

**Diplomarbeit zur eidgenössischen höheren Fachprüfung Expertin /
Experte für gesundes und nachhaltiges Bauen**

**Sanierung Wohnung Erdgeschoss Lettenstrasse 3 in
Winterthur**



Verfasser: Roger Rennhard

Ort, Datum: Winterthur, 9. September 2024

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	- 4 -
2	HAUPTTEIL	- 5 -
2.1	Zustandsanalysen	- 5 -
2.1.1	Allgemeiner Zustand Gebäude	- 7 -
2.1.2	Allgemeiner Zustand Wohnung.....	- 9 -
2.1.3	Blower Door Test	- 10 -
2.1.4	Analyse Bodenschüttung	- 13 -
2.1.5	Raumluftmessung	- 16 -
2.1.6	Radon.....	- 19 -
2.2	Raumklima Wohnung EG	- 20 -
2.2.1	Raumklima Winter.....	- 20 -
2.2.2	Raumklima Sommer.....	- 20 -
2.3	Bauliche Massnahmen Wohnung EG	- 22 -
2.3.1	Esszimmer (Radonsanierung).....	- 22 -
2.3.2	Böden mit originalem Parkettboden	- 24 -
2.3.3	Massnahmen Raumklima.....	- 26 -
2.4	Energetische Massnahmen Gebäude	- 27 -
2.4.1	Heizung	- 27 -
2.4.2	Photovoltaikanlage.....	- 32 -
2.5	Biodiversität Aussenraum	- 37 -
2.6	Innere Verdichtung Gebäude	- 40 -
2.7	Kostenschätzung	- 42 -
3	FACHLICHES FAZIT	- 43 -
4	SCHLUSSWORT	- 44 -
5	QUELLENVERZEICHNIS	- 45 -
6	ANHÄNGE	- 46 -

PERSÖNLICHE VORSTELLUNG



Liebe Leserin, lieber Leser

Herzlichen Dank, dass Sie sich die Zeit nehmen die vorliegende Arbeit zu lesen!

Ich bin Roger Rennhard, aufgewachsen im Dorf Teufen im Zürcher Unterland. Seit 2015 lebe ich zusammen mit meiner Frau Andrea und unserer Tochter Mona in Winterthur. Bis vor kurzem lebte zudem unser Pflegesohn Faramarz, welcher vor sieben Jahren als unbegleiteter minderjähriger Asylsuchender in die Schweiz kam, bei uns.

In meiner Freizeit bin ich gerne in der Natur: vor allem die Berge haben es mir angetan. Ich geniessen im Sommer die Berge bei einer Wanderung oder Klettertour, im Winter bei einer Skitour.

Nach einer abgeschlossenen Lehre als Hochbauzeichner absolvierte ich ein Bachelor-Studium als Architekt an der ZHAW in Winterthur. Von 2017 bis 2023 führte ich zusammen mit zwei Partnern das Architekturbüro BUREGA Architekten in Rorbas. Aktuell arbeite ich als freier Mitarbeiter in meinem ehemaligen Büro und bei Oliver Christen Architekten.

In diesen berufstätigen Jahren merkte ich, dass es mir nicht genügt, mich nur in der Freizeit für die Umwelt und das Klima einzusetzen. Unter den heutigen klimatischen Bedingungen erachte ich es als meine Pflicht, mein Wissen und meine Erfahrungen auch im Beruf weiterzugeben.

Nach meiner abgeschlossenen Ausbildung zum «Experten in gesundem und nachhaltigem Bauen HFP» möchte ich mich in diesen Bereich vertiefen. Ich werde eine eigene Firma gründen und sowohl AuftraggeberInnen wie auch ArchitektInnen darin unterstützen.

1 EINLEITUNG

Obwohl jedes Gebäude ein Unikat ist, tauchen bei vielen Umbauten und Sanierungen dieselben Themen auf. Um als zukünftiger Experte für nachhaltiges Bauen möglichst praxisnahe Beratungen durchführen zu können, soll in der vorliegenden Arbeit eine mögliche Sanierung unserer eigenen Wohnung betrachtet werden. Zudem werden Themen behandelt, welche das gesamte Gebäude betreffen. Dieses befindet sich zusammen mit einer zweiten Partie im Stockwerkeigentum (STWEG) zu fünfzig Prozent im Besitz der Familie Rennhard.

Das Ziel der Arbeit ist es, anhand von verschiedenen Analyseverfahren, Schwerpunkte für eine Sanierung nach baubiologischen und gesundheitlichen Aspekten zu bestimmen. Der Schwerpunkt lag in einer ersten Phase bei verschiedenen Messungen und deren Auswertung (Kapitel 2.1). Aufgrund der Messergebnisse kristallisierten sich danach vor allem gesundheitliche Aspekte für die praktischen Umsetzungen heraus. Dies betraf in erster Linie zu hohe Radonwerte und ein möglicher Schadstoffeintrag, durch die Schlacke im Zwischenboden der Wohnung.

Bezüglich des gesamten Gebäudes wurden einige Massnahmen, wie der Bau einer Photovoltaik-Anlage, bereits durch die STWEG-Gemeinschaft entschieden. Für andere Punkte, wie dem möglichen Heizungsersatz, soll die vorliegende Arbeit als Entscheidungsgrundlage für eine zukünftige Sitzung dienen. Energetischen Massnahmen wie der Heizungsersatz und der konkreten Umsetzung der Photovoltaikanlage werden unter Betrachtung des ganzen Gebäudes unter Punkt 2.4 behandelt. Zudem wurde die Umgebung (Kapitel 2.5) und eine mögliche innere Verdichtung (Kapitel 2.6) berücksichtigt.

Die vorgeschlagenen Massnahmen innerhalb der Wohnung des Verfassers sollen dabei in einem möglichst grossen Umfang durch Eigenleistung ausgeführt werden. Dadurch kann ein tieferer und umfassenderer Einblick in die verschiedenen Bereiche und die Konsequenzen der vorgeschlagenen Massnahmen erzielt werden.

Die Sanierung wird in Etappen geplant, damit die Wohnung dauerhaft bewohnt bleiben kann. Erkenntnisse aus abgeschlossenen Arbeiten können so in die weiteren Sanierungsschritte einfließen.

2 HAUPTTEIL

2.1 Zustandsanalysen

Das Gebäude an der Lettenstrasse 3 wurde im Jahr 1899 durch Carl Müller (Ziegler-Sulzer) erstellt. Er war Baumeister und Mitbegründer der «AG Baugeschäft Wülflingen», aus welcher hundert Jahre später die «BWT Bau AG» entstand, welche heute immer noch aktiv ist.

Das Gebäude wurde in den Jahren 1929 bis 1931 umgebaut und erhielt dabei einen Dachaufbau (Estrich) über dem Mansardendach. Dabei wurde auch das Sichtbacksteinmauerwerk im Obergeschoss verputzt, sowie der auf Bild 1 ersichtliche «Wintergarten» mit Terrasse in Holzkonstruktion durch einen in Massivbau ersetzt. Wahrscheinlich wurde damals auch die Terrasse auf der Südseite des Gebäudes erstellt.

In den Jahren 1995/96 fand die letzte grosse Sanierung statt. Dabei wurden sämtliche Installationen (Elektro, Sanitär- und Heizungsinstallationen) ersetzt. Neu wurde eine Gasheizung inkl. Wärmeverteilung mit Radiatoren erstellt. Die Küche wurde räumlich verschoben. Der in Bild 2 ersichtliche «Wintergarten» wurde abermals abgebrochen und mit einem zweigeschossigen Anbau ersetzt, welcher beiden Wohnungen ein grosszügig verglastes Esszimmer ermöglichte. (Baubeschrieb Umbau 1995)¹

In den letzten knapp dreissig Jahren fanden normale Unterhaltsarbeiten statt sowie folgende Arbeiten an der Gebäudehülle und Haustechnik.

2018 Ersatz defekter Gasheizung und Einbau Wärmepumpen-Boiler für das Warmwasser

2019 Dämmung Kellerdecke mit abgehängter Gipskartondecke und Zellulose-Dämmung

2022 Glasersatz in Esszimmern EG und OG



Bild 1: Haus im Originalzustand nach der Fertigstellung um 1900

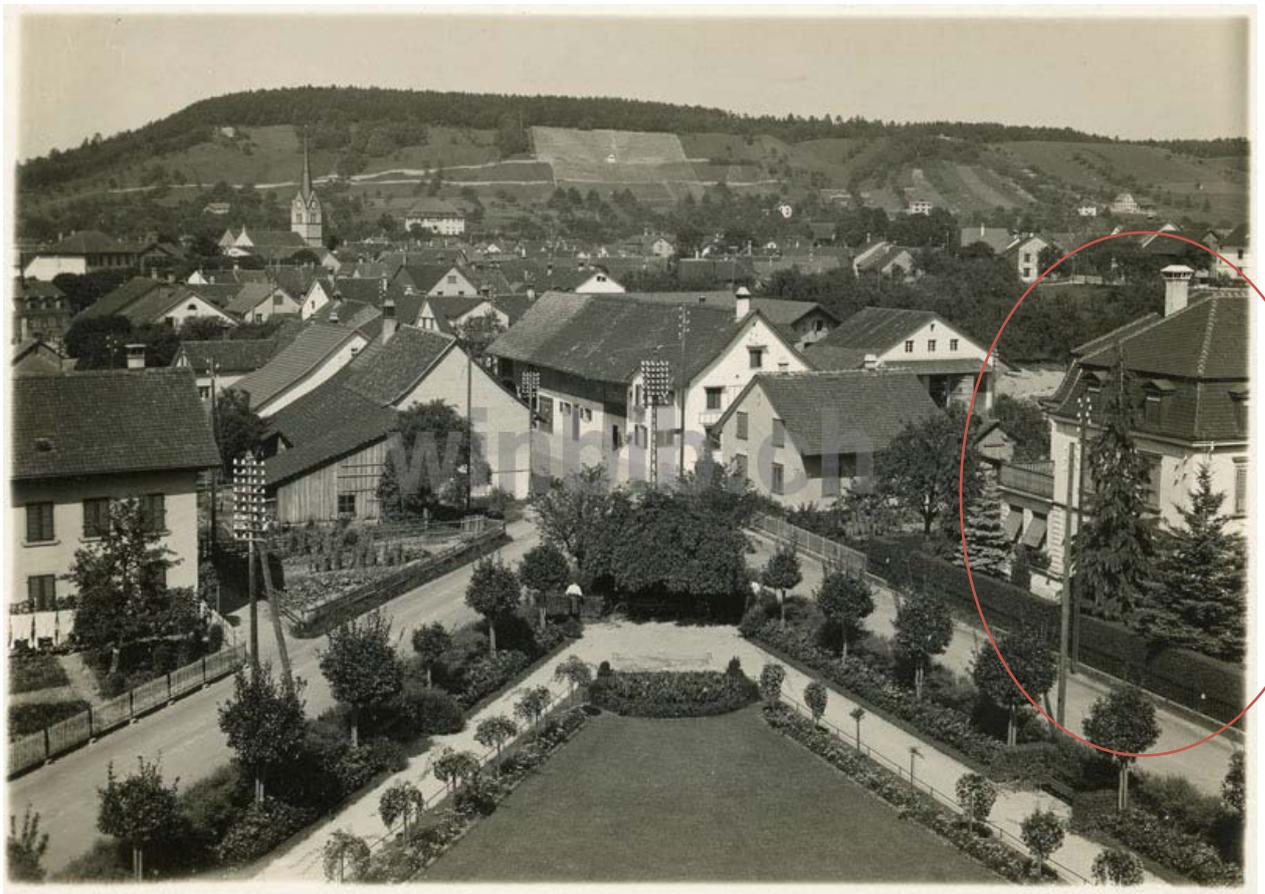


Bild 2: Gebäude am 25.07.1933 nach erfolgtem Umbau von 1929/1931 (Bildarchiv Winterthur)

2.1.1 Allgemeiner Zustand Gebäude



Bild 3: Westfassade



Bild 4: Nord-West Ecke (Esszimmer)



Bild 5: Ostfassade



Bild 6: Südfassade

Die Gebäudehülle, Fassade und Dach, sind grundsätzlich in einem dem Alter entsprechend guten Zustand. Folgende zwei Punkte sollten jedoch innerhalb des nächsten Jahrs angegangen werden:



Die Kehlrinne beim nord-westlichen Dach-einschnitt ist zu schmal ausgeführt. Zwischen den Ziegeln der beiden Dachflächen sind nur 1 - 2cm Platz. Ohne laufende Kontrolle, mindestens alle 3 Monate, können Verstopfungen durch Moosbewuchs zu einem über das Kehlblech hinaus reichendem Wasserrückstau führen. Wasser dringt dadurch ins Gebäude ein und es kann zu Wasserschäden kommen

Bild 7: Kehlrinne, Ausrichtung Nord-West



Die Fensterläden wurden 2016 komplett abgelautet und neu mit einer Ölfarbe gestrichen. Bei einzelnen Läden ist die Farbe bereits stark abgemattet. Diese Läden sollten nachgeölt werden, bevor eine zu weit fortgeschrittene Oxydation dies verunmöglicht.

Bild 8: Fensterladen Ostfassade, Badezimmerfenster

2.1.2 Allgemeiner Zustand Wohnung

Die Wohnung im Erdgeschoss befindet sich wie das Gebäude im Allgemeinen in einem, dem Alter entsprechend guten Zustand.

In der Wohnung fanden in den letzten Jahren bereits folgende Sanierungsarbeiten statt:

- 2015, neuer Anstrich der Küchenfronten aus MDF
- 2016, neuer Küchenboden (Wasserschaden)
- 2018/19, Ersatz defekter Küchengeräte (Gasherd, Kühlschrank, Backofen)
- 2020, Badsanierung

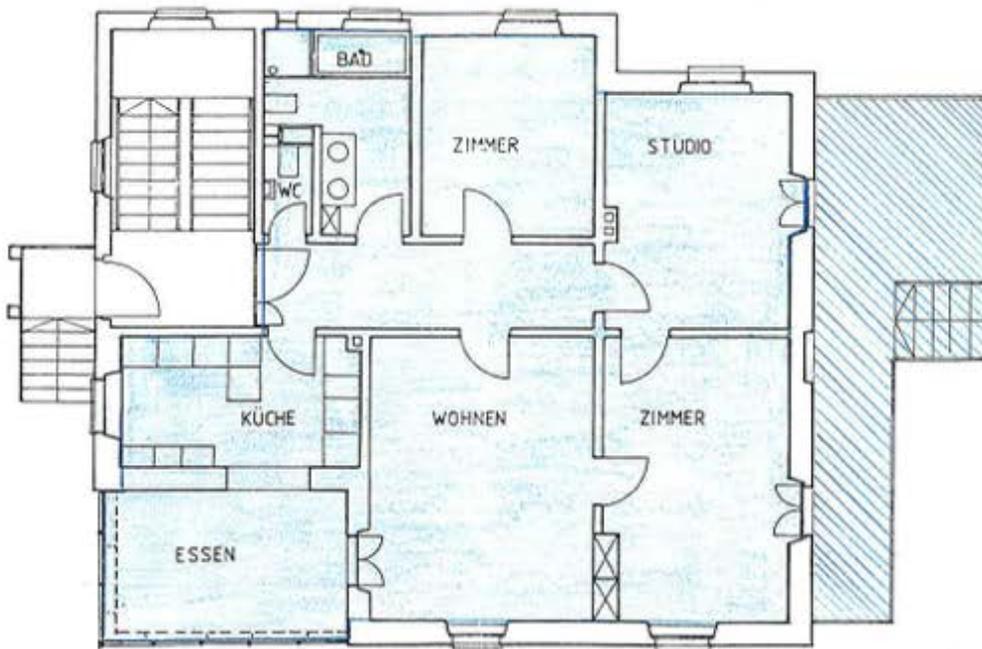


Bild 9: Grundriss Erdgeschoss Lettenstrasse 3, 8408 Winterthur

Aktuell stören sich die BewohnerInnen in erster Linie an der teilweise abblätternden Farbe der Wandtäfer sowie an stark abgenutzten Parkettstellen (Bild 10). Auch an den Küchenfronten sind diverse Stellen auszumachen, an welchen sich die Farbe durch mechanische Beschädigungen oder Wassereinfluss gelöst hat (Bild 11).



Bild 10: abgenutzter Parkettboden



Bild 11: Küchenfront

2.1.3 BlowerDoor Test

Am 20. Juni 2024 wurde eine Luftdichtheitsmessung durch Frank Diebold (QC-Expert AG) und Roger Rennhard durchgeführt. Der BlowerDoor Prüfbericht ist unter Anhang 1 aufgeführt. Auf die Erstellung eines Messberichts durch Frank Diebold wurde verzichtet. Die nachfolgenden Schlüsse erfolgten durch den Verfasser aufgrund des Prüfberichts und der Leckagensuche während der Messung.

Die Messung erfolgte nach der Richtlinie «Luftdichtheit bei Minergie-Baute (RiLuMi), Version 2024.1». Das BlowerDoor Messgerät wurde in der Fenstertüre zur Terrasse eingebaut (Bild 12).

Vor der Messung wurden folgende provisorischen Abdichtungen erstellt:

- Dunstabzug Küche (Auslassöffnung in Fassade abgeklebt)
- Ofen in Wohnzimmer (Abgasrohr mit Ballon verschlossen)
- WC-Abluftventilator abgeklebt
- Wohnungseingangstüre (Bodenfuge unter Türe abgeklebt, ca. $10\text{m}^3/\text{h}$)

Bei der weiteren Leckagensuche von Hand konnten folgende Undichtigkeiten festgestellt werden:

- Die grössten Leckagen sind gegen das Untergeschoss (Fugen zwischen Holzparkett-Elementen (Bild 13) und bei Randabschlüssen des Bodens (z.B. Türschwellen). Letzteres ist nur in den Zimmern mit noch originalem Parkettboden zu finden.
- Einbauschränke (wahrscheinlich auch da über Boden ins UG)
- Elektro Steckdosen (Erschliessung vom UG)
- Wandeintritt Ofenrohr (Luftaustritte um Blende)

Die Messung ergab einen Leckvolumenstrom q_{a50} von $4,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ bezogen auf die Hüllfläche der Messzone.

Für die Beurteilung können folgende Grenz- und Zielwerte berücksichtigt werden:

- | | |
|--|-----|
| - SIA 180, Zielwert Neubauten | 0,6 |
| - SIA 180, Zielwert Umbauten, Erneuerungen | 1,2 |
| - SIA 180, Grenzwert Neubauten mit mechanischer Lüftung | 1,6 |
| - SIA 180, Grenzwert Neubauten mit natürlicher Lüftung | 2,4 |
| - SIA 180, Grenzwert Umbauten, Erneuerungen mit mechanischer Lüftung | 2,4 |
| - SIA 180, Grenzwert Umbauten, Erneuerungen mit natürlicher Lüftung | 3,6 |
| - Minergie, Grenzwert Neubau | 1.2 |
| - Minergie-P / Minergie-A, Grenzwert Neubau | 0.8 |
| - Minergie / Minergie-P / Minergie-A, Grenzwert Erneuerung | 1.6 |

Das Messresultat zeigt, dass die bestehende Gebäudehülle weit über dem Zielwert nach SIA 180 liegt. Auch der Grenzwert gemäss SIA 180 für Umbauten wird knapp verfehlt. Da die Leckagen vor allem gegen das Untergeschoss bestehen, sind keine bauphysikalischen Probleme vorhanden, welche zu Schäden am Gebäude führen könnten. Auch diverse Messungen der Oberflächentemperaturen an verschiedenen neuralgischen Stellen im letzten Winter zeigten kein unterschreiten der Taupunkttemperaturen an.

Aus gesundheitlichen Aspekten macht es trotzdem Sinn, die Bodenkonstruktion zum Keller genauer zu untersuchen. Dies, weil im Bodenaufbau Verdacht auf Schlacken-Material als Schüttung besteht.

Nach erfolgter Sanierung der Dichtigkeit müssen im Winter die neuralgischen Stellen (Gebäudeaussenecken, Fenster-Brüstungen / -Leibungen / -Stürze, Türschwellen, und dergleichen) erneut betreffend Oberflächentemperaturen überprüft werden, da sich die «natürliche» Belüftung reduziert und somit eine erhöhte Luftfeuchtigkeit auftreten kann.



Bild 12: eingebautes Messgerät inkl. Ventilator



Bild 13: Lufteintritt durch Fugen im Parkettboden

Nach erfolgtem Rückbau des Bodenaufbaus und der Entfernung der Schlacke kamen verschiedene undichte Stellen zum Vorschein. Es handelt sich dabei um einzelne, grosse Leckagen bei Durchdringungen für Strom und Heizleitungen (Bild 15). Zusätzlich gibt es aber auch lineare Lufteintritte entlang den Stahlträgern, zwischen welchen ein sehr poröserer Beton eingebaut wurde (Bild 16). Die nachfolgenden Bilder geben einen groben Überblick:



Bild 14: Stahlträger kommt zum Vorschein



Bild 15: Leckage bei Elektrozuleitungen



Bild 16: Lineare Eintrittsstellen entlang Stahlträger



Bild 17: Leckage bei Wandanschluss Stahlträger

2.1.4 Analyse Bodenschüttung

Der BlowerDoor-Test zeigte, dass der Boden zum Untergeschoss die grösste Undichtigkeit in der Hülle der EG-Wohnung darstellt. Dies betrifft die Böden mit originalem Parkett. Im Bodenaufbau, zwischen Kellerdecke und Parkettbelag befindet sich eine Bodenschüttung, welche höchstwahrscheinlich aus Schlacke besteht. Luft, welche vom Keller in die Wohnung eintritt, verläuft daher zuerst durch diese Bodenschüttung. Eine Analyse der Bodenschüttung ist in diesem Fall von grossem Nutzen, um allfällige weitere Sanierungsschritte zu definieren.

Aus einer Sondagenöffnung (Bild 18) gewonnen, wurde ein Kilogramm der Bodenschüttung an die Firma «Bachema AG» gesendet, welche die Probe (Bild 19) auf Schwermetalle, PAK sowie TOC400 analysierte (siehe Anhang 2).

Die nachfolgende Tabelle enthält eine Auswahl der gemessenen Werte:

	Mess-Wert (mg/kg)	Grenzwerte Deponien Typ B	Typ E
Kohlenstoff organisch gebunden (TOC 400)	1.4%	2%	5%
PAK			
Benzo(a)pyren (Schlacke)	14	3	10
Summe PAK (Schlacke)	150	25	250
Schwermetalle			
Arsen	8	30	50
Blei	78	500	2'000
Chrom	82	500	1'000
Kobalt	160		
Kupfer	160	500	5'000
Nickel	120	500	1'000
Quecksilber	0.5	2	5
Zink	82	1'000	5'000
Seltene Erden und übrige Elemente			
Barium	840		
Cer	110		
Lanthan	53		
Neodym	55		
Niob	16		
Rubidium	110		
Strontium	380		
Uran	11		
Vanadium	220		
Halogenide / Schwefel			
Chlor	210		
Schwefel	9'600		
Matrizelemente			
Aluminium	14		
Eisen	7		
Silizium	27		

Tabelle 1, Auszug Analyse Schlacke mit zulässigen Grenzwerten gemäss VVEA für die Deponien Typ B und E

Die Analyse ergab klar, dass es sich bei der Bodenschüttung um Schlacke handelt. Diese stammt wahrscheinlich aus den Schmelzöfen der Firma Sulzer. In der Schlacke fanden sich hochgiftige Elemente wie Arsen, Quecksilber oder Barium. Es wurde sogar radioaktives Uran gefunden.

Gemäss dem Bundesamt für Gesundheit BAG weisen Verbrennungsschlacken meist eine erhöhte radioaktive Strahlung auf. Die genaue Gesundheitsgefährdung dadurch ist zum jetzigen Zeitpunkt Stand von Untersuchungen des BAG. Das kann so auf polludoc.ch² nachgelesen werden. Polludoc ist eine Dokumentation zur «Good Practice» bei Ermittlung, Entfernung und Entsorgung von Bauschadstoffen, zusammengestellt von der «Vereinigung Asbestberater Schweiz VABS» und vom Fachverband «Gebäudeschadstoffe Schweiz FAGES».

Gemäss Polludoc hat Schlacke im Zwischenboden nicht zwingend eine gesundheitsgefährdende Bedeutung³. Dies kommt nur in Einzelfällen vor, wenn Schlackenstaub durch Ritzen in die Wohnräume gelangen können. Im Fall der untersuchten EG-Wohnung an der Lettenstrasse 3 passiert jedoch genau dies. Es gibt im untersuchten Fall zwei Faktoren, welche einen Eintrag des Schlackestaubes in die Wohnräume begünstigen.

Erstens, wird vor allem in der Heizperiode durch den Kamineffekt Luft aus dem Keller durch die Schlacke in den Wohnraum gezogen. Dabei können Feinpartikel mitgetragen werden, welche als Feinstaub in der Raumluft eingeatmet werden oder sich im Hausstaub ablagern.

Zweitens, können Feinpartikel aus der Schlacke auch via mechanische Beanspruchungen (z.B. springende Kinder oder dgl.) durch die offenen Fugen zwischen den einzelnen Parkett-Elementen in die Raumluft gelangen. In der betreffenden Wohnung sind die Fugen meist 2-5mm, teilweise bis 10mm (Bild 13) breit.

Um eine mögliche Gesundheitsgefährdung auszuschliessen, gibt es zwei Lösungsansätze:

Variante 1: Die Schlacke wird im Boden belassen. Zwischen dem Parkettboden und der Unterkonstruktion wird eine Folie oder ein Vlies eingelegt, welches verhindert, dass Anteile aus der Schlacke in die Raumluft gelangen.

Variante 2: Die Schlacke wird ausgebaut und entsorgt.

Der Verfasser schlägt die zweite Variante vor.

Die BewohnerInnen entschieden sich für die Variante 2. Bei der Variante 1 kommt es an diversen Stellen zu Problemen beim Anschluss der Folie an die Wand (Wandtäfer, Türschwellen, ...). Auch würde die Folie durch die Befestigung der Parkettelementen an diversen Stellen verletzt. Weiter spielten auch psychologische Überlegungen eine Rolle. Wer wohnt schon gerne über einer «strahlenden Giftmülldeponie».



Bild 18: Sondageöffnung für Probeentnahme



Bild 19: Probeentnahme für Analyse

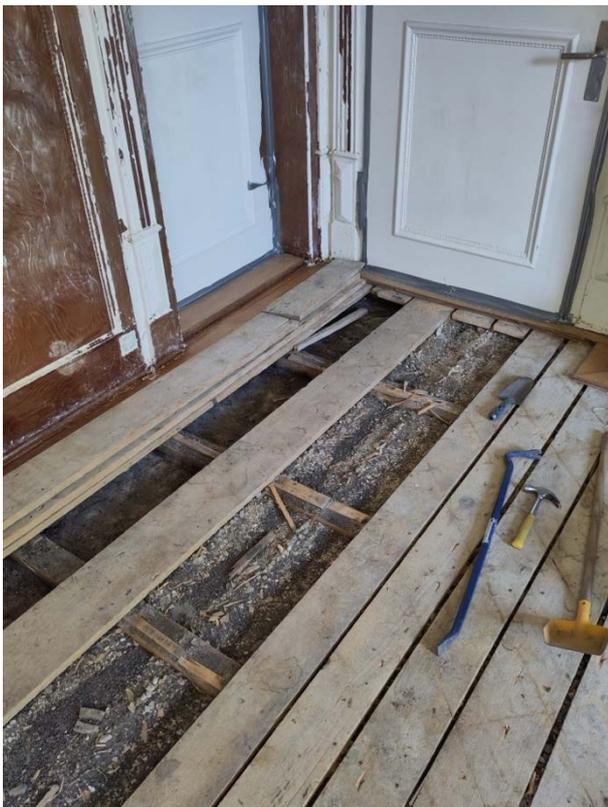


Bild 20: geöffneter Zwischenboden



Bild 21: Ausbau der Schlacke

2.1.5 Raumluftmessung

Am 11. Juni 2024 wurde durch Julie Kaschub von der Firma «Pawis GmbH» eine Raumluftmessung durchgeführt. Die Raumluft soll auf flüchtige organische Verbindungen (VOC) und Formaldehyd analysiert werden. Dafür wurden zwei Luftproben entnommen (Tenax und DNPH). Die beiden Proben wurden durch das Labor «Analytik Aurachtal GmbH» ausgewertet. Die Beurteilung des Laborberichts (Anhang 3) erfolgte durch Roger Rennhard.

In der Schweiz gibt es keine verbindlichen Grenzwerte für die Schadstoffbelastung in Wohnräumen. Dies erschwert eine eindeutige Beurteilung der Laborwerte.

Die SUVA schreibt «maximale Arbeitsplatzkonzentrationswerte» (MAK-Werte) vor, welche jedoch nur für Arbeitsplätze gelten und für eine Aufenthaltsdauer von acht Stunden täglich oder zweiundvierzig Stunden pro Woche gerechnet sind. Diese Grenzwerte können daher nicht für dauerhaft bewohnte Räume als Bewertungsgrundlage dienen.

Die umfangreichste Auflistung von Richtwerten wird durch den Deutschen «Ausschuss für Innenraumrichtwerte» (AIR)⁴ herausgegeben. Auf diese Richtwerte stützt sich auch das Label «GI GUTES INNENRAUMKLIMA»⁵, welches Grenzwerte für einzelne Stoffe auflistet, welche für eine Zertifizierung einzuhalten sind.

Der «Ausschuss für Innenraumrichtwerte» legt pro Stoff-Verbindung zwei Richtwerte fest:

Der «Richtwert I» entspricht dabei einer Stoffkonzentration, bis zu welcher auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind.

Der «Richtwert II» entspricht einer Stoffkonzentration, bei deren Erreichen bzw. Überschreitung unverzüglich Handlungsbedarf besteht. Insbesondere für empfindliche Personen ist bei einem dauerhaften Aufenthalt mit gesundheitlicher Gefährdung zu rechnen.

Eine schnelle und einfache Beurteilung ermöglicht die Betrachtung der Summenkonzentration flüchtiger organischer Verbindungen (TVOC).

Das Deutsche Umweltbundesamt erstellte dafür folgendes Beurteilungsschema:

Beurteilungsstufe	TVOC-Wert mg/m ³	Beurteilung
Stufe 1	≤ 0.3	Hygienisch unbedenklich, Zielwert
Stufe 2	> 0.3 - 1	Hygienisch noch unbedenklich, erhöhter Lüftungsbedarf
Stufe 3	> 1 – 3	Hygienisch auffällig, Raum befristet (< 12 Monate) nutzbar. Obergrenze für Räume, die für einen längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind
Stufe 4	> 3 – 10	Hygienisch bedenklich, Raum befristet (maximal 1 Monat) und bei verstärkter Lüftung nutzbar
Stufe 5	> 10 – 25	Hygienisch inakzeptabel. Die Raumnutzung ist allenfalls vorübergehend täglich (stundenweise) und bei Durchführung verstärkter regelmässiger Lüftungsmassnahmen zumutbar

Tabelle 2: Beurteilungsstufen nach TVOC-Wert

Die TVOC-Werte ergeben einen guten ersten Eindruck, die Beurteilung sollte jedoch nicht ausschliesslich darauf beruhen. Die Werte der Einzel-Verbindungen sollten unbedingt ebenfalls bewertet werden, da einzelne kanzerogene Stoffe bereits ab tiefen Konzentrationen kritisch zu bewerten sind.

Die nachfolgende Tabelle enthält eine Auswahl der gemessenen Werte in der EG-Wohnung an der Lettenstrasse 3. Gemessen wurde im Wohnzimmer an einem Morgen, die letzte Lüftung lag acht Stunden zurück (Bild 22 und 23). Das Wohnzimmer sowie alle offen angrenzenden Zimmer wurden seit der letzten Lüftung nicht benutzt.

Verbindung	Mess-Wert ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Lettenstr. 3, EG	RW II ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RW I ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GI-Zertifikationswert ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
TVOC	221.4	-	-	1'000
Formaldehyd	27	-	-	60
Toluol	2	3'000	300	300
Σ C9-C15-Alkylbenzole	3	-	-	100
Ethylacetat	14	6'000	600	600
Aceton	40	160'000	53'000	-
2-Propanol	9	45'000	22'000	-
1-Butanol	3	2'000	700	700
2-Ethylhexanol	2	1'000	100	100
Phenol	1	200	20	20
2-Butoxyethanol	2	1'000	100	100
Σ monocyclische Terpene	39	10'000	1'000	1'000
Σ bicyclische Terpene	25	2'000	200	200
Acetaldehyd	26	1'000	100	100
Benzaldehyd	4	200	20	20
Furfural	3	100	10	10
Σ Alkanale C4-C11	60.9	2'000	100	100
Essigsäure	38	3'700	1'300	1'300

Tabelle 3: Auszug Messwerte Raumluftmessung mit Richtwert I und II gemäss AIR und Grenzwerte für GI-Zertifizierung

Mit einem TVOC-Wert von $0.2214 \text{ mg}/\text{m}^3$ ist sogar der Zielwert gemäss der ersten Beurteilungsstufe vom Deutschen Umweltbundesamt eingehalten. Erfreulicherweise befinden sich auch alle weiteren Einzelparameter unterhalb des «Richtwert I» gemäss AIR und unterhalb dem GI-Zertifikationswert.

Anhand des Stoffs Furfural ist ersichtlich, wie wichtig die Überprüfung der Einzel-Verbindungen ist. Furfural hat eine Kanzerogenität der Kategorie 2 (Carc. 2)⁶ und kann somit vermutlich Krebs erzeugen. Der RW I mit $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist so tief, dass er bei alleiniger Betrachtung der Summenkonzentration (TVOC) leicht untergeht und nicht entdeckt würde.



Bild 22: Installation Luftmessung



Bild 23: Proberöhrchen

2.1.6 Radon

Ab 8. November 2022 führte Roger Rennhard diverse Messungen mit einem «Radon Eye RD200» aus. Das Messgerät wurde dabei jede Woche in einem neuen Raum aufgestellt. Diese Messungen ergaben, dass die Radon-Werte im Esszimmer deutlich über dem Grenzwert des Bundesamtes für Gesundheit BAG liegen.

Der Grenzwert liegt bei 300 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m^3). Bei Neubauten mit einem Zertifikat MINERGIE-ECO gilt ein Wert von $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Dieser Wert wird auch im «Aktionsplan Radon 2021 – 2030» vom BAG für Neubauten angestrebt.

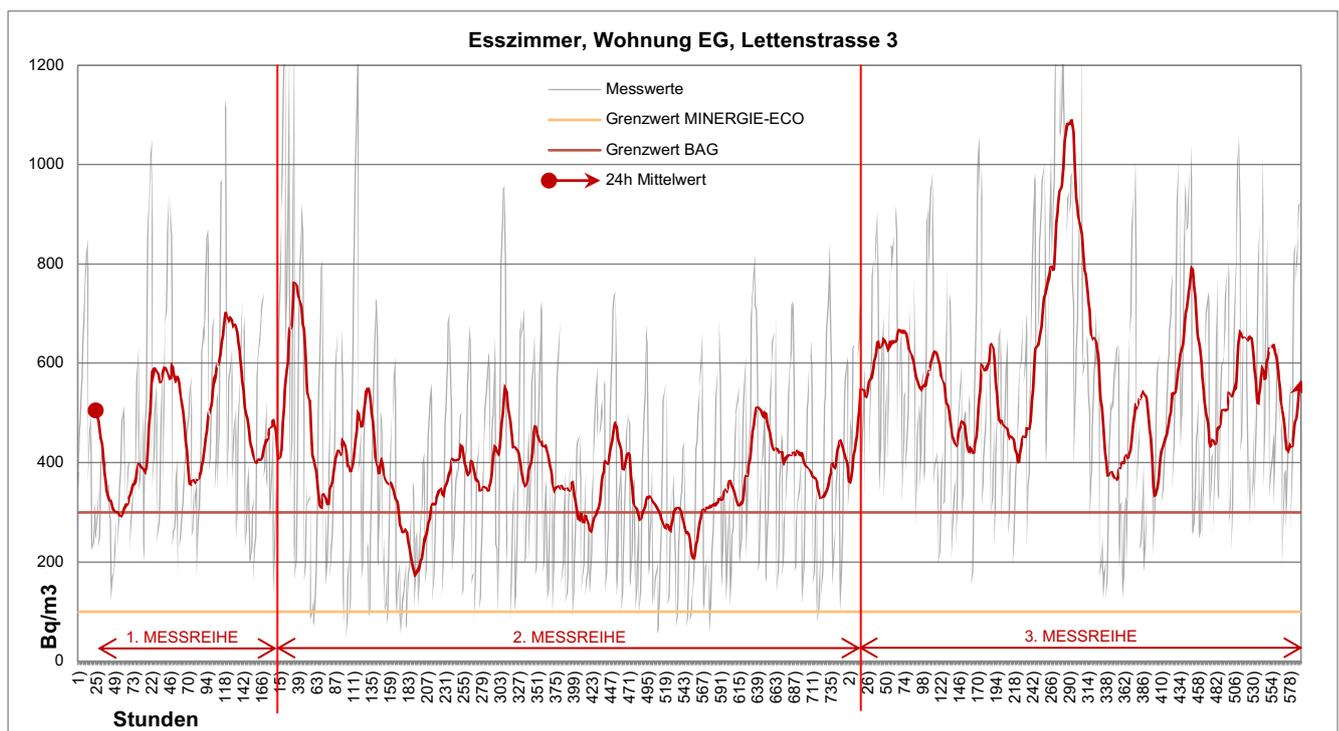


Diagramm 1: Messergebnisse mit 24h Durchschnitt

Das verwendete Messgerät hat eine Anzeige des aktuellen Werts, welcher alle 10 Minuten den neuen stündlichen Durchschnitt anzeigt. Damit wird sichtbar, ob eine Lüftung erfolgreich war.

Das Lüftungsverhalten der BewohnerInnen wurde dadurch deutlich erhöht: auf dreimaliges Öffnen aller Fenster der Wohnung für mindestens 5 Minuten pro Tag, auch bei tiefen Minustemperaturen. Trotz diesem erhöhtem Lüftungsverhalten waren die Werte am Morgen oft über 800 oder sogar $1'000 \text{ Bq}/\text{m}^3$ angestiegen. Ein Tag ohne Lüften hatte zur Folge, dass der Wert auf über $1'500$ anstieg. Dies schürte bei einzelnen BewohnerInnen psychologische Ängste, welche eine möglichst rasche Sanierung erforderten.

2.2 Raumklima Wohnung EG

2.2.1 Raumklima Winter

Die BewohnerInnen bemängeln das Raumklima im Winter. Dabei ist vor allem die zu tiefe Luftfeuchtigkeit ein Problem (20-30% relative Luftfeuchte), welche zu Reizungen der Nasenschleimhäute und der Augen führt. Um dem entgegenzuwirken ist während den Wintermonaten ein Luftbefeuchter im Einsatz. Damit konnte die Luftfeuchtigkeit auf einen optimalen Wert von etwa 50% erhöht werden.

Als Hauptgrund für die tiefe Luftfeuchtigkeit dürfte die andauernd aus dem Keller nachströmende kühle Luft sein. Weiter wirkt sich negativ aus, dass die meisten Oberflächen mit einer Acrylfarbe gestrichen sind. Dadurch können die Flächen keine feuchtigkeitsregulierende Funktion übernehmen. Im Rahmen der Nasszellensanierung im Jahr 2020 wurden die Wände im WC und Bad neu mit Lehm verputzt, was eine unmittelbar spürbare Verbesserung zur Folge hatte. Wasserdampf der beim Duschen anfällt wird durch den Lehm aufgenommen und beim Lüften nicht mehr komplett ausgelüftet. Die Feuchtigkeit kann danach bei Trockenheit wieder an die Raumluft abgegeben werden.

Aufgrund des Ausführungszeitpunkt der vorliegenden Arbeit konnten zu diesem Thema keine Messungen erstellt werden. Diese werden im kommenden Winter nachgeholt.

2.2.2 Raumklima Sommer

Im Sommer liegt das Hauptthema nicht bei der Luftfeuchtigkeit, sondern beim sommerlichen Hitzeschutz. Dank den massiven Aussenwänden ist die sommerliche Überhitzung der Wohnung meist kein Thema. Die BewohnerInnen erfreuen sich einer angenehm kühlen Wohnung. Alle Fenster, bis auf die im Esszimmer, können mit aussenliegenden Fensterläden verdunkelt werden. In der Nacht kann die eingetragene Wärme dank Querlüften effizient abgeführt werden. Problematisch sind Nächte mit Regen, da dann die Fenster auf der Westseite nicht, oder nur gekippt hinter den geschlossenen Läden, geöffnet werden können.

Der Haupttreiber der Erwärmung ist das grossflächig verglaste Esszimmer. Dieses hat weder Innen noch Aussen die Möglichkeit einer Verdunkelung. Am effektivsten wäre sicherlich die Montage eines Storens auf der Aussenseite. Alternativ könnte der Ahornbaum, welcher zwischen dem Gebäude und der Mauer auf der Grundstücksgrenze wächst, so geschnitten werden, dass dieser für die nötige Beschattung sorgt. Diese Variante könnte auf den gesamten Zwischenraum (Bild 25) auf der Gebäude-Westseite angewandt werden. So entsteht eine Zone, welche die gesamte Fassade kühlt. Bis anhin wurden die kleinen Bäume die in diesem Bereich immer wieder wachsen ausgerissen. Die Stockwerkeigentümergeinschaft konnte sich nun jedoch darauf einigen, diese wachsen zu lassen. Eine Fassadenbegrünung konnte leider keine Mehrheit finden.

Die im Diagramm 2 dargestellten Messungen mit vier Klima-Datenloggern (Trotec BL30) bestätigten die durch die BewohnerInnen erlebte Situation. Gut sichtbar wird auch, dass sich das ans Esszimmer angrenzende Wohnzimmer stärker erwärmt als das auf der Ostseite liegende und durch eine Türe getrennte Schlafzimmer.

Eine Verbesserung der nächtlichen Auskühlung könnte erreicht werden, wenn das fest verglaste Fenster über der Eingangstüre (Bild 24) umgerüstet wird, so dass dieses gekippt werden kann. Durch gleichzeitiges Öffnen des obersten Treppenhausfensters könnte ein «Kamineffekt» geschaffen werden, welcher die Luftaustauschrate erhöht und die nächtliche Auskühlung verstärkt.

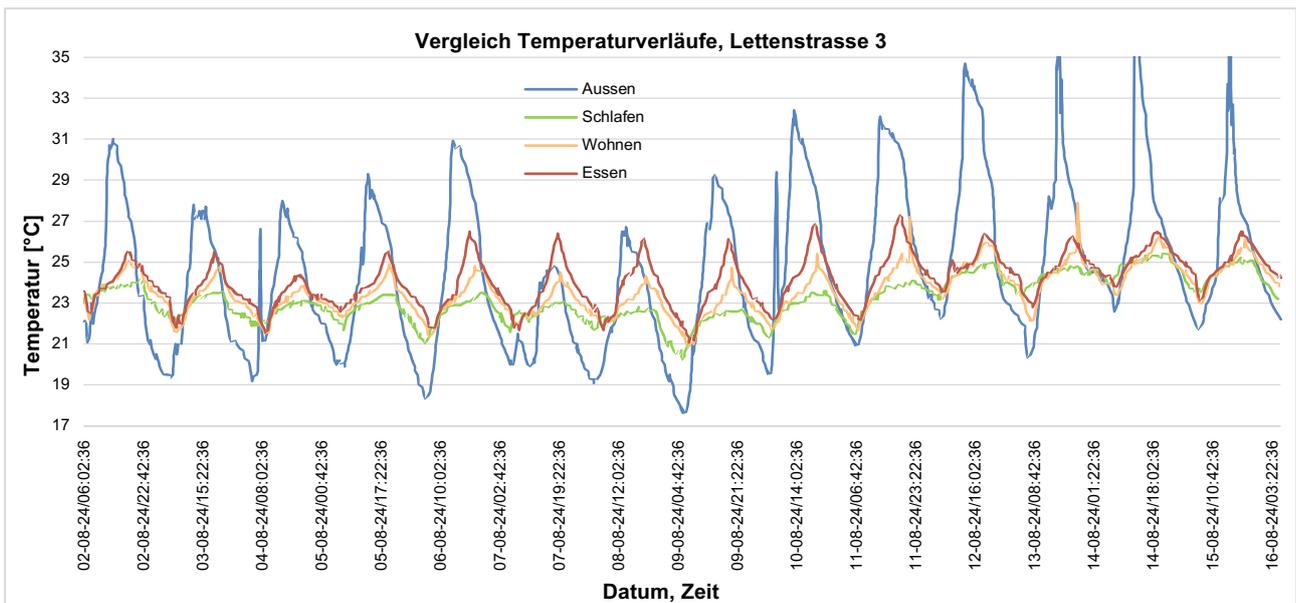


Diagramm 2: Temperaturverläufe in unterschiedlichen Zimmern und im Aussenbereich



Bild 24: Umbau zu Kippflügel



Bild 25: Ahorn als Verschattung Esszimmer

2.3 Bauliche Massnahmen Wohnung EG

2.3.1 Esszimmer (Radonsanierung)

Das Esszimmer ist als einziger Raum der Wohnung nicht unterkellert. Der Boden hat daher direkten Erdkontakt. Radon-Messungen im Keller ergaben Werte von durchschnittlich 100-200 Bq/m³ mit nur vereinzelt Ausreißern über 300 Bq/m³. Der Radoneintrag erfolgt daher höchstwahrscheinlich direkt durch den Esszimmerboden. Der Aufbau von diesem besteht aus etwa 15cm Beton und 8cm Holzkonstruktion, welche mit 6cm Steinwolle gedämmt ist und den darüberliegenden Parkettriemen.

Die einfachste und kostengünstigste Sanierungsvariante wäre eine radondichte Kunststoffolie mit Alueinlage, welche unter den bestehenden Holzboden eingelegt wird. Die Schwierigkeit dabei ist der Anschluss an die Wände. Diese bestehen aus einem über 120-jährigem, schlecht verdichteten Beton. Durch die abdichtende Funktion der Folie erhöht sich zudem der Gasdruck unterhalb der Folie. So ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Radon durch Hohlräume innerhalb der Wand doch einen Weg in die Wohnung findet ist sehr gross.

Eine vielversprechendere Variante wäre die erhöhte Lage der Erdgeschosswohnung zu nutzen. Der bestehende Betonboden könnte komplett rückgebaut und die darunter liegende Kiesschüttung bis auf Terrainhöhe abgetragen werden. Dadurch wird ein Luftraum geschaffen, welcher durch ein bereits vorhandenes, jedoch zugemauertes, Fenster sowie neu zu schaffende Kernbohrungen natürlich durchlüftet werden kann. Falls die natürliche Lüftung nicht ausreicht, könnte der Hohlraum nachträglich mit einer aktiven Lüftung ergänzt werden, welche die Luft in den Aussenraum bläst. Die Stockwerkeigentümergeinschaft entschied sich aufgrund der besseren Erfolgsaussichten für diese Variante.

Als neue Bodenkonstruktion wurde eine Holzbalkenlage eingebaut, welche auch zusätzliche Wärmedämmmassnahmen ermöglichte. Der bestehende, schwimmend verlegte, Parkettboden konnte wieder verwendet werden.



Bild 26: Einsatz von «Gross» ...



Bild 27: ... und «Klein»...



Bild 28: ... beim ausgraben des Hohlraums

Der Erfolg der Massnahme liess sich anhand der Radon-Messung sofort nach der Sanierung feststellen und bestätigte sich auch bei einer Kontrollmessung im darauffolgenden Winter 2023/24 (Diagramm 3). Die natürliche Zirkulation der Luft durch drei neue Kernbohrungen und das geöffnete Fenster reicht aus. Auf den Einbau einer aktiven, elektrischen Lüftung konnte verzichtet werden.

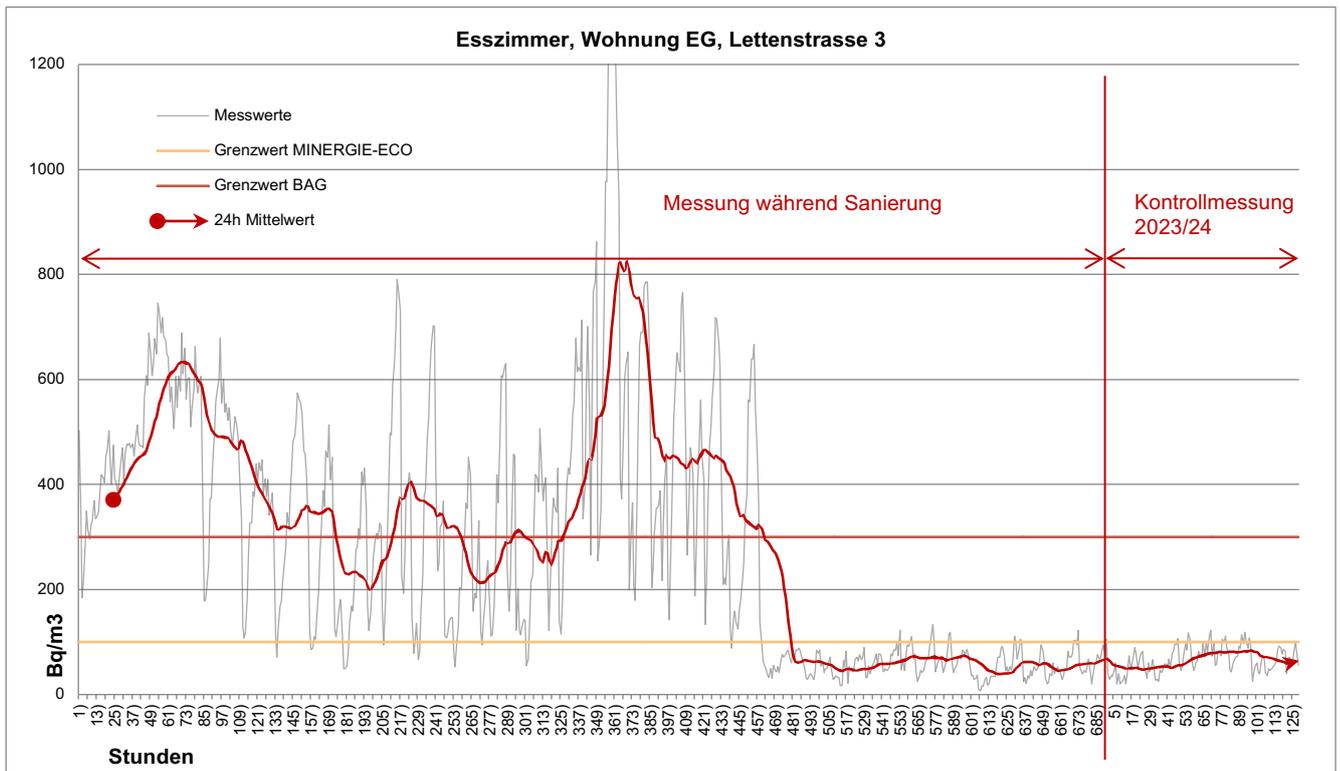


Diagramm 3: Messergebnisse mit 24h Durchschnitt, während und nach der Sanierung

Das Diagramm zeigt eindrücklich den Erfolg. Die gemessenen Werte liegen nun sogar unterhalb des für Neubauten anzustrebenden Werts von 100 Bq/m^3 .

2.3.2 Böden mit originalem Parkettboden

Mit der Sanierung der Böden, welche noch den originalen Parkettboden enthalten, lassen sich gleich zwei Problemfelder positiv beeinflussen. Einerseits wird durch das Entfernen der Schlacke die gesundheitliche Gefährdung der BewohnerInnen beseitigt. Andererseits verbessert sich das Raumklima im Winter. Durch die Abdichtung des Bodens wird die dauerhafte Luftzufuhr aus dem Keller eingeschränkt. Dies verhindert die starke Austrocknung der Raumluft, welche bei den BewohnerInnen zu Gesundheitsbeschwerden führte.

Weiter wird durch die zusätzliche Wärmedämmung im Boden der Wärmeverlust reduziert und dadurch Heizenergie gespart. Mit der zusätzlichen Dämmung verbessert sich der U-Wert des Bodens von 0.24 auf 0.17 W/m²K (Siehe Anhang 4 - 6). Geprüft wurde auch, ob die Schlacke mit einer Lehm-Schüttung ersetzt werden soll. Dies hätte positive Konsequenzen für den sommerlichen Hitzeschutz. Da die Fassade des Gebäudes nicht wärmedämmtechnisch verbessert werden kann, ohne dass sich der Charakter des Gebäudes verändert (Fenstergewände auf der Aussen- und Holztäfer auf der Innenseite), empfiehlt der Verfasser als Kompensation die weiteren möglichen Flächen zu dämmen: nebst dem Boden gegen den Keller ist dies die Decke gegen den Estrich.

Bei der Demontage des Parkettbodens zeigte sich wie wichtig es ist, den Rückbau bereits bei der Planung mitzudenken. Die Parkettelemente wurden auf die darunterliegende Holzkonstruktion genagelt (Bild 29). An der Stelle an welcher bis zum Umbau von 1996 ein Kachelofen stand, wurden die Parkettelemente geklebt. Diese lassen sich nicht mehr zerstörungsfrei entfernen. Auch bei den genagelten Elementen kam es jedoch zu kleineren Beschädigungen, da diese teilweise dreiseitig vernagelt wurden.

Beim Wiedereinbau des Bodens werden daher Schrauben anstelle der Nägel verwendet. Weiter wird bereits während der Sanierung eine Gebäudedokumentation erstellt, auf welcher ersichtlich ist wie zu einem späteren Zeitpunkt der Boden ein weiteres Mal rückgebaut werden kann. Dabei ist die Verlegerichtung der Schrauben von zentraler Bedeutung. Eine entsprechende Gebäudedokumentation muss dann zwingend den zukünftigen Gebäudebesitzern weitergereicht werden.

Um den Boden abzudichten wurde über dem Beton eine Dampfsperre eingebaut, die gleichzeitig auch radondicht ist. Der Zwischenbereich, welcher ursprünglich mit Schlacke gefüllt war, wurde mit 80mm Hanfdämmung gefüllt (Bild 31). Zum aktuellen Zeitpunkt ist dies der Arbeitsstand. Darüber werden wieder der bestehende Zwischenboden sowie die ursprünglichen Parkettelemente verlegt. Diese werden zum Schluss abgeschliffen und geölt.

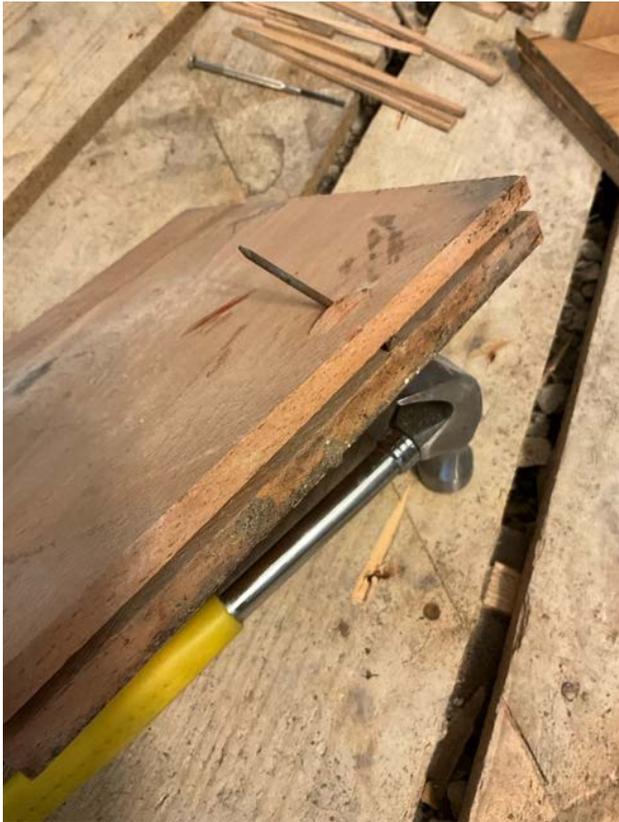


Bild 29: genageltes Parkettelement

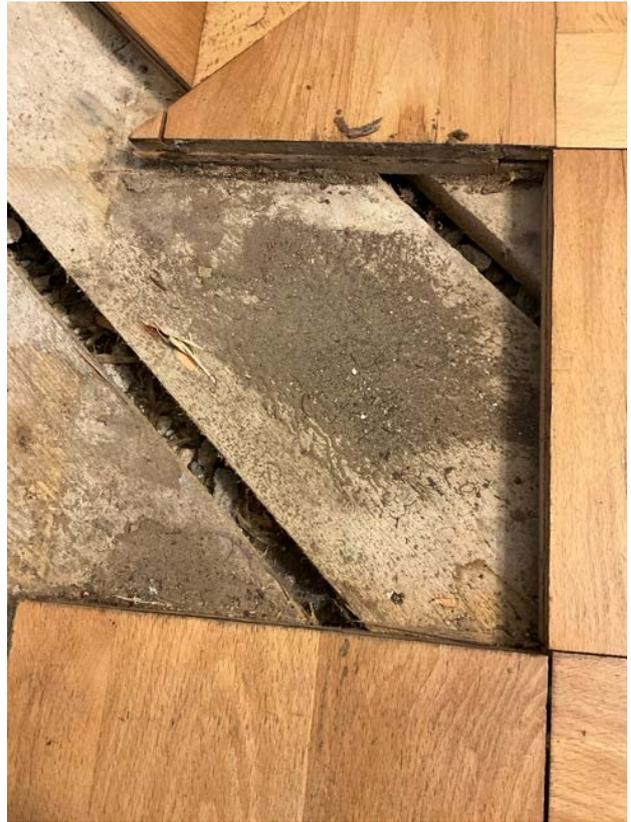


Bild 30: Schlackenstaub in Hohlräumen unter Parkett



Bild 31: verlegte Hanfdämmung über radondichter Folie

2.3.3 Massnahmen Raumklima

Wie bereits im vorherigen Kapitel beschrieben, wird sich die Sanierung des Bodens positiv auf das Raumklima im Winter auswirken. Als zusätzliche Massnahme schlägt der Verfasser vor, dass alle verputzten Wandflächen in den Zimmern neu mit Lehm verputzt werden. Dabei soll der Grundputz mindestens eine Stärke von 1,5cm aufweisen, so dass eine möglichst grosse Speichermasse erreicht wird. Weiter sollen alle Wandtäferverkleidungen von der Acrylfarbe befreit (Bild 32 und 33) und neu mit einer mineralischen Farbe gestrichen werden. Dadurch wird das Holz raumklimatisch aktiviert und kann zu einem ausgeglichenen Raumklima beitragen.

Die Sanierung dürfte zur Folge haben, dass der Einsatz des Luftbefeuchters nicht mehr notwendig ist. Die Sanierung könnte jedoch einen ungewollten Nebeneffekt haben: Die bestehende Wand weist mit 1.09 einen sehr schlechten U-Wert auf, was relativ tiefe Oberflächentemperaturen zur Folge hat (siehe Anhang 7 + 8). An neuralgischen Stellen, wie z.B. Innenecken der Aussenwand, kann es bei erhöhter Luftfeuchtigkeit zu Kondenswasser kommen, welches zu Schimmelbildung führen kann. Die Oberflächentemperaturen sowie der Taupunkt auf den Oberflächen müssen daher genau im Auge behalten werden. Der Verfasser wird in den Wintermonaten daher laufend Messungen mit einem «Trotec BP25» Pyrometer Taupunktscanner durchführen.

Um der zu hohen Luftfeuchtigkeit entgegen zu wirken sollte die Wohnung regelmässig gelüftet werden. Als Erinnerungsstütze für das Lüften wurde bereits ein «Würfeli» CO²-Messgerät installiert. Dieses erinnert die BewohnerInnen durch Farbveränderung von blau via grün, orange bis rot, ans Lüften (Bild 34).



Bild 32: abgelöste Acrylfarbe



Bild 33: Abstossen der Acrylfarbe



Bild 34: «Würfeli» CO²-Messgerät

2.4 Energetische Massnahmen Gebäude

2.4.1 Heizung

Das Gebäude an der Lettenstrasse 3 ist an das Gasnetz der Stadt Winterthur angehängt und wird aktuell mit einer Gasheizung beheizt. Das Warmwasser wird über einen Wärmepumpenboiler erwärmt.

Die Gasheizung wurde im Oktober 2018 eingebaut. Die Stockwerkeigentümergeinschaft möchte die Heizung daher noch möglichst lange betreiben, da die Heizung sich noch «amortisieren» müsse. Auf was genau sich die Amortisation bezieht, wird nicht genauer eingegangen. Gemeint sein dürfte die finanzielle Investition die getätigt wurde, welche eine weitere Investition nur 6-7 Jahre später nicht rechtfertigt. Sinnvoller wäre die Meinung, dass die graue Energie der Heizung einen Ersatz noch nicht rechtfertigt.

Beide möglichen Bedenken werden nachfolgend genauer untersucht und lassen sich relativ leicht entkräften.

Finanzielle Betrachtung:

Die Investitionskosten für die neue Gasheizung (exkl. WP-Warmwasserboiler) betragen 12'773.20 Fr. inkl. MWST. Dazu kommen jährliche Gas - Kosten von etwa 3'900.- Fr. bei einem jährlichen Verbrauch von ungefähr 33'000 kWh (Durchschnitt der letzten fünf Jahren). Die Kosten des Gas-Verbrauchs belaufen sich auf gut 30% der Investitionskosten in die neue Heizung.

Es lässt sich also objektiv betrachtet sagen: teuer war nicht die neue Heizung, sondern ist deren Betrieb. Verglichen mit den Betriebskosten einer Luft-Wasser Wärmepumpe (siehe Seite 31) kostet die Gasheizung jährlich etwa 2'000.- Franken mehr.

Ökologische Betrachtung:

Die Firma «ESU-services GmbH» erstellte am 27. September 2022 genau zu diesem Thema eine Studie. Die Studie⁷ geht unter anderem folgender Frage nach: «Wie viele Jahre müsste ein im Betrieb umweltfreundliches System, anstelle eines weniger umweltfreundlichen Systems, betrieben werden, bis die Umweltbelastungen der Herstellung und Entsorgung des neuen Systems wettgemacht/amortisiert wären?»

Die Studie macht Aussagen zu sechs verschiedenen Gebäudestandards. Das Gebäude an der Lettenstrasse 3 kommt am nächsten an die Kategorie «Baujahr 1990 (~130kWh/m²)». Die beheizte Fläche beträgt ca. 280m². Der jährliche Heizbedarf ca. 33'000 kWh. Daraus ergibt sich ein Energiebedarf von ~120 kWh/m², dieser liegt somit leicht unterhalb des Werts aus der Gebäudekategorie «Baujahr 1990» und kann daher gut als Vergleich dienen.

Die Amortisationsdauer ist unterschiedlich je nach verwendetem neuem Heizsystem. Für den Ersatz der Gasheizung an der Lettenstrasse 3 ergeben sich folgenden Amortisationszeitspannen für die unterschiedlichen neuen Heizsysteme:

- Luft-Wasser Wärmepumpe (Kältemittel r290) 0.2 Jahre
- Sole-Wasser Wärmepumpe (Kältemittel r290) 0.7 Jahre
- Fernwärme CH-Mix 1.6 Jahre
- Fernwärme KVA-Mix 0.6 Jahre
- Holzpelletheizung 1.2 Jahre

Aus ökologischer Betrachtung spricht also nichts gegen einen möglichst raschen Ersatz der Gasheizung. Welches ist nun jedoch das sinnvollste Heizsystem für Gebäude an der Lettenstrasse 3. Eine erste Richtung gibt der kommunale Energieplan der Stadt Winterthur.

Am 28. September 2021 entschied sich die Winterthurer Stimmbevölkerung, dass Winterthur bis 2040 Netto-Null Tonnen CO₂ ausstossen soll. Auf dieser Grundlage wurde ein Energieplan erarbeitet, wie diese Ziel erreicht werden kann. Das gesamte Stadtgebiet wurde im kommunalen Energieplan in verschiedene Zonen mit unterschiedlicher Umsetzungsmassnahmen eingeteilt. Das Gasnetz für Privathaushalte wird bis spätestens 2040 ausser Betrieb genommen.

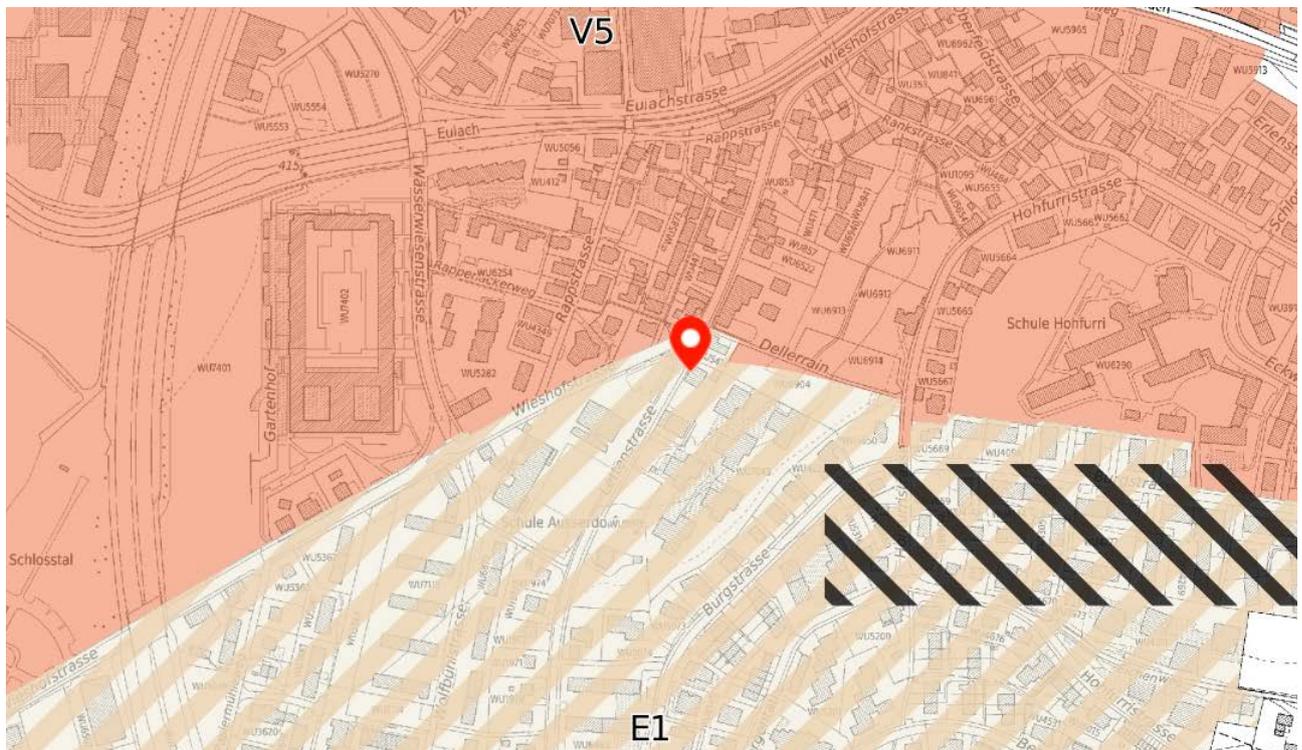


Bild 35: Auszug Kommunalen Energieplan (stadtplan.winterthur.ch)

Das Gebäude an der Lettenstrasse 3 befindet sich genau an der Grenze zwischen dem Gebiet V5 Wärmeversorgungsgebiet Wülflingen (Nutzung Abwärme ARA) und E1 Eignungsgebiete Erdwärme.

Ein Blick auf den Wärmenutzungsatlas des Kantons Zürich zeigt weiter, dass das Gebäude direkt an der Grenze zur Grundwasser Schutzzone liegt, Erdsonden also gerade noch möglich wären. Weiter ist ersichtlich, dass bereits diverse Erdsondenbohrungen bei Nachbargebäude ausgeführt wurden.

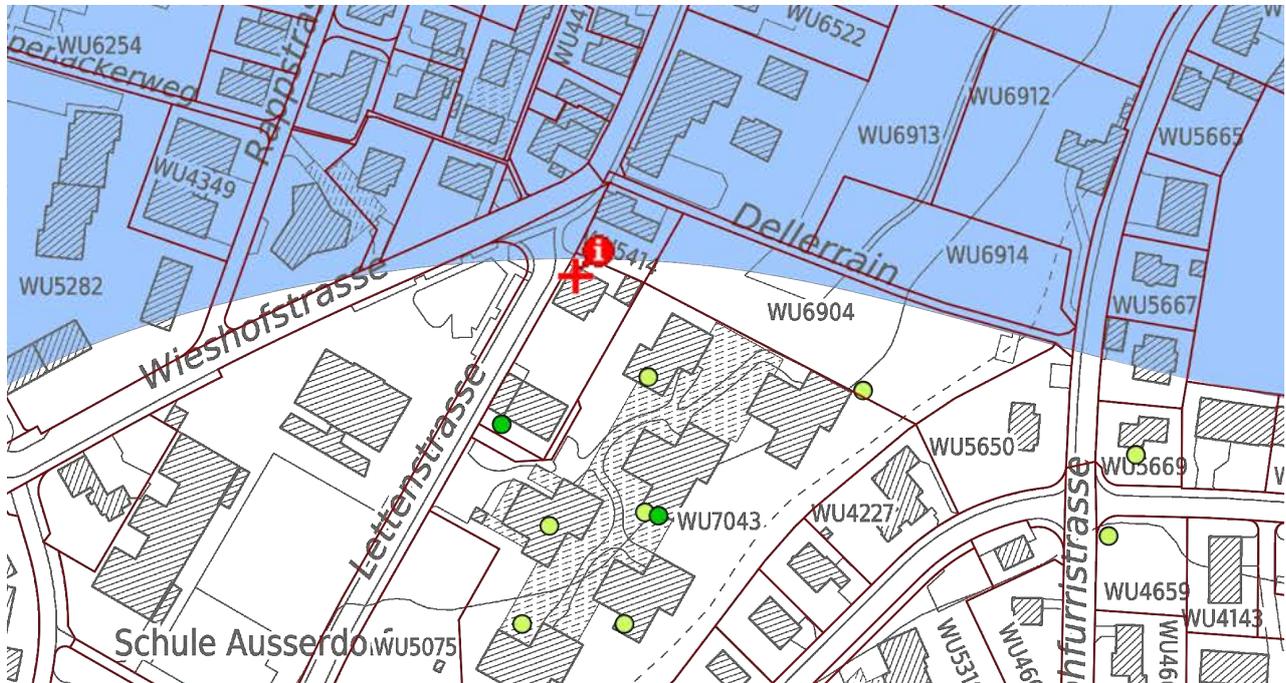


Bild 36: Auszug Wärmenutzungsatlas (maps.zh.ch)

Aus Sicht der Stadt wird an dieser Lage die Nutzung der Erdwärme priorisiert. Ein Anschluss an die geplante Fernwärme aus der Abwasserreinigungsanlage (ARA) wird auch in Zukunft nicht möglich sein, da sich das Gebäude ausserhalb des Planungsperrimeters befindet.

In Frage kommen eine Erdsonden Wärmepumpe (Sole-Wasser) oder Luft-Wasser Wärmepumpe. Eine Pelletheizung wird aus platztechnischen Gründen nicht weiter im Vergleich aufgeführt.

Nachfolgend werden die beiden Varianten anhand der «Ökobilanzdaten im Baubereich» des KBOB, ecobau und IPB (2009/1:2022, Version 5), mit der aktuellen Gasheizung verglichen. Verglichen wird anhand der «Umweltbelastungspunkte 2021 (UBP'21)». Die Beurteilung mit den «Ökofaktoren Schweiz 2021», gemäss der Methode der ökologischen Knappheit, zeigt in «Umweltbelastungspunkten (UBP'21)» ein vollständiges Bild der Umweltauswirkungen auf und basiert auf der Schweizerischen Umweltpolitik. Sie entspricht den Anforderungen einer «true and fair view» bezüglich Umweltinformationen⁸. Als zusätzlichen Vergleich wurden auch die Primärenergie (graue Energie), sowie die Treibhausgasemissionen in die Tabelle aufgenommen. Diese beiden Werte sind jedoch bereits Bestandteil der «UBP'21».

Für den Vergleich wurden folgende Parameter definiert.

- Gasheizung: - Verbrauch 33'000 kWh Endenergie (Ø der letzten fünf Jahre gemäss Abrechnung Stadtwerk)
- Betrieb mit 68% Biogas und 32% Erdgas (entspricht 50% «e-Gas Gold» und 50% «e-Gas Bronze» gemäss des Stadtwerks Winterthur)
- Wärmepumpen: - Verbrauch 26'400 kWh Nutzwärme, Annahme bei einem Nutzungsgrad der Gasheizung von 0,80 gemäss SIA 384/3 (33'000 x 0,8 = 26'400)
- Betrieb mit 66.7% Wasserstrom aus der Schweiz und 33.3 % Wasserstrom aus der EU (entspricht Stromprodukt «KlimaSilber» des Stadtwerks Winterthur)
- als Vergleichswert, Betrieb mit «effektiv geliefertem Strommix» der Schweiz aus dem Jahr 2018⁹

ID-Nummer	Bezeichnung	UBP/kWh	Menge [kWh/a]	UBP'21/a	Primärenergie [kWh oil-eq/a]	Treibhausgasemissionen [kg CO ² -eq]
Verbrauch Gasheizung (Bestand)						
41.002	Erdgas	274	10'560	2'893'440	11'120	2'430
41.009	Biogas	155	22'440	3'478'200	7'220	2'780
Total				6'371'640	18'340	5'210
Verbrauch Erdsonden Wärmepumpe						
44.013	Elektro-WP Erdsonden (Strom CH zertifiziert)	52.4	26'400	<u>1'383'360</u>	<u>28'730</u>	<u>430</u>
44.002	Elektro-WP Erdsonden (Strommix CH)	188	26'400	4'963'200	40'790	1'330
Verbrauch Luft-Wasser Wärmepumpe						
44.012	Elektro-WP Luft-Wasser (Strom CH zertifiziert)	54.6	26'400	<u>1'441'440</u>	<u>28'640</u>	<u>460</u>
44.001	Elektro-WP Luft-Wasser (Strommix CH)	215	26'400	5'676'000	42'930	1'530

Tabelle 4: Vergleich Ökobilanzen Verbrauch

Der Vergleich zeigt auf, dass eine Erdsonden Wärmepumpe im Betrieb die Umwelt weniger belastet als eine Luft-Wasser Wärmepumpe. Dies war so auch klar zu erwarten, da der Wärmebezug aus der Erde grösser ist als der aus der Luft. Was jedoch nicht in einem so relevanten Ausmass zu erwarten war ist, dass der bezogene Strom-Mix eine so entscheidende Rolle spielt. Bei der Erdsonden Wärmepumpe ist der «effektiv gelieferte Strommix» um den Faktor 3,6 schlechter als das vom Stadtwerk Winterthur bezogene Stromprodukt. Bei der Luft-Wasser Wärmepumpe sogar um den Faktor 3,9. Für beide Stromvarianten gilt jedoch, dass der Betrieb umweltfreundlicher ist als der Betrieb der Gasheizung, obwohl diese mit einem zweidrittel Anteil von Biogas betrieben wird.

Die jährliche Mehrbelastung der Luft-Wasser Wärmepumpe gegenüber der Erdsonden Wärmepumpe beträgt nur ca. 58'000 UBP (mit dem benutztem Stromprodukt «KlimaSilber»). Interessant ist daher ein Vergleich der Belastung durch die Erstellung der beiden Heizsystemen.

Auch diese lässt sich anhand der «KBOB Ökobilanzdaten» vergleichen. Die darin aufgeführten Wärmepumpen mit 7kW Leistung entsprechen wahrscheinlich nicht einer Wärmepumpe die an der Lettenstrasse 3 zum Einsatz käme, sondern eher deren eines Einfamilienhauses. Als Vergleich zwischen den beiden Heizsystemen sind sie trotzdem aussagekräftig.

ID-Nummer	Bezeichnung	UBP'21/Gerät, m	Lebensdauer [a]	UBP'21/a	Primärenergie [kWh oil-eq/a]	Treibhausgasemissionen [kg CO ² -eq]
Erdsonden Wärmepumpe						
31.017	Sole-Wasser WP, 7 kW	4'690'000	20	234'500	250	120
31.016	Erdsonden (Annahme 2x165m)	46'100	40	380'325	860	190
Total				614'825	1'110	310
Luft-Wasser Wärmepumpe						
31.019	Luft-Wasser-WP, 7 kW	7'440'000	20	372'000	410	200

Tabelle 5: Vergleich Ökobilanzen Erstellung

Eine Erdsonden Wärmepumpe hat bei der Erstellung gegenüber einer Luft-Wasser Wärmepumpe eine jährliche Mehrbelastung von etwa 240'000 UBP.

Für das Gebäude an der Lettenstrasse 3 ist daher ein Heizungssystem mit einer Luft-Wasser Wärmepumpe zu priorisieren. Dies gilt jedoch nur solange das bestehende Stromprodukt «KlimaSilber» beibehalten bleibt. Damit kommt die Erdsonden Wärmepumpe, bei Betrachtung von Erstellung (+240'000 UBP) und Betrieb (-60'000 UBP), auf eine jährliche Mehrbelastung von etwa 180'000 UBP.

Vergleicht man die beiden Systeme jedoch mit dem «effektiven Strommix» der Schweiz vom Jahr 2018 kommt die Luft-Wasser Wärmepumpe auf eine jährliche Mehrbelastung von etwa 480'000 UBP (+720'000 UBP für den Betrieb und - 240'000 UBP für die Erstellung).

Auch aus wirtschaftlichen Gründen betrachtet ist die Luft-Wasser Wärmepumpe in diesem spezifischen Fall zu bevorzugen. Die Erdsonden Wärmepumpe wird einen jährlichen Stromverbrauch von ca. 8'250 kWh aufweisen (Jahresarbeitszahl (JAZ) 3.2). Die Luft-Wasser Wärmepumpe einen von ca. 9'800 kWh (JAZ 2.7). Die mittleren Stromkosten des an der Lettenstrasse 3 bezogenen Stroms sind 0.20 Fr./kWh (Ø von Hoch- und Niedertarif). Die jährlichen Stromkosten liegen also in etwa bei 1'650.- Fr für die Erdsonden Wärmepumpe und bei 1'960.- Fr. bei der Luft-Wasser Wärmepumpe. Gerechnet auf die Lebensdauer der Heizung weist letztere Mehrkosten von etwa 6'000.- Fr. gegenüber der Erdsonden Wärmepumpe aus. Die Differenz der Investitionskosten zwischen den beiden Heizsystemen ist mit etwa 20'000.- zulasten der Erdsonden Wärmepumpe jedoch erheblich höher.

2.4.2 Photovoltaikanlage

Eine sinnvolle Ergänzung zur Wärmepumpe ist eine Photovoltaikanlage. Als Standort für die Photovoltaikanlage kommt in erster Linie das Dach des Carports in Frage. Da die Abdichtung des Dachs sowieso ersetzt werden muss, da undicht und mit fehlerhaftem Randabschluss, können die Arbeiten gleich zusammen geplant werden.



Bild 37: Flachdach Carport

Aktuell besteht das Flachdach des Carports aus einem nackten Bitumendach auf einer Stahl- / Holzkonstruktion.

Das Dach bietet sich daher als gute Fläche für die Verbesserung der Biodiversität im Aussenbereich an. Durch die kühlende Wirkung der Dachbegrünung wird der Wirkungsgrad der Photovoltaik-Paneels erhöht, da sich diese weniger stark erwärmen. Da sich PV-Anlagen und Dachbegrünungen grundsätzlich gut ergänzen, wurden vertiefte Abklärungen in diese Richtung getätigt.

Nach genauer Aufnahme der bestehenden Dachkonstruktion durch den Verfasser konnte die Firma «A-Z HolzbauPlanung» eine statische Berechnung durchführen. Dabei zeigte sich, dass die vorhandene Konstruktion leider keine Tragreserven mehr aufweist. Die zulässigen Durchbiegungen werden bereits leicht überschritten. Dies hat jedoch keine Beeinträchtigung der Konstruktion zur Folge. Das Gewicht der Photovoltaik-Modulen führt ebenfalls zu keinen Problemen. Um jedoch eine Begrünung auf dem Dach auszuführen, müsste die Konstruktion mit zwei zusätzlichen Pfosten und zwei Unterspannungen unter die bestehenden Träger nachgerüstet werden. Kostenpunkt ca. 8'000.- Fr. gemäss Offerte der Firma «Aerne Metallbau AG». Noch nicht eingerechnet in diesem Preis sind die Fundamente für die Stützen sowie die Begrünung selbst.

Leider waren dies nicht die erhofften Erkenntnisse. Ein weiterer Punkt der gegen die Begrünung spricht ist die mögliche Anordnung und Ausrichtung der Module. Flach auf das Dach gelegt (Gefälle gleich wie Dach) haben 16 Module mit einer Grösse von 1'722x1'134mm Platz (Variante A).

Bei einer Ausführung mit Hochleistungs-modulen mit 450 Wp pro Modul ergibt sich eine Gesamtleistung der Anlage von 7.2 kWp.

Bei einem begrüntem Dach könnten die Module nicht mehr als zusammenhängende Fläche ausgeführt werden, sondern müssten aufgestellt werden (Varianten B, C1/C2). Dies ermöglicht eine optimalere Ausrichtung der Module. Problematisch ist jedoch die gegenseitige Verschattung der Module. Anhand des «Photovoltaic Geographical Information System» (re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/de/) wurden die Varianten A, B und C1/C2 gemäss Bild 38 miteinander verglichen. Variante A entspricht dabei der Variante mit vollflächig zusammenhängender Modulfläche. Bei der Variante B werden die Module soweit aufgestellt (Hochformat), dass Sie sich im Dezember (bei Sonnen-Höchststand) nicht beschatten. Die Varianten C1/C2 weisen die gemäss «PVGIS» optimale Neigung für die PV-Module aus. Um dabei keine Beschattung zu erzeugen, müssen die Module jedoch im Querformat montiert werden. Dadurch können pro Reihe nur noch 3 Stück verbaut werden (Variante C1). Bei der Variante C2 nimmt man die Beschattung in Kauf, der Ertrag kann dann anhand von «PVGIS» jedoch nicht mehr errechnet werden.

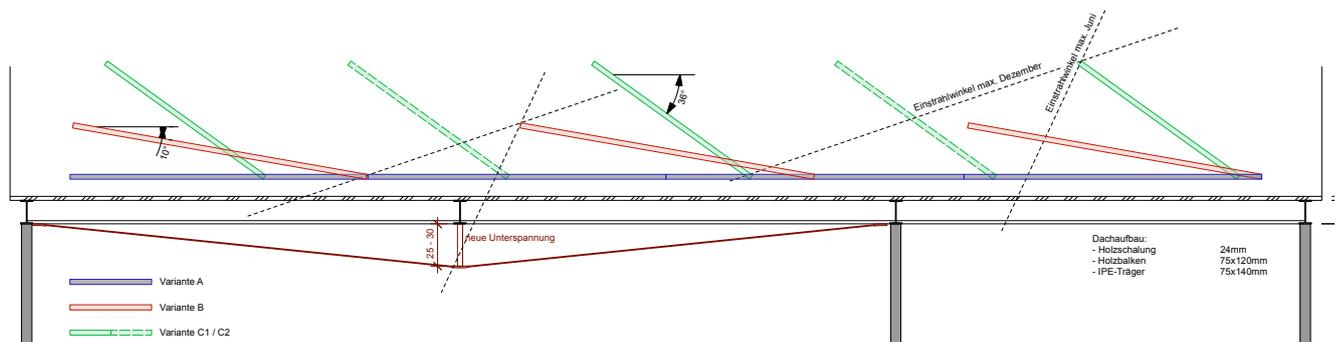


Bild 38: Flachdach Carport

	Anzahl Module	Installierte Leistung [kWp]	Jährlicher Ertrag [kWh]	
Variante A	16	7.200	6'900	100%
Variante B	12	5.400	< 5'500	80%
Variante C1	9	4.050	< 4'400	64%
Variante C2	12	5.400	-	-

Tabelle 6: Vergleich jährlicher Ertrag der PV-Anlage bei unterschiedlicher Anordnung

Da auch bei den Varianten B und C1 eine leichte Beschattung (vor und nach Sonnen-Höchststand) stattfindet, liegt der tatsächliche jährliche Ertrag etwas unterhalb der berechneten Werten.

Gegen eine Begrünung sprechen daher die Ertragseinbussen von ~20% respektive ~40% sowie die Mehrkosten von ca. 10'000.- Fr. (8'000.- Fr. für Verstärkungsmassnahmen plus 2'000.- für Stützenfundament und Begrünung).

Die Stockwerkeigentümergeinschaft entschied sich deshalb gegen eine Begrünung des Dachs.

Um die Photovoltaikanlage möglichst optimal zu nutzen, muss der Eigenstromverbrauch möglichst hoch sein. Das Gebäude an der Lettenstrasse 3 hat aktuell drei Stromzähler. Einen für die allgemeinen Bereiche wie Treppenhaus und Keller sowie der Heizung und je einen für die beiden Wohnungen. Der Stromverbrauch setzt sich wie folgt zusammen:

Verbraucher		[kWh]
Allgemein	(Ø letzten 4 Jahre)	4'350
Wohnung EG	(Ø letzten 4 Jahre)	1'350
Wohnung OG	(Annahme, da keine Daten)	1'350
Projektierte Luft-Wasser Wärmepumpe	(aus Berechnung Seite 31)	9'800
Total		16'850

Tabelle 7: Übersicht Stromverbrauch Lettenstrasse 3

Ersichtlich wird, dass die neue PV-Anlage im Jahr etwa so viel Strom produziert, wie die Liegenschaft aktuell pro Jahr verbraucht. Dies entspricht etwa 40% des zukünftigen Verbrauchs mit Luft-Wasser WP. Natürlich fällt die Stromproduktion jedoch nicht mit dem effektiven Strombedarf zusammen.

Mit folgenden Massnahmen soll der Eigenverbrauch trotzdem möglichst maximiert werden.

Der Einbau einer Batterie zur Speicherung des überschüssig produzierten Stroms. Bei der Auswahl der Batterie soll darauf geachtet werden, dass die Kapazität einfach erweitert werden kann (z.B. «B-Box HV» von BYD siehe Datenblatt im Anhang 9). Die optimale Leistungsgrösse der Batterie kann so im Betrieb ermittelt werden. Die BewohnerInnen der Erdgeschoss Wohnung an der Lettenstrasse 3 haben kein Auto. Bei einem allfälligen zukünftigen Kauf eines Elektroautos, soll darauf geachtet werden, dass dieses das bidirektionale Laden unterstützt. Dadurch könnte die Autobatterie als Erweiterung zur Batterie im Haus dienen, dies mit einem Vielfachen Speichervolumen.

Der Einbau einer modulierenden Wärmepumpe. Dies hat gleich zwei Vorteile. Erstens verlängert diese Ausführung die Lebensdauer der Wärmepumpe, da sie nicht immer auf Volllast läuft, sondern sich der Aussentemperatur sowie dem Wärmebedarf anpasst. Zweitens kann sich die Wärmepumpe auch dem durch die PV-Anlage produzierten Strom anpassen und somit den Eigenverbrauch optimieren, da nur so viel Strom bezogen wird wie auch produziert wird.

Der Einbau eines Kombispeichers für Warm- und Heizwasser. Auch dafür sprechen zwei Vorteile. Dieser Speicher kann, wie auch die Batterie, als Speicher überschüssiger Stromproduktion genutzt werden. Bei überschüssigem Strom wird auf eine erhöhte Temperatur erwärmt. Diese zusätzlich gespeicherte Energie kommt dann sowohl der Heizwärme als auch dem Warmwasser zugute. Der weitere Vorteil ist, dass das Warmwasser keiner Legionellengefahr mehr ausgesetzt ist, da das Trinkwasser nur noch per Durchlauf-Verfahren im Speicher erwärmt wird.

Weiter soll der produzierte Strom allen drei Bezugsstellen (Allgemein, Wohnung EG und OG) zur Verfügung stehen und nicht nur dem Zähler (z.B. Allgemein), an dem die PV-Anlage angehängt wird.

Das Stadtwerk Winterthur bietet dafür zwei Modelle an.

Eigenverbrauchsgemeinschaft (EVG)

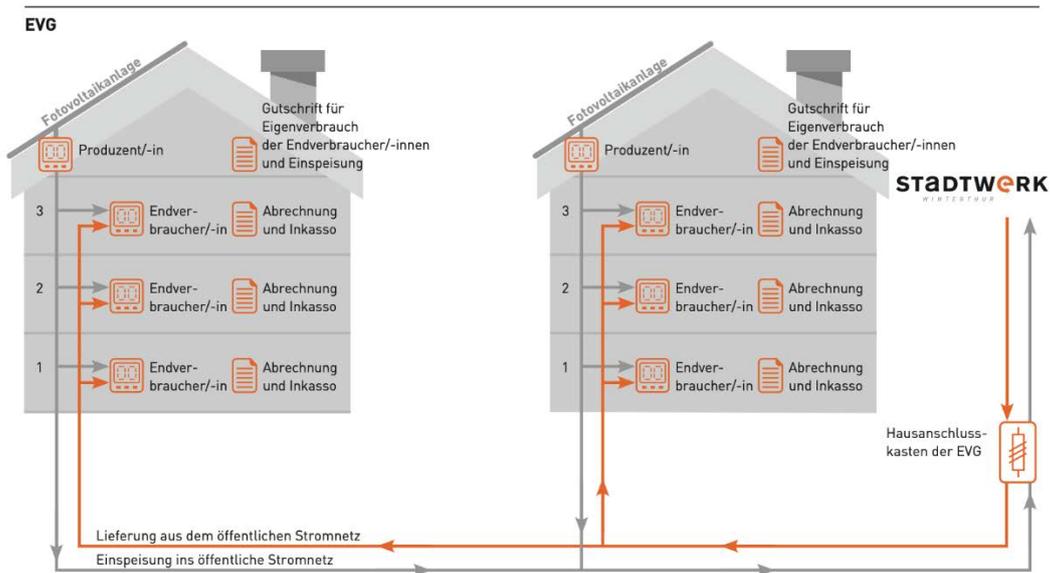


Bild 39: Schema EVG, Flyer «Eigenverbrauch» von Stadtwerk Winterthur

Die EVG ist für das Gebäude an der Lettenstrasse 3 aktuell die beste Lösung. Die PV-Anlage müsste dafür mit einem eigenen Stromzähler ausgerüstet werden. Der produzierte Strom wird dann an die drei verschiedenen Bezugsstellen verkauft. Der Verkaufspreis wird durch die EVG, sprich die Stockwerkeigentümergeinschaft definiert und kann auch 0.- Fr./kWh sein. Die gesamte Strommessung sowie Verrechnung erfolgt dabei durch das Stadtwerk. Die Kosten dafür betragen 4.- Fr. pro Monat und Zähler.

Die zweite Variante wäre der Zusammenschluss zum Eigenverbrauch (ZEV)

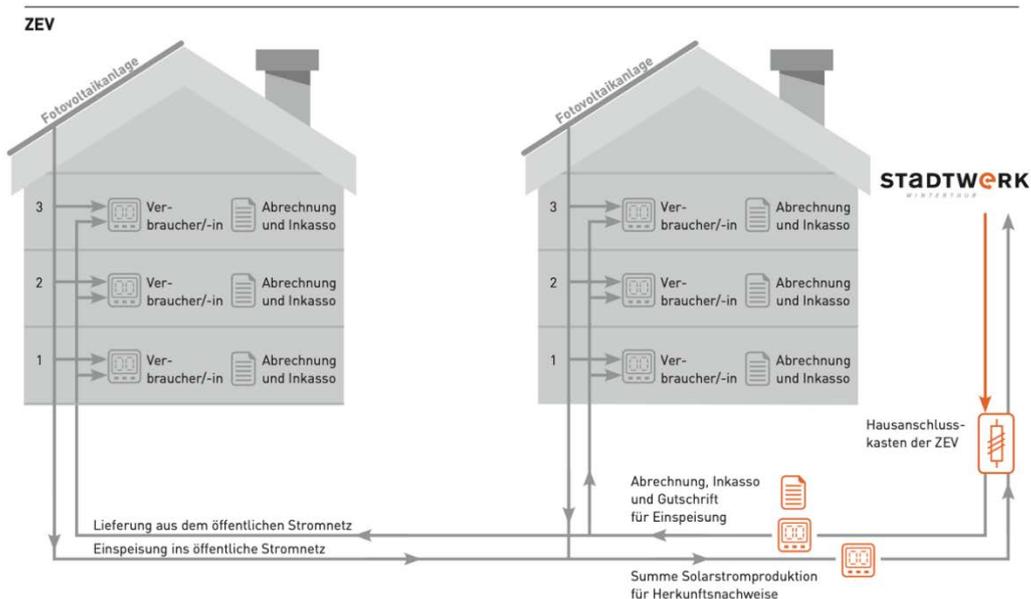


Bild 40: Schema ZEV, Flyer «Eigenverbrauch» von Stadtwerk Winterthur

Bei dieser Variante müssten alle bestehenden Stromzähler durch eigene Zähler ersetzt werden. Das Gebäude hätte nur noch einen Stromzähler vom Stadtwerk Winterthur. Die gesamte gebäudeinterne Messung und Abrechnung müsste in dem Fall durch die Stockwerkeigentümerschaft erfolgen.

Ab 2025 kämen noch zusätzliche Varianten in Frage.

Dank dem am 9. Juni 2024 angenommenen Stromgesetz könnte eine PV-Anlage, die auf dem Nachbarsgebäude installiert ist, in einen virtuellen Zusammenschluss zum Eigenverbrauch integriert werden. Dies, ohne dass eine eigene Leitung zwischen den beiden Gebäuden besteht, sondern über das Stromnetz vom Netzbetreiber. Die genauen Details einer solchen Variante sind jedoch noch unbekannt. Insbesondere die Netznutzungsgebühr dürfte da von speziellem Interesse sein.

Da auf dem gleichen Grundstück der Lettenstrasse 3 noch ein weiteres Gebäude steht (Lettenstrasse 5) könnte jedoch eine gemeinsame Anlage auf dem Flachdach der Lettenstrasse 5 ein Thema werden. Der Stockwerkeigentümergeinschaft wird empfohlen, dies als Option weiterhin zu berücksichtigen. In Frage kommt da der virtuelle ZEV.

Ab 2025; Virtueller ZEV und Lokale Elektrizitätsgemeinschaft

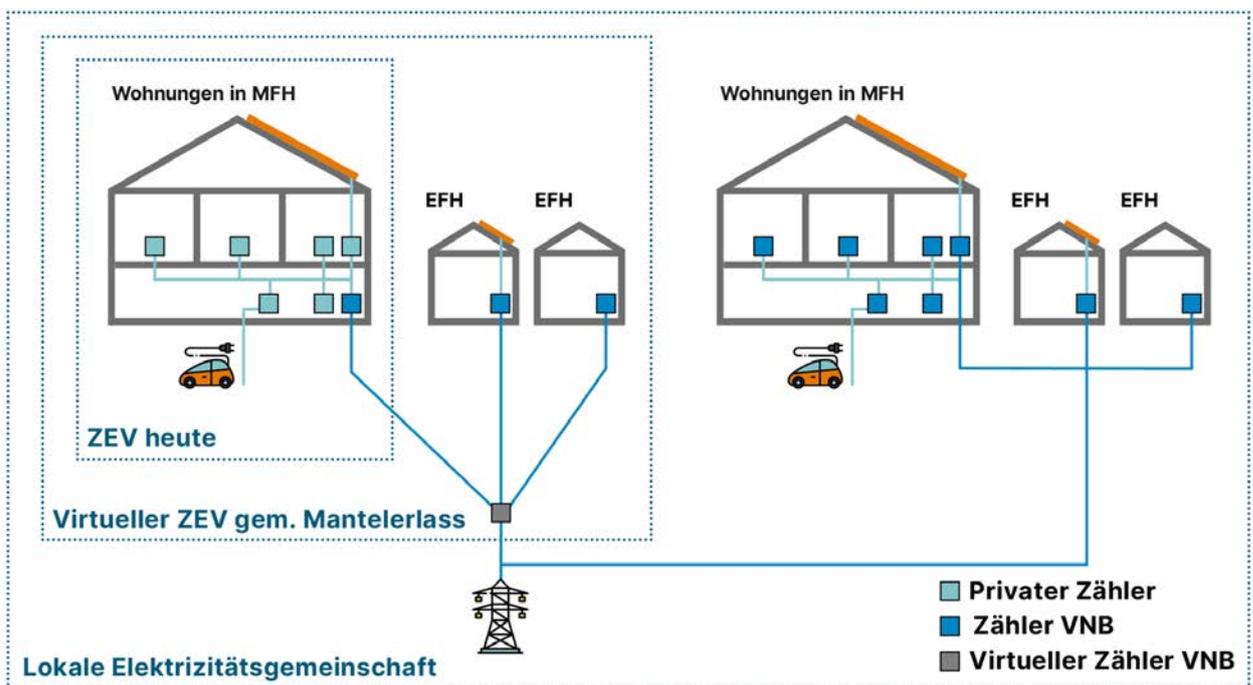


Bild 41: Schema LEG und ZEV, energie-experten.ch

2.5 Biodiversität Aussenraum

Obwohl die Biodiversität im Garten der Lettenstrasse 3 und 5 durch einen Bestand relativ alter Bäume bereits sehr hoch ist, kann sie durch gezielte Massnahmen verbessert werden. Grundsätzlich kommen zwei verschiedene Massnahmen-Gruppen in Frage. Einerseits kann der Unterhalt angepasst werden und andererseits können zusätzliche Elemente in die Umgebung eingefügt werden.

Auf Seiten Unterhalt wurden bereits diverse Massnahmen umgesetzt. So werden z.B. Äste nicht mehr komplett zusammengeräumt und der Grünabfuhr übergeben, sondern auf einem Haufen gesammelt. Auch tote Äste in den Bäumen werden belassen. Die positiven Auswirkungen waren bald ersichtlich. Im Laub- und Asthaufen fand ein Igel ein neues Zuhause und an den toten Ästen in den Bäumen können Vögel bei der Nahrungssuche beobachtet werden.



Bild 42: Igel vor Laub- und Asthaufen

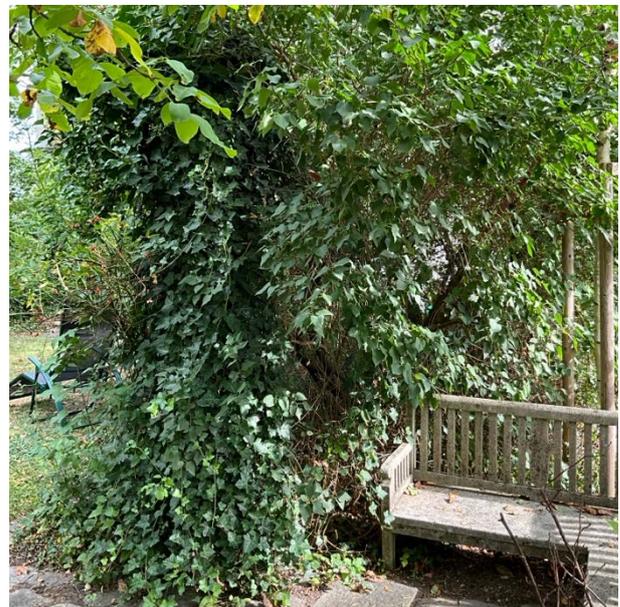


Bild 43: Toter Birkenstamm mit Bienen-Nestern

Wie bereits unter Punkt 2.2.2 erwähnt, wird in Zukunft auf das Entfernen der wild wachsenden Bäume im Zwischenraum zwischen Haus und Grundstücksmauer verzichtet (Bild 25). Auch diese Massnahme wird sich weiter positiv auf die Biodiversität auswirken und gleichzeitig einen kühlenden Effekt auf die Gebäudewand haben.

Die Oberfläche der Zufahrt zum Carport wie auch der Bereich auf Seiten der Reben-Pergola ist mit kleinem Rundkies ausgeführt. Bis vor wenigen Jahren wurde in diesem Bereich alles was spriesste ausgerissen. Seit dies nur noch im Bereich Durchfahrt und der Gehflächen gemacht wird, hat sich entlang des Gebäudes und der nicht begangenen Flächen eine schöne Ruderal-Flora entwickelt. Dies entstand ohne, dass etwas angesät wurde, sondern einzig durch das veränderte Verhalten der Nutzenden.

Im Unterhalt muss ein verstärktes Augenmerk auf die gebietsfremden invasiven Organismen (Neophyten) gerichtet werden. Der Verfasser entdeckte drei verschiedene Pflanzen, welche auf der Liste im «Anhang 2 der Freisetzungsverordnung» (FrSV)¹⁰ aufgeführt sind. Diese Liste wurde überarbeitet und ist seit 1. September 2024 in Kraft. Die drei entdeckten Arten sollten baldmöglichst inkl. den Wurzeln entfernt werden. Es handelt sich dabei um ein Sommerflieder, Nordamerikanische Goldrute und ein Kirschlorbeer.



Bild 44: Sommerflieder



Bild 45: Kirschlorbeer

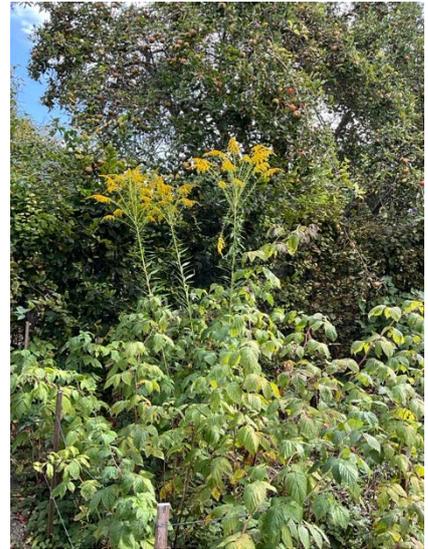


Bild 46: Nordamerikanische Goldrute

Auf Seiten der zusätzlichen Elemente wäre das bis anhin nackte Flachdach des Carports eine gute Möglichkeit die Biodiversität zu erhöhen. Wie bereits im Kapitel 2.4.2 der PV-Anlage erwähnt, gibt es da jedoch Interessenskonflikte zwischen der Begrünung des Dachs und einer möglichst hohen Stromproduktion.

An einem anderen Ort gibt es hingegen noch ein Verbesserungspotenzial. Die Terrasse der Erdgeschoss Wohnung besteht aus einer Betonkonstruktion, welche mit einem Plattenbelag aus dunklen Klinkersteinen belegt ist. Die Terrasse ist gegen Süden ausgerichtet und heizt sich im Sommer so auf, dass noch bis weit in die Nacht Wärme an die Umgebung und (beim Lüften) ins Haus abgegeben wird. Der Verfasser schlägt daher vor, auf der Terrasse möglichst viele, schattenspendende Topfpflanzen oder Kletterpflanzen vorzusehen (Bild 47). Durch den Schattenwurf werden die Platten weniger stark erhitzt. Weiter kühlen die Pflanzen über das Wasser welches durch die Blätter verdunstet die Luft ab.

Eine weitere einfache Massnahme, welche bereits umgesetzt wurde, ist eine Vogeltränke (Bild 48). An dieser kann, vor allem an heissen Tagen, ein grosser Andrang an verschiedensten Vögeln beobachtet werden.



Bild 47: Terrasse mit Topf- und Kletterpflanzen



Bild 48: Vogeltränke

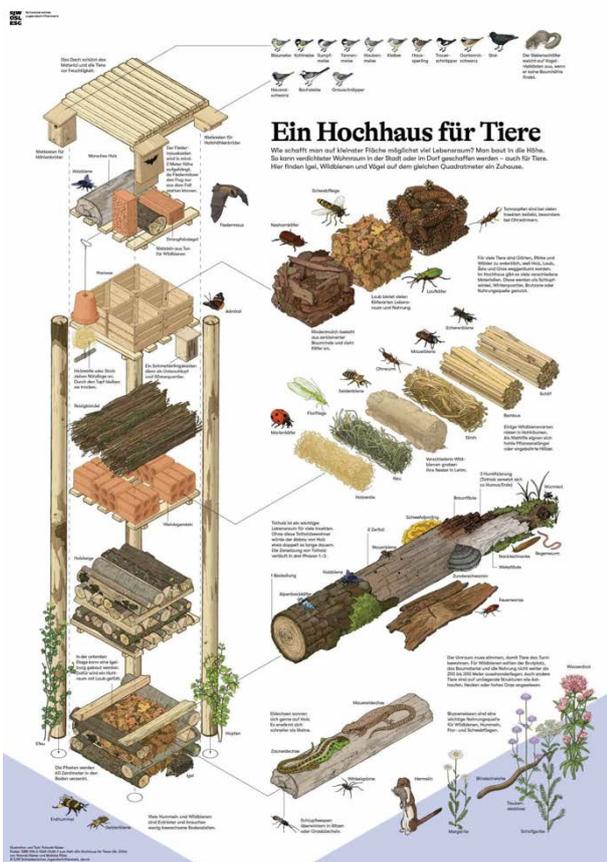


Bild 49: Poster «Hochhaus für Tiere»

Um für noch mehr Tiere einen Lebensraum zu schaffen, schlägt der Verfasser vor, im Garten ein Hochhaus für Tiere zu erstellen. Die SJW-Stiftung (Schweizerisches Jugendschriftenwerk) hat dafür eine schöne Anleitung erstellt (Bild 49). Das Hochhaus sollte als Gemeinschaftswerk der Bewohner an der Lettenstrasse 3 und 5 entstehen. Vor allem die Kinder werden so für das Thema der Biodiversität sensibilisiert und können nach dem Bau lehrreiche Beobachtungen, direkt im eigenen Garten machen.

2.6 Innere Verdichtung Gebäude

Das Mansardengeschoss an der Lettenstrasse 3 ist zwischen den beiden Stockwerkeigentümer-Partien aufgeteilt. Zur Wohnung im Erdgeschoss gehören die beiden Zimmer 1 und 2.

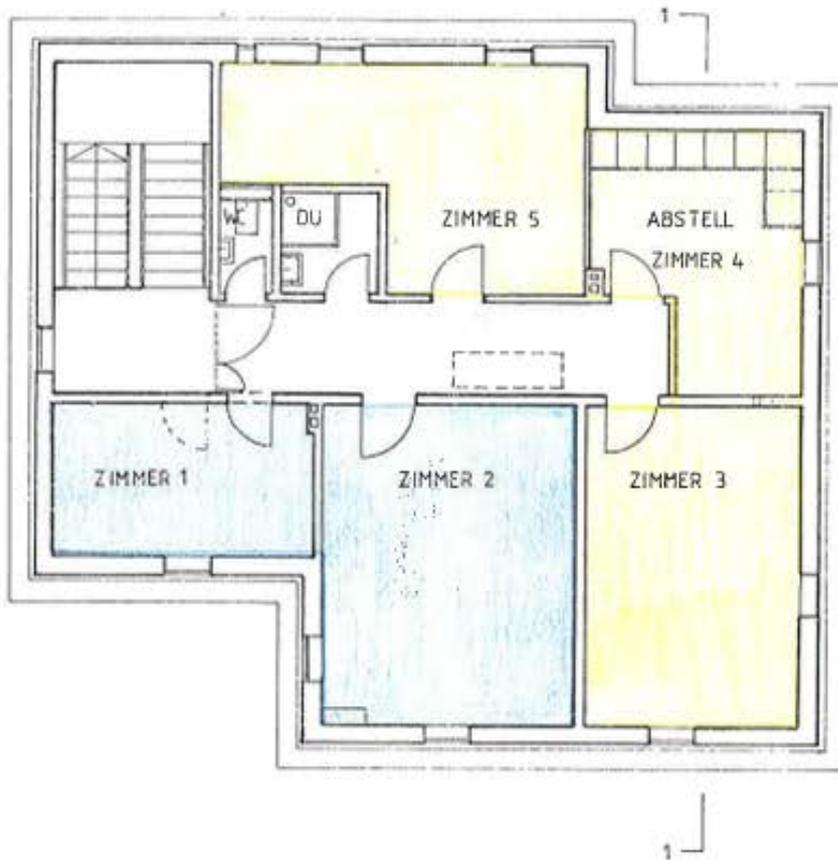


Bild 50: Grundriss Dachgeschoss Lettenstrasse 3, 8408 Winterthur

Bis Ende Juli lebte im Zimmer 2 der Pflege Sohn der Familie Rennhard. Das Zimmer 5 wird durch die zweite Stockwerkeigentümer-Partie als möbliertes Zimmer inkl. kleiner Küche vermietet. Die Nasszelle mit WC und Dusche steht beiden Parteien zur Verfügung.

Diese gemeinsam genutzt Nasszelle führte immer wieder zu Reklamationen. Unterschiedliche Vorstellungen betreffend Sauberkeit und Nutzungszeiten bieten viel Konfliktpotenzial. Sei es zwischen den Bewohnern des Dachgeschosses, aber auch zwischen den beiden Eigentümern da sich die Mieter meist beim jeweiligen Vermieter beschweren.

Um diesem Problem entgegen zu wirken, könnte das Geschoss als Ganzes vermietet werden. Denkbar wäre eine Wohngemeinschaft für vier Studenten oder eine Familienwohnung für eine dreiköpfige Familie.

Durch diese Massnahme könnte die Ausnutzung um ein bis zwei Personen erhöht werden, was den Flächenverbrauch pro BewohnerIn verringert. Gleichzeitig entschärft sich die Situation um die Nasszelle, da diese nur noch von einer einzigen Partie benutzt wird.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über den Flächenverbrauch pro BewohnerIn an der Lettenstrasse 3.

	Wohnfläche (m ²)	Anzahl Personen	m ² pro Person
Aktueller Stand			
Erdgeschoss (+ Zimmer 1 im DG)	105	3	35
Obergeschoss (+ Zimmer 3 + 4 im DG)	125	1	125
Dachgeschoss (ohne Zimmer 1, 3 + 4)	48	2	24
Total Gebäude	278	6	46,3
Variante Wohnung DG			
Erdgeschoss	96	3	32
Obergeschoss	96	1	96
Dachgeschoss	86	3 – 4	22 - 29
Total Gebäude	278	7 – 8	34,8 – 39,7
Variante Vollaussnutzung			
Erdgeschoss	96	3	32
Obergeschoss	96	3	32
Dachgeschoss	86	3 – 4	22 - 29
Total Gebäude	278	9 – 10	27,8 – 30,9
Ø Flächenverbrauch pro Person Schweiz	(gem. Bundesamt für Statistik)		46,5
Zielwert Countdown 2030			< 41

Tabelle 8: Vergleich Flächenverbrauch pro BewohnerIn an der Lettenstrasse 3

Die Tabelle zeigt, dass das Gebäude mit den aktuell sechs Personen einen Flächenverbrauch von ca. 46m² pro Person aufweist und damit genau im Schweizerischen Durchschnitt liegt.

Durch die vorgeschlagene Umnutzung des Dachgeschosses, zu einer Wohnung mit drei bis vier BewohnerInnen, verringert sich der Flächenverbrauch pro Person um über 15m². Damit liegt dieser unterhalb des Wertes, welcher vom «Countdown 2030 - Verein für zukunftsfähige Baukultur» als Zielwert angegeben wird. Dies gelingt, obwohl im Obergeschoss die gesamte Wohnung nur durch eine Bewohnerin genutzt wird.

Falls die Obergeschoss-Wohnung ebenfalls durch eine dreiköpfige Familie bewohnt wäre, würde sich der Flächenverbrauch weiter auf ca. 30m² pro BewohnerIn verringern.

Vor einer Umnutzung des Dachgeschosses, schlägt der Verfasser jedoch vor, dass die Schalldämmung des Bodens zum Obergeschoss verbessert wird. Diese ist momentan sehr schlecht. Dadurch können Streitigkeiten zwischen den BewohnerInnen der beiden Geschosse vorgebäugt werden. Weiter sollte im Gleichen auch noch die Decke zum Estrich zusätzlich gedämmt werden. Dies als Kompensation zur schlecht gedämmten Fassade des Gebäudes.

2.7 Kostenschätzung

Nachfolgend eine Kostenschätzung aller geplanten Massnahmen. Für die Wohnung im EG beziehen sich die Kosten hauptsächlich auf die Materialkosten. Die Arbeitsstunden des Verfassers sind nicht eingerechnet.

	CHF inkl. MWST
Massnahmen Wohnung EG	
101 Bestandesaufnahmen (Raumluftmessung, Blower-Door-Messung, Analyse Schlacke)	2'500.-
112 Abbrüche / Entsorgung (Aushub + Beton Esszimmer, Schlacke)	2'000.-
211 Baumeisterarbeiten (Kernbohrungen Esszimmer)	500.-
214 Holzbauarbeiten (Boden Esszimmer, Dämmung unter original Parkett)	5'000.-
258 Kücheneinrichtung	25'000.-
271 Gipsarbeiten (Lehmputzarbeiten)	4'000.-
281 Bodenbeläge (De- und Wiedermontage der originalen Parkettböden, abschleifen und neu ölen)	2'000.-
285 Malerarbeiten (Türen ablaugen in Ablaugerei, neu streichen Wandtäfer)	5'000.-
589 Reserve für Unvorhergesehenes	4'000.-
Total Wohnung EG	50'000.-
Massnahmen Gebäude	
214 Holzbauarbeiten (neue Türe Schopf Carport, teilw. Ersatz Holzlamellen)	2'000.-
222 Spenglerarbeiten (Randabschluss und Abdichtung Carport, Massnahmen Kehlrinne)	8'000.-
230 Elektroanlagen (Nebenarbeiten zu PV-Anlage)	1'000.-
239 Photovoltaikanlage (inkl. Speicher)	25'000.-
240 Heizungsanlage (Luft-Wasser Wärmepumpe inkl. Kombispeicher)	30'000.-
250 Sanitäranlagen (Nebenarbeiten zu Heizungsersatz)	2'000.-
272 Metallbauarbeiten (allfällige Windversteifung Carport)	2'000.-
285 Malerarbeiten (Fensterläden nachölen)	1'000.-
421 Gärtnerarbeiten (Massnahmen Umgebung)	1'000.-
589 Reserve für Unvorhergesehenes	8'000.-
Total Gebäude	80'000.-
Massnahmen Dachgeschoss	
112 Abbrüche / Entsorgung	1'000.-
214 Holzbauarbeiten (Schall- und Wärmedämm-Massnahmen)	15'000.-
230 Elektroanlagen (Nebenarbeiten zu neuer Küche, Anpassung Stromzähler)	1'000.-
250 Sanitäranlagen (Nebenarbeiten zu neuer Küche)	1'000.-
258 Kücheneinrichtung	10'000.-
281 Bodenbeläge	5'000.-
285 Malerarbeiten	5'000.-
589 Reserve für Unvorhergesehenes	7'000.-
Total Dachgeschoss	45'000.-

Tabelle 9: Kostenschätzung

Auf einzelne Positionen, welche in der Kostenschätzung aufgeführt sind, wurde in der vorliegenden Arbeit aufgrund der Umfangsbeschränkung nicht eingegangen. In die Kostenschätzung wurden sie trotzdem aufgenommen, um bei der Stockwerkeigentümer-Sitzung den vollständigen Umfang abzubilden.

3 FACHLICHES FAZIT

In der ersten Phase der Arbeit zeigte sich, wie wichtig ausführliche Analysen sind. Ohne die BlowerDoor-Messung wären die Sanierungsmassnahmen wahrscheinlich anders ausgefallen. Dies zeigt die Wichtigkeit solcher Untersuchungen, welche am besten noch vor der genauen Projektdefinition stattfinden, da die Analyseergebnisse allenfalls grossen Einfluss auf den Projektumfang haben.

Bei der praktischen Umsetzung der Massnahmen wurde deutlich, dass dafür viel mehr Zeit nötig ist als ursprünglich angedacht war. Dank dem Umstand, dass die Wohnung trotz des Umbaus weiterhin bewohnt bleiben konnte, führte dies jedoch zu keinen Problemen. Weiter zeigte dem Verfasser die Auseinandersetzung mit jedem einzelnen Nagel, die dringende Notwendigkeit, dass der Rückbau zwingend detailliert in die Planung mitaufgenommen werden muss. Ansonsten kann eine zukünftige Wiederverwendung nicht gewährleistet werden.

Die Radonsanierung offenbarte die Funktion von «Low-Tech» Massnahmen eindrücklich. Einzig durch Ausnutzung der vorhandenen, erhöhten Lage und der Ermöglichung einer natürlichen Durchlüftung, konnten die Radonwerte massiv gesenkt werden. Auf den Einsatz von Drainagerohre und elektrisch betriebener Lüftungen konnte verzichtet werden.

Bei der vertiefenden Befassung mit den beiden Wärmepumpen-Systemen wurde die Wichtigkeit der Art der Stromproduktion sichtbar. Beim «effektiven Strom-Mix» der Schweiz besteht noch ein sehr grosses Verbesserungspotenzial, welches die Notwendigkeit der Energiewende, hin zu mehr erneuerbarem Strom, aufzeigt. Für den Verfasser erstaunlich war der nur geringe Unterschied der Umweltbelastung während dem Betrieb, zwischen den beiden Wärmepumpen Varianten.

Bei den Themen, welche das gesamte Gebäude betreffen, kamen die Schwierigkeiten von Stockwerk-Eigentümergeinschaften (STWEG) zum Vorschein. Vor allem bei Konstrukten wie der 50:50 - Aufteilung oder bei Gemeinschaften bei welchen Einstimmigkeit vorgegeben ist und daher keine Mehrheiten ausreichend sind um Entscheide zu fällen, muss viel Zeit und Energie für Aufklärungsarbeit aufgewendet werden. Ansonsten lassen sich neue Massnahmen kaum umsetzen, da die Interessen aller involvierten Personen berücksichtigt werden müssen.

Beim Dach des Carports wurde sichtbar, dass sich Themen der Nachhaltigkeit nicht immer zwingend ergänzen, sondern dass man manchmal auch zwischen zwei oder mehreren Aspekten abwägen muss.

Im Garten zeigte sich, wie auch kleine Massnahmen, wie eine Vogeltränke, eine sofortige Auswirkung auf die vorhandenen Lebewesen haben. Die Menge und Aufenthaltsdauer, vor allem von Kohl- und Blaumeisen, hat sich dadurch erheblich vergrössert. Andere Massnahmen an der sich die Natur sehr erfreut, wie das liegenlassen von Ästen ist für die BetreiberInnen der Liegenschaft sogar eine Erleichterung.

4 SCHLUSSWORT

Der Verfasser bedankt sich in erster Linie bei seiner Familie, welche die einschränkenden Umbaumaassnahmen wohlwollend ertragen hat und weiterhin erträgt. Unsere Tochter Mona erfreute sich vor allem am Abkratzen der Wandtäfer-Farbe, Andrea freut sich hingegen stärker auf das Endergebnis, welches wir hoffentlich möglichst bald geniessen dürfen.

Weitere spezielle Danksagungen gehen an:

- Frank Diebold, welcher in seinem verdienten Feierabend die BlowerDoor-Messung durchführte,
- Christian Ganz, ismont AG, welcher mit Rat und Werkzeug immer zur Verfügung stand, wenn es ums Holz ging,
- Vito Galati, Galati Gipser GmbH, welcher mit Rat, Tat und Werkzeug zur Verfügung stand, wenn es um Lehm ging,
- Guido Rennhard, welcher alle defekten Parkett-Elemente wieder reparierte,
- Mimmo Bauunternehmung AG, für alle schweren Maschinen die genutzt werden durften,
- Stefi Küttel, bierstefi.ch, als grossartige Lektorin,
- alle weiteren Freunde und Verwandte, die mit vielfältigem Rat und Tat im Einsatz standen, sei es beim Spitzen des Betons oder beim Ausgraben des Hohlraums darunter!

Der Verfasser genoss auch die praktischen Aspekte der Arbeit, trotz Temperaturen von meist über 30°, welche zeitweise im Schutzanzug ausgehalten werden mussten. Die Arbeit hatte teilweise meditative Phasen, so zum Beispiel beim Rückbau der alten Parkettelemente. Diese Arbeit ging nur ganz langsam vonstatten, wobei eine fast spirituelle Verbindung zu den ursprünglichen Erbauern vor 125 Jahren entstand.

Auch die vertiefte Befassung mit dem breiten Themenspektrum, welches in eine solche Sanierung einfließt, waren für den Verfasser sehr lehrreich. Er freut sich ebenfalls auf das Endergebnis und ist gespannt auf die verschiedenen Auswertungen die noch folgen werden.

Weiter entschuldigt sich der Verfasser bei seiner Familie für die häufige Abwesenheit während dem letzten Sommer!

5 QUELLENVERZEICHNIS

Bücher, Internet:

- 1 Baubeschrieb aus Gebäudedokumentation von Beat Schwengeler, Architekt Umbau 1995
- 2 <https://polludoc.ch/de/material/radioaktive-materialien-gebaeuden> (Zugriff 15.07.2024)
- 3 <https://polludoc.ch/de/material/schlacken-waenden-zwischenboeden-und-als-fundationsschicht> (Zugriff 15.07.2024)
- 4 <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte#ausschuss-fur-innenraumrichtwerte-air> (Zugriff 16.07.2024)
- 5 file:///Users/rogerrennhard/Downloads/GI_Zertifikatsanforderungen-fuer-Neu--und-Umbauten_V2.0_240321.pdf (Zugriff 12.07.2024)
- 6 Linden, Marquardt (HRSG.), Ökologisches Baustoff-Lexikon, 4. Auflage, 978-3-8007-3232-6
- 7 ESU-services, Kurzstudie: Ökologische Amortisationsrechnung für Heizsysteme
<https://www.wwf.ch/sites/default/files/doc-2022-10/2022-09-NEUE%20VERSION%20-%20Studie-Oekobilanz-vorzeitiger-Heizungersersatz.pdf> (Zugriff 22.07.2024)
- 8 Ökobilanzdaten im Baubereich, KBOB / ecobau / IPB 2009:1:2022, Version 5
https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html (Zugriff 22.07.2024)
- 9 https://rechner.pawis.ch/HTMLStrommix_22_de_v7/Oekobilanzrechner_Strommix_2022_deutsch_v7_UV_EK2022.htm (Zugriff 22.07.2024)
- 10 <https://www.fedlex.admin.ch/eli/oc/2024/116/de> (Zugriff 07.09.2024)

Bilder:

- Bild 1 Hausvorbesitzer, Quelle unbekannt
- Bild 2 Bildarchiv Winterthur https://bilddatenbank.winterthur.ch/ims_publisher/originalpage/view/34602/112134.jpg.html?source=images (Zugriff 05.08.2024)
- Bild 3 - 8 erstellt durch Verfasser (2024)
- Bild 9 Auszug aus Plänen zu Grundbuchauszug, Notariat Wülflingen-Winterthur, 21.08.1997
- Bild 10 - 34 erstellt durch Verfasser (2024)
- Bild 35 Auszug Kommunalen Energieplan <https://stadtplan.winterthur.ch/> (Zugriff 22.07.2024)
- Bild 36 Auszug Wärmenutzungsatlas <http://maps.zh.ch/> (Zugriff 22.07.2024)
- Bild 37 - 38 erstellt durch Verfasser (2024)
- Bild 39 - 40 Flyer EVG und ZEV von Stadtwerk Winterthur <https://stadtwerk.winterthur.ch/Angebot/Strom/Eigenverbrauchsgemeinschaft--EVG-/Wie-funktioniert-eine-EVG-> (Zugriff 31.07.2024)
- Bild 41 Energie-Experten https://www.energie-experten.ch/de/wissen/detail/virtuelle-zev-und-lokale-elektrizitaetsgemeinschaften.html?gad_source=5#a1e1-aid (Zugriff 15.08.2024)
- Bild 42 - 48 erstellt durch Verfasser (2024)
- Bild 49 Schweizerisches Jugendschriftenwerk https://sjw.ch/Poster-Ein-Hochhaus-fuer-Tiere/PO-2726?srsId=AfmBOoik_yVgbJwTLiDeqZb3dgtdHAiJYU3_7IqJKDCJ5kK3rg56EB_ (Zugriff 06.07.2024)
- Bild 50 Auszug aus Plänen zu Grundbuchauszug, Notariat Wülflingen-Winterthur, 21.08.1997

Tabellen und Grafiken:

- Tabellen 1 - 9 erstellt durch Verfasser (2024)
- Diagramm 1 - 3 erstellt durch Verfasser (2024)

6 ANHÄNGE

- Anhang 1	Prüfbericht BlowerDoor – Messung	- 47 -
- Anhang 2	Analysebericht Bachema AG	- 49 -
- Anhang 3	Laborbericht Analytik Aurachtal GmbH	- 53 -
- Anhang 4	Ubakus Berechnung Bodenaufbau Bestand	- 64 -
- Anhang 5	Ubakus Berechnung Bodenaufbau Variante Dämmung	- 68 -
- Anhang 6	Ubakus Berechnung Bodenaufbau Variante Lehmschüttung	- 72 -
- Anhang 7	Ubakus Berechnung Wandaufbau Bestand Verputz	- 76 -
- Anhang 8	Ubakus Berechnung Wandaufbau Bestand Holztäfer	- 80 -
- Anhang 9	Datenblatt zu Batterien-Speicher B-Box HV von BYD	- 84 -

Eigenständigkeit und Autorenschaft / Urheberklärung

Vorname: Roger Nachname: Rennhard
Wohnadresse: Lettenstr. 3
PLZ: 8408 Ort: Winterthur

Der Unterzeichnende bestätigt hiermit, die Arbeit selber ausgeführt zu haben. Zudem bestätigt er, die Richtlinie von 25 bis 30 A4-Textseiten, für den selbst erfassten Text der Diplomarbeit, eingehalten zu haben:

Ort Winterthur Datum 9.9.2024 Unterschrift [Handwritten Signature]

ANHANG 1

BlowerDoor Prüfbericht



Messdaten und Ergebnisse

Duct Blaster B - TECTITE Express 4.1.49.0

Projektnr.: Whg. Rennhard, EG, Lettenstr. 3, Winterthur	Prüfer/in: Frank Diebold
Objekt: Whg. Rennhard, EG, Lettenstr. 3, Winterthur	Datum: 20.06.2024

Randbedingungen

Windstärke in Beaufort: 2 Leichte Brise
 Anzahl Messstellen Gebäudedruckdifferenz: 1 Außenstelle(n)

Unterdruck

Innentemperatur:	25 °C
Außentemperatur:	25 °C
Luftdruck (geograph.):	96463 Pa

Überdruck

Innentemperatur:	25 °C
Außentemperatur:	25 °C
Luftdruck (geograph.):	96463 Pa

Natürliche Druckdiff.	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
	0.2 Pa	-0.1 Pa	0.0 Pa	-0.1 Pa

Natürliche Druckdiff.	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
	0.0 Pa	-0.1 Pa	-	-0.3 Pa

Messreihen

Reduzierblende	Gebäudedruck	Gebläsedruck	Gebäudedruck	Volumenstrom	Reduzierblende	Gebäudedruck	Gebläsedruck	Gebäudedruck	Volumenstrom
O ABCDE	Δp_m (Pa)	(Pa)	Δp (Pa)	V_r (m³/h)	O ABCDE	Δp_m (Pa)	(Pa)	Δp (Pa)	V_r (m³/h)
$\Delta p_{01} =$	0.1	----	----	----	$\Delta p_{01} =$	-0.1	----	----	----
1	-29	134	-29	812	1	29	137	29	821
1	-36	182	-36	948	1	36	181	36	944
1	-43	232	-43	1069	1	43	231	43	1068
1	-50	285	-50	1186	1	50	285	50	1187
1	-57	339	-57	1296	1	57	338	57	1293
0	-63	57	-63	1417	0	63	58	63	1419
$\Delta p_{02} =$	-0.1	----	----	----	$\Delta p_{02} =$	-0.3	----	----	----

Korrelationskoeffizient r:	0.999	Vertrauensintervall (95%)		Korrelationskoeffizient r:	0.999	Vertrauensintervall (95%)	
C_{env} (m³/(h Pa ⁿ))	77.14	max. 87	min. 68	C_{env} (m³/(h Pa ⁿ))	79.44	max. 94	min. 67
C_L (m³/(h Pa ⁿ))	75.71	max. 85	min. 67	C_L (m³/(h Pa ⁿ))	77.92	max. 92	min. 66
n (-)	0.708	max. 0.74	min. 0.68	n (-)	0.700	max. 0.74	min. 0.66

Ergebnis, Kenngrößen

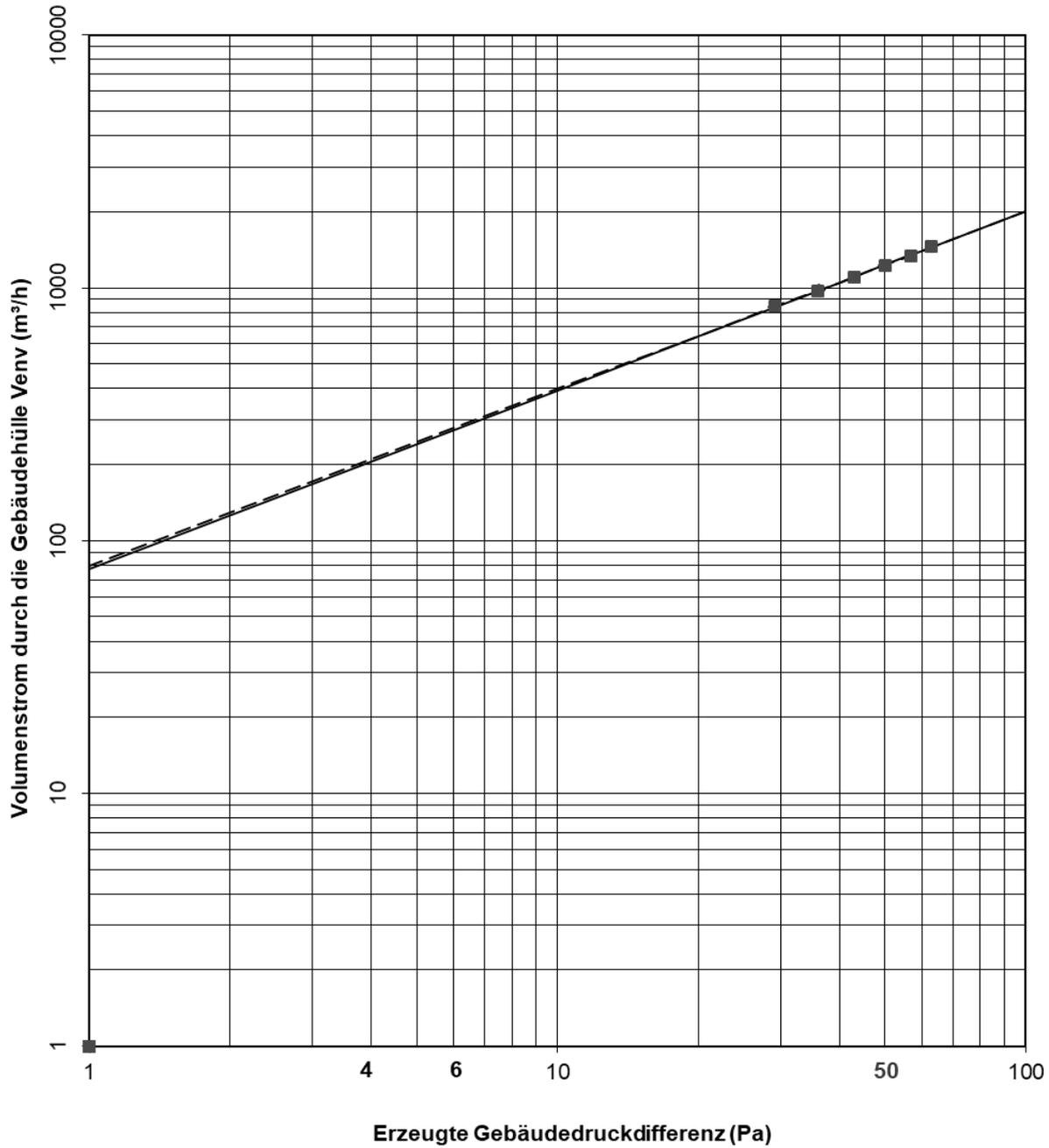
$V_L =$	259 m³	$A_{NRF} =$	96 m²	$A_E =$	303 m²
---------	--------	-------------	-------	---------	--------

	q_{50}	Unsicherheit	n_{L50}	Unsicherheit	q_{F50}	Unsicherheit	q_{E50}	Unsicherheit
	m³/h	%	1/h	%	m³/(m²h)	%	m³/(m²h)	%
Unterdruck	1207	+/- 5 %	4.7	+/- 7 %	12.5	+/- 7 %	4.0	+/- 7 %
Überdruck	1207	+/- 5 %	4.7	+/- 7 %	12.5	+/- 7 %	4.0	+/- 7 %
Mittelwert	1207	+/- 3 %	4.7	+/- 5 %	12.5	+/- 5 %	4.0	+/- 5 %

Anforderung:	Zulässiger Höchstwert:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	3.60	m³/(m²h)
	Regelung:	RiLuMi, Version 2024.1				

Bewertung:	Die Anforderungen werden nicht erfüllt
	Das Messergebnis schließt (verdeckte) Leckagen in der Konstruktion nicht aus.

**BlowerDoor Leckagekurve: Whg. Rennhard, EG, Lettenstr. 3,
Winterthur**



- ◆ Unterdruck (m³/h)
- Überdruck (m³/h)
- Regressionsgerade Unterdruck
- - - Regressionsgerade Überdruck

ANHANG 2

bachema

Bachema AG
Analytische Laboratorien

Schlieren, 15. Juli 2024
PM

Roger Rennhard
Lettenstrasse 3
8408 Winterthur

Untersuchungsbericht

Objekt: Wohnung EG, Lettenstrasse 3, Winterthur

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)

Akkreditiert nach
ISO/IEC 17025
STS-Nr. 0064

Auftrags-Nr. Bachema	202408474
Proben-Nr. Bachema	36049
Tag der Probenahme	03. Juli 2024
Eingang Bachema	04. Juli 2024
Probenahmeort	Winterthur
Entnommen durch	R. Rennhard, Lettenstrasse 3, 8408 Winterthur
Auftraggeber	R. Rennhard, Lettenstrasse 3, 8408 Winterthur
Rechnungsadresse	R. Rennhard, Lettenstrasse 3, 8408 Winterthur
Rechnung zur Visierung	R. Rennhard, Lettenstrasse 3, 8408 Winterthur
Bericht an	R. Rennhard, Lettenstrasse 3, 8408 Winterthur
Bericht per e-mail an	R. Rennhard, roger@rennis.ch
Excel-File	R. Rennhard, roger@rennis.ch

Freundliche Grüsse
BACHEMA AG



Annette Rust
Dr. sc. nat. / Dipl. Umwelt-Natw. ETH

202408474 / 15. Juli 2024 Seite 1/4

bachema

Bachema AG
Analytische Laboratorien

Objekt: Wohnung EG, Lettenstrasse 3, Winterthur
Auftraggeber: R. Rennhard
Auftrags-Nr. Bachema: 202408474

Probenübersicht

Bachema-Nr.	Probenbezeichnung	Probenahme / Eingang Labor
36049 F	Lettenstr. 3, Wohnung EG, Büro	03.07.24 / 04.07.24

Legende zu den Referenzwerten

VVEA Typ B	Grenzwert für auf Deponien des Typs B zugelassene Abfälle gemäss der Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA).
VVEA Typ E	Grenzwert für auf Deponien des Typs E zugelassene Abfälle gemäss der Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA).

Abkürzungen

W	Wasserprobe
F	Feststoffprobe
TS	Trockensubstanz
<	Bei den Messresultaten ist der Wert nach dem Zeichen < (kleiner als) die Bestimmungsgrenze der entsprechenden Methode.
{1}	Die Analysenmethode liegt zurzeit nicht im akkreditierten Bereich der Bachema AG.
{2}	Externe Analyse von Unterauftragnehmer / Fremdlabor.
{3}	Feldmessung von Kunde erhoben.

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)

Akkreditiert nach
ISO/IEC 17025
STS-Nr. 0064

Akkreditierung

	<p>Die Resultate der Untersuchungen beziehen sich auf die im Prüfbericht aufgeführten Proben und auf den Zustand der Proben bei der Entgegennahme durch die Bachema AG. Der vollständige Prüfbericht steht dem Kunden zur freien Verfügung. Die Verwendung von Auszügen (einzelne Seiten) oder Ausschnitten (Teile einzelner Seiten) des Prüfberichts sowie Hinweise auf den Prüfbericht (z.B. zu Werbezwecken oder bei Präsentationen) sind nur mit Genehmigung der Bachema AG gestattet. Detailinformationen zu Messmethode, Messunsicherheiten und Prüfdaten sind auf Anfrage erhältlich (s. auch Dienstleistungsverzeichnis oder www.bachema.ch)</p>
---	--

Bachema AG
Analytische Laboratorien

Objekt: Wohnung EG, Lettenstrasse 3, Winterthur
Auftraggeber: R. Rennhard
Auftrags-Nr. Bachema: 202408474

Probenbezeichnung	Lettenstr. 3, Wohnung EG, Büro	Referenzwert	
		VVEA Typ B	VVEA Typ E
Proben-Nr. Bachema	36049		
Tag der Probenahme	03.07.24		
Probenparameter			
Angelieferte Probenmenge	kg	1.0	
Allgemeine und anorganische Parameter			
Kohlenstoff org. (TOC400)	% TS c	1.4	
			2 5
Schwermetalle aus Schwermetall-Fingerprint (XRF, Hg (AAS), vollständig s. Anhang)			
Antimon	mg/kg TS Sb	<2	30 50
Arsen	mg/kg TS As	8	30 50
Blei	mg/kg TS Pb	78	500 2'000
Cadmium	mg/kg TS Cd	<0.5	10 10
Chrom	mg/kg TS Cr	82	500 1'000
Kobalt	mg/kg TS Co	160	
Kupfer	mg/kg TS Cu	160	500 5'000
Molybdän	mg/kg TS Mo	<10	
Nickel	mg/kg TS Ni	120	500 1'000
Quecksilber	mg/kg TS Hg	0.5	2 5
Thallium	mg/kg TS Tl	<2	
Zink	mg/kg TS Zn	82	1'000 5'000
Zinn	mg/kg TS Sn	7	
PAK			
Benzo(a)pyren (Schlacke)	mg/kg TS	14	3 10
Summe PAK (Schlacke)	mg/kg TS	150	25 250

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)

Akkreditiert nach
ISO/IEC 17025
STS-Nr. 0064

Bachema AG
Analytische Laboratorien

Objekt: Wohnung EG, Lettenstrasse 3, Winterthur
Auftraggeber: R. Rennhard
Auftrags-Nr. Bachema: 202408474

Anhang: Element-Übersichtsanalyse XRF

Probenbezeichnung	Lettenstr. 3, Wohnung EG, Büro 36049				VVEA Typ B	VVEA Typ E
-------------------	---	--	--	--	------------	------------

Schwermetalle

Antimon	mg/kg TS Sb	<2			30	50
Arsen	mg/kg TS As	8			30	50
Blei	mg/kg TS Pb	78			500	2'000
Cadmium	mg/kg TS Cd	<0.5			10	10
Chrom	mg/kg TS Cr	82			500	1'000
Kobalt	mg/kg TS Co	160				
Kupfer	mg/kg TS Cu	160			500	5'000
Molybdän	mg/kg TS Mo	<10				
Nickel	mg/kg TS Ni	120			500	1'000
Quecksilber	mg/kg TS Hg	0.5			2	5
Thallium	mg/kg TS Tl	<2				
Zink	mg/kg TS Zn	82			1'000	5'000
Zinn	mg/kg TS Sn	7				

Seltene Erden und übrige Elemente

Barium	mg/kg TS Ba	840				
Cäsium	mg/kg TS Cs	<10				
Cer	mg/kg TS Ce	110				
Gallium	mg/kg TS Ga	10				
Germanium	mg/kg TS Ge	<5				
Lanthan	mg/kg TS La	53				
Neodym	mg/kg TS Nd	55				
Niob	mg/kg TS Nb	16				
Rubidium	mg/kg TS Rb	110				
Selen	mg/kg TS Se	<2				
Silber	mg/kg TS Ag	<2				
Strontium	mg/kg TS Sr	380				
Uran	mg/kg TS U	11				
Vanadium	mg/kg TS V	220				
Wolfram	mg/kg TS W	<10				

Halogenide / Schwefel

Brom	mg/kg TS Br	<2				
Chlor	mg/kg TS Cl	210				
Iod	mg/kg TS I	<10				
Schwefel	mg/kg TS S	9'600				

Matrixelemente

Aluminium (als Oxid)	% TS Al ₂ O ₃	14				
Calcium (als Oxid)	% TS CaO	4.9				
Eisen (als Oxid)	% TS Fe ₂ O ₃	7.0				
Kalium (als Oxid)	% TS K ₂ O	1.9				
Magnesium (als Oxid)	% TS MgO	1.4				
Mangan (als Oxid)	% TS MnO	0.09				
Phosphor (als Oxid)	% TS P ₂ O ₅	<0.2				
Silizium (als Oxid)	% TS SiO ₂	27				
Titan (als Oxid)	% TS TiO ₂	0.55				

Der Chromgehalt wurde auf Säureaufschluss nach VVEA umgