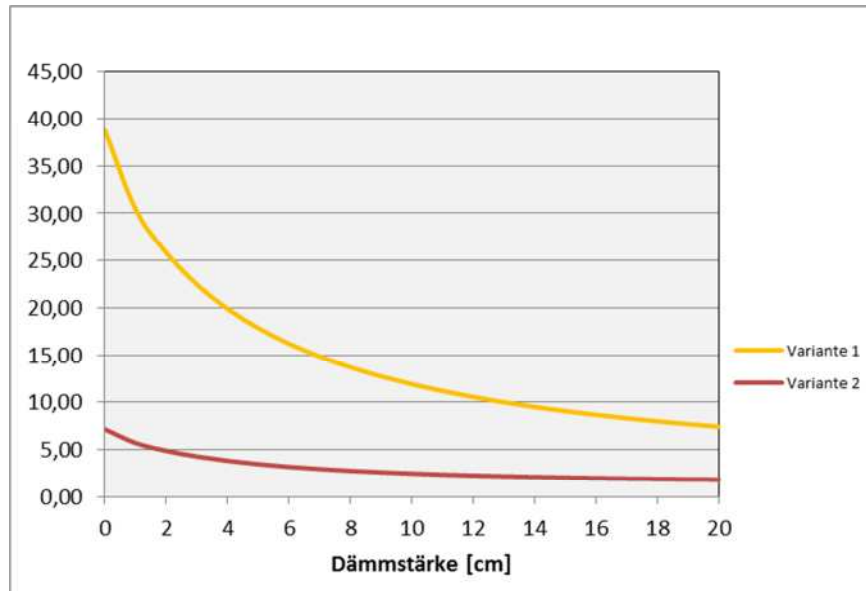


Abbildung 28: GWP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Calciumsilikatplatte mit Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

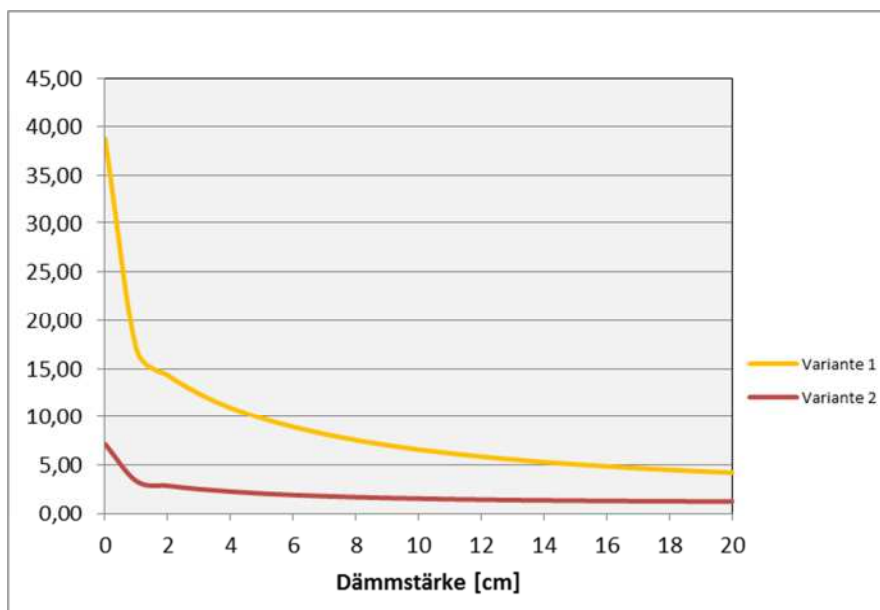


Abbildung 29: GWP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Calciumsilikatplatte mit PU Kern und Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

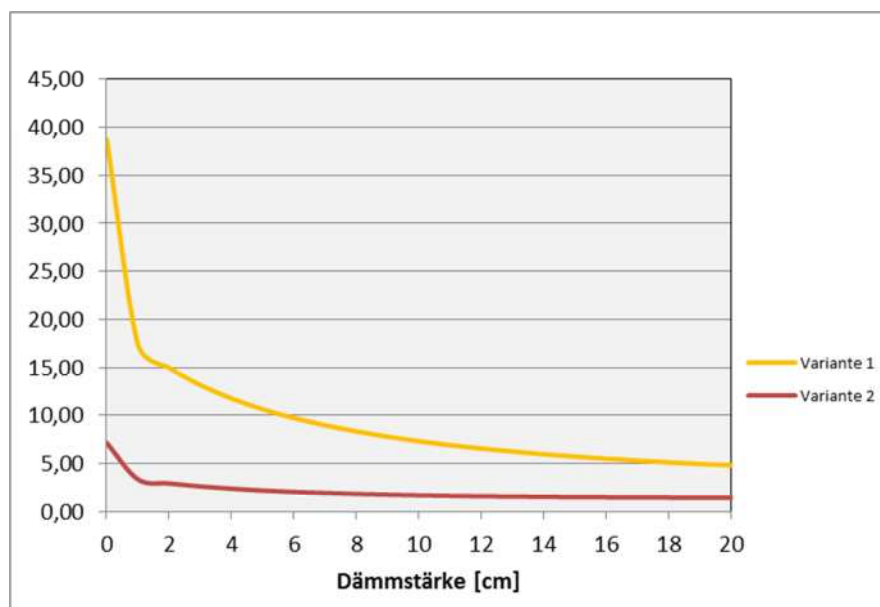


Abbildung 30: GWP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Calciumsilikatplatte mit Schaumglas-Kern und Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

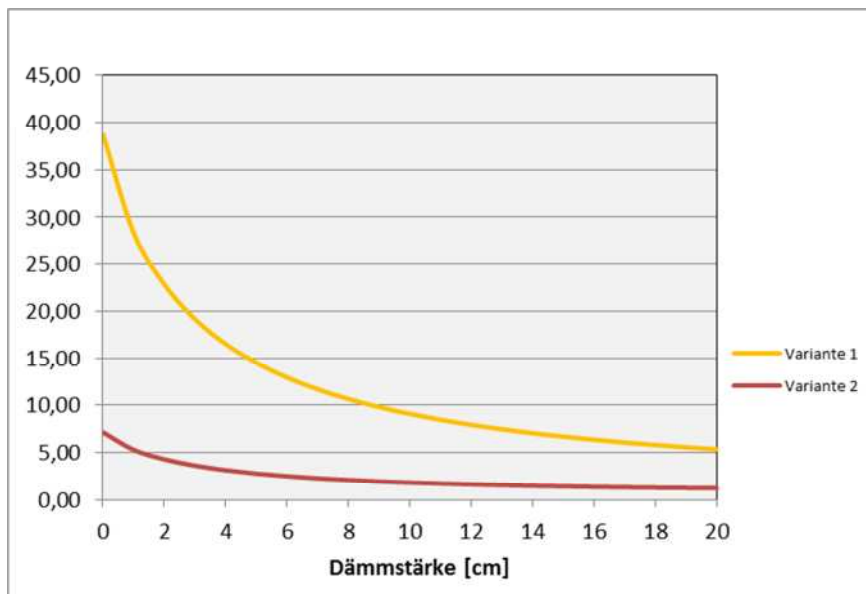


Abbildung 31: GWP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Mineralschaumplatte mit Abspachtelung sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

AP/m²a [kg SO₂ eq]

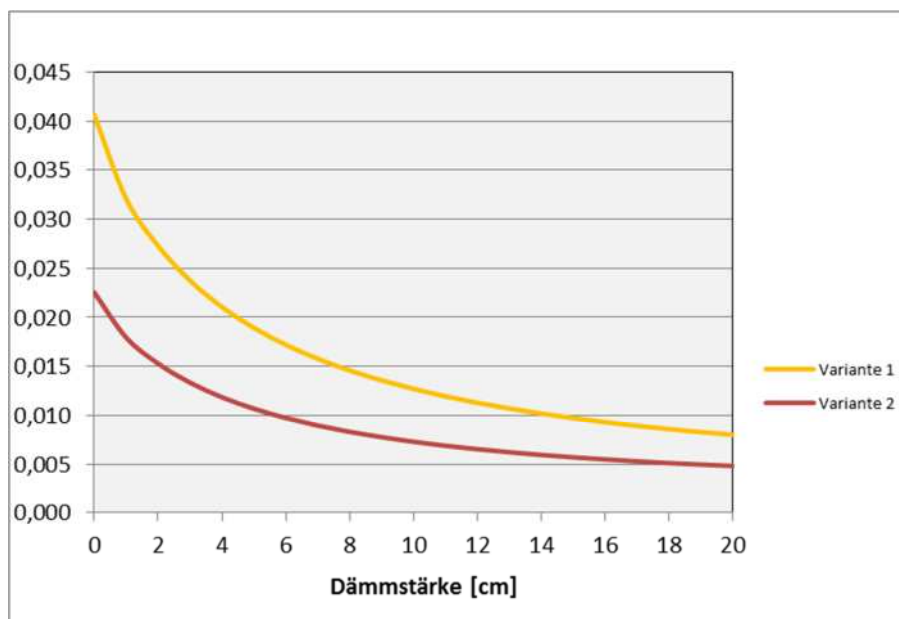


Abbildung 32: AP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Calciumsilikatplatte mit Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

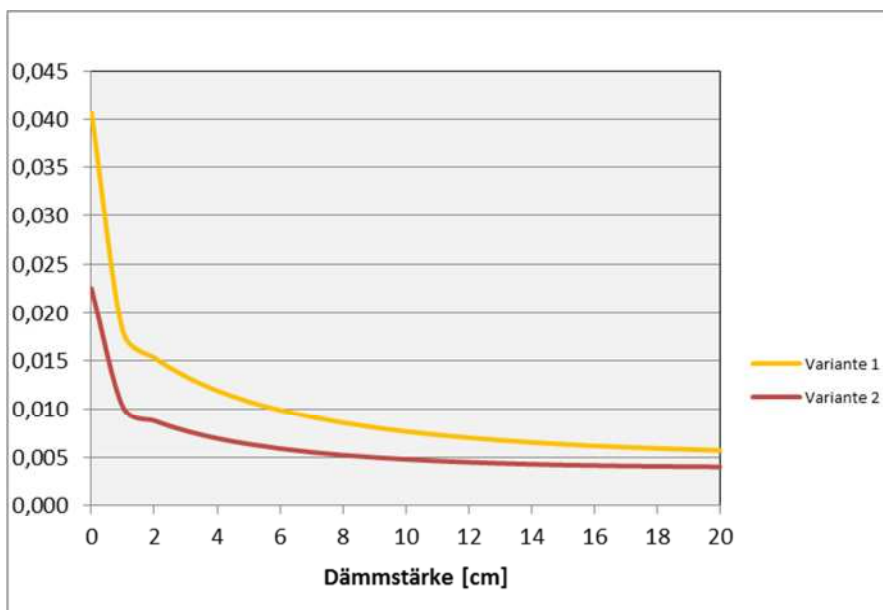


Abbildung 33: AP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Calciumsilikatplatte mit PU Kern und Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

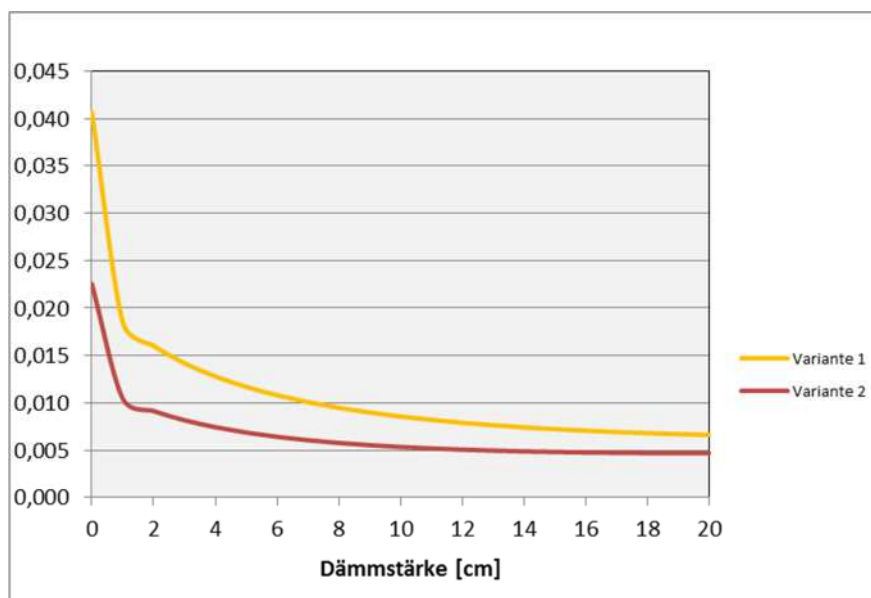


Abbildung 34: AP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Calciumsilikatplatte mit Schaumglas-Kern und Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

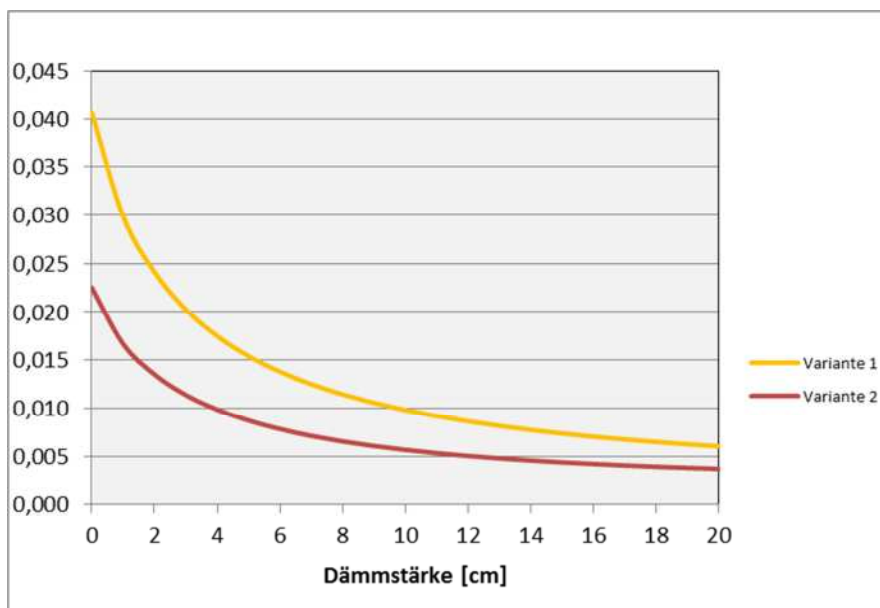


Abbildung 35: AP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Mineralschaumplatte mit Abspachtelung sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

PEI n.e./m²a [MJ]

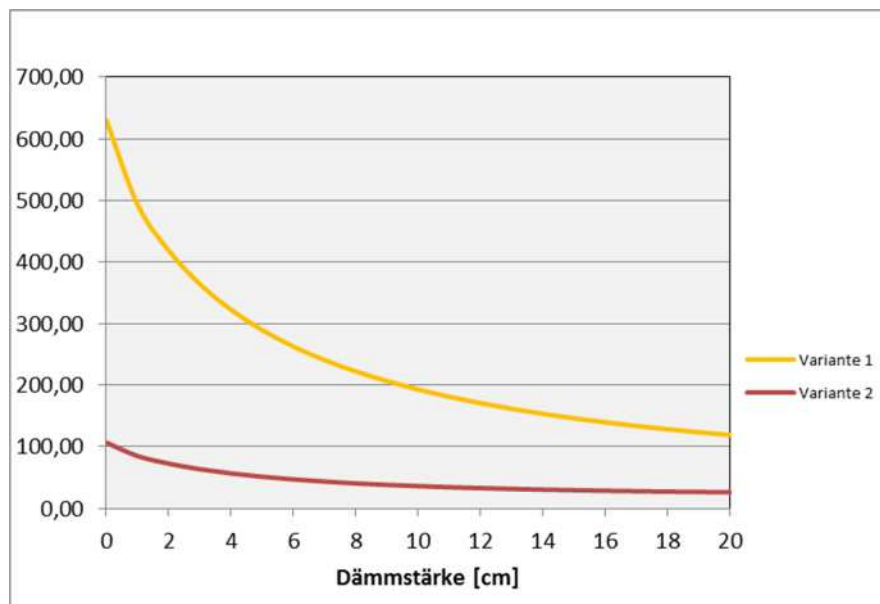


Abbildung 36: PEI n.e. Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Calciumsilikatplatte mit Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

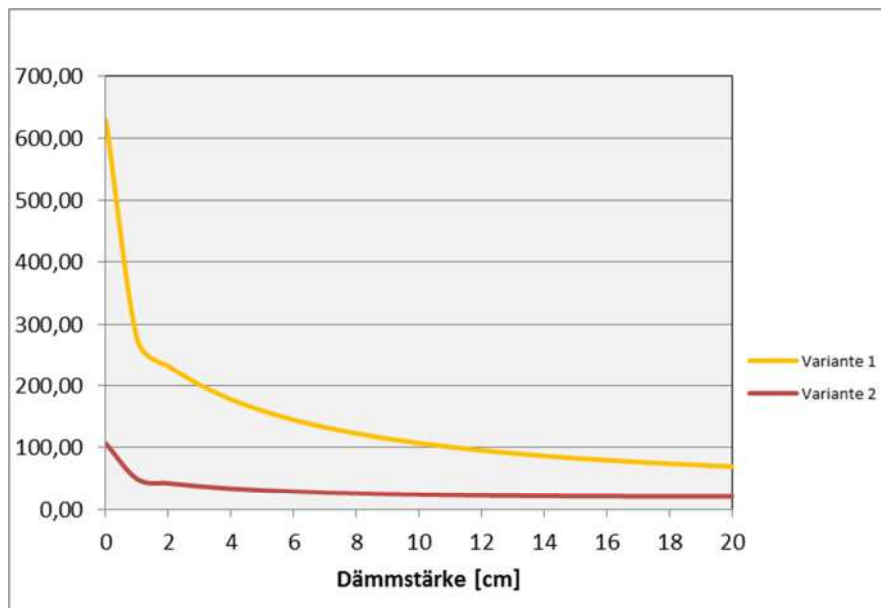


Abbildung 37: PEI n.e. Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Calciumsilikatplatte mit PU Kern und Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

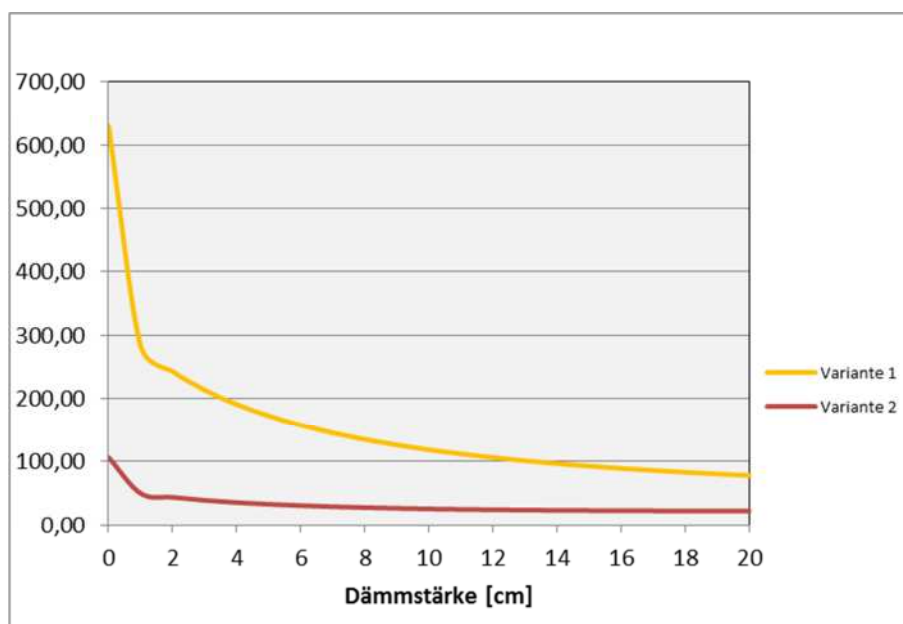


Abbildung 38: PEI n.e. Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Calciumsilikatplatte mit Schaumglas-Kern und Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

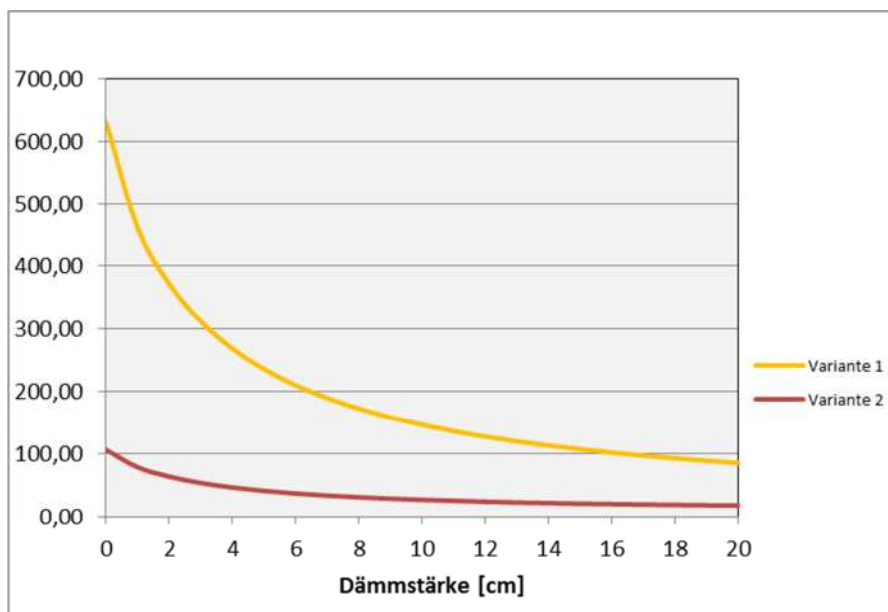


Abbildung 39: PEI n.e. Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Mineralschaumplatte mit Abspachtelung sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

Kosten [€/m²a]

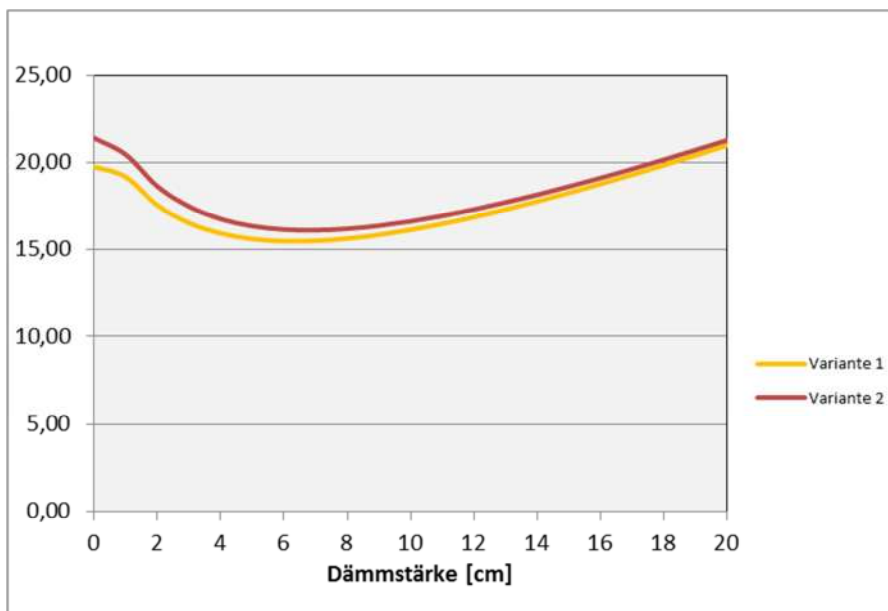


Abbildung 40: Kosten für die Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Calciumsilikatplatte mit Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

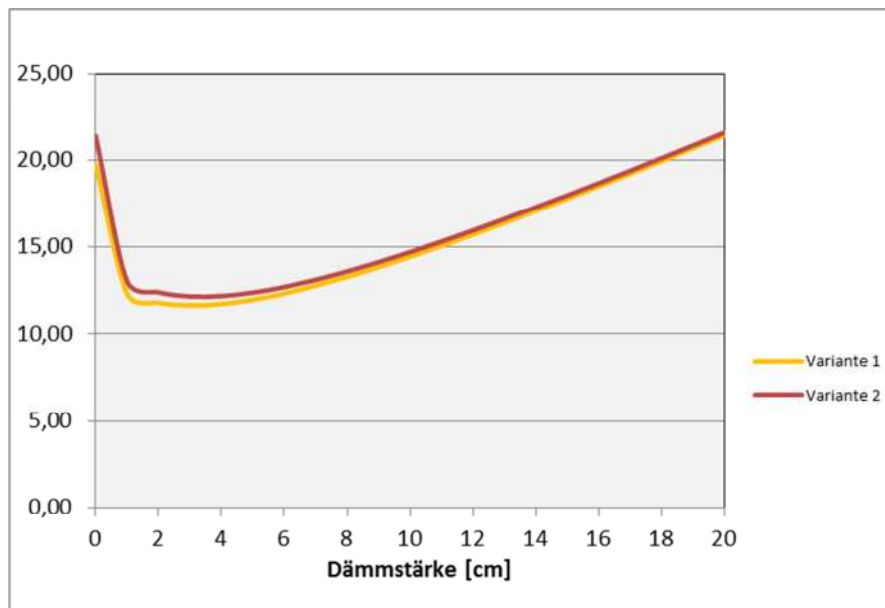


Abbildung 41: Kosten für die Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Calciumsilikatplatte mit PU Kern und Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

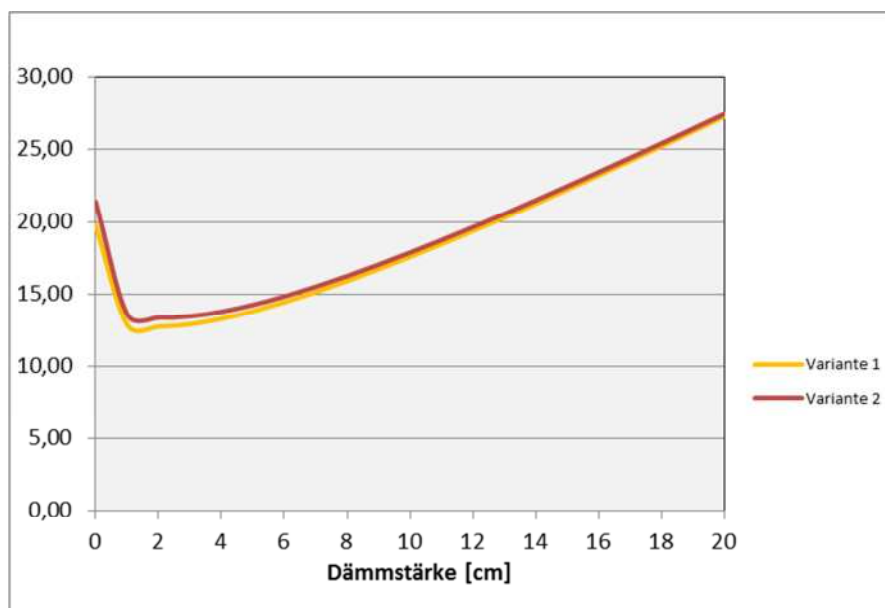


Abbildung 42: Kosten für die Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Calciumsilikatplatte mit Schaumglas-Kern und Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

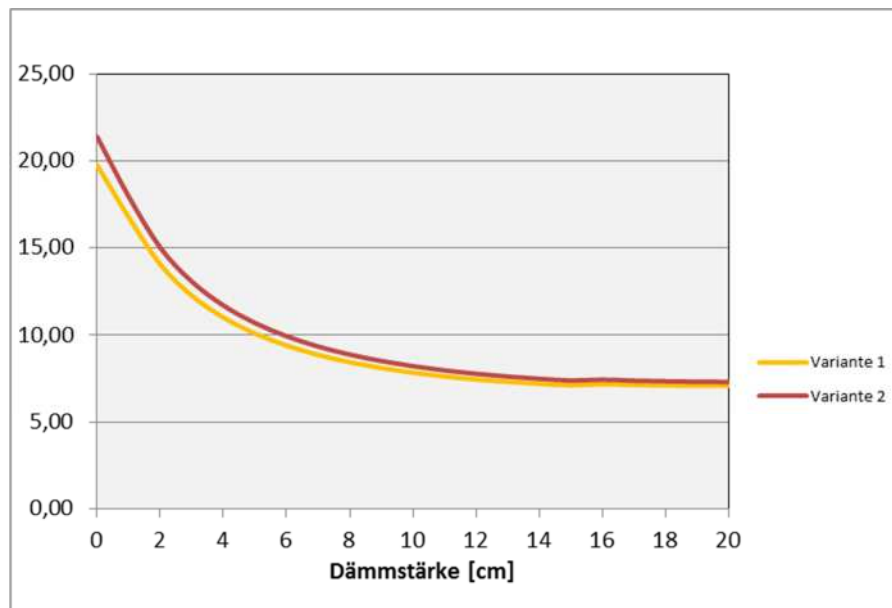


Abbildung 43: Kosten für die Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Mineralschaumplatte mit Abspachtelung sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

Bei einem Ziel-u-Wert von $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ liegt die Amortisationsdauer für das Innendämmsystem Calciumsilikatplatte mit Innenputz bei 10, mit PU- bzw. Schaumglas-Kern bei 6 bzw. 8 und für das Innendämmsystem Mineralschaumplatte bei 2-3 Jahren.

3.2.3 Schaumglasplatte

Beschreibung

Schaumglasplatten sind gas- und dampfdichte, wasserundurchlässige und vollkommen feuchteunempfindliche Wärmedämmplatten für erdberührte Bauteile, innen und außen, sowie für alle druckbelasteten Anwendungen. Schaumglas besteht wie Glas aus den Rohstoffen Quarzsand (ca. 50 %), Feldspat (ca. 25 %), Kalkstein oder Dolomit (ca. 15 %) und Soda (ca. 15 %). Als Zusatzstoffe können Eisen- und Manganoxid verwendet werden, als Blähmittel wird Kohlenstoff z.B. in Form von Koks, Magnesium- oder Calciumcarbonat zugefügt. Die Glasrohstoffe werden zunehmend durch Altglas und Verschnitt ersetzt (mehr als 50 % nach Herstellerangaben). Aus den Glasrohstoffen wird eine Schmelze hergestellt, die extrudiert, zerkleinert und zu Glaspulver vermahlen wird. Das Blähmittel Kohlenstoff kann in Form von Koks, Magnesiumcarbonat, Calciumcarbonat, Zucker, Glycerin und Glykol zugegeben werden. Danach wird das Gemisch auf ca. $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ erhitzt. Beim Oxidieren des Kohlenstoffs entstehen Gasblasen. Die Abkühlung erfolgt auf genau definierte Weise. Die Platten werden entweder mit mineralischem Klebemörtel, mit Bitumenkaltklebern oder in Heißbitumen vollflächig und vollfugig mit dem Baukörper verklebt oder trocken direkt in Feinsplitt, Sand oder Frischbeton verlegt.



Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Die Herstellung erfordert einen hohen Energiebedarf. Damit verbunden sind Emissionen in die Atmosphäre. Durch die Verwendung von Altglas konnte der Energiebedarf für die Produktion aber kontinuierlich gesenkt werden, da der Schmelzpunkt des Altglases unter jenem des Rohstoffgemisches liegt. Beim Verlegen von Schaumglas in Heißbitumen treten Emissionen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen und anderen flüchtigen organischen Verbindungen aus Bitumendämpfen auf. Beim Schneiden des Schaumglases sind Augenreizungen durch den freigesetzten Glasstaub möglich und werden Nebenbestandteile der Gasfüllung wie Schwefelwasserstoffe und Stickstoff freigesetzt, die zwar einen starken, unangenehmen Geruch verströmen, aber aufgrund der äußerst geringen Mengen gesundheitlich unbedenklich sind. In Sandbett verlegte Platten können bei gutem Zustand weiterverwendet werden. Normalerweise ist ein hochwertiges Recycling verklebter Platten jedoch aufgrund der Verunreinigung mit Bitumen und anderen Klebern nicht möglich (ev. Downcycling als Grabenfüllmaterial). Die Deponierung erfolgt auf Inertstoffdeponie gemäß EU-Deponie-Richtlinie bzw. Baurestmassendeponie gemäß Österr. Deponieverordnung.

Empfehlung

Falls der Einsatzbereich dies erlaubt, sollte zur Verlegung der Platte ein mineralischer Kleber verwendet werden. Andernfalls sollten lösemittelfreie Kleber verwendet werden (GISCODE BBP10).

Ökologische Bewertung

Im Folgenden sind die Umweltwirkungen einer Innendämmung mit Schaumglasplatte dargestellt. Als Energieträger für die Raumheizung wird Gas bzw. Fernwärme angenommen.



u-Wert [W/m²K]

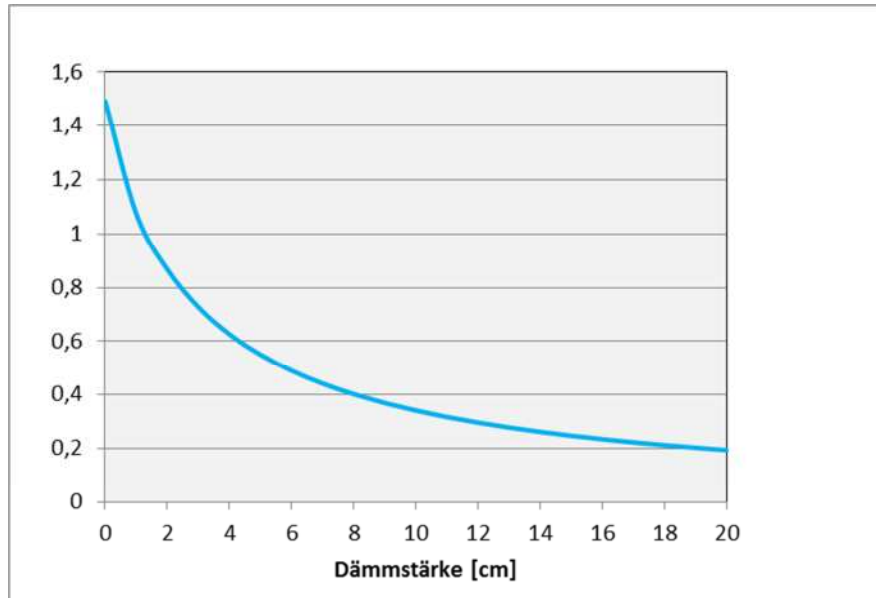


Abbildung 44: u-Wert nach Dämmstärke für das Innendämmsystem Schaumglas auf Kaltbitumenkleber mit Innenputz

GWP/m²a [kg CO₂ eq]

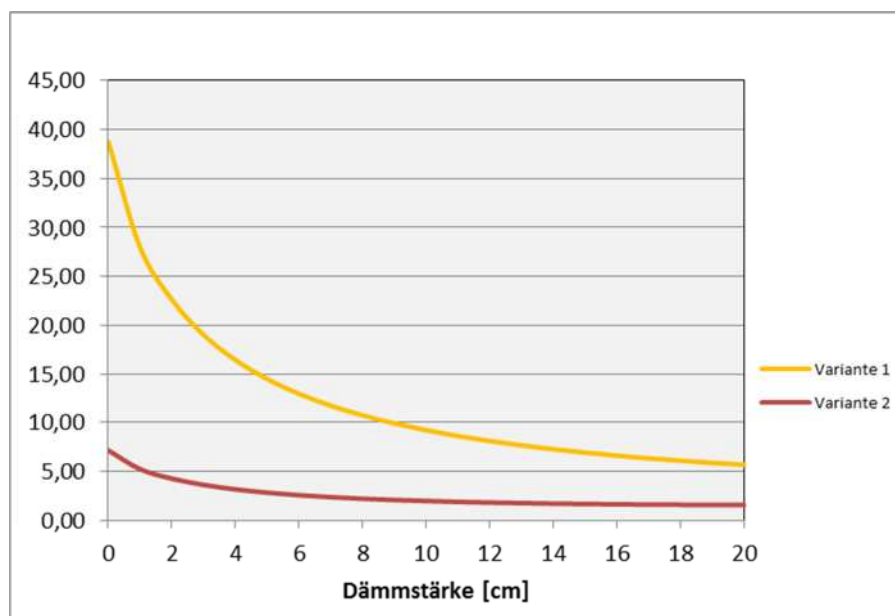


Abbildung 45: GWP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Schaumglas auf Kaltbitumenkleber mit Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

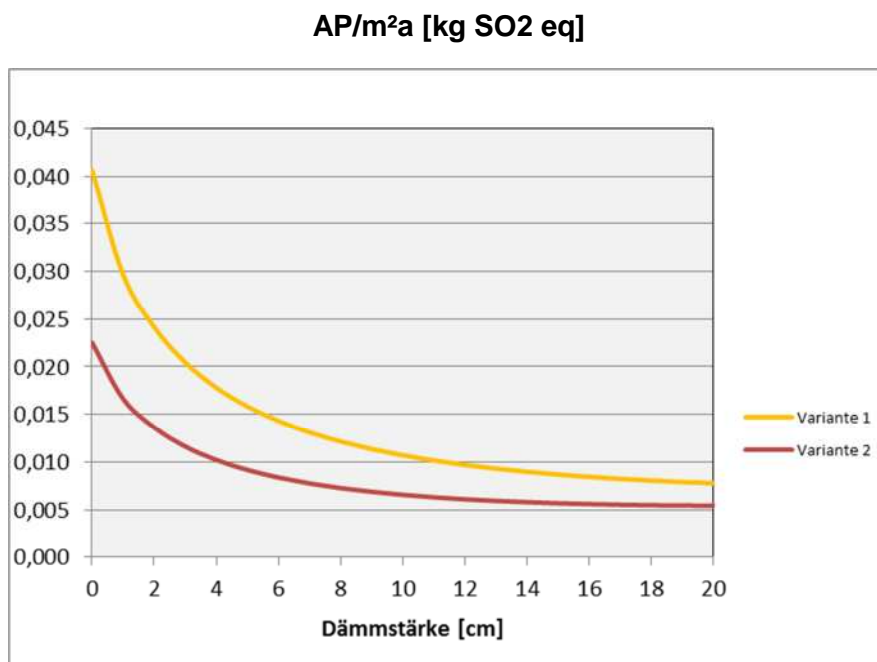


Abbildung 46: AP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Schaumglas auf Kaltbitumenkleber mit Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

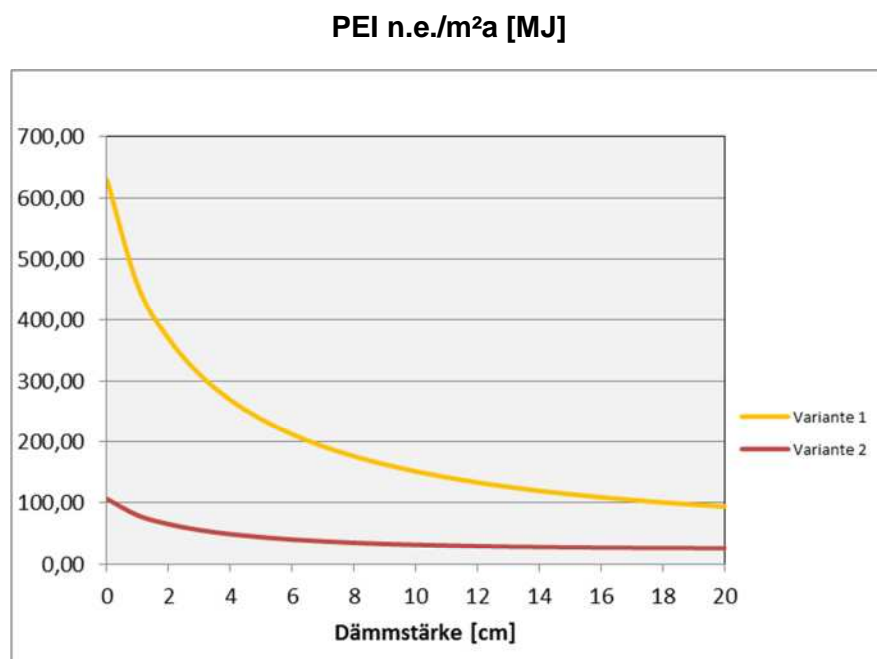


Abbildung 47: PEI n.e. Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Schaumglas auf Kaltbitumenkleber mit Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme



3.2.4 Steinwolle

Steinwolle besteht aus zu Fasern aufbereiteten mineralischen Rohstoffen wie Diabas, Basalt, Dolomit etc. Zur Formstabilisierung wird Steinwolle üblicherweise mit Phenol-Formaldehyd-Harz gebunden. Zum Feuchteschutz werden zusätzliche Hydrophobierungsmittel auf Silikon- oder Mineralölbasis (ca. 1 M%) eingesetzt, welche gleichzeitig die Faserstäube binden. Die mineralischen Rohstoffe werden zusammen mit Koks, Recyclingwolle und geringen Mengen von Kalk im Kupolofen bei einer Temperatur von ca. 1500 °C geschmolzen. Die Schmelze fließt anschließend über schnell rotierende Scheiben, wird dadurch zerfasert und kühlt gleichzeitig ab. Die Wolle wird gesammelt und als Vlies gleichmäßig auf ein Fließband geschichtet. Walzen pressen die Wolle auf die gewünschte Dicke und Dichte. Die Steinwolle wird anschließend im Härteofen erhitzt, sodass das Bindemittel polymerisiert.

Mineralwolle-Dämmstoffe sollten unter möglichst trockenen Bedingungen eingebaut und mit einem dauerhaften Feuchteschutz versehen werden.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Die hohen erforderlichen Temperaturen für die Schmelze erfordern einen hohen Energiebedarf, der sich vor allem bei schweren Produktqualitäten (z.B. MW-PT für Wärmedämmverbundsysteme) ökologisch negativ auswirkt. Bei Tätigkeiten mit Mineralwolle-Produkten können Künstliche Mineralfasern (KMF) freigesetzt werden. Durch luftdichte Konstruktionen wird der Eintrag der feinen Fasern in die Raumluft vermieden. Aus dem Bindemittel wird Formaldehyd abgespalten. Bei großflächiger raumseitiger Verlegung von Mineralwolle ist es sinnvoll, eine Formaldehydmessung analog der Formaldehydverordnung für Holzwerkstoffe zu verlangen. Nicht verklebte und saubere Mineralwolle lässt sich weiterverwenden oder als Stopfwolle weiterverwerten. Abbruchmaterial wird von den meisten Herstellern nicht zurückgenommen. Mineralwolle enthält durch die Beigabe des Bindemittels einen organischen Anteil. Eine eindeutige Zuordnung zu Baurestmassen- und Massenabfalldeponie ist daher erst nach einer Analyse der Stoffgehalte und Eluate des Produkts möglich (verschieden hohe Bindemittelanteile, eluierbare Schwermetalle etc.). Als krebbsverdächtig eingestufte Mineralwolle der alten Generation muss sachgerecht ausgebaut und als gefährlicher Abfall entsorgt werden.

Ökologische Bewertung

Im Folgenden sind die Umweltwirkungen einer Innendämmung mit Steinwolle dargestellt. Als Energieträger für die Raumheizung wird Gas bzw. Fernwärme angenommen.



u-Wert [W/m²K]

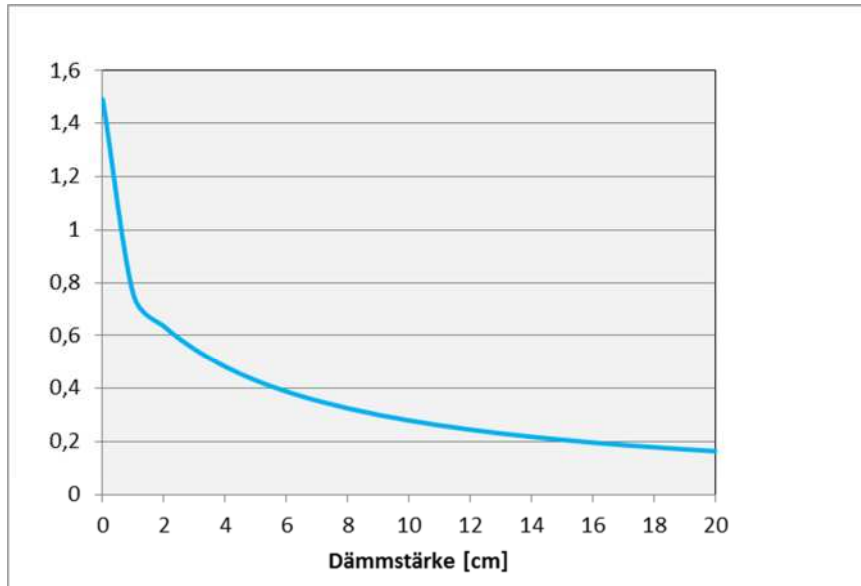


Abbildung 48: u-Wert nach Dämmstärke für das Innendämmsystem Steinwolle mit Gipskartonplatte

GWP/m²a [kg CO₂ eq]

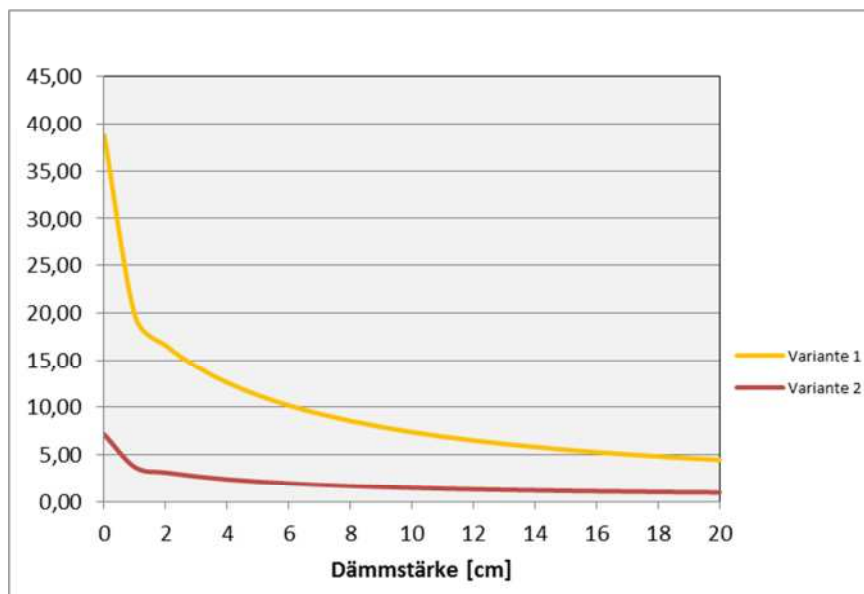


Abbildung 49: GWP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Steinwolle mit Gipskartonplatte sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme



AP/m²a [kg SO₂ eq]

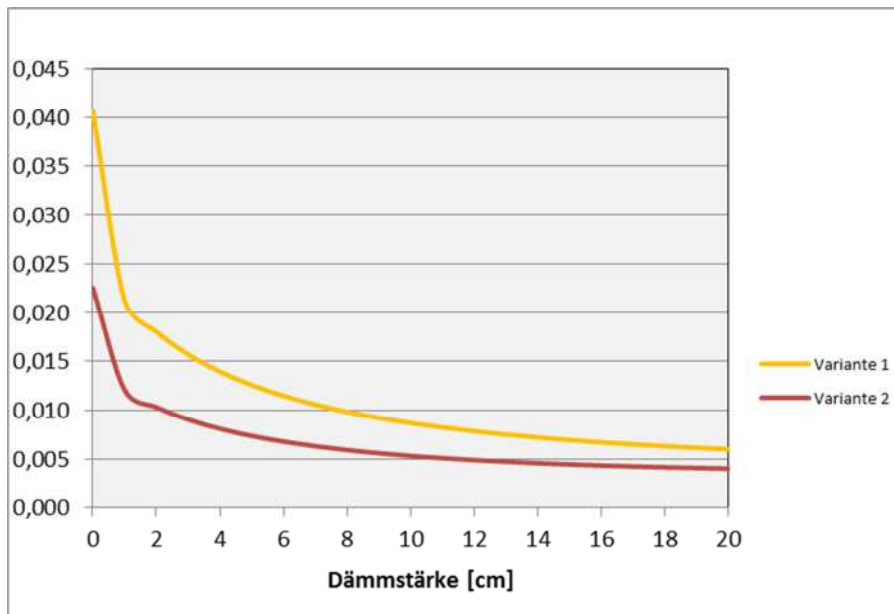


Abbildung 50: AP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Steinwolle mit Gipskartonplatte sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

PEI n.e./m²a [MJ]

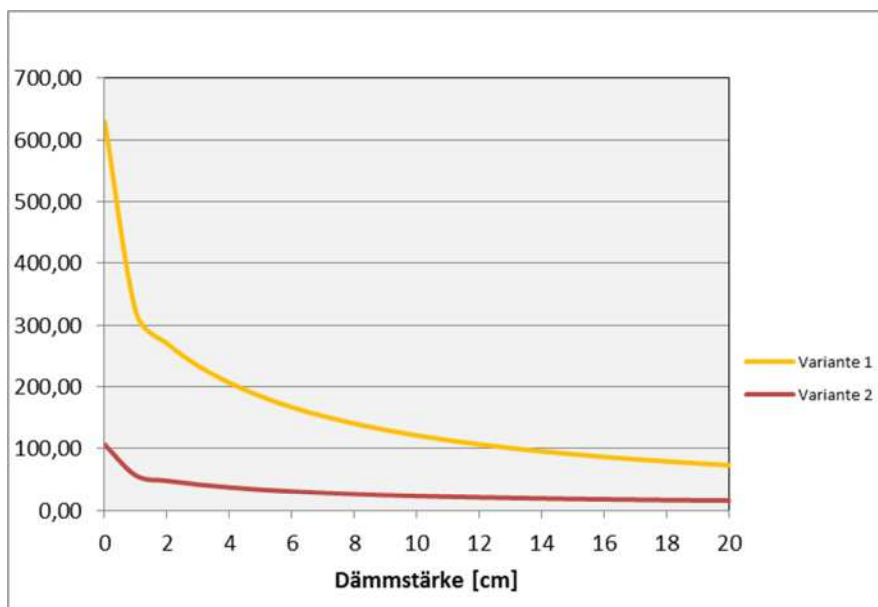


Abbildung 51: PEI n.e. Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Steinwolle mit Gipskartonplatte sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme



3.2.5 Aerogel

Beschreibung

Gele sind feste, geléeartige Materialien. Sie sind definiert als verdünnte quervernetzte Systeme, die im Gleichgewichtszustand nicht fließen. Dennoch sind sie hauptsächlich Flüssigkeiten, die sich wegen der dreidimensionalen Quervernetzung der Aufbaumoleküle wie Feststoffe verhalten. Sie sind also ein disperses System aus einer festen und einer flüssigen Komponente, wobei die feste Komponente ein dreidimensionales Netz bildet, in dessen Poren die flüssige Komponente eingeschlossen ist. Wenn die Flüssigkeit weggetrocknet werden kann und die Poren mit Gas gefüllt sind, spricht man von einem Aerogel. Die ersten Aerogele wurden bereits 1931 von Samuel Kistler erzeugt.

Aerogele im Bauwesen beschränken sich auf Gele des Siliziumoxids. SiO_2 bildet dabei ein stabiles schwammartiges Gerüst aus Verästelungen von Partikelketten und sehr vielen Zwischenräumen, die offene Poren bilden. Nicht selten können Silikat-Aerogele eine innere Oberfläche von 1000 m^2 pro Gramm erreichen. Dies entspricht einer Porosität von 80-99,8 %. Der Durchmesser dieser Poren liegt in der Größenordnung von Nanostrukturen, das heißt unter der mittleren freien Weglänge von Luft. In der Gasphase ist also Wärmeleitung nicht mehr möglich. Insgesamt erreichen Aerogele daher einen besonders gute Wärmeleitfähigkeit ($0,018 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). Weiters besitzen sie eine sehr hohe Zustandsdichte (Anzahl der Energiezustände pro Energieintervall), was eine sehr hohe Wärmekapazität nach sich zieht.

Aerogel kann in Dämmplatten eingesetzt werden. Dabei wird das Aerogel entweder im Raster von Stützfasern aus Steinwolle erzeugt, damit die notwendige Stabilität und Bearbeitbarkeit der Platte gegeben ist. Seit 2013 gibt es in der Schweiz einen Hersteller, der Aerogel als Leichtzuschlag in Wärmedämmputzen einsetzt. Der Putz erreicht eine Wärmeleitfähigkeit von $29 \text{ mW/m}\cdot\text{K}$. Seit 2014 kann dieser Putz auch in Deutschland erworben werden.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

In der Herstellung wird Kieselsäure unter extremen Bedingungen getrocknet. Dazu wird zunächst Wasser durch Alkohol ersetzt. Der Trocknungsprozess findet in einem Autoklaven statt, in dem Druck und Temperatur über den kritischen Punkt ($239,4 \text{ °C}$ und $80,9 \text{ bar}$) gehoben werden. Damit das Produkt trocknen kann, wird das dabei entstehende Fluid aus dem Autoklaven geblasen. Die Herstellung von Aerogelen ist wegen des hohen Energieaufwands heute noch verhältnismäßig teuer.



Ökologische und ökonomische Bewertung

Im Folgenden sind die Kosten und Umweltwirkungen einer Innendämmung mit Aerogeldämmplatte dargestellt. Als Energieträger für die Raumheizung wird Gas bzw. Fernwärme angenommen.

u-Wert [W/m²K]

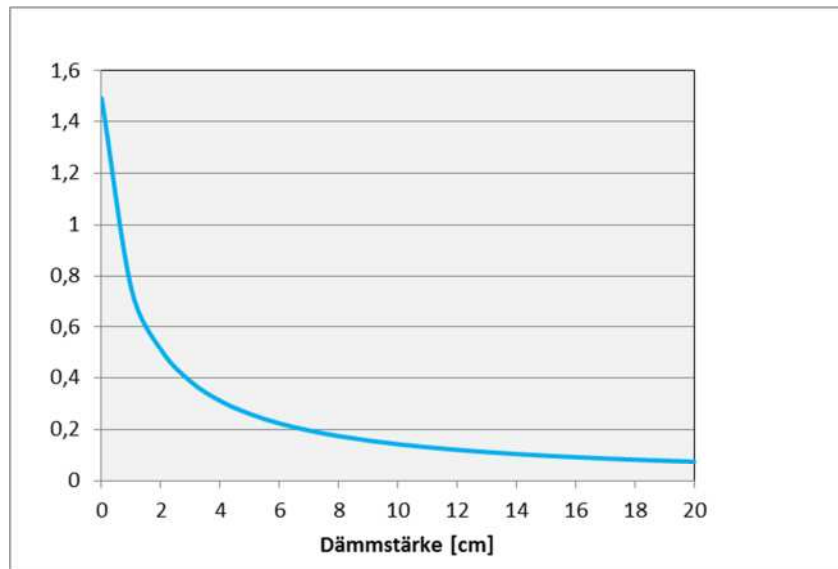


Abbildung 52: u-Wert nach Dämmstärke für das Innendämmsystem Aerogeldämmplatte mit Grundputz und Oberputz

GWP/m²a [kg CO₂ eq]

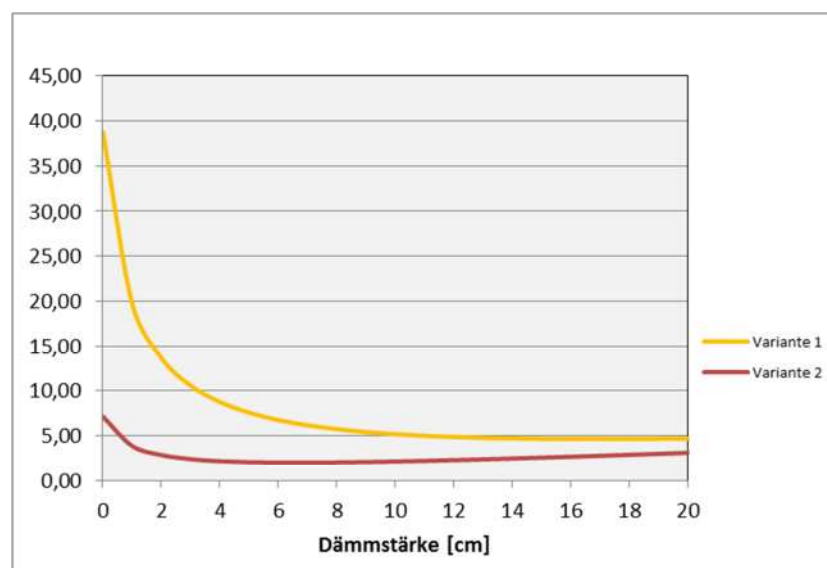


Abbildung 53: GWP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Aerogeldämmplatte mit Grundputz und Oberputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme



AP/m²a [kg SO₂ eq]

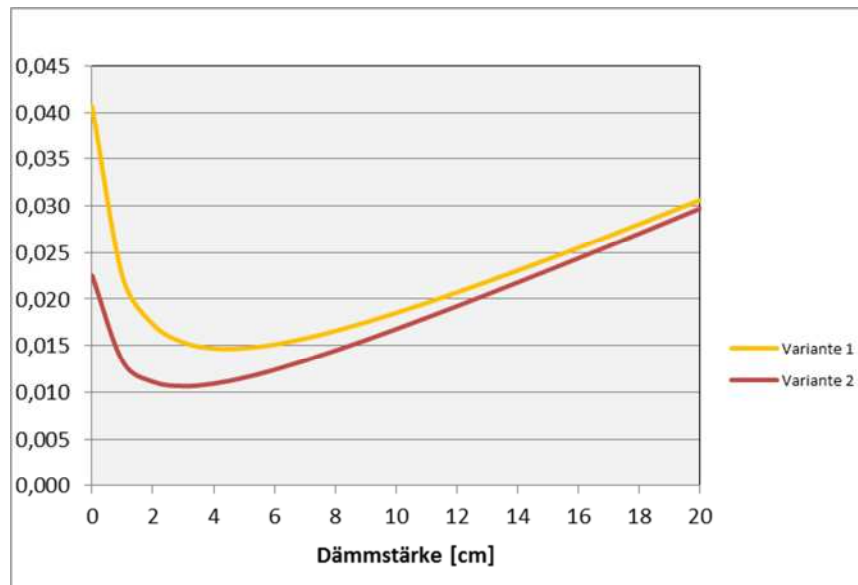


Abbildung 54: AP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Aerogeldämmplatte mit Grundputz und Oberputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

PEI n.e./m²a [MJ]

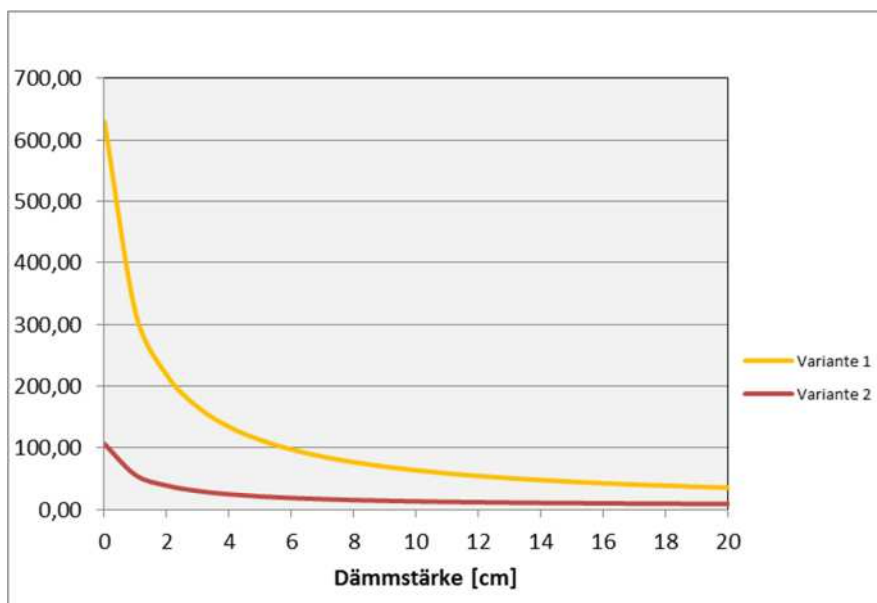


Abbildung 55: PEI n.e. Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Aerogeldämmplatte mit Grundputz und Oberputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

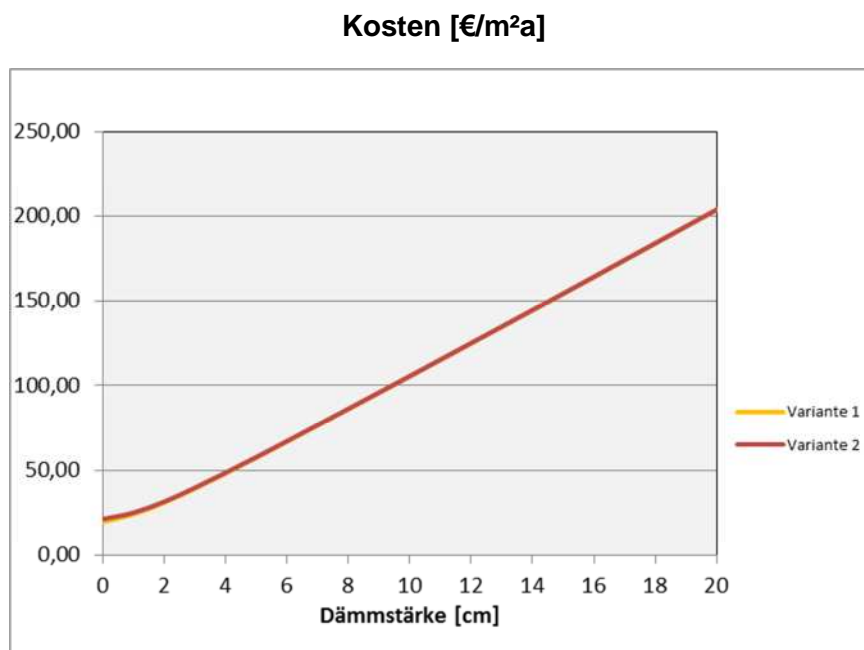


Abbildung 56: Kosten für die Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Aerogeldämmplatte mit Grundputz und Oberputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

Bei einem Ziel-u-Wert von 0,35 W/m²K liegt die Amortisationsdauer für das Innendämmsystem Aerogeldämmplatte mit Grundputz und Oberputz bei 34 (Gas) bzw. 31 Jahren (Fernwärme).

3.3 Dämmstoffe aus Kunststoffen

3.3.1 Dämmstoffe aus Polystyrol

EPS

EPS-Platten werden als Wärmedämmstoff und Trittschalldämmung in allen nicht feuchtebelasteten Bereichen eingesetzt. Zur Erzeugung werden EPS-Perlen, die das Treibmittel bereits enthalten, in Vorschäumgeräten bei ca. 100 °C auf das 20–50fache expandiert und kontinuierlich zu Platten oder diskontinuierlich zu Schalungssteinen geschäumt. EPS-Automatenplatten sind Stück für Stück gefertigte, hydrophobierte EPS-Platten. Sie werden als Perimeter-, Sockel- und Umkehrdachdämmung eingesetzt.

XPS

XPS-Platten sind feuchteunempfindliche Platten, die kaum Wasser aufnehmen und deshalb vor allem für Perimeter- und Sockeldämmungen sowie für Umkehr- und Terrassendächer eingesetzt werden. Die Platten bestehen aus überwiegend geschlossenzelligem hartem



Schaumstoff aus Polystyrol oder Mischpolymerisaten mit überwiegendem Polystyrol-Anteil. Im Unterschied zu den EPS-Platten wird das Treibmittel erst bei der Fertigung der Platten zugegeben.

Grundlagen

Der Grundbaustein aller Polystyrolprodukte ist →Styrol (Einstufung lt. CLP: STOT RE 1 (Gehörorgane), Repr. 2, Flam. Liq. 3, Acute Tox. 4, Eye Irrit. 2, Skin Irrit. 2), welches in einer Polymerisationsreaktion zum Rohpolymerisat umgesetzt wird. Dafür werden zuerst die Additive, Initiatoren (Dibenzoylperoxid, Dicumylperoxid) und Wiederauflöser (z. B. innerbetriebliche Polystyrolabfälle oder Fehlchargen) in Styrol gelöst und danach diese organische Phase durch ein Rührwerk in der wässrigen Phase dispergiert. Durch Erhöhung der Temperatur zerfallen die Initiatoren und lösen damit die Polymerisation aus. Damit der dispergierte Zustand erhalten bleibt, werden entweder Extender (Tenside) in Kombination mit wasserunlöslichen feinverteilten anorganischen Feststoffen oder leicht hydrophile Polymere (z. B. Polyvinylpyrrolidon) oder eine Kombination der beiden eingesetzt. Bei höheren Umsätzen und im Fall von EPS wird das Treibmittel – in der Regel eine Kombination aus Normalpentan und Isopentan – zugegeben. Nach ca. 10 bis 16 Stunden wird die Polymerisation durch die Zugabe einer geeigneten Stopperlösung (z.B. 20 %ige Lösung von tert-Butylbrenzkatechin) abgebrochen.

Die Polymerlösung wird entgast und weitgehend von niedermolekularen Bestandteilen wie Styrol, Lösungsmittel, Oligomere gereinigt. Die verdampften Anteile werden durch Kondensation so weit wie möglich zurückgewonnen und wiederverwertet.

Der Polymerschmelze werden in einem Extruder weitere Additive zugeführt, die die endgültigen Eigenschaften des Polystyrols bestimmen. Dazu gehören, im Fall von EPS, auch bereits Flammschutzmittel. Durch Suspensions- oder Perlpolymerisation von Styrol entsteht Polystyrolgranulat.

Expandierbares Polystyrol (EPS) setzt sich aus 91–94 M% Polystyrol, 4–7 M% Pentan und Dicumylperoxid (höhere Vernetzung der Polymerketten) sowie aus kleinen Mengen von PE-Wachsen (Rieselfreudigkeit der Granulatkügelchen), Paraffinen und Metallsalzen von Fettsäuren zusammen. Weiters wird es am August 2017 knapp 1 M% fix in die Styrolmatrix eingebautes Dibrombuten (pFR, poly flamm retardant) als Brandschutzmittel enthalten. Bis dorthin, kann es immer noch sein, dass Hexabromcyclododecan (HBCD) als Flammschutzmittel eingesetzt wird, welches aber wegen seiner extremen Langlebigkeit und seiner Eigenschaft, sich in Organismen um bis über das 2000fache der Umgebungskonzentration anzureichern, sowohl von der Stockholmkonvention als auch von REACH mittlerweile verboten ist. In der EU gilt für EPS-Platten noch eine Ausnahme bis August 2017. Es sollte daher unbedingt darauf geachtet werden, dass keine HBCD-haltigen



Platten verwendet werden. Insbesondere ist bei der Verwendung von EPS-Platten aus recyceltem Polystyrol sicherzustellen, dass keine HBCD-haltigen EPS-Platten als Ausgangsmaterial verwendet wurden.

Extrudiertes Polystyrol (XPS) wird aus Polystyrolgranulat (Standardpolystyrol, General Purpose Polystyrene), das eine Reihe von Zusatzstoffen enthält, durch Extrudieren unter Zusetzung eines Treibmittels (0–12 M% HFKW oder CO₂) hergestellt. Weitere Zusatzstoffe sind Flammenschutzmittel (3%pFR, Dicumylperoxid), Farbpigmente und weitere Hilfsstoffe wie Antioxidationsmittel, Lichtstabilisatoren oder Keimbildner.

Die Einsatzstoffe (Polystyrolgranulat, Brandschutzmittel, Verarbeitungshilfsmittel) werden in einem Extruder dosiert und in der Verdichtungszone zu einer Schmelze verarbeitet. Danach wird das flüssige Treibmittel eingemischt. Durch die Extrusion wird die Schmelze aufgeschäumt, ein Teil des Treibgases wird emittiert und abgesaugt, der Rest verbleibt in den Zellen des XPS und gast langsam im Verlauf von Jahren aus. Die Platten werden abgelängt und durch mechanische Bearbeitung in die gewünschte geometrische Form gebracht. Die dabei anfallenden XPS-Reste werden zerkleinert, in einem Extruder aufgeschmolzen, entgast, filtriert und zu Granulat verarbeitet, das wieder im Schäumprozess verwendet werden kann. Der Einsatz von HBCD in XPS-Platten ist seit 21. August 2015 in der EU verboten. Lagerbestände dürfen aber noch abverkauft werden. HBCD in importieren XPS-Platten sollte unbedingt vermieden werden.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Herstellung

Die Herstellung ist mit einem hohen Aufwand an Energie, Chemikalien und Infrastruktur, insbesondere zur Herstellung des Ethylbenzols, verbunden. Prozessbedingt dominieren Emissionen von Kohlenwasserstoffen in die Luft. Benzol ist als Carc. 1A (H350 „kann Krebs verursachen“), Muta. 1B (H340 „kann genetische Defekte verursachen“), STOT RE 1 (H372 „schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition“) und Asp.Tox 1 (H304 „kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein“) eingestuft. Styrol ist eingestuft als Repr. 2 (H361d „kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen“), STOT RE 1 (H372 (Gehörorgane) „Schädigt die Organe - Gehör“) eingestuft. Des Weiteren gibt es Studien, wonach Styrol die Farbsichtigkeit beeinträchtigt. In Europa ist Enzephalopathie (ausgedehnte Gehirnfunktionsstörungen aufgrund von diffusen Hirnläsionen, die abnorme Verhaltensänderungen, Vigilanz-Minderung, kognitive oder motorische Verlangsamung und Antriebsstörungen sowie Störungen der Orientierung, der Aufmerksamkeit und des Gedächtnisses nach sich ziehen) als Berufskrankheit nach längerer Exposition mit Styrol anzuerkennen. Seine Wirkung als Nervengift ist auch von der RAC (Committee for Risk Assessment) nicht angezweifelt. [9, 10]



Grenzwerte für Styrol-, Ethylbenzol- und Benzol-Konzentrationen werden in westeuropäischen Werken im Normalbetrieb deutlich unterschritten, bei Störfällen sind allerdings Überschreitungen möglich. In den Werken kommt es zu Geruchsbelästigung durch Styrol und z.T. zu erhöhten Lärmbelastungen. Von der RAC ebenfalls anerkannt ist, dass Lärmbelästigungen in Kombination mit ototoxischen (gehörschädigenden) Substanzen wie Styrol besonders schwerwiegende Auswirkungen auf das Gehör der Betroffenen hat.

Die ökologischen Auswirkungen des Brandschutzmittels pFR sind noch nicht abzusehen, es gibt keine wissenschaftlichen Studienergebnisse dazu, ebenso wenig eine einheitliche europäische Einstufung. Das in früheren Jahren verwendete Brandschutzmittel HBCD Hexabromcyclododecan ist persistent und bioakkumulativ und deshalb mittlerweile in die Liste der POPs aufgenommen. Es unterliegt somit einem weltweiten Verbot des Produzierens und Inverkehrbringens. In der EU gilt allerdings noch eine Ausnahme bis 2017 für die Verwendung in EPS-Platten. Die meisten Platten, die in Österreich produziert wurden, verwenden schon das neue Flammschutzmittel, für importierte Platten gilt das aber nicht immer. Leider gibt es keine Möglichkeit der Unterscheidung zwischen den Platten mit den verschiedenen Flammschutzmitteln, weshalb bei der Beschaffung mit besonderer Vorsicht vorgegangen werden sollte.

Verarbeitung und Nutzung

Bei der Verarbeitung treten nur bei Erhitzung der Platten (z. B. Schneiden mit Glühdraht) relevante Styrolemissionen auf. Allenfalls sind Emissionen aus Kunstharzkleber, Grundierung etc. relevant.

In der Nutzungsphase wird aus EPS-Platten Styrol emittiert. Der Styrolgehalt im Fertigprodukt liegt in westeuropäischen Ländern unter 1000 ppm, Ausgasungsraten klingen exponentiell ab. Wie Hoffmann in [11] und Münzenberg [12] nachgewiesen haben, kann auch aus außenseitig aufgetragenen EPS-Platten Styrol in die Raumluft gelangen. Die Styrolkonzentrationen in Innenräumen sind jedoch so gering, dass das toxikologische Risiko der Styrolemissionen unter den heute allgemein akzeptierten Risiken für Wohnräume liegt (nach einigen Monaten deutlich unter 1/10 des WHO-Grenzwertes). Für XPS liegen keine Messwerte für Styrolemissionen vor, es ist allerdings von einem dem expandierten Polystyrol (EPS) ähnlichen Verhalten auszugehen. Das Treibmittel Pentan emittiert aus den Platten und trägt zur bodennahen Ozonbildung (Photosmog) und bei raumseitiger Verlegung zur Verschlechterung der Raumluft bei. Im Niedrigdosisbereich gibt es noch keine Daten zur toxikologischen Wirkung von Pentan [12], vorsorglich sollte in der Anfangsphase besonders gut gelüftet werden. HFKW-Treibmittel emittieren während der Nutzungsphase und tragen wegen ihres hohen Treibhauspotentials zum Treibhauseffekt bei. Die 2002 erlassene österreichische Verordnung (HFKW-FKW-SF6-VO: BGBl. 447/2002) sieht daher ein Verbot für die mengenmäßig wichtigsten HFKW-Anwendungen vor.



Die starke Qualmbildung im Brandfall erschwert die Orientierung. Durch den Einsatz bromierter Flammschutzmittel kann es zudem zur Bildung von Bromsäure kommen, ebenso zur Bildung von hochtoxischen Verbindungen wie Dioxinen und Furanen.

Wartung/Lebensdauer

EPS und XPS sind gegenüber organischen Lösemitteln wie Klebern, Anstrichstoffen, Trennmitteln auf ölhaltiger Basis, Teerprodukten, Fluxmitteln sowie konzentrierten Dämpfen dieser Stoffe empfindlich. Bei direktem Kontakt mit PVC-Folien können Weichmacher in den Dämmstoff wandern und Schaden anrichten. EPS und XPS sind biologisch nicht abbaubar. Sie können aber Insekten und Nagetieren als Nistplatz, zur Ablage von Eiern oder zum Anlegen von Futtermitteln dienen.

Entsorgung

Nicht verklebtes, nur leicht verschmutztes Material, das kein HBCD enthält, (z.B. EPS-Trittschalldämmung) kann weiterverwendet werden. Unverschmutzte Abfälle, die kein HBCD enthalten (saubere Baustellenabfälle), sind in den Herstellungsprozess rückführbar oder können zur Herstellung von PS-Extrusionsgegenständen (z. B. Helme) über Entgasung, Aufschmelzen und Wiederbegasung und Extrusion verwendet werden. Bei leichter Verschmutzung kann das Material zu Granulat zerkleinert und als Schüttung, Zuschlagsstoff oder Porosierungsmittel für Leichtbeton oder Ziegel verwendet werden, aber nur, wenn es kein HBCD enthält. Eine noch nicht marktreife Verwertungsmöglichkeit besteht in der Zerlegung von XPS in die niedermolekularen Ausgangsrohstoffe Ethen und Benzol (Pyrolyse). HBCD-haltiges EPS und XPS darf nicht mehr recycelt werden. Diese Platten haben einen hohen Heizwert (ca. 40 MJ/kg bzw. 47 MJ/kg), jedoch ein sehr geringes Gewicht und dadurch bezogen auf einen m³ Material insgesamt nur einen geringen Heizwert. Neben den üblichen Verbrennungsgasen entstehen auch Bromwasserstoff und bromierte Furane und Dioxine. Nur in modernen Müllverbrennungsanlagen ist eine geordnete Verbrennung mit Überwachung und Nutzung der Abwärme möglich. Dabei darf die Beimischung zum Restmüll 2Gew.% nicht überschreiten (beim Verbrennen entsteht Borsäure, die den Kessel korrodieren würde). Bei Wärmedämmverbundsystemen müssen vor der Verbrennung EPS und mineralische Bestandteile aufwändig getrennt werden. Das Deponieren ist wegen des enthaltenen HBCD nicht mehr erlaubt.

Empfehlung

Keine HFKW-geschäumten XPS-Platten verwenden. Für Dämmstoffe und Schäume gibt es eine Reihe von Anbietern für HFKW-freie Produkte. Auf jeden Fall darauf achten, dass die Platten kein HBCD enthalten.

Ökologische und ökonomische Bewertung

Im Folgenden sind die Kosten und Umweltwirkungen einer Innendämmung mit EPS dargestellt. Als Energieträger für die Raumheizung wird Gas bzw. Fernwärme angenommen.



u-Wert [W/m²K]

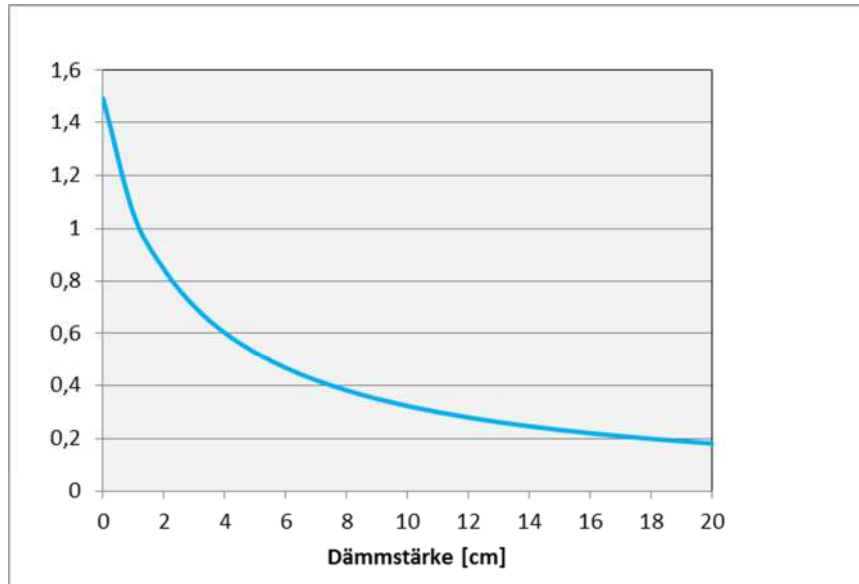


Abbildung 57: u-Wert nach Dämmstärke für das Innendämmsystem EPS verputzt

GWP/m²a [kg CO₂ eq]

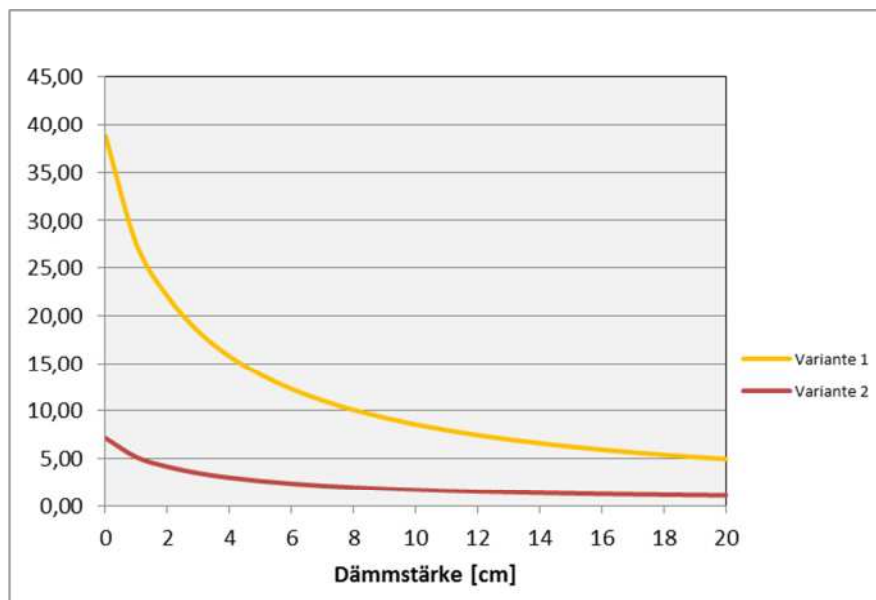


Abbildung 58: GWP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems EPS verputzt sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

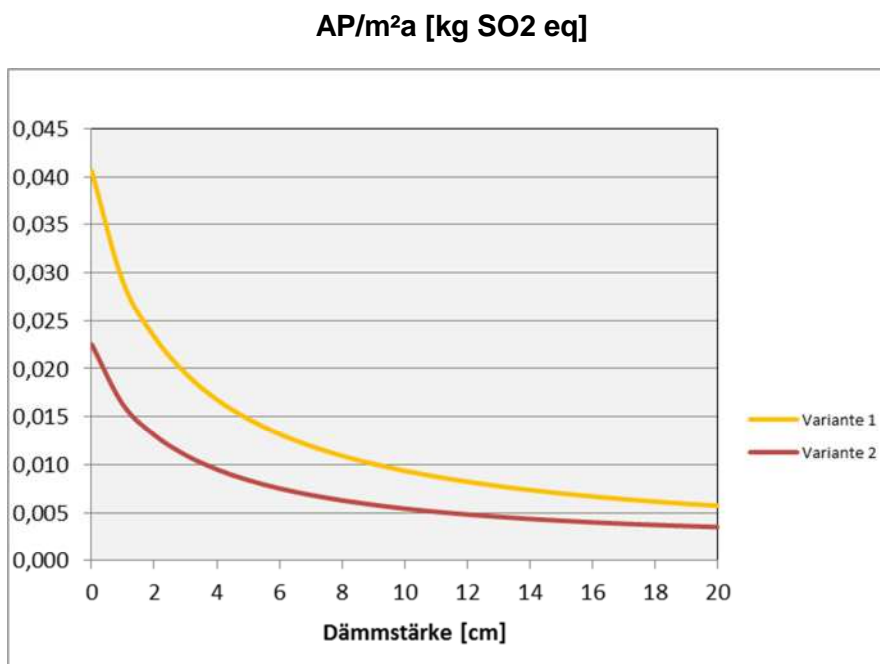


Abbildung 59: AP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems EPS verputzt sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

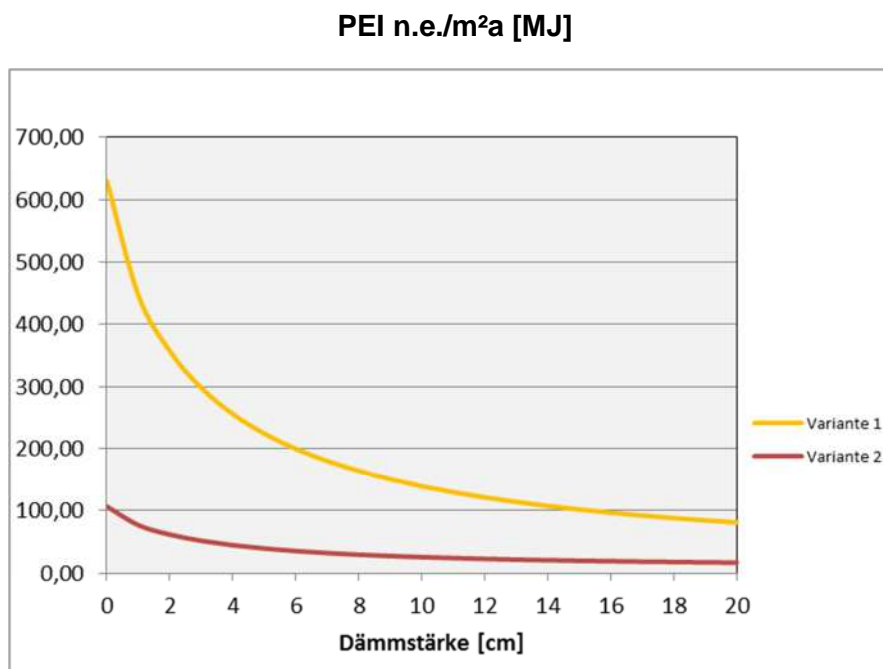


Abbildung 60: PEI n.e. Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems EPS verputzt sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

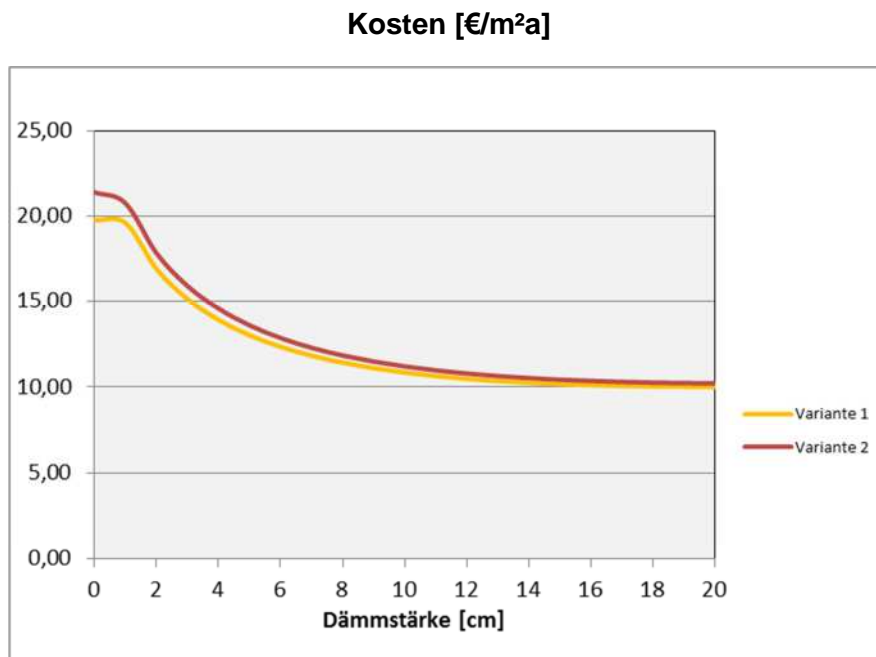


Abbildung 61: Kosten für die Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems EPS verputzt sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

Bei einem Ziel-u-Wert von 0,35 W/m²K liegt die Amortisationsdauer für das Innendämmsystem EPS verputzt bei 5 Jahren.

3.3.2 Polyurethan-Hartschaum

Polyurethanplatten werden aus Diphenylmethandiisocyanat (MDI) und Polyolen (Alkohole mit mehr als 2 OH-Gruppen) hergestellt (siehe Kapitel 7.2).

Hartschäume aus Polyurethanen sind überwiegend geschlossenzellige harte Schaumstoffe. Die geschlossene Zellstruktur verhindert das Eintreten von Wasser, selbst bei langem Eintauchen.

Wird der Reaktionsmischung etwas Wasser beigemischt, reagiert es mit einem Teil der Isocyanatgruppe und setzt CO₂ frei. Dieses CO₂ kann nun die noch weiche Reaktionsmasse aufschäumen.

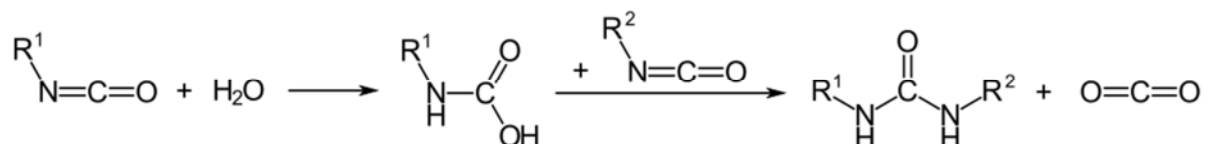


Abbildung 62: Mechanismus der CO₂-Bildung im Aufschäumungs-Prozess von Polyurethan

Das Aufschäumen kann ausschließlich durch prozessbedingtes CO₂ erfolgen. CO₂ ist aber ein sehr kleines Molekül und kann deshalb relativ schnell aus den Schaumzellen entweichen,



wodurch es nicht mehr zur Wärmedämmung beiträgt. Daher werden für Dämmstoffe Treibmittel aus größeren Molekülen eingesetzt. Beispielsweise HFCKW-141b, teilweise auch ein Gemisch aus HFCKW-22 und -142b außerhalb von Österreich und Deutschland. In Österreich und Deutschland werden hauptsächlich nichthalogenierte Kohlenwasserstoffe verwendet, zum größten Teil Pentan.

Hartschaumplatten enthalten Phosphorsäureester als Flammschutzmittel, tertiäre Amine und/oder Organozinnverbindungen als Katalysatoren, Tenside zur besseren Vermischbarkeit, Füllstoffe, Alterungsschutzmittel, Pigmente, Antistatika, Biozide und Trennmittel. Die Platten sind meistens mit Aluminiumfolie, Glas- oder Mineralvlies oder Spezialpapier beschichtet.

Ortschäume aus Polyurethanen werden meistens als Montageschäume zur Abdichtung beim Einbau von Fenstern und zum Verfüllen von Fehlstellen in Mauerwerk verwendet. Dieser Einsatz ist aber völlig unnötig und kann sehr einfach durch Ausstopfen mit Schafwolle oder Flachs ersetzt werden.

Polyurethanplatten sollten aufgrund der human- und ökotoxikologisch höchst relevanten Grundstoffe nur in Sonderfällen wie z.B. bei Treppenauflagern eingesetzt werden.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Bei der Herstellung der Polyurethan-Rohstoffe handelt es sich um einen komplexen mehrstufigen Prozess, der mit einer Reihe von gesundheitsgefährdenden Zwischen- und Nebenprodukten verbunden ist. Risiken gibt es durch die Verwendung von toxikologisch problematischen Stoffen wie → Phosgen, Diphenylmethandiisocyanat (MDI), 4,4'-Diaminodiphenylmethan (MDA), Benzol, Anilin, Chlorgas. Phosgen ist ein starkes Atemgift. MDI wirkt auf das Immunsystem toxisch, auf die Atemwege sensibilisierend und ist als möglicherweise krebserregend (nur in Form von atembaren Aerosolen) eingestuft, MDA kann Krebs auslösen. Benzol wirkt knochenmarkschädigend, hemmt die Blutbildung und ist krebserregend. Anilin ist mutagen und möglicherweise teratogen. Chlor ist akut giftig. Pentan ist leichtentzündlich, daher gelten strenge Sicherheitsvorschriften (Ökologie der Dämmstoffe, Springer 2000). Details siehe Kapitel 7.2.

Das Endprodukt Polyurethan selbst ist als toxikologisch unbedenklich einzustufen. Bei nichtbeschichteten Polyurethanplatten können allenfalls Zusatzstoffe und die Treibmittel im Spurenbereich gemessen werden.

Bei der Verbrennung von Polyurethanabfällen entsteht neben den üblichen Verbrennungsprodukten Salzsäure, die stark korrosiv wirkt und daher besonders schädlich für Pflanzen ist. Die Ökotoxizität der Rauchgase kann auch durch die Entstehung von halogenierten Dioxinen und Furanen verstärkt werden, die langfristig stabil bleiben. Aufgrund des hohen Stickstoffgehalts können bei der Verbrennung von Polyurethan außerdem



hochgiftige Blausäure, Isocyanate und Dioxine entstehen. In Müllverbrennungsanlagen werden diese Emissionen im normalen Betriebszustand durch die Rauchgasreinigung fast vollständig aus der Abluft entfernt, die Grenzwerte können in der Regel werden eingehalten werden.

3.4 Dämmstoffe aus zusammengesetzten Materialien

3.4.1 Kalkzementputz – Wärmedämmputz

Beschreibung

Kalkzementputz ist ein typischer Mineralputz. Im Gegensatz zum einfachen Putz enthält er zusätzlich zum Bindemittel Calciumhydroxid auch noch Zement. Kalkputz ist diffusionsoffen, atmungsaktiv und durchlässig für Wasserdampf. Der alkalische Anteil macht den Putz resistent gegen Schimmel oder Algen. Durch die Zugabe von Zement wird der Putz zusätzlich noch wasserundurchlässig und hat eine erhöhte Druck- und Abriebfestigkeit. Damit eignet sich Kalkzementputz zum einen als Außenputz an bewitterten Gebäudeteilen, als Innenputz aber besonders in feuchtigkeitsbelasteten Räumen wie Badezimmern.

Um die Wärmeleitfähigkeit des Putzes zu senken, werden dem Putz leichte, poröse Materialien zugegeben, wie Perlite, Blähglas, Bimsstein oder Kügelchen aus EPS.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Werden mineralische Zuschlagstoffe eingesetzt, kann der Wärmedämmputz weiterhin als mineralischer Putz angesehen werden. Wird hingegen EPS zur Reduktion der Wärmeleitfähigkeit eingesetzt, muss der Putz als Ganzes als Verbundstoff bezeichnet werden. Meistens enthalten solche Putze einen zu hohen organischen Gehalt, als dass eine Entsorgung auf einer Deponie nach dem Österreichischen Deponiegesetz noch möglich wäre. Solche Stoffe müssen dann einer Müllverbrennung zugeführt werden. Das verwendete EPS besteht meistens aus recycelten Wärmedämmverbundsystemen (für ökologische Aspekte siehe Kapitel 3.3.1). Bis vor kurzem wurde zur Erzeugung von EPS-Platten HBCD (Hexabromcyclododecan) eingesetzt, ein Stoff, der seit 2013 dem weltweiten Produktions- und Anwendungsverbot der vereinten Nationen unterliegt. HBCD ist mit einer Mindesteinstufung als Repr. 2 H361 und Lact. H362 zu kennzeichnen, gilt als PBT-Stoff (persistent, bioakkumulierbar und toxisch), wurde 2008 in die Liste der besonders besorgniserregenden Stoffe (SVHC) nach REACH aufgenommen und ist seit August 2015 ein Zulassungspflichtiger Stoff im Sinne des Anhang XIV von REACH, was bedeutet, dass seine Anwendung verboten ist. Alleinige Ausnahme ist die Verwendung bis August 2015 in EPS-Platten. Es ist also bei der Entsorgung von EPS besondere Vorsicht geboten. Auf keinen Fall darf HBCD-haltiges EPS weiter zerkleinert und etwa als Zuschlagstoff in



Wärmedämmputzen oder wärmedämmenden Schüttungen weiter dissipiert und in Umlauf gebracht werden.

3.4.2 Vakuum-Isolations-Panel

Beschreibung

Vakuumdämmplatten sind hocheffiziente Wärmedämmplatten, die wegen ihrer niedrigen Wärmeleitfähigkeit ($>0,004 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) überall dort eingesetzt werden können, wo wenig Platz zur Verfügung steht. Größenordnungsmäßig kann eine gute 2 cm dicke Vakuumdämmplatte eine Styroporplatte mit 20 cm Dicke ersetzen.

Sie bestehen aus einem offenporigen Kernmaterial, das als Stützkörper für das angelegte Vakuum dient, einer hochdichten Hülle, deren Aufgabe es ist, das Vakuum aufrecht zu erhalten und einen Gaseintrag in die Platte zu verhindern. Teilweise enthalten Vakuumpplatten Trockner bzw. Getter, das sind Materialien, die Gasmoleküle einfangen und binden sollen.

Der Stützkörper muss mitunter einen Unterdruck von bis zu 100.000 N/m^2 aufnehmen. Der Stützkern sollte außerdem selbst eine möglichst geringe Festkörperwärmeleitfähigkeit und Wärmestrahlung haben. Als Stützkörper kommen offenporige Kunststoffschäume, Microfasermaterialien, pyrogene Kieselsäuren oder Perlite in Frage.

Der kritische Bestandteil einer Vakuumdämmplatte ist ihre Hülle. Sie bestimmt im Wesentlichen die Lebensdauer der Platte. Ist sie beschädigt, bricht das Vakuum zusammen und die Platte ist praktisch wertlos. Aufgabe der Hülle ist es also, das angelegte Vakuum so lange wie möglich aufrecht zu erhalten und das Eindringen von Luft und Wasserteilchen zu verhindern. Die Hülle darf selbst auch keine erhöhte Wärmeleitfähigkeit haben, da es sonst an den Stößen der Platten zur Bildung von Wärmebrücken kommen kann. Generell kommen hier metallisierte Kunststofffolien, die mit einigen Schichten Aluminium bedampft wurden, zum Einsatz. Es kann so bei vorsichtiger Behandlung der Platte eine Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten erreicht werden.

Trockner binden eintretende Wassermoleküle, um ein eventuelles Auskondensieren in der Platte zu verhindern. Getter binden Gasmoleküle aus der Luft auf chemischem Weg, vor allem Stickstoff und Sauerstoff, sodass die Qualität des Vakuums und damit die Lebensdauer der Platte länger erhalten bleiben kann.

Umwelt- und Gesundheitsaspekte

Vakuumdämmplatten gibt es in den unterschiedlichsten Materialzusammensetzungen. Ein rein mineralisches Stützmaterial ist aus ökologischer Sicht auf jeden Fall zu bevorzugen. Polystyrol oder PU-Schäume bringen alle ökologischen Probleme mit sich, wie sie in den jeweiligen Kapiteln 3.3.1 und Kapitel 3.3.2 beschrieben werden.



Die Hülle von Vakuumdämmplatten ist in der Regel ein Verbundmaterial aus einer Kunststofffolie und Metall. Dies macht es unmöglich, die eingesetzten Materialien nach Ablauf der Lebensdauer der Platten einem Recyclingprozess zuzuführen. Die Verletzlichkeit der Hülle ist auch die große Schwäche einer Vakuumdämmplatte. Die Lebensdauer von Vakuumdämmplatten ist also von vorneherein begrenzt. Um eine defekte Platte im eingebauten Zustand zu finden, sind komplizierte Messungen und komplexe Messtechniken wie Infrarotbildaufnahmen erforderlich. Wenn eine Platte ausgetauscht werden muss, bedeutet dies meist auch einen größeren baulichen Aufwand.

Ökologische Bewertung

Im Folgenden sind die Umweltwirkungen einer Innendämmung mit Vakuum-Isolations-Panel dargestellt. Als Energieträger für die Raumheizung wird Gas bzw. Fernwärme angenommen.

u-Wert [W/m²K]

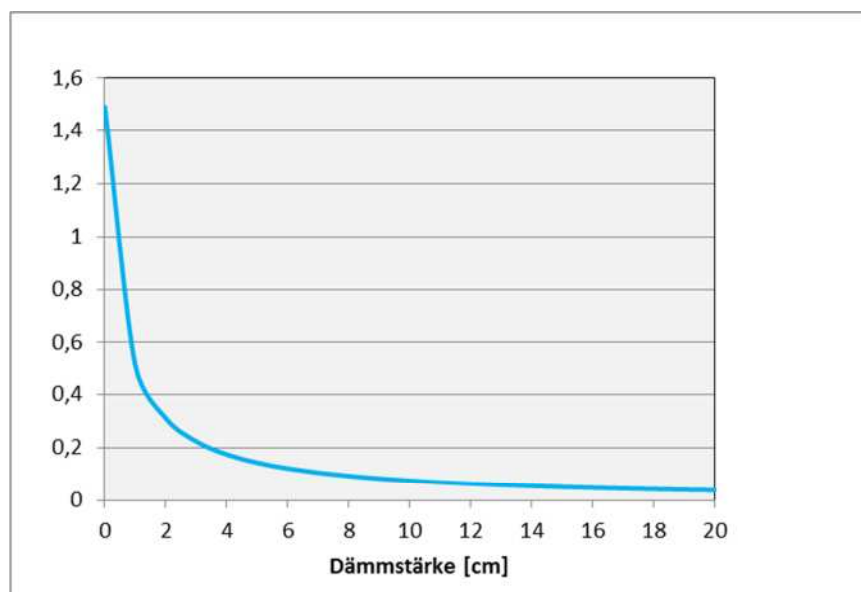


Abbildung 63: u-Wert nach Dämmstärke für das Innendämmsystem Vakuumisolationspanel auf Kaltbitumenkleber mit Innenputz

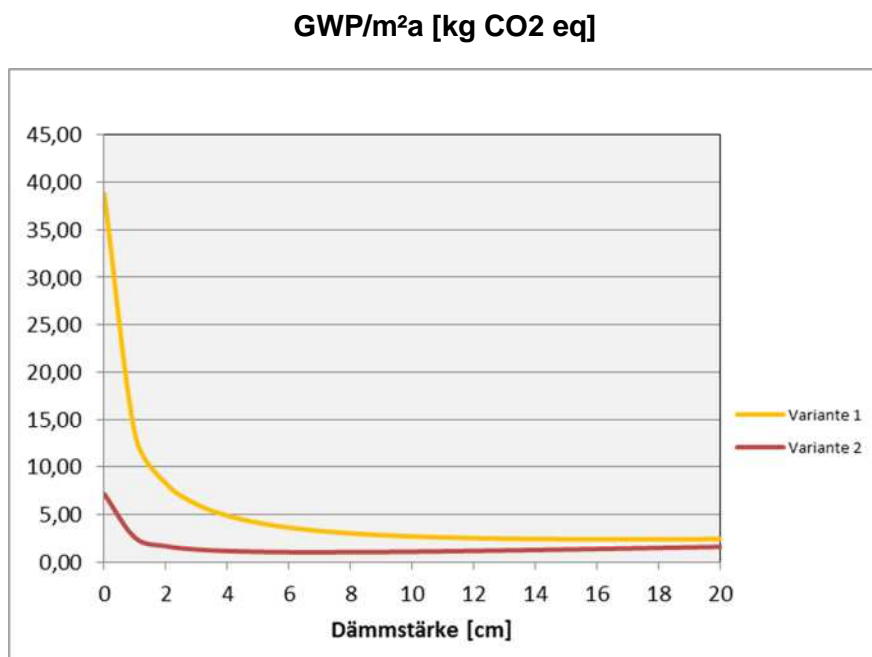


Abbildung 64: GWP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Vakuumisulationspanel auf Kaltbitumenkleber mit Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

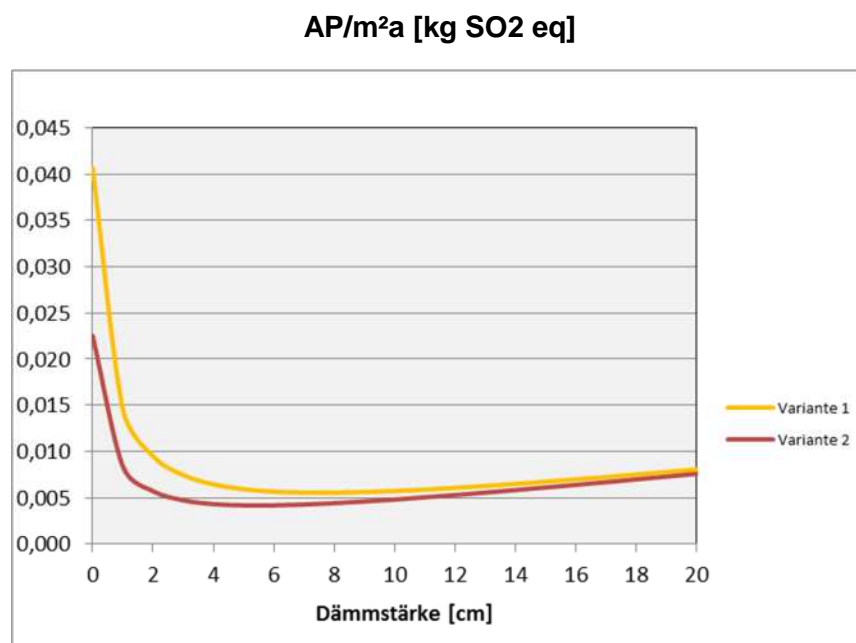


Abbildung 65: AP Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems Vakuumisulationspanel auf Kaltbitumenkleber mit Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme

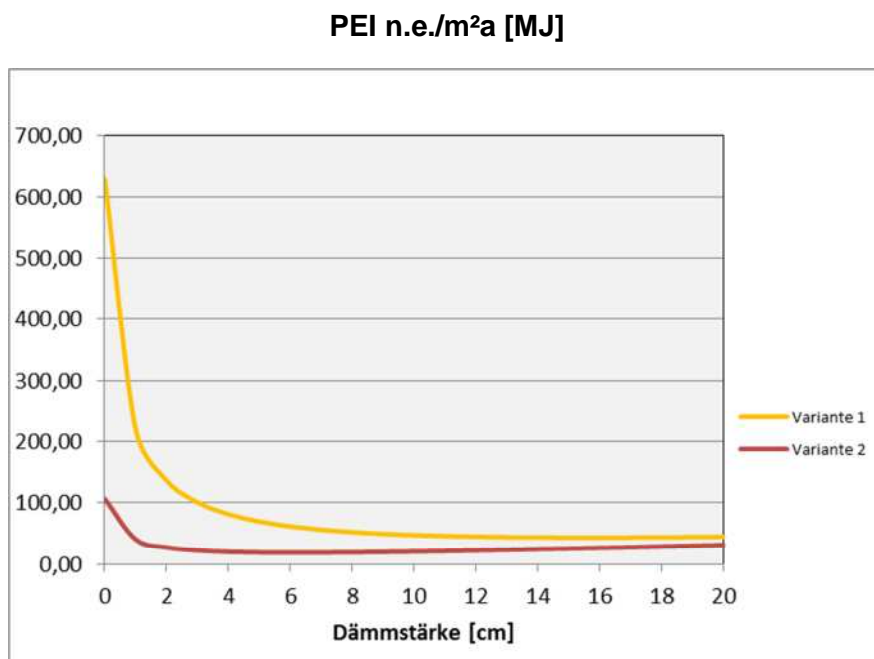


Abbildung 66: PEI n.e. Herstellung und Instandhaltung des Innendämmsystems
Vakuumsulationspanel auf Kaltbitumenkleber mit Innenputz sowie Heizung, Variante 1: Energieträger
Gas, Variante 2: Energieträger Fernwärme



4 Fenster

Die Fenster als integraler Bestandteil der Außenhaut eines Gebäudes stellen bei der Renovierung immer eine besondere Herausforderung dar. Dabei haben Fenster eine Fülle von Aufgaben zu erfüllen. Sie sollen ausreichend Lichteinfall gewährleisten, Wetter und Kälte draußen halten, solare Gewinne ermöglichen, zum Lüften geöffnet werden können und Mindestanforderungen im Schallschutz erfüllen. Unter Umständen kommen noch Anforderungen wie Sichtschutz, Sonnenschutz, Durchbruchschutz oder Brandschutz hinzu.

Im Laufe der Zeit unterlagen Fenster also einer umfassenden Entwicklung, sodass bei einer Sanierung mit den unterschiedlichsten Ausprägungen von Fenstern zu rechnen ist, die in der Folge auch bereits wieder einem oder mehreren Sanierungsprozessen unterworfen waren. Ein Großteil der heute noch im Bestand erhaltenen Fenster in Wien stammt aus der Gründerzeit und ist nach Art des „Wiener Kastenfensters“ konstruiert. Hierbei handelt es sich um Doppelfenster, bei denen beide Rahmen konstruktiv zusammengefasst sind. Daraus ergibt sich ein kastenförmiger Hohlraum zwischen den beiden Glasflächen. Während sich beim Grazer Fenster der äußere Flügel nach außen, und der innere nach innen öffnet, öffnen sich beim Wiener Kastenfenster beide Flügel nach innen. Damit das möglich ist, muss das äußere Fenster etwas kleiner sein als das innere. Bereits seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts gibt es Verbundfenster, sie fanden aber erst nach dem zweiten Weltkrieg breite Anwendung. Beim Verbundfenster sind zwei Glasscheiben in einem Fensterflügel integriert, wobei eine Scheibe des Verbundflügels zum Putzen geöffnet werden kann. Seit 1959 sind Isolierglasfenster am Markt erhältlich. Schließlich, da die Anforderungen an den Wärmeschutz strenger wurden, kam das Wärmeschutzfenster auf den Markt.

4.1 Fensterglas

Fensterglas wird heute wegen der besseren Glasqualitäten überwiegend im Floatglasverfahren hergestellt. Dabei läuft das geschmolzene Glas (aus Kalkstein, Quarz und Soda) unter Schutzgas über eine mit geschmolzenem Zinn gefüllte Wanne.

Isolierglasfenster sind Einfachfenster mit 2- oder 3-Scheiben-Verglasung. Der Zwischenraum ist mit getrockneter Luft gefüllt und luftdicht abgeschlossen. Sie repräsentieren im Wesentlichen das Verglasungssystem der 80er Jahre und haben die Verbundfenster fast gänzlich verdrängt. Wärmeschutzfenster sind Einfachfenster mit edelmetallbeschichteter 2- oder 3-Scheiben-Verglasung. Als Beschichtungsmaterial kommt meist Silber in Frage. Diese Silberschicht lässt kurzwellige Lichtstrahlen durch, reflektiert aber langwellige Wärmestrahlung zurück in den Raum. Der Zwischenraum zwischen den Glasscheiben ist mit



Gas gefüllt. Die Edelgasfüllung vermindert den Wärmetransport über Konvektion. Meistens wird Argon zur Füllung eingesetzt, da es als Nebenprodukt bei der Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren anfällt und daher ohne zusätzlichen Energieaufwand oder sonstige Kosten zur Verfügung steht. Für jedes Edelgas ergibt sich ein günstigster Scheibenabstand (16 mm für Argon, 12 mm für Krypton, 8 mm für Xenon). Diese Fenster sind derzeit der modernste technische Stand. Wärmeschutzverglasungen sind vergleichsweise aufwändig in der Herstellung. Die Bedampfung und der relativ hohe Anteil an Fremdstoffen erschwert das Recycling. Trotzdem sind Wärmeschutzverglasungen in ihrer Bilanz über dem gesamten Lebenszyklus positiv zu bewerten, da der hohe Wärmeschutz zu großen Energieeinsparungen und damit Umweltentlastungen führt. Als Grundregel für die optimalen Eigenschaften von Fensterglas gilt: möglichst geringer Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) mit möglichst hohem Gesamtenergiedurchlassgrad, wobei die Orientierung des Fensters eine wesentliche Rolle für die Optimierung spielt.

4.2 Fensterrahmen und Profile

Bis in die 50er Jahre wurden Fensterrahmen in Wohngebäuden aus Holz gefertigt, Fenster in Nutz- und Industriebauten waren mit Holz oder Stahlprofilen versehen. 1954 kam das erste Kunststofffenster serienmäßig auf den Markt. Der weitaus größte Anteil der am Markt befindlichen Kunststofffenster besteht aus PVC-Hohlkammerprofilen mit drei oder vier Kammern, welche teilweise ausgeschäumt werden. Heutige Fensterprofile sind aus Aluminium, Holz-Aluminium und PVC. Es gibt aber auch Stahlprofile, Gusseisen und sehr selten noch Blei. Der Vorteil von Aluminium besteht darin, dass es nicht abwittert. Seine Herstellung ist zwar mit einem hohen Energieaufwand verbunden, aber das Material kann im Anschluss an die Nutzung wiederverwertet werden. Aluminium leitet Wärme sehr effektiv, weshalb Aluprofile heute oft mit PU-Schäumen ausgefüllt sind. Holz-Aluminium-Rahmen erlauben im Innenraum die angenehme Holzoberfläche und schützen das Holz an der Außenseite effektiv vor Verwitterung. Sie sind im Neubau eine beliebte Variante. Auf PVC-Fenster sollte soweit wie möglich verzichtet werden. PVC erfordert in der Herstellung den Einsatz von höchst bedenklichen Vorstufenmaterialien. Zudem gibt es noch keine Möglichkeit der Wiederverwendung. Es gibt keinen natürlichen Abbauweg, was allerdings für alle Kunststoffe gilt. Wegen des hohen Chlorgehaltes kann es in Mitverbrennungsanlagen nur in sehr geringen Mengen zugesetzt werden.



4.3 Sanierung Fenster

Nach der heutigen Bauordnung erfüllen alte Kastenfenster, Verbundfenster und Isolierglasfenster die Anforderungen an den Wärmeschutz nicht mehr. Im Fall einer Sanierung ist daher Handlungsbedarf gegeben. Dabei ist bemerkenswert, dass Kastenfenster oft bessere oder zumindest gleichwertige Wärmedämmeigenschaften besitzen als Isolierglasfenster, durch die sie in den letzten Jahrzehnten leider häufig ersetzt worden sind. Wo immer möglich, sollten Kastenfenster, nicht nur aus Gründen des Denkmalschutzes, sondern auch aus wärmetechnischen Überlegungen, erhalten bleiben.

Art des Fensters	Gesamt-U-Wert [W/m ² -K]
einfaches Fenster	~ 5,8
Kastenfenster	~ 2,3
Verbundfenster	~ 2,3
Isolierglasfenster	1,9-2,7
Wärmeschutzfenster	0,5-1,1
saniertes Kastenfenster	0,91-1,1

Der größte Sanierungsbedarf ist in Österreich bei Kastenfenstern gegeben, weshalb hier im Wesentlichen die Sanierung von Kastenfenstern betrachtet wird. Auf Verbundfenster und Isolierfenster wird im Weiteren nur am Rande eingegangen.

4.3.1 Winddichtheit

Bei der Sanierung von Kastenfenstern ist insbesondere darauf zu achten, dass die Fenster gut schließen. Dies schließt auch die Reduzierung oder gänzliche Eindämmung des unkontrollierten Luftaustausches, je nach Anforderungen an die Luftdichtheit des gesamten betroffenen Objektes, durch Anbringen von durchgängigen Dichtungslippen mit ein. Auf jeden Fall ist darauf zu achten, dass in Altbauten der Wechsel zu luftdichten Fenstern zu Feuchteschäden führen kann. Im Rahmen einer Gesamtsanierung ist deshalb im Vorhinein



abzuklären, ob eine kontrollierte Wohnraumlüftung eingesetzt wird. Darauf wird die Luftdichtigkeit der Fenster abzustimmen sein.

4.3.2 Verglasung

Eine thermische Aufwertung der meisten 2-Scheiben-Fenster, also Kastenfenster oder Verbundfenster, kann durch das Ersetzen einer Glasscheibe durch ein Isolierglas erzielt werden. Bei Kastenfenstern ist das in der Regel das Innenfenster, im Verbundglas kann die innere Glasscheibe durch ein Isolierglas ersetzt werden. Es kann aber auch Situationen geben, in denen es günstiger ist, die äußere Scheibe durch ein Isolierglas zu ersetzen.

4.3.3 Rahmen

Holz

Kastenfenster sind immer aus Holz hergestellt. Die Tatsache, dass heute noch so viele Fenster aus der Gründerzeit bestehen, spricht für die hervorragende Holzver- und Bearbeitung jener Zeit (siehe auch 4.4). Hervorzuheben ist, dass selbst Fenster, die sehr nachlässig gewartet wurden, alleine durch die sehr gute Qualität ihrer Erstbehandlung erstaunlich wenig Schaden genommen haben. In den meisten Fällen sind sie besser erhalten als Fenster, die bereits saniert worden sind. Dabei sind die Hauptursachen von Schäden am Fenster bedingt durch technisch fehlerhafte Reparaturen, mangelhafte Ausführungen und die Wahl des falschen Beschichtungssystems. [13]

Anstrichsysteme bilden eine deckende Schicht auf dem Holz. Ist das System nicht genügend diffusionsoffen, kann Feuchtigkeit nicht ausreichend aus dem Holz austreten. Die Folge ist, dass die Beschichtung flächig abgehoben wird, Risse bekommt und abblättert.

Kunsthharzlacke können zudem mit der historischen Grundierung keine dauerhafte Bindung eingehen und blättern bereits nach kurzer Zeit ab. Noch größere Schäden sind oft verursacht durch lösemittelhaltige Kunsthharzlacke, da diese besser an der historischen Grundierung haften. Die darunter eingesperrte Feuchtigkeit kann hier noch länger und effektiver das Vermorschen und Verfaulen des Holzes vorantreiben.

Ursache für die Feuchtigkeit im Holz ist oft die untere äußere Kittfuge. Kunsthharzlacke können noch nicht ausgehärtetes Leinöl aus dem Kitt lösen. Dies führt zu einer Rissbildung im Kitt. Hier kann nun stetig Wasser in das Holz eindringen. [13]

Zur Verhinderung des Eintrittes von Wasser ist immer das gesamte Fenstersystem zu betrachten und zu optimieren. So können auch Fehler im Putz über Wassereintritt ins Mauerwerk angrenzende Holzbauteile beschädigen. Hilde Lerner und Franz Leutgeb schlagen daher in ihrem Leitfaden zur Fenstersanierung [13] als wichtigste Maßnahmen um Materialqualität und den konstruktiven Holzschutz zu erreichen folgende Punkte vor:



- richtige Holzwahl, richtig geschlägert, ausreichend lang gelagert
- Der Kontakt mit Wasser über Niederschläge oder mögliche Kondensate muss zeitlich und räumlich durch folgende Maßnahmen minimiert werden:
 - Diffusionsoffenes Beschichtungssystem, sodass eingedrungene Feuchtigkeit jederzeit flächig ausdiffundieren kann. Das heißt auch, dass das Beschichtungssystem „Imprägnierung-Grundierung-Decklack“ immer von „mager“ zu „fett“ ausgeführt werden muss.
 - Alle konstruktiven Möglichkeiten müssen ausgeschöpft werden. Verblechungen intelligent eingesetzt: richtig situiert, richtiges Gefälle, richtig montiert (kein Annageln an das Holz)

Das Beschichtungssystem im Holzschutz spielt also gerade bei der Sanierung von Fenstern eine zentrale Rolle. Diffusionsoffener Beschichtungssysteme wie Alkydharzlacke oder Acrylate weisen zwar die Anforderungen an die Diffusionseigenschaften, sind aber aus anderen Gründen bedenklich (siehe 4.4.2.4 und 4.4.2.5).

Für Beschichtungen von Holzbauteilen wie Fenster, Türen etc. wurde bis ins späte 20. Jahrhundert Bleiweiß wegen seiner hervorragenden technischen Eigenschaften verwendet. Alte Beschichtungen auf Holz können also mit dem Gefahrstoff Blei belastet sein. Dies stellt für die übliche Nutzung keine Gefahr dar. Eine einfache Neubeschichtung mit Leinöl auf einem intakten historischen Beschichtungssystem führt ebenfalls zu keiner Gefahr, weder für den ausführenden Restaurator noch für die späteren Benutzer. Oft wurden diese alten Beschichtungen überstrichen, sodass in den oberen Beschichtungsschichten kein Blei mehr zu erwarten ist. Eine Überholungsbeschichtung auf einem tragfähigen Untergrund ist also ohne großen Aufwand möglich.

Erst eine mechanische Bearbeitung des Holzes bzw. der Beschichtung wie abrasive oder thermische Behandlung zur Entfernung vorhandener Beschichtungen können zu einem erhöhten Anteil von Blei in Staub und Luft führen. Wird also durch Bearbeitungsmethoden wie Schleifen, Abbrennen, Erweichen, Abschaben, Fräsen oder Sägen bleihaltiger Staub freigesetzt, werden besondere Arbeits- und Umweltschutzmaßnahmen erforderlich, festgeschrieben in den „Technischen Regeln für Gefahrenstoffe“ [13]. Detaillierte und umfangreiche Information über das richtige Vorgehen bei der Sanierung von bleihaltigen Beschichtungen auf Holz bzw. die Konsequenzen für den Arbeitsschutz bietet das von der wissenschaftlich-technischen Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege erstellte Merkblatt in [14].

Empfehlung: Wo immer möglich, sollte auf das historische Leinölsystem zurückgegriffen werden. Dieses Anstrichsystem hat hervorragende Diffusionseigenschaften. Es wittert flächig ab (Kreiden), sodass erkannt werden kann, wann ein Neuanstrich erforderlich ist. Vor einem



Neuanstrich muss die Oberfläche lediglich aufgeraut werden, ev. genügt sogar ein Abwischen mit Spiritus und einem Schuss Salmiak.

Nachteilig ist sicher, dass dieses System von erfahrenen Fachmännern ausgeführt werden muss und die frisch behandelten Fenster unter Umständen bis zu 14 Tage trocknen müssen. Die Oberfläche weist typischerweise immer Pinselstriche auf, was in der Altbausanierung sogar gewünscht oder gefordert sein kann. [13]

Purenit

Ein relativ neues Material in der Sanierung von Kastenfenstern stellt Purenit dar. Es wird häufig als „Holzersatzwerkstoff“ verwendet. Zum Beispiel als Einleimer in Tür- und Sandwich-Konstruktionen oder als Kernmaterial in Sandwich-Elementen für Möbel in Nass- und Feuchträumen. Zur Fertigung der holzspanähnlichen Werkstoffe werden zerkleinerte PU-Produktionsreststoffe mit Bindemittel (wie die PU-Reststoffe ebenfalls auf MDI-Basis) verpresst.

Aus ökologischer Sicht wirkt sich die Verwendung eines Produktionsabfalls für die Herstellung eines hochwertigen Produkts positiv aus (Purenit besteht zu ca. 80 % des Produktgewichts aus PU-Hartschaum-Reststoffen). 1997 hat der Hersteller Puren-Schaumstoff GmbH dafür einen Preis im Rahmen des „2. European Recycling Award“ erhalten. Die Jury würdigte dabei besonders, dass es sich bei den entstehenden Produkten um "Upcycling", also die Herstellung höherwertigerer Sekundär-Produkte handelt, die bisher als Abfall klassiert wurden.

Es besteht die Gefahr, dass HFKW enthalten sind. HFKW (teilhalogenierte Fluor-Kohlenwasserstoffe) werden als Treibmittel in PU-Schäumen eingesetzt. Wegen ihres hohen Treibhauspotentials ist ihr Einsatz in Österreich weitestgehend verboten, im umliegenden Ausland, aus dem die Recyclingstoffe ebenfalls stammen können, ist der HFKW-Einsatz nach wie vor erlaubt.

Nachteilig an Purenit ist, dass vergleichsweise hohe Mengen an einem ökologisch ungünstigen Bindemittel notwendig sind, um die PU-Reststoffe zu verkleben:

MDI ist die Kurzbezeichnung für polymeres MDI (Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat oder 4,4'-Methyldiphenyldiisocyanat). MDI ist in Carc. 2 H351 (Verdacht auf krebserzeugende Wirkung, krebserzeugende Arbeitsstoffe) eingestuft. Der Herstellungsprozess verläuft mehrstufig über eine Reihe von gesundheitsgefährdenden Zwischen- und Nebenprodukten wie Nitrobenzol, Chlorgas, → Phosgen und Formaldehyd. Trotz der üblicherweise deutlichen Unterschreitung der MAK-Werte in medizinischen Untersuchungen sind Erkrankungen bei isocyanatexponierten Arbeitnehmern feststellbar. Besonders bei der Verarbeitung von 2-komponentigen Produkten sind daher umfangreiche Arbeitsschutzmaßnahmen nötig. Bereits ausgehärtete Polyurethane sind dagegen unproblematisch. Im Brandfall erfolgt bei



polyurethanhaltigen Materialien eine der Bildungsreaktion analoge Rückreaktion und größere Mengen Isocyanate werden freigesetzt, sowie Blausäure [15].

PVC

Die Herstellung von PVC ist dermaßen bedenklich, dass generell vom Einsatz von PVC-Fenstern abgeraten wird. Daher wird in diesem Leitfaden nicht weiter auf diese Produktgruppe eingegangen.

4.3.4 Ökologische und ökonomische Bewertung

Mit dem Wiener-Komfort-Fenster wurden 2008 – im Rahmen eines vom ZIT - Zentrum für Innovation und Technologie der Stadt Wien „Call Vienna Environment 2008“ – geförderten Projekts - die Besonderheiten des Kastenfensters einer zeitgemäßen, wirtschaftlich attraktiven, energetisch effizienten und architektonisch ästhetischen Modernisierungs-Lösung zugeführt.

Außenflügel und Fensterkasten bleiben erhalten. Das alte Innenfenster wird durch ein modernes Holzfenster mit zeitgemäßen Wärme- und Schallschutzwerten ersetzt. Bewohner werden durch den schnellen, staub- und lärmarmen Einbau kaum gestört. Da die Außenflügel des Fensters und der Fensterkasten nicht abgebrochen werden, kann zu jeder Jahreszeit und bei jeder Witterung montiert werden.

Seit der Entwicklung des Wiener-Komfort-Fensters vor 5 Jahren findet diese Variante der Modernisierung von Kastenfenstern eine breite Anwendung. Der Einsatz reicht von einzelnen Zimmern, die Modernisierungen von Büro- oder Wohneinheiten hin zu ganzen Gebäuden. Weitere Maßnahmen zur Steigerung von Behaglichkeit und Energieeffizienz - das Aufbringen einer Innendämmung, die Implementierung einer Lüftungsanlage, u.ä. können mit dem Wiener-Komfort-Fenster kombiniert werden.

Bei der Entwicklung des Wiener-Komfort-Fensters wurde von einem frühen Planungsstadium weg, eine baupraktisch umsetzbare und dauerhafte Lösung angestrebt, bei der Materialien eingesetzt wurden, die eine erhöhte bauphysikalische sowie materialtechnische Sicherheit bieten und auch in Bezug auf die Verarbeitbarkeit den komplexen Anforderungen gerecht werden. Durch den bauphysikalischen Nachweis kritischer Details konnte die Anwendungssicherheit und Dauerhaftigkeit bestätigt, Planungs- und Rechtssicherheit geschaffen, und letzten Endes, der hohe Anspruch in Gestaltung, Nachhaltigkeit und Erhaltung der Bausubstanz erfüllt werden.

Für die thermische Qualität der Verglasung stehen verschiedenen Aufbauten zur Verfügung. Die Konstruktionsvariante des Wiener-Komfort-Fensters mit 2-Scheibenverglasung 4-16-4 und Argon-Füllung ergibt nach der Modernisierung einen U-Wert - gesamtes Kastenfensters, 4-flügeliges Fenster, Stocklichte 100/200 cm, Breite des Fensterzwischenraums 22,5 cm -



von $0,97 \text{ W/m}^2\text{K}$. Bei einer 3-Scheibenverglasung 3-8-2-8-3 und Krypton-Füllung wird ein U-Wert von $0,91 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht. [16]



Abbildung 67: Sanierung auf Ebene der Nutzungseinheit mit Wiener Komfort Fenster (Bildquelle und Copyright Wiener-Komfort-Fenster Lux e.U.)

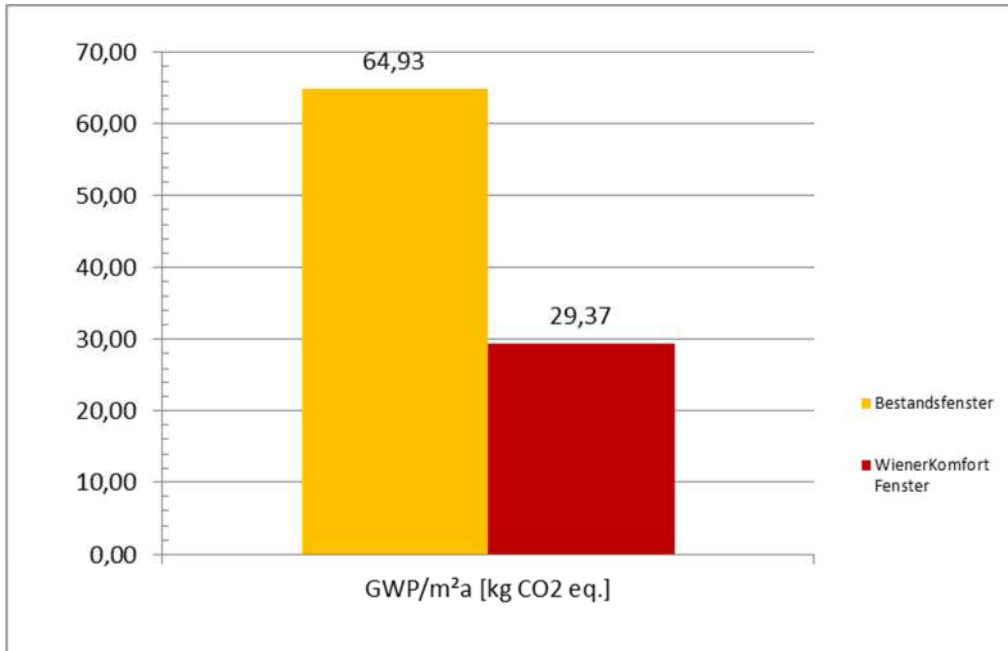


Abbildung 68: GWP für Herstellung des Fensters und Heizung (Energieträger: Gas)

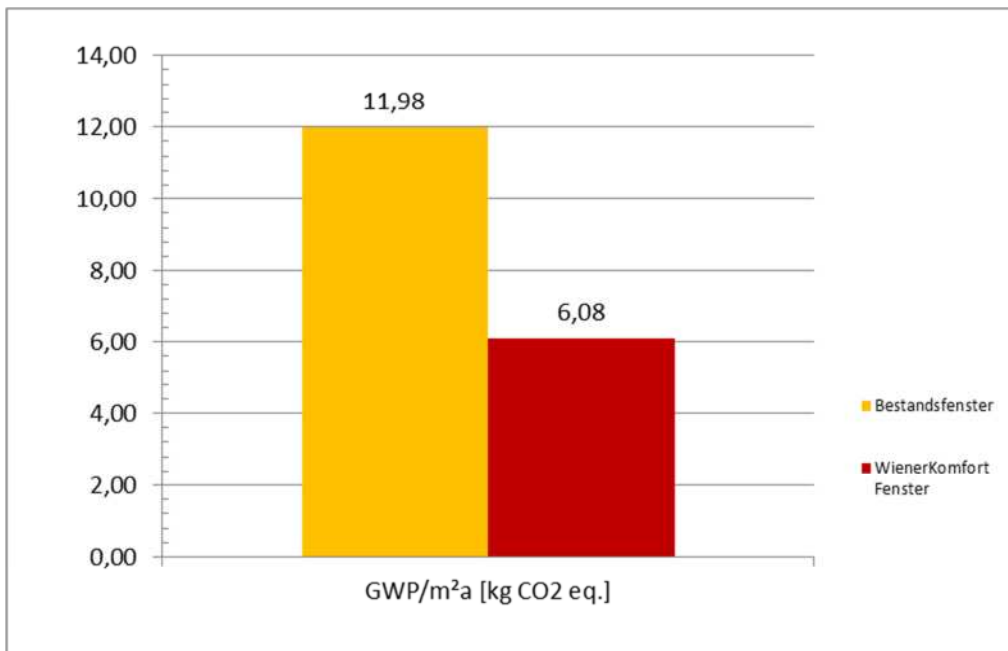


Abbildung 69: GWP für Herstellung des Fensters und Heizung (Energieträger: Fernwärme)

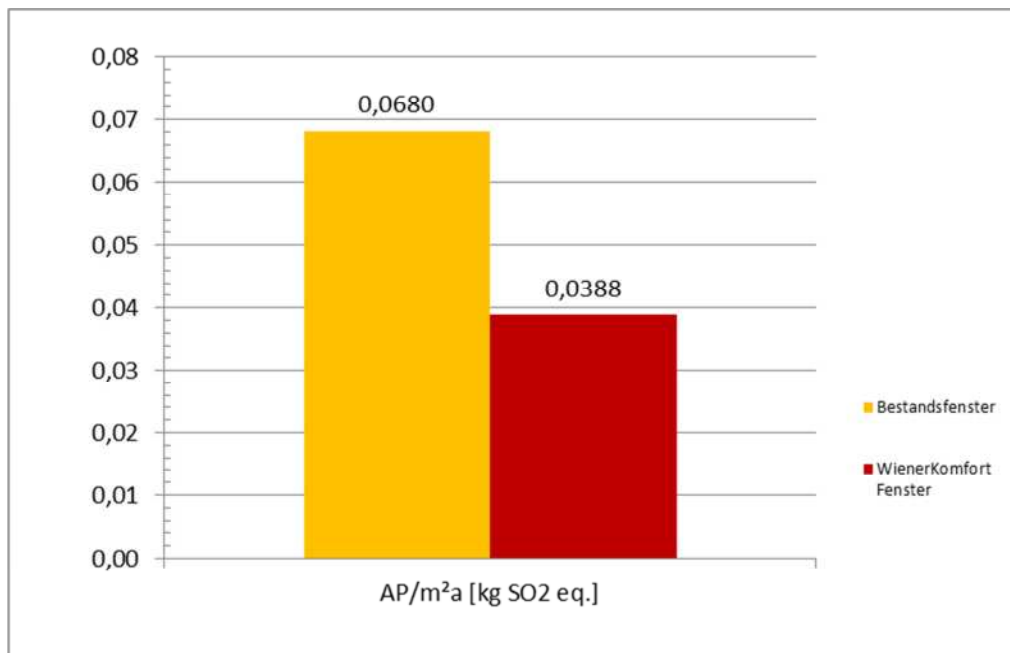


Abbildung 70: AP für Herstellung des Fensters und Heizung (Energieträger: Gas)

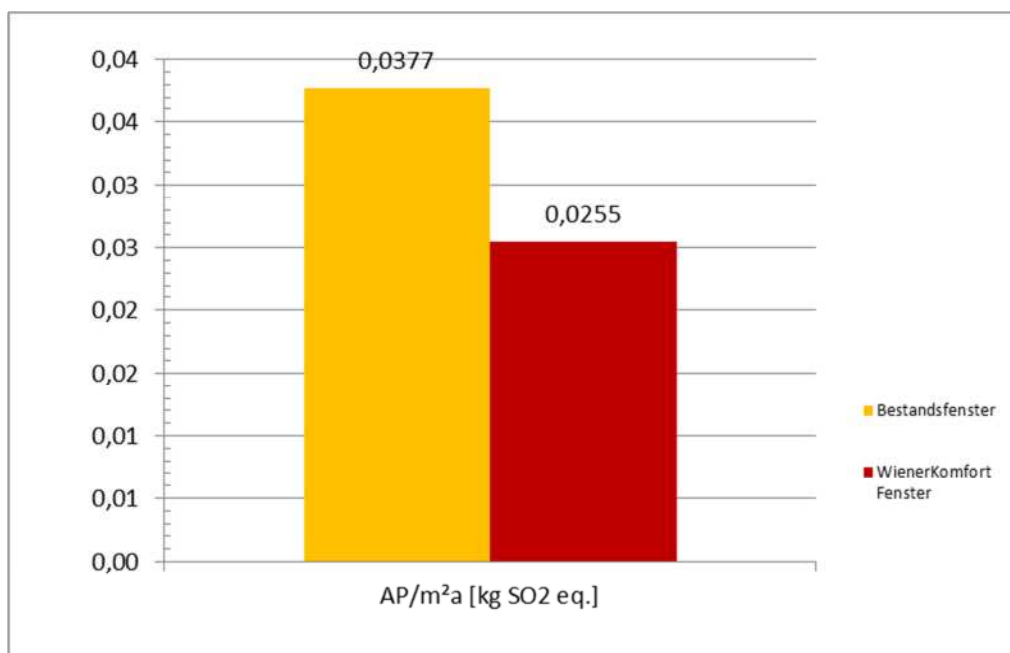


Abbildung 71: AP für Herstellung des Fensters und Heizung (Energieträger: Fernwärme)

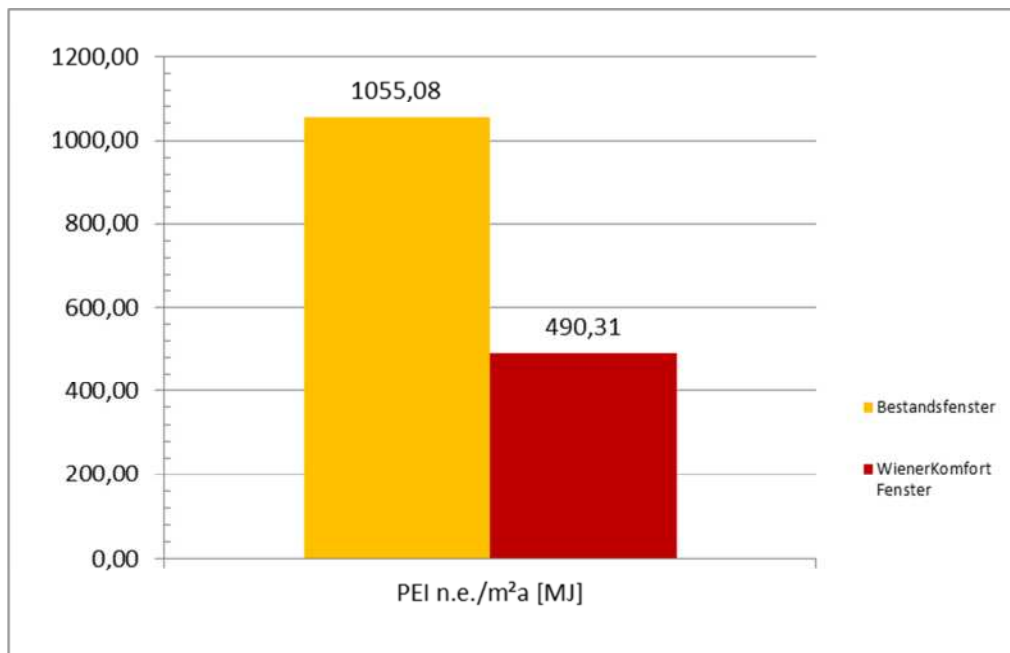


Abbildung 72: PEI n.e. für Herstellung des Fensters und Heizung (Energieträger: Gas)

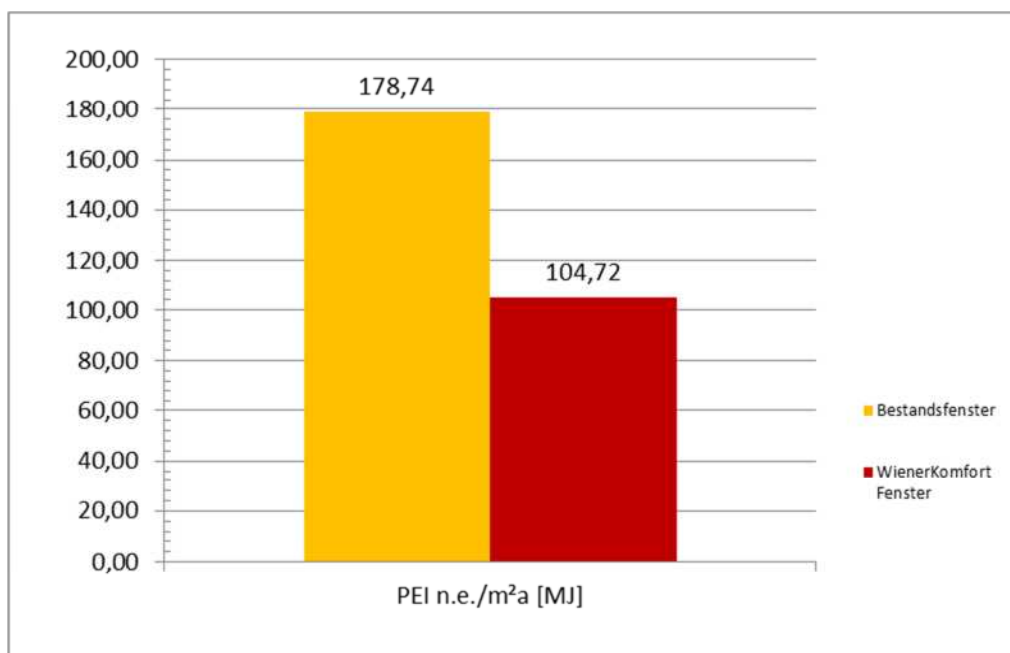


Abbildung 73: PEI n.e. für Herstellung des Fensters und Heizung (Energieträger: Fernwärme)

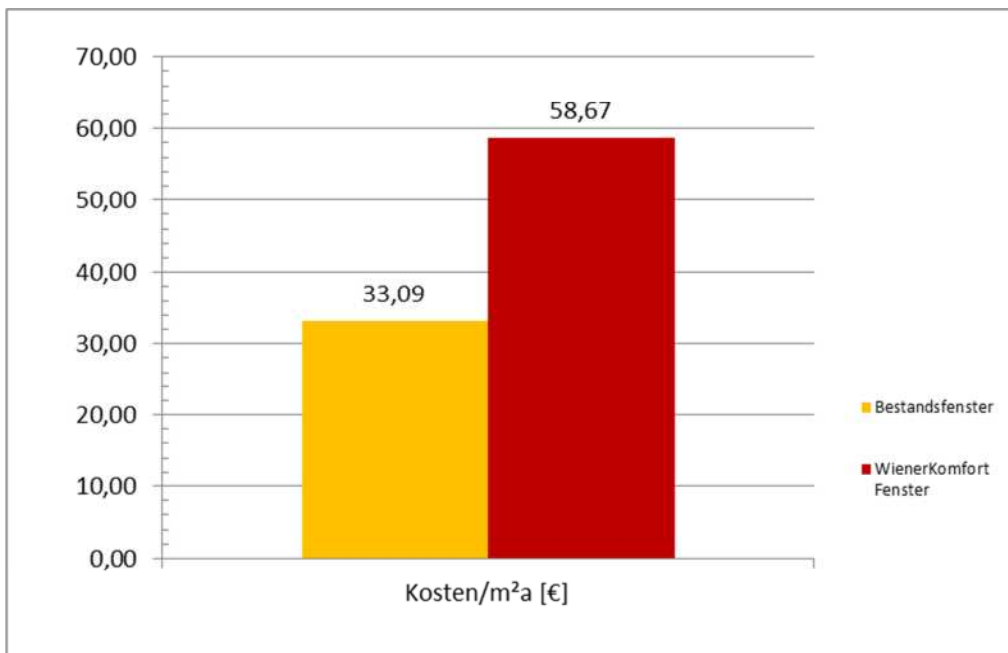


Abbildung 74: Kosten für Herstellung des Fensters und Heizung (Energieträger: Gas)

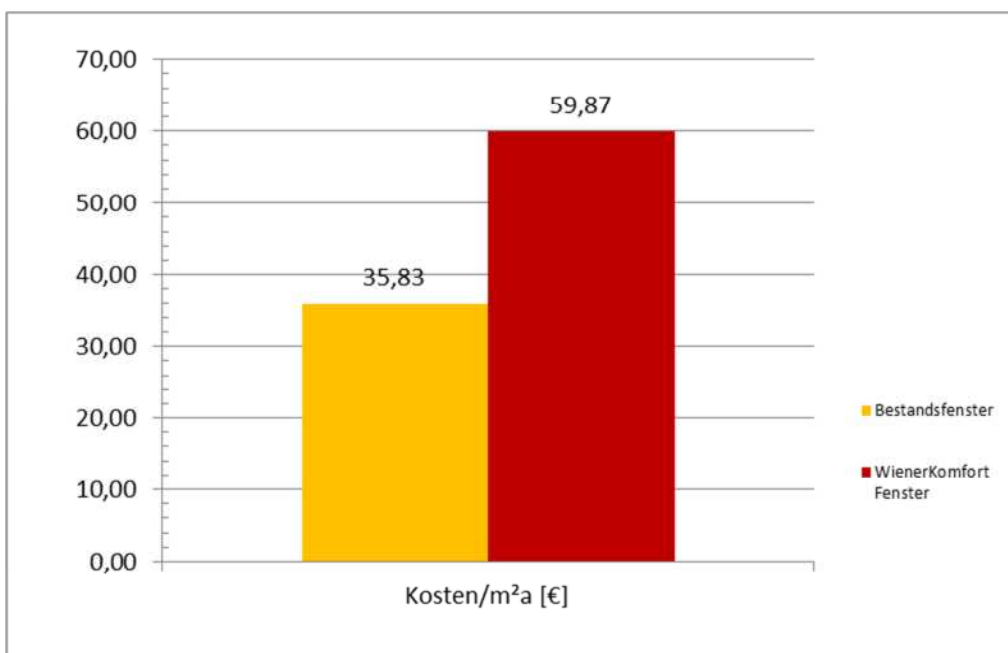


Abbildung 75: Kosten für Herstellung des Fensters und Heizung (Energieträger: Fernwärme)



Bauökologische Richtwerte und produktspezifische Ökobilanzdaten für weitere Fenster sind auf der Plattform [baubook](http://www.baubook.info) veröffentlicht und können im Ökobilanzrechner [eco2soft](http://www.baubook.info/eco2soft/) verwendet werden.¹

4.4 Holz

Holz ist ein uralter Werkstoff, der, bei richtiger Handhabung, Jahrhunderte überdauern kann. So sind norwegische Stabkirchen aus dem 13. Jahrhundert heute noch vereinzelt erhalten. In Wien sind Fenster aus vergangenen Jahrhunderten im Bestand heute keine Seltenheit. Die Existenz derartig alter Bauten bzw. Bauteile ist ein Hinweis auf das Jahrhunderte alte Wissen vergangener Kulturen um die Behandlung von Holz. In und um Wien wurde beispielsweise Holz ausschließlich im Winter geschlägert, also zu einer Jahreszeit, zu der es nicht im Saft steht. Teilweise wurden die Holzstämme geflößt, das heißt, die schwimmenden Holzstämme wurden auf Wasserwegen transportiert. Dadurch wurden einerseits Salze aus dem Holz gelöst, wodurch sich das Holz bei der anschließenden Trocknung nicht mehr so stark verwirft, andererseits wurden mikrobiell leicht lösliche Stoffe ausgewaschen. Zur Jahrhundertwende wurde das in Wien verwendete Holz aus dem mittleren Kamptal oder aus dem Wienerwald über die Donau nach Wien geschwemmt. Anschließend wurde das Holz ausreichend getrocknet, mitunter einige Jahrzehnte lang. Holz wurde prinzipiell händisch bearbeitet. Dies bot die Möglichkeit einer ständigen Qualitätskontrolle, denn drehwüchsiges oder zu astreiches Holz konnte gar nicht mit dem Handhobel bearbeitet werden [13]. Insbesondere für die Herstellung von Fenstern wurde nur feinjähriges Holz aus höheren Lagen verwendet. Kiefernholz war wegen seines hohen Harzanteils für den Fensterbau besonders geeignet.

4.4.1 Holzschutz

Holz ist im Bau unterschiedlichen Einflüssen durch Witterung (Feuchtigkeit, UV, Temperaturschwankungen), biologischen Angriff (Insekten, Bakterien und Pilze) oder chemischen Einflüssen ausgesetzt. Ein umfassender Holzschutz zielt also darauf ab, folgende Bereiche zu optimieren:

- Verhindern des natürlichen Holzabbaus
- Vorbeugung und Bekämpfung der Befalls von Insekten, Bakterien und Pilzen
- Verhindern von Schwinden und Quellen durch Wasser oder Feuchtigkeit aus der Umgebung
- Erhöhung der natürlichen Dauerhaftigkeit

¹ <http://www.baubook.info> bzw. <http://www.baubook.info/eco2soft/>



- Erhöhung des mechanischen Widerstandes
- Vorbeugen gegen Witterung in Form von Wasser, Feuchte oder Sonneneinstrahlung

4.4.1.1 Konstruktiver Holzschutz

Der konstruktive Holzschutz stellt eine dauerhafte Trockenhaltung des Holzes sicher, wodurch Pilz- oder Bakterienbefall weitgehend verhindert werden kann und vorbeugender chemischer Holzschutz entbehrlich gemacht wird. Auf konstruktiven Holzschutz von Bauteilen im Außenbereich sollte generell immer geachtet werden, auch wenn er hier nicht immer alleine ausreichend ist und das Holz eventuell zusätzlich noch anderweitig geschützt werden muss. Dieser Prozess beginnt bereits in einer sehr frühen Planungsphase.

4.4.1.2 Natürlicher Holzschutz

Der natürliche Holzschutz bezieht sich auf die Haltbarkeit des Holzes und dessen Widerstandsfähigkeit gegenüber Insekten, Pilzen und Bakterien. Die DIN EN 350-2 gibt die Zuordnung verschiedener Hölzer zu den unterschiedlichen Dauerhaftigkeitsklassen an. Dabei wird zunächst grundsätzlich zwischen Splint- und Kernholz unterschieden. Der Splint ist generell als wenig- bis nicht dauerhaft eingestuft (Dauerhaftigkeitsklasse 5). Bei den Resistenzen wird nach Art der Holzzerstörer unterschieden (Insekten, Pilze, Termiten, marine Holzschädlinge).

Dauerhaftigkeit gegen Pilzbefall		Beispiele Holzart
Dauerhaftigkeit 1	sehr dauerhaft	z.B. Afzelia, Bilingia, Greenheart, Padouk, Jarrah, Makoré, Mansionia, Teak
Dauerhaftigkeit 1-2	sehr dauerhaft bis dauerhaft	Robinie
Dauerhaftigkeit 2	dauerhaft	Stiel- oder Traubeneiche, Edelkastanie, Western Red Cedar, Bankirai, Bubinga, Marbau, Bongossi, Mahogany
Dauerhaftigkeit 2-3	dauerhaft bis mäßig dauerhaft	Yellow Cedar, amerik. Douglasie
Dauerhaftigkeit 3	mäßig dauerhaft	Pitch Pine
Dauerhaftigkeit 3-4	mäßig dauerhaft bis wenig dauerhaft	Europ. Lärche, europ. Douglasie
Dauerhaftigkeit 4	wenig dauerhaft	Tanne, Fichte, Ulme; amerik. Roteiche, Yellow Meranti
Dauerhaftigkeit 5	nicht dauerhaft	Birke, Buche, Esche, Linde, White Meranti



Dauerhaftigkeit gegen Insekten		
Dauerhaftigkeit D	dauerhaft	gegen Hylotrupes bajulus: Brasilkiefer, Sugi
Dauerhaftigkeit S	anfällig	gegen Anobiom punctatum: Kiefer, Lärche, Ulme, Eiche, Robinie, Walnuss, Esche, Buche, Erle, Douglasie, Eibe
Dauerhaftigkeit SH	auch Kernholz ist als anfällig bekannt	gegen Hylotrupes bajulus: Tanne, Fichte

Dauerhaftigkeit gegen Termiten		
Dauerhaftigkeit D	dauerhaft	Robinie, Maobi, Walaba, Bubinga, Bongosse, Wenige, Afrormosia, Padouk, Bankirai
Dauerhaftigkeit M	mäßig dauerhaft	Edelkastanie, europ. Eiche, americ. Cedar, Basralocus
Dauerhaftigkeit S	anfällig	Douglasie, Fichte, Kiefer, Lärche, Mahogany

4.4.1.3 Physikalischer Holzschutz

Physikalischer Holzschutz soll Holz vor witterungsbedingten Schädigungen schützen, wie Feuchteaufnahme, Sonnenlicht oder mechanischen Einflüssen. Darunter fallen Beschichtungen, die das Eindringen von Feuchtigkeit oder die Belastung durch UV-Strahlen verhindern sollen, oder die Behandlung von Holz mit hohen Temperaturen (160 °C unter Sauerstoffmangel), was zu erhöhter Fäulnisresistenz führt.

4.4.1.4 Chemischer Holzschutz

Pilze, die das Holz zerstören, bauen organisches Material aus dem Holz ab. Dies geschieht meist in Bereichen, die von einem Luftaustausch ausgeschlossen sind. Darunter fällt der echte Hausschwamm, der dem Holz die Zellulose entzieht und Lignin zurücklässt. Andere Holz zersetzende Pilze sind der Kellerschwamm, der weiße Porenschwamm, der Eichenwirrling oder der Eichenporling. Der Bläupilz oder andere Schimmelpilze sind nicht gefährlich, da sie das Holz nicht zersetzen. Sie können aber das Aussehen eines Bauteils beeinträchtigen. Wenn der Bauteil beschichtet war, so können sie die Beschichtung zerstören, sodass Feuchtigkeit in das Holz eindringen kann.



Unter den Insekten sind besonders der Hausbock (meldepflichtig), der gemeine Nagekäfer und der braune Splintholzkäfer zu erwähnen, deren Lochfraß das Holz vollkommen aushöhlen kann.

Chemische Wirkstoffe, meist Biozide, können Holz vor solchen Schädlingen schützen. Solche Stoffe sind dazu bestimmt, Schädlinge zu töten. Der große Nachteil von Bioziden ist, dass diese Stoffe auch auf den menschlichen Organismus wirken, meist als Nervengifte. Daher ist es unerlässlich, dass der Inhaber des Gebäudes über Kenntnisse und Fähigkeiten auf dem aktuellen Stand der Technik verfügt, um über sachgemäße Vorbereitung, Durchführung und Prüfung von gesundheitlich unbedenklichen und umweltverträglichen Holzschutzmaßnahmen zu entscheiden.

Holz kann an der Oberfläche behandelt werden oder mit einem Holzschutzmittel durchtränkt werden.

Bläue ist für das Holz unbedenklich, sie kann aber die Optik eines Gebäudes beeinträchtigen. Wo möglich sollte auf Bläueschutz verzichtet werden, am ehesten sollte hier als Vorbeugung in einen konstruktiven Holzschutz investiert werden.

Durch konstruktive Maßnahmen und Wahl geeigneter Hölzer wie Lärche oder Eiche ist es möglich, auf ökologisch bedenklichen chemischen Holzschutz zu verzichten. Bei Bewitterungsversuchen des österreichischen Holzforschungsinstituts [17] zeigten Biozidausrüstungen keinen erkennbaren Einfluss auf das Abwitterungsverhalten und damit auf die Lebensdauer des Holzes oder der Beschichtung selbst, sodass laut Holzforschungsinstitut kein Anlass besteht, bei statisch nicht beanspruchten Holzteilen wie z.B. Fenstern an einer Schutzausrüstung gegen holzerstörende Pilze weiter festzuhalten. Ein Bläueschutz gegen die in der Praxis immer wieder beobachteten Verblauungen wird vom Holzforschungsinstitut weiterhin als sinnvoll erachtet.

Es sollte jedenfalls bedacht werden, dass die Verbrennung von Hölzern, die mit Holzschutzmitteln behandelt wurden, in Anlagen erfolgen muss, die über eine entsprechende Zulassung verfügen.

4.4.2 Beschichtungen und Holzrenovierungsmassen

Jede Art von Imprägnierung oder Beschichtung basiert auf einem chemischen System, in welchem kleinere Bestandteile entweder in Wasser oder in einem Lösemittel gehalten auf den entsprechenden Bauteil aufgetragen werden, um dort miteinander eine chemische Reaktion ein zu gehen, in der sie sich miteinander vernetzen und große untereinander verwobene Ketten, eventuell auch mit Quervernetzungen, bilden. Heute kommen fast ausschließlich synthetische, aus Mineralöl erzeugte Systeme zur Anwendung, doch das ist erst seit Mitte des letzten Jahrhunderts so. Zuvor wurden Jahrhunderte lang



Imprägnierungen und Beschichtungen aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt, ein wertvolles Wissen, das vereinzelt noch ausgegraben werden kann.

4.4.2.1 Historische Beschichtungssysteme - Oxydativ trocknende natürliche Öle

Öle können in trocknende, halb-trocknende und nicht-trocknende Öle eingeteilt werden. Nicht-trocknende Öle bestehen zum überwiegenden Teil aus gesättigten Fettsäuren und können daher nicht polymerisieren. Wegen ihres hohen Molekulargewichts ist ein Trocknen durch Verdunstung eben so wenig möglich. Halb-trocknende Öle wie Sojaöl oder Sonnenblumenöl trocknen nur langsam und ungenügend, sodass auch sie für Schutzbeschichtungen von Holzbauteilen nicht in Frage kommen. Trocknende Öle besitzen einen besonders hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren, die nach dem Auftragen an der Luft unterschiedlich schnell polymerisieren. Die wichtigsten Öle hier sind Leinöl, Mohnöl und Walnussöl, von denen wiederum das Leinöl den höchsten Anteil an ungesättigten Fettsäuren hat. Für ölbasierete Beschichtungssysteme wird daher im Weiteren ausschließlich auf Leinöl eingegangen.

Reine Öle bestehen aus Dreifachestern des Glycerins (Triglyceride), wobei die Kohlenwasserstoffketten der Ester aus langen ungesättigten Fettsäuren bestehen. Diese mehrfach ungesättigten Bindungen bewirken eine Krümmung in der Kette, die Ursache dafür, dass sich die einzelnen Triglyceride nicht in so geordneten Reihen aneinander legen können, wie es beispielsweise bei Fetten (Triglyceride aus gesättigten Fettsäuren) der Fall ist. Dies ist die Ursache dafür, dass Öle bei Raumtemperatur in flüssiger, Fette jedoch in fester Form vorliegen. An diesen ungesättigten Bindungen kann zunächst der Oxidationsprozess angreifen, die Startreaktion für die anschließende Polymerisation der einzelnen Fettsäureketten untereinander, siehe Abbildung 76. Dabei greift Luftsauerstoff an der Doppelbindung der Fettsäure an und bildet mit der Fettsäure ein Peroxid. Die Bindung, die zwischen den zwei Sauerstoffatomen liegt, bezeichnet man als Peroxidbindung. Sauerstoffatome haben die Eigenschaft, Elektronen sehr stark zu sich zu ziehen. In der Peroxidbindung führt das dazu, dass die Bindung erstens destabilisiert ist und zweitens beim Aufbrechen der Bindung die beiden Bindungselektronen, anders als bei anderen Bindungstypen, nicht auf eines der beiden Atome übertragen werden, sondern zu gleichen Anteilen auf beide Sauerstoffatome aufgeteilt werden. Jedes Sauerstoffatom erhält ein ungepaartes Elektron, ein freies Radikal. Diese Radikale sind hoch reaktiv und können andere Moleküle angreifen, wobei eine kovalente Bindung zum neuen Molekül aufgebaut wird und das freie Elektron (das Radikal) auf ein benachbartes Atom des neuen Moleküls übertragen wird. So kann eine einmal in Gang gesetzte Polymerisation sich selbständig fortsetzen. Der Prozess des Zerfalls des Peroxids ist hier der geschwindigkeitsbestimmende Schritt. Um diesen zu beschleunigen, werden dem Öl Sikkative zugesetzt. Historisch war das in den meisten Fällen Bleiweiß, Zink oder Kobalt.

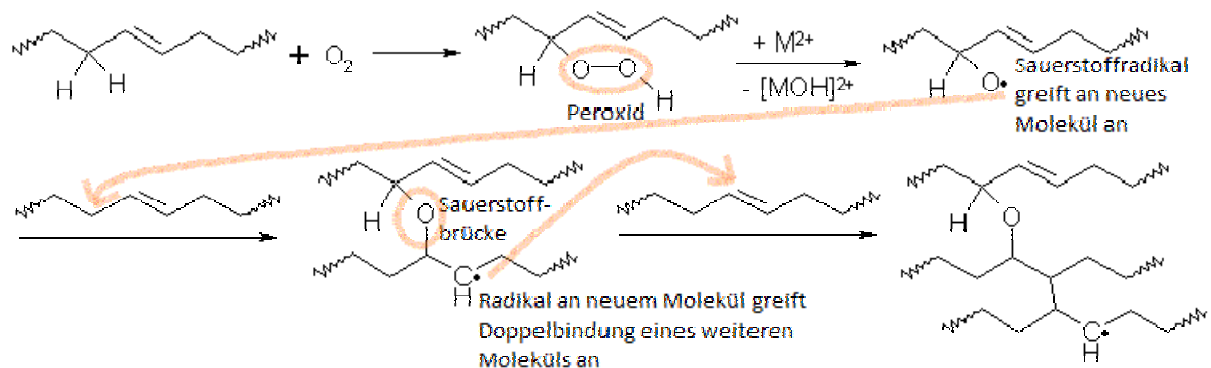


Abbildung 76: Oxidative Polymerisation bei der Trocknung von natürlichen Ölen

Technische Eigenschaften von Beschichtungssystemen aus natürlichen Ölen

Ölanstriche zeichnen sich durch ihre Diffusionsoffenheit aus. Die vernetzten Fettsäuren weisen einerseits Wasser von außen ab, bilden aber andererseits ein molekulares Kapillargeflecht, das es eingedrungener Feuchtigkeit erlaubt, nach außen hin wieder auszutrocknen.

Ölanstriche wittern flächig ab. Dieser Prozess wird als Kreiden bezeichnet und beschreibt den Zustand, wenn durch Witterung die äußerste Schicht des polymerisierten Öls schwindet und Pigmentteilchen bloßgelegt werden. Dies ist neben der relativ langen Trocknungszeit der Grund, weshalb Bauherren bei der Renovierung im Holzschutz häufig vor Ölsystemen zurückschrecken. Auf lange Frist gesehen stellt dieses Kreiden jedoch einen Vorteil dar, denn es zeigt einerseits den Zeitpunkt an, zu dem ein Neuanstrich vorgenommen werden sollte, andererseits genügt bei einem Neuanstrich lediglich das Aufräuen der Oberfläche zur besseren Haftung der neuen Beschichtung. Laut Ausführungspraktikern genügt sogar ein einfaches Abwischen mit Spiritus und einem Schuss Salmiak [13]. Auf jeden Fall kann auf eine chemische Vorbereitung wie Abbeizen oder auf holzabtragende Techniken wie Schleifen, Schmirgeln oder Abflexen gänzlich verzichtet werden.

Dieses System des Holzschutzes hat sich über Jahrhunderte bewährt. Ihm und der umsichtigen Auswahl und Verarbeitung des verwendeten Holzes (siehe Abschnitt 4.4) ist es zu verdanken, dass ein großer Teil der Holzbauteile wie Fenster, Türen etc. heute im historischen Bestand noch aus Originalhölzern besteht.

Ölbasierte Systeme erfordern jedenfalls ein hohes technisches Know-how und ausreichende Erfahrung des Professionalisten. Besonders wenn zu Beginn fachmännisch aufgetragen, erweisen sich diese Systeme aber später als sehr robust auch gegen nachlässige Aufbringung von Neuanstrichen mit demselben System. Frisches Öl kann sich immer mit der tief in die Poren eingedrungenen Imprägnierung vernetzen.



Im Vergleich zu neueren Beschichtungssystemen zeichnen sich ölbasierte Systeme durch einen schlechteren Verlauf der Beschichtung aus. Die typische Pinselstrichstruktur ist aber heute in der Renovierung wieder eine gewünschte Voraussetzung.

Der in der Vergangenheit häufig im Zuge einer Renovierung bevorzugte Umstieg auf andere erdölbasierte Anstrichsysteme hat unwiederbringlichen Schaden insbesondere an der Substanz des Holzes angerichtet. Werden heute Bauteile mit einer solchen Vorgeschichte renoviert, und soll wieder auf das ursprüngliche Öl-System umgestiegen werden, ist es unerlässlich, dass die alte Beschichtung vor einer Neuimprägnierung restlos entfernt wird. [13, 18]

4.4.2.2 Leinöl als wichtigster Repräsentant von Beschichtungssystemen

Historisch gesehen ist Leinöl bei weitem das wichtigste Öl in der Herstellung von Beschichtungssystemen, weshalb in der Folge nur noch auf dieses genauer eingegangen wird.

Leinöl

Das in Europa zur Jahrhundertwende am weitesten verbreitete System für Holz als Holzschutzmaßnahme ist ein Beschichtungssystem basierend auf Leinöl. Leinöl ist ein reines Naturprodukt, das kalt oder warm aus den Samen der Flachspflanze gewonnen wird. Die Fasern dieser Pflanze können zur Herstellung von Flachs verarbeitet werden. Leinöl hat einen sehr hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren, weshalb es einerseits ein hochwertiges Nahrungsmittel ist und andererseits die notwendigen chemischen Eigenschaften besitzt, die zur oxidativen Härtung erforderlich sind. Es wird seit Jahrhunderten als Bindemittel in Farben und Beschichtungen zur Konservierung von Holzbauteilen wie Fachwerk, Türen und Fenstern bis in die 1950er Jahre verwendet. „Die neu erfundenen Leinöl-Farben kann man überall anwenden, sie bestehen trotz aller Unbill von Luft und Himmel ewig.“[19] In einer neueren Anwendung kommt es sogar bei der Herstellung von Linoleum zum Einsatz.

Die Behandlung mit Leinöl bedingt ein ganzes System aus Leinölprodukten, von der Grundierung über die Imprägnierung bis hin zur endgültigen Beschichtung:

- **Halböl:** Zur Grundierung von frisch bearbeiteten Hölzern wurde Halböl eingesetzt. Für eine gute Grundierung ist es wichtig, dass das Grundiermittel möglichst tief in die Poren des Holzes eindringen kann. Dazu wurde Leinöl mit Terpentinöl (siehe weiter unten in diesem Kapitel) im Verhältnis 1:1 gemischt.

„Zum Schutze gegen Feuchtigkeit müssen die Fenster vor Verlassen der Werkstatt einen Leinöl-Grundanstrich erhalten. Diese Anstricharbeiten sind grundsätzlich nur vom Maler auszuführen, damit der Ölanstrich dem Material des Fertiganstrichs entspricht.“ [20].



- **Firnis:** Dem Begriff Firnis wurden abhängig von Epoche oder Anwendungsart leicht unterschiedliche Bedeutungen zugeordnet. So verstand man in der Malerei einen transparenten Überzug, der einerseits das Gemälde schützen sollte, aber andererseits auch dem Gemälde einen Glanz verlieh und gleichzeitig die Farbtiefe erhöhte. In der Anstrichtechnik bezeichnet Finis das Anstrich- bzw. Bindemittel Leinölfirnis, auf das hier näher eingegangen werden soll.

Leinölfirnis ist im Wesentlichen getrocknetes Leinöl. Bei reinem Leinöl dauert der Aushärtungsprozess abhängig von Untergrund und Schichtdicke mehrere Tage. Um diesen Prozess abzukürzen, werden dem Leinöl Sikkative (Trocknungsmittel) zugesetzt. Traditionell war das Bleiweiß, Mennige, Zinkweiß, Braunsteinpulver oder Chromgelb. Durch die katalytische Wirkung der Metallionen härtet Leinölfirnis an der Oberfläche bei 20 °C bereits nach 24 Stunden.

- **Standöl:** Standöle sind geklärte Pflanzenöle. Früher reinigte man Öle, indem man sie längere Zeit stehen ließ. Dadurch konnten sich Schwebstoffe und andere Verunreinigungen absetzen. Das gereinigte Öl wurde abgeschöpft. Dieser Prozess fand meistens unter Luftabschluss statt, damit das Öl nicht ranzig wurde.

Während des Stehenlassens bilden sich gleichzeitig bereits einige Vernetzungen, sodass Standöle eine höhere Viskosität haben als frische Öle. Dadurch eignen sich solche Öle besonders gut für die Herstellung einer schützenden Deckschichte. Insbesondere Leinöl wurde traditionell so behandelt.

Heute wird Standöl unter Schutzgasatmosphäre und Erhitzen auf ca. 250 °C hergestellt.

- **Ölfarben:** Für die Fensterbeschichtung werden Ölfarben aus Leinölfirnis, Pigmenten, Füll- und Trockenstoffen verwendet. Sie dienen als Grundierung bei Fensterbeschichtungen und -sanierungen.
- **Standölfarben:** Standölfarben sind Farben, denen 5-10 % Standöl zugesetzt wurde. Bei Fensterbeschichtungen werden sie als Decklacke eingesetzt.
- **Linoxin:** Linoxin ist das ausoxidierte, d.h. auspolymerisierte, Endprodukt der oxidativen Polymerisation von Leinöl. Es ist eine feste, elastische und kautschukähnliche Masse.
- **Fensterkitt:** Fensterkitt ist ein Gemisch aus 85 % Schlämmkreide (Calciumcarbonat) und 15 % Leinölfirnis.
- **Terpentinöl:** Traditionell wurde Terpentinöl aus den Harzausflüssen von Koniferen (Terpentin) wie zum Beispiel hauptsächlich aus Kiefern gewonnen. Dabei wurde durch Destillation das Terpentinöl von den Rückständen, dem Kolofonium, getrennt. Terpentinöl besteht hauptsächlich aus 2-Pinen, 2(10)-Pinen, 3-Caren und anderen monocyclischen Terpenen, wobei die Zusammensetzung wesentlich von der Herkunft des Öls abhängt. Terpentin ist gesundheitsschädlich und umweltgefährdend.



Heute wird als Terpentinölersatz häufig Testbenzin eingesetzt, ein reines Erdölprodukt, ebenfalls umweltgefährdend.

- **Sikkative:** Sikkative sind Stoffe, die ölhaltigen Farben und Lacken zugesetzt werden, da sie die Trocknung, also den Polymerisationsprozess, beschleunigen. In der Regel wurden und werden auch heute noch Schwermetalloxide von Blei, Mangan, Kobalt oder Zink als Sikkative eingesetzt, oder die Metallsalze von meist ungesättigten Fettsäuren. Einige Pigmente wie Bleiweiß haben bereits eine eigene sikkative Wirkung.
- **Bleiweiß:** $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ wird auch Cerussa, Kremserweiß oder Hydrocerussit genannt, ist ein basisches Bleicarbonat und seit dem Altertum ein bedeutendes Weißpigment. Es besitzt eine hohe Deckkraft und kann so Holzbauteile vor UV-Strahlung schützen. Es ist nicht in Wasser, sehr wohl aber in Ölen löslich und besitzt dort auch erhebliche Lichtbeständigkeit. Daher wurde es besonders in Grundierungsfarben für Holz und als Grundierungs- und Korrosionsschutz für Metalle bis ins späte 20. Jahrhundert verwendet. Bleiweiß ist heute mit H360Df (Kann das Kind im Mutterleib schädigen), H410 (Sehr giftig für Wasserorganismen, Langzeitwirkung) zu kennzeichnen [21]. Die Giftigkeit von Bleiweiß war bereits in der Antike bekannt. Dennoch begann man erst ab Mitte des 19. Jahrhunderts, es durch andere Pigmente zu ersetzen, wie z.B. Zinkweiß. In Grundierungsfarben für Holz und als Grundierungs- und Korrosionsschutz für Metalle wurde es bis ins späte 20. Jahrhundert verwendet. Bleiweiß ist trotz seiner geringen Löslichkeit stark Gewässergefährdend (H410). Farben, die Bleiweiß enthalten, stellen ein Risiko zur Bleivergiftung in allen Stufen des Lebenszyklus dar, also bei der Herstellung, Verarbeitung und dem Recycling damit gestrichener Teile. Gefährlich sind vor allem Aerosole und Abrieb, die in die Lunge gelangen können. Blei schädigt das zentrale und das periphere Nervensystem, beeinträchtigt die Blutbildung und führt zu Magen-Darm-Beschwerden und Nierenschäden. Bleiverbindungen sind als fortpflanzungsgefährdend (H360) eingestuft. Im Tierversuch ist es krebserzeugend. Schwere Vergiftungen führen zu Koma und Tod durch Kreislaufversagen. Beim Verbrennen von mit Bleiweiß gestrichenen Gegenständen, wie Fensterrahmen, gelangt das gesamte Bleioxid in die Rauchgase.
- **Mennige:** $\text{Pb}_3\text{O}_4 = \text{Pb}_2[\text{PbO}_4]$, Blei(II,IV)-oxid oder auch Minimum ist ein leuchtend rotes Pigment und war bereits in der Antike bekannt. So wurde es in den Sand im Zirkus gemischt, um die blutigen Spuren der Kämpfe zu kaschieren, oder man färbte das Gesicht des Triumphators beim Triumphzug damit. Als Pigment in Malerfarben – lateinisch: Minimum – prägte es schließlich den Begriff Miniatur. Mennige wird als Pigment verwendet und ist mit Bindemitteln sehr gut mischbar. Unter Lichteinfluss ist es aber unbeständig und zerfällt in schwarzes Blei(IV)oxid. Heute wird es



hauptsächlich als Rostschutzfarbe verwendet. Im Altertum wurde es durch Oxidation von Bleiweiß hergestellt, heute erfolgt die Herstellung durch Luftoxidation von Blei(II)oxid bei 500°C. [13] Mennige muss heute folgendermaßen gekennzeichnet werden: H360Df (Kann das Kind im Mutterleib schädigen), H410 (Sehr giftig für Wasserorganismen, Langzeitwirkung); Mennige kann über die Lungenbläschen fast vollständig, über den Magen-Darm-Trakt nur zu 15 % aufgenommen werden. Akut toxische Symptome beim Menschen umfassen Erbrechen, Verstopfung, Koliken des Darms, Schädigungen von Blut und Nieren und Kreislaufkollaps. Chronisch geringen Mengen ausgesetzt treten unspezifische Symptome wie leichten Kopfschmerz, Schwindel, Schlafstörungen, Schmerzen in Muskeln und Gliedern und Appetitverlust auf. Insgesamt wirkt es giftig auf Blut, Muskulatur und Zentralnervensystem, es beeinträchtigt die Fortpflanzungsfähigkeit und verursacht Aborte bei Schwangeren und Schädigungen des Nervensystems von Embryonen. [21]

- **Zinkweiß:** ZnO, H410 (Sehr giftig für Wasserorganismen, Langzeitwirkung); Es wurde traditionell als weißes Farbmittel in Malerfarbe eingesetzt. Wegen seiner antiseptischen Wirkung wird es auch zur Behandlung von Wunden eingesetzt. Industriell hergestelltes ZnO ist häufig bleihaltig und wird deshalb auch oft mit dem Gefahrensymbol Xn (gesundheitsschädlich) gekennzeichnet.
- **Pigmente:** Pigmente wurden historisch nicht nur wegen ihrer schönen Farben zur kreativen Gestaltung von Holzbauteilen eingesetzt, sondern vor allem wegen ihrer hervorragenden Eigenschaften, das Holz vor UV-Strahlen zu schützen. Früher wurden helle Grautöne, seltener Rottöne oder Grün verwendet, seit der Gründerzeit überwogen Brauntöne. Im Jugendstil kam dann noch weiß dazu, meist als Bleiweiß, später Baryt- oder Titanweiß.

4.4.2.3 Polyester - keine Beschichtung, aber zur Reparatur von kleinen Holzfehlern

Ester entstehen bei der Reaktion von einer organischen Säure mit einem Alkohol. Wenn organische Moleküle sowohl über eine Säuregruppe als auch über eine Alkoholgruppe verfügen, können sie sich in langen Ketten unter Esterbildung zu Polymeren aneinanderhängen und bilden so Polyester. Diese Reaktion ist auch möglich, wenn zweiwertige Alkohole mit Dicarbonsäuren reagieren. Werden höherwertige Alkohole eingesetzt, bilden sich dreidimensional vernetzte Riesenmoleküle. Die bekannteste Verbindung ist PET (Polyethylenterephthalat), welches als Thermoplast zur Herstellung von Folien und Textilfasern verwendet wird.

Polyesterspachtelmassen können für kleinere Ausbesserungsarbeiten als Ersatzstoff für Holz verwendet werden. Vor größeren Ausbesserungen von Löchern oder Rissen im Holz ist wegen der unterschiedlichen Diffusionseigenschaften (Feuchtigkeit) und des



unterschiedlichen Temperaturverhaltens zwischen Holz und Polyester grundlegend abzuraten.

4.4.2.4 Alkydharze und ihre Lacke

Alkydharze sind synthetische Polyesterharze. Sie werden in der Regel in einer Umesterung von natürlichen Ölen hergestellt, wobei die natürlichen Fettsäuren an den Glycerinbauteilen (dreiwertiger Alkohol) durch andere natürliche oder synthetische Fettsäuren ausgetauscht werden können. Diese können beliebig variieren in ihrem Anteil an ungesättigten Bindungen oder der Anzahl mehrbasiger Carbonsäuren. Diese Flexibilität eröffnet eine unüberschaubare Vielfalt an Zusammensetzungen und technischen Spezialanwendungen. Die Systematik teilt die Alkydharze nach der Höhe des Ölgehaltes relativ zum Glyceringehalt ein und kennt kurzölige (<40 %), mittelölige (40-60 %) und langölige Alkydharze (>60 %). Kurzkettige Alkydharze werden als Bindemittel in Einbrennlacken eingesetzt, mittelölige in luft- und wärmetrocknenden Industrielacken und langölige für Maler- und Bautenlacke und für Korrosionsschutzfarben. [22]

Lösungsmittel ist zumeist Testbenzin, welches wegen seines hohen Aromatengehalts besonders gesundheitsgefährdend ist. So enthalten, nach der Richtlinie des Verbands der Deutschen Lackindustrie, „Alkydharzlacke aromatenarm“ immer noch bis zu 15 % als Lösemittel, „Alkydharzlacke aromatenfrei“ maximal 1 % [23].

Alkydharzlacke sind heute bei der Sanierung von Bauteilen, die bisher in historischer Weise mit Leinöl beschichtet wurden, das am ehesten verträgliche Kunstharzsystem, da sie auch in diffusionsoffener Qualität hergestellt werden können. Lerner und Leutgeb weisen aber in [13] ausdrücklich darauf hin, dass gerade bei ursprünglich mit Alkydharz-beschichteten Bauteilen wegen der Verwendung von Materialien mit ungünstigen Diffusionsqualitäten häufig massive Feuchtigkeitsschäden aufgetreten sind. Der Vorteil von Alkydharzsystemen gegenüber einem Beschichtungssystem auf Leinölbasis ist der bessere Verlauf der Farbe und das Ausbleiben des Kreidens. Hier können Anstriche ohne bleibende Pinselstriche erzielt werden. [13]

4.4.2.5 Acrylate

Acrylate sind die Salze, Ester und konjugierte Basen von Acrylsäure und ihren Derivaten.

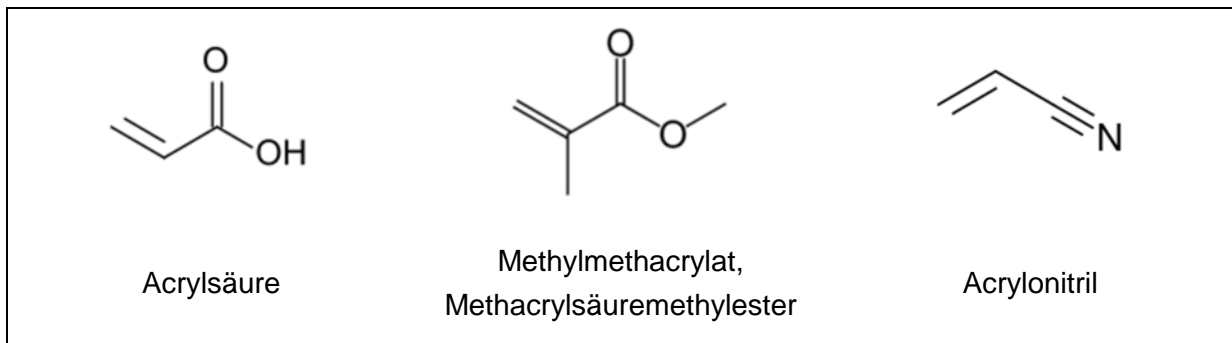
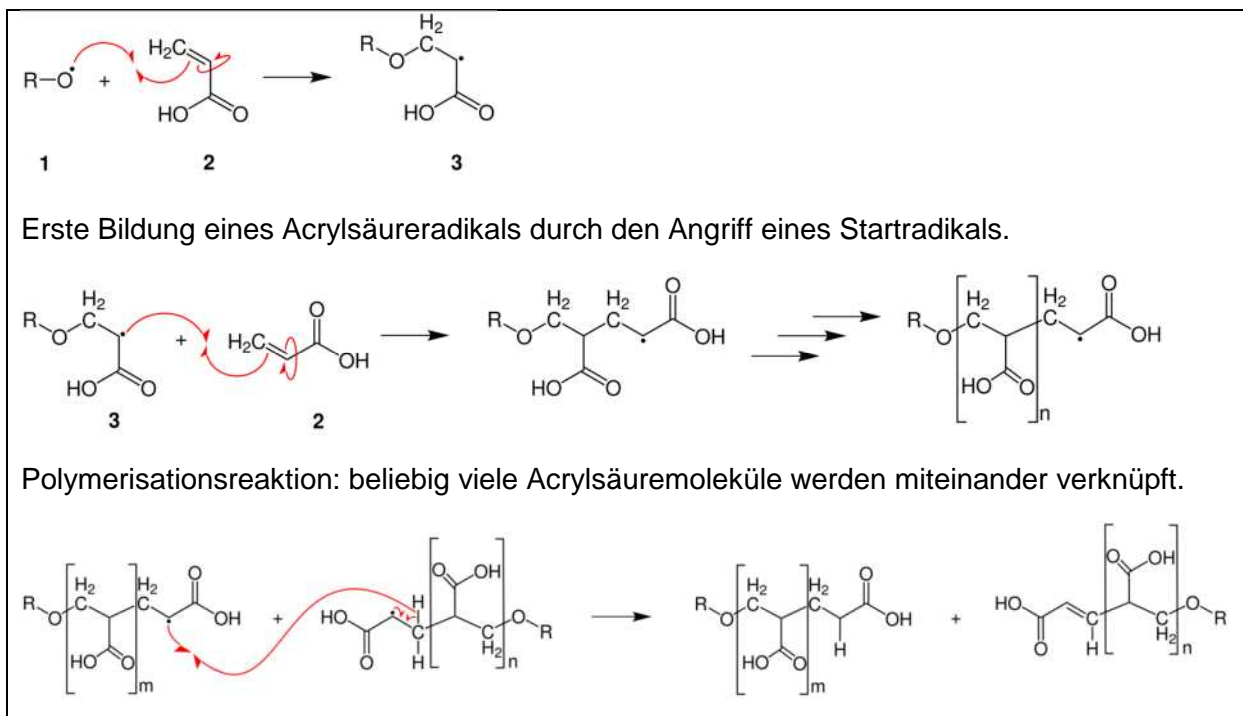


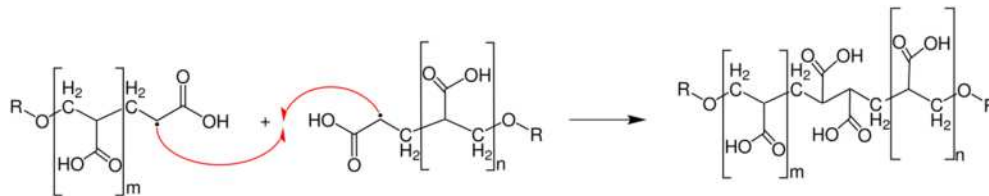
Abbildung 77: Monomere in der Herstellung von Acrylpolymeren

Acrylsäuremonomere werden über einen radikalischen Mechanismus miteinander verknüpft. Als Radikalbildner dienen dabei zum Beispiel Peroxide oder Azoverbindungen, in Abbildung 78 mit 1 gekennzeichnet. Dieses Startradikal kann an der Doppelbindung der Vinylgruppe der Acrylsäure (2 in Abbildung 78) angreifen, hängt sich über eine Sauerstoffbrücke (Etherbindung) an die Acrylsäure und überträgt das freie Radikal an die Acrylsäure (3 in Abbildung 78). Dieses kann nun eine weitere Acrylsäure angreifen und so fort. Es bildet sich ein beliebig langes Polymer, solange, bis eine der beiden Abbruchreaktionen stattfindet.





Erste Variante der Abbruchreaktion: Zwei radikale Polymere treffen aufeinander, ein Radikal übernimmt das Wasserstoffatom des anderen Moleküls, wodurch es sein Radikal an das andere Polymer übergibt, welches nun zwei Radikale besitzt, die sich in einer Doppelbindung neutralisieren können.



Zweite Variante der Abbruchreaktion: Die beiden Radikale von zwei Polymeren neutralisieren sich in der Bildung einer kovalenten Bindung zwischen den beiden Polymeren, die beiden Polymere werden also zu einem riesigen Polymer verbunden.

Abbildung 78: Polymerisationsschema von Polyacrylsäure

Acrylharze sind synthetische Harze aus der Acrylsäure oder der Methacrylsäure und gelten als besonders haltbar. Reinacrylate bestehen nur aus Acryl- und/oder Methacrylverbindungen. Meistens werden jedoch noch andere Monomere wie Styrol, Vinyltoluol oder Vinylester, also ungesättigte Monomeren, copolymerisiert.

Acryllacke sind Lacke auf Basis von Acrylharzen. Als Lösungsmittel kommen organische Lösemittel zum Einsatz, in Wasser können sie als Dispersion in Lösung gehalten werden. Alternativ werden sie auch als Pulverlack eingesetzt. Einmal ausgehärtet sind Acrylharzlacke dauerhaft haltbar und fest, glänzen und sind witterungsbeständig. Wasserverdünnbare Acrylharzfarben enthalten immer noch beträchtliche Anteile (>10 %) an Lösemittel als Emulgatoren und Filmbildehilfsmittel und, zur Konservierung vor bakteriellem Befall, auch Biozide. Acrylharze enthalten mitunter erhebliche Mengen an Lösemittel, die beim Trocknen in die Umwelt gelangen. Die darin enthaltenen hochsiedenden Anteile können unter Umständen auch lange Zeit nach Aufbringen der Schichte ausdampfen (tertiäre Amine, Glykolverbindungen, Weichmacher). Der Gehalt an Restmonomeren kann bis zu 0,01 % betragen. [22]

Unter den Wasserlacken sind die Acrylharzlacke das meist verwendete System. Sie sind weniger spröde als Polyurethanlacke, dafür auch weniger hart. Die Kombination zu Acryl-Urethan-Copolymeren vereint die Eigenschaften beider Lacke.

Bei der Beschichtung neuer Fenster sind solche Acryl-Urethan-Copolymerensysteme eine vertretbare Alternative, auch bei der Sanierung von nicht ölbasierten Fenstern. Historische Fenster, die ursprünglich mit einem ölbasierten System behandelt wurden, sollten auf keinen Fall mit einem Wasserlack saniert werden, da eine langfristige Haftung auf dem Untergrund nicht gewährleistet werden kann und der Lack nach einiger Zeit wieder abblättert.



Acrylbasierte Deckbeschichtungen sind im allgemeinen Diffusionsbremsen und verursachen im Holz einen Feuchtestau, oft gekoppelt mit Pilzbefall. [13]

Acryldichtstoffe sind chemisch nicht reaktive Dichtstoffe, Ein-Komponenten-Systeme auf Basis von Acrylat-Dispersionen. Sie emittieren Butanol oder Glykolverbindungen und Alkane und enthalten in der Regel Weichmacher in Form von Phthalaten. Wegen ihrer Sprödigkeit sind sie ungeeignet für Bewegungsfugen. Sie sind überstreichbar, weshalb sie meist den silikonbasierten Dichtstoffen vorgezogen werden. [22]

Im Korrosionsschutz finden Acrylharze als Grundierung nur unter Zugabe von Additiven wie Haftvermittlern und Pigmenten Anwendung. Anschließend kann mit einem mit Füllstoffen versetzten Acrylharz beschichtet werden. Solche Systeme finden bei der Instandhaltung von großen Stahlbauteilen wie Stahlbrücken ihre Anwendung.

Acrylsysteme sind auch die Basis vieler Klebstoffe, die am Bau ihre Anwendung finden.

4.4.2.6 Polyurethane

Lacke auf Basis von Polyurethanen (siehe auch 7.2) gehören zu den Reaktionslacken, reagieren also nach dem Aufbringen mit Luft oder Komponenten des Lacks aus. Sie bilden besonders harte und abriebfeste Beschichtungen und sind beständig gegen Chemikalien. Daher werden sie als Beschichtungen für Holz, Beton, Kunststoffe und Metalle eingesetzt. Als 1-Komponenten-System enthalten sie ein modifiziertes Polyisocyanat, welches erst mit Luftfeuchtigkeit reagiert. Im 2-Komponenten-System werden Polyisocyanat und Polyolkomponente kurz vor dem Auftrag gemischt. Neben Lösemitteln (Ketone, Ester oder Glykole mit Siedepunkten um 145 °C) können auch Weichmacher wie Tris-octyl-phosphat enthalten sein. Auf jeden Fall problematisch sind aber die Isocyanate. Isocyanatdämpfe, insbesondere von HMDI, können neben Reizerscheinungen an Haut und Schleimhaut auch Hornhautschädigungen, Kontaktekzeme und toxische Dermatitis verursachen. MDI und TDI wirken stark sensibilisierend. Wer sensibilisiert ist, reagiert bereits auf sehr geringe Konzentrationen heftig, auch mit Isocyanat-Asthma. Durch Isocyanat ausgelöste Atemwegserkrankungen können als Berufserkrankung anerkannt werden. Weitere Gesundheitsgefahren gehen von eventuell enthaltenen Aminen aus, die als Härter zugesetzt wurden.

Wegen ihrer guten Haftung auf fast allen Materialien werden Polyurethane gerne auch als 1-K- oder 2-K-Kleber im Bau eingesetzt.



5 Heizung

Im Projekt IDSolutions wurden Innendämmsysteme, kombiniert mit verschiedenen Energieträgern, ökologisch und ökonomisch bewertet (siehe Kapitel 3) sowie im Ergebnisbericht, welcher nach Abschluss des Projekts auf www.hausderzukunft.at publiziert wird). Aus den ausführlichen Projektergebnissen sind die zu erwartenden Kosten und Umweltwirkungen für die Errichtung des Wärmedämmsystems und die Raumheizung (abhängig vom Energieträger) ablesbar – auch für den Fall, dass keine Innendämmung angebracht wird. Erfolgt im Zuge der Sanierung auch ein Wechsel zu einem anderen Heizsystem, so fehlen in der Betrachtung lediglich die durch die Herstellung dieses Systems verursachten Umweltwirkungen und Kosten.

Im Forschungsprojekt „baubookPlus“ [24] wurden Ökobilanzen für Haustechniksysteme erstellt. Insbesondere sind die bauökologischen Richtwerte für Heizungsanlagen auf der Plattform baubook veröffentlicht und können im Ökobilanzrechner eco2soft verwendet werden.²

Eine ökonomische Bewertung der Heizsysteme erfolgt an dieser Stelle nicht, da die Kosten für die Anschaffung variieren und im Einzelfall leicht recherchiert werden können.

² <http://www.baubook.info> bzw. <http://www.baubook.info/eco2soft/>



6 Lüftung

Aus energetischen Gründen und erhöhten Anforderungen an die Raumluftqualität wird der Einbau einer Lüftungsanlage empfohlen. Mögliche Ausführungen für die Anwendung - bezogen auf einzelne Nutzungseinheiten - sind dezentrale Lüftungssysteme wie z.B. Einzelraum-Lüftungsgeräte (mit Wärmetauscher zur Wärmerückgewinnung) oder der Einbau eines Lüftungsgerätes pro Wohnung mit wohnungsinterner Leitungsführung.

Für den Einbau von handelsüblichen Einzelraumlüftungen sind Außenwanddurchbrüche erforderlich, die je nach Lage und Anzahl der belüfteten Räume Auswirkungen auf das Erscheinungsbild der Fassade - besonders bei gegliederten Fassaden - haben können. Bei dezentralen Systemen mit einem Lüftungsgerät in einem Nebenraum (Abstellraum, Badezimmer etc.) reduzieren sich die Durchbrüche nach außen auf je einen für Frischluft und Fortluft. Diese können meist hofseitig angeordnet werden.

Interne Leitungsführung ist so zu planen, dass die Leitungsführungen möglichst kurz sind. Die große Geschoßhöhe in Gründerzeithäusern kommt dem Einbau entgegen, da abgehängte Decken auch im Nachhinein gut zu integrieren sind.

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Umweltparameter für drei verschiedene Lüftungsanlagen aufgelistet (Quelle: „Ökovergleich von Gebäuden“ [25]:

	GWP [kg CO2 eq.]	AP [kg SO2 eq.]	PEI n.e. [MJ]
Einzelraumlüfter	65,55	0,26	1695,78
Lüftungsanlage inkl. nachgeschaltetem Luftverteilsystem	1287,85	14,14	20402,79
Lüftungsanlagen-Kompaktgerät mit Wärmepumpe und Zulufterwärmung inkl. Luftverteilsystem	2866,22	22,62	36240,10

Tabelle 1: Herstellung von Lüftungsanlagen – Umweltparameter GWP, AP und PEI n.e.

Auch im derzeit laufenden Forschungsprojekt „HEROES - Häuser für Energie und RessourcenEffiziente Siedlungen“³ werden Haustechniksysteme analysiert. Zu Projektende werden Defaultwerte für typische Systeme auf baubook zur Verfügung stehen.

³ Informationen zum Projekt siehe <http://www.hausderzukunft.at/results.html/id7777>



Eine ökonomische Bewertung der Lüftungsanlagen erfolgt an dieser Stelle nicht, da die Kosten für die Anschaffung variieren und im Einzelfall leicht recherchiert werden können.



7 Glossar

7.1 Styrol

Rohstoff für Styrol-Butadien-Kautschuke, EPS- und XPS-Platten. Ethen und Benzol werden in einer Friedl-Crafts-Alkylierungsreaktion zu Ethylbenzol umgesetzt und im darauffolgenden Herstellungsschritt unter Anwesenheit von Festbettreaktoren, in denen Eisenoxiddkatalysatoren verschiedener Zusammensetzung zum Einsatz kommen, zu Styrol dehydriert. Die Herstellung erfordert einen hohen Aufwand an Energie, Chemikalien und Infrastruktur, insbesondere zur Herstellung des Ethylbenzols; prozessbedingt dominieren Emissionen von Kohlenwasserstoffen in die Luft.

Styrol ist nach der CLP seit 28.11.2013 eingestuft mit: STOT RE 1 (Gehörorgäne), Repr. 2, Flam. Liq. 3, Acute Tox. 4, Eye Irrit. 2, Skin Irrit. 2. Das europäische Komitee für Risikobewertung (RAC, Committee for Risk Assessment) erkennt in seiner Beurteilung von Styrol an, dass Styrol darüber hinaus auch die Farbsichtigkeit beeinträchtigt, es konnte aber gegenüber der Industrie nicht rechtfertigen, inwiefern dieser Effekt nachteilig für Betroffene sein soll. Dem Entscheidungsfindungsprozess der RAC ist zu entnehmen, dass Neurotoxizität von Styrol zwar wissenschaftlich erwiesen ist, der Antragsteller auf Neueinstufung aber keine Literatur dazu mitgeliefert hat, die Verhandlungsgegenstand hätte sein können. Darum musste auf die Einstufung als neurotoxisch entfallen. Der RAC war es aber ein Anliegen, ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass Encephalopathie in Europa bei Menschen, die Styrol ausgesetzt waren, als Berufskrankheit anzuerkennen ist. In Österreich gilt zudem die MAK aus dem Jahre 2011, die Grenzwerte für Arbeitsplätze vorsieht, aber die neueste europäische Einstufung noch nicht in Betracht gezogen hat.

Im Jahr 2012 betrug die jährliche Weltproduktion von Styrol etwa 20 Millionen Tonnen.

7.2 PU

Polyurethane (PU) sind das Reaktionsprodukt aus der nukleophilen Additionsreaktion von mehrwertigen Isocyanaten mit zwei- oder mehrwertigen Alkoholen.

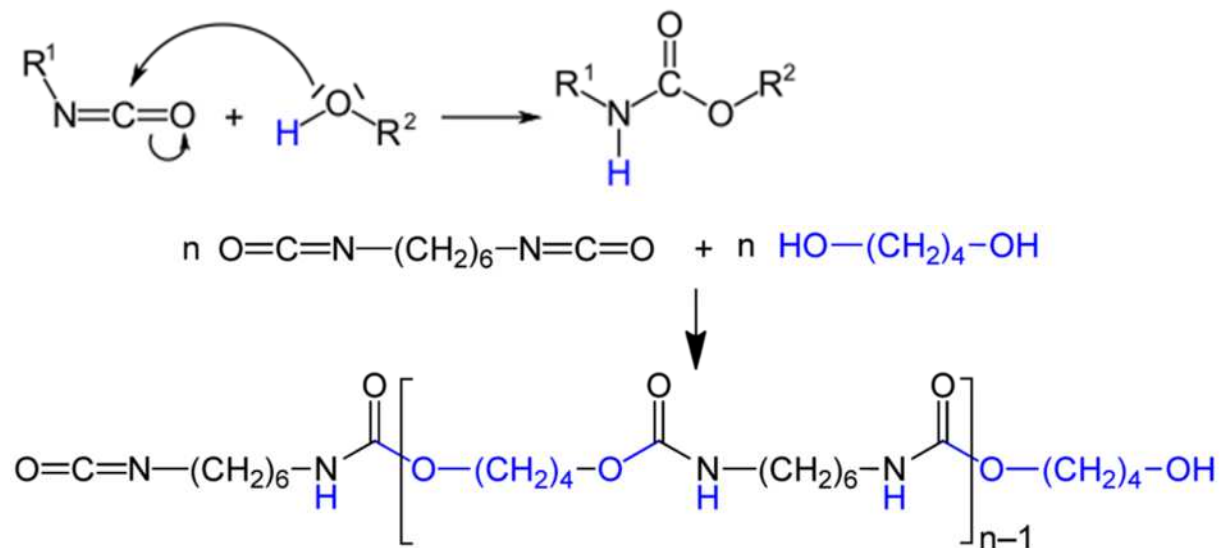


Abbildung 79: nukleophile Addition von Isocyanat an eine Alkoholgruppe - Polyurethane

Die Reaktion von Diisocyanaten mit Diolen führt zu linearen Polymeren. Vernetzte Polyurethane erfordern den Einsatz von Triisocyanat-Diisocyanat-Gemischen und Polyolen. Über den unterschiedlichen Vernetzungsgrad und eine variierbare Engmaschigkeit können also die unterschiedlichsten Kunststoffe erzeugt werden: Duroplaste, Thermoplaste oder Elastomere. Aufgeschäumt finden sie Einsatz in Hart- oder Weichschaumstoffen. Es gibt sie als Gießharze, Kleber textile Faserstoffe oder Lacke. In Gegenwart von speziellen Katalysatoren reagieren Isocyanate auch miteinander und bilden neben den Polyurethanen (PUR) auch Polyisocyanurate (PIR). Diese zeichnen sich durch ein verbessertes flammenschutztechnisches Verhalten aus.

Als Isocyanatkomponenten kommen nur ein paar wenige Stoffe zum Einsatz:

- **Hexamethyldiisocyanat (HDI)**, STOT SE 3 – kann die Atemwege reizen (H335); Resp. Sens. 1 – kann bei Inhalation Senibilisierung, Asthma oder andere Atemwegsbeschwerden hervorrufen (H334); Acute Tox. 3 – giftig bei Einatmen (H331); verursacht außerdem Allergien an Haut, und Augen;
- **Toluylendiisocyanat (TDI)**: Carc. 2 - kann Krebs erzeugen (H351); STOT SE 3 - kann die Atemwege bei einmaliger Exposition schädigen (H335); Resp. Sens. 1 - kann bei Inhalation Senibilisierung, Asthma oder andere Atemwegsbeschwerden hervorrufen (H334); Acute Tex. 2 – tödlich bei Inhalation (H330); Aquatic Chronic 3 – gefährlich für Wasserorganismen mit Langzeitwirkung (H412); TDI wird industriell unter Hochdruckbedingungen hergestellt, was die Wahrscheinlichkeit eines Phosgenaustritts (siehe Kapitel 7.3) begünstigt.
- **Methyldi(phenylisocyanat) (MDI)**: STOT RE 2 – zielorgantoxisch bei wiederholter Exposition (H373); Carc. 2 - kann Krebs erzeugen (H351); STOT SE 3 –



zielorgantoxische bei einmaliger Exposition (H335); Acute Tox. 4 – schädlich beim Einatmen (H332); außerdem verursacht es Allergien an Haut und Augen;

- **Polymeres Diphenylmethandiisocyanat (PMDI)**: auch technisches MDI genannt; ist ein Stoffgemisch aus MDI und homologer aromatischer Polyisocyanaten; wird als Bindemittel in Holzwerkstoffplatten, insbesondere bei OSB-Platten eingesetzt und ist ein Ausgangsstoff zur Herstellung von Polyurethanen; STOT RE 2 – zielorgantoxisch auf Atemwege bei einmaliger und wiederholter Exposition (H335 und H373); kann Krebs erzeugen (H351); Acute Tox. 2 – tödlich bei Einatmen (H330); sensibilisierend auf Haut und in Augen;
- **4,4'-Methylen dianilin (MDA)**: STOT SE 1 – schädigt die Organe bei einmaliger Exposition (H370); Carc. 1B – kann Krebs erzeugen (H350); Aquatic Chronic 2 - giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung (H411);
- **Naphthylendiisocyanat (NDI)**: STOT SE 3 – zielorgantoxisch bei einmaliger Exposition (H412); Aquatic Chronic 3 - chronisch Gewässergefährdend (H412); Resp. Sens. 1 – kann Allergien oder Asthma hervorrufen (H334); Aquatic Chronic 3 – gefährlich für Wasserorganismen mit Langzeitwirkung (H412); allgemein sensibilisierend;
- **Isophorondiisocyanat (IPDI)**: STOT SE 3 – zielorgantoxisch bei einmaliger Exposition (H412); Aquatic Chronic 3 - chronisch Gewässergefährdend (H412); Resp. Sens. 1 – kann Allergien oder Asthma hervorrufen (H334); Aquatic Chronic 2 - giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung (H411); allgemein sensibilisierend;
- **4,4'-Diisocyanatodicyclohexylmethan (H12MDI)**: STOT SE 3 - zielorgantoxisch bei einmaliger Exposition (H412); Resp. Sens. 1 - kann Allergien oder Asthma hervorrufen (H334); Acute Tox. 3 – giftig bei Inhalation (H331); allgemein sensibilisierend;

Wenn Polyurethane ausreagiert haben und keine Monomere mehr vorhanden sind, sollten sie in der Regel gesundheitlich unbedenklich sein.

Die Herstellung der Grundbausteine von Polyurethanen, insbesondere die der Isocyanate, ist ein komplexer mehrstufiger Prozess, an dessen Abfolge eine Reihe von gesundheitsgefährdenden Zwischen- und Nebenprodukten beteiligt sind: → Phosgen (COCl₂, H330, Lebensgefahr beim Einatmen), MDI, MDA, Benzol (Carc. 1A – kann Krebs erzeugen (H350), Muta. 1B – kann genetische Defekte verursachen (H340), STOT RE 1 - schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition (H372), Anilin (Carc. 2 - kann vermutlich Krebs erzeugen (H351); Muta. 2 - kann vermutlich genetische Defekte verursachen (H341); Aquatic Acute 1 - sehr giftig für Wasserorganismen (H400)) und Chlorgas (eingesetzt in Syrien 2014; Acute Tox. 2 - Lebensgefahr beim Einatmen (H330)).



Die Gefährlichkeit der eingesetzten Isocyanate ist nicht zuletzt dadurch belegt, dass ein ganzes Krankheitsbild danach benannt wurde: Isocyanat-Asthma ist eine lebensbedrohliche Krankheit.

7.3 Phosgen

Phosgen (COCl_2 , H330, Lebensgefahr beim Einatmen; H314, verursacht schwere Verätzungen); Phosgen ist ein sehr giftiges Gas, das in industriellen Prozessen nur noch in hermetisch abgeriegelten Apparaturen zum Einsatz kommen darf.

In wässriger Umgebung zersetzt es sich zu CO_2 und Salzsäure. Bei Einatmen verätzt die Salzsäure das Lungengewebe und die Alveolen. Nach etwa 2 Stunden stellen sich Husten, Zyanose und Lungenödeme ein, die meist zum Tod führen. In organischen Lösungsmitteln gelöst verstärkt sich die Giftigkeit.

Phosgen wurde als chemischer Kampfstoff eingesetzt. Heute ist es als solcher international geächtet. Als wichtiger Synthesebaustein für viele Kunststoffe eingesetzt (PVC, PU).

7.4 Dicumylperoxid

Flammschutzmittel in EPS- und XPS-Platten, Vernetzungsmittel für Polyolefine und Elastomere, Härter von ungesättigten Polyesterharzen. Dicumylperoxid ist die Kurzbezeichnung für Bis(1-methyl-1-phenylethyl)peroxid ($\text{C}_{18}\text{H}_{22}\text{O}_2$). Es ist in H242 (Erwärmung kann Brand verursachen), H315 und H319 (Verursacht Hautreizungen und verursacht schwere Augenreizung) und in H411 (Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung eingestuft).



8 Literatur

1. Wehdorn, M., C. Abrihan, and K. Zingl, *Denkmalpflege und Bausanierung Skript Teil-1*.
2. Austria, S., *Registerzählung*. 2011.
3. Steiner, T. and K. Keintzel-Lux, *21 Themen des gründerzeitlichen Gebäudebestands - Gründerzeit-Toolbox Beitrag 1*. *ibOmagazin*, 2014. **4/14**.
4. Giebler, G., et al., *Gründerzeitbauten 1870-1920*, in *Atlas Sanierung - Instandhaltung, Umbau, Ergänzung*, E. Detail, Editor. 2008, Birkhäuser Verlag AG: München.
5. Zelger, T., T. Waltjen, and e. al., *PH-Sanierungsbauteilkatalog: Zweite Ausbaustufe PH-SanPlus*. 2012.
6. Giebler, G., et al., *Zwischenkriegsbauten 1920-1940*, in *Atlas Sanierung - Instandhaltung, Umbau, Ergänzung*, E. Detail, Editor. 2008, Birkhäuser Verlag AG: München.
7. Giebler, G., et al., *Nachkriegsbauten 1950-1965*, in *Atlas Sanierung - Instandhaltung, Umbau, Ergänzung*, E. Detail, Editor. 2008, Birkhäuser Verlag AG: München.
8. Giebler, G., et al., *Wohlstandsbauten 1965-1980*, in *Atlas Sanierung - Instandhaltung, Umbau, Ergänzung*, E. Detail, Editor. 2008, Birkhäuser Verlag AG: München.
9. RAC, C.f.R.A., *Opinion proposing harmonised classification and labelling at EU level of Styrene*. 28.11.2012.
10. IBO im Auftrag der Projektgruppe des Interreg IIIA Alpenrhein, B., Hochrhein-Projekts "Ökologisch Bauen und Beschaffen in der Bodenseeregion" (Umweltverband Vorarlberg, Stadt Konstanz, Stadt Bad Säckingen, Stadt Ravensburg, Umweltbüro des Gemeindeverwaltungsverbandes Donaueschingen, Hüfingen und Bräunlingen, Energie & Umweltzentrum Allgäu und Energieinstitut Vorarlberg), *Ökoleitfaden: Bau / Kriterienkatalog für die ökologische Ausschreibung*. IBO-Endbericht vom 17.01.2007, 2007.
11. Hoffmann, H.D., *Luftqualität im Passivhaus Darmstadt. Bewertung von Styrolexpositionen*. BASF Abteilung Toxikologie. Oktober 1994.
12. Uwe Münzenberg, J.T., *Raumluftqualität in Passivhäusern*, a.a. GmbH, Editor. 2003.
13. MA22, Ö., *Leitfaden Fenstersanierung*. 2009.
14. *Technische Regeln für Gefahrstoffe, TRGS 505 Blei*. Ausgabe Feber2007.
15. Reimers, M., *Leserzuschrift "Innendämmung ohne Dampfbremse"*. 2007.
16. Steiner, T. and G. Lux, *Kastenfenster zeitgemäß modernisieren*. *IBOmagazin*, 2014. **1/2014**.
17. Michael Truskaller, G.G., Susanne Bollmus, *Feuchtehaushalt und Abwitterungsverhalten von modifiziertem Holz* Tagungsband Wiener Holzforschungstage 2010.
18. Köckl, I., *Chemie der Farbmittel in der Malerei*. 2015, Berlin/München/Boston: De Gruyter.
19. Alberti, L.B., *De re aedificatoria*, in *architektonischer Traktat*. 1452, Rom.
20. Richard Bermppohl, H.W., *Das Tischlerbuch*. 1952: Gütersloh.
21. Stoffdatenbank, G. [cited 2015 5.5.2015].
22. Gerd Zwiener, H.M., *Ökologischen Baustoff-Lexikon*. 2006, C.F.Müller Verlag: Heidelberg.



23. Druckfarbenindustrie, V.d.d., *VdL-Richtlinie 01, Richtlinie zur Deklaration von Inhaltsstoffen in Bautenlacken, Bautenfarben und verwandten Produkten*, VdL, Editor. 2013.
24. Mötzl, H. and B. Lipp, *Baubook plus Erweiterung einer umfassenden Wissensbasis für nachhaltiges Bauen*. 2012.
25. Mötzl, H., *Endbericht "Ökovergleich von Gebäuden - Teilprojekt: Ökobilanzierung der Haustechniksysteme"*. Studie im Auftrag von OFI Technologie & Innovation GmbH. 2014: Wien.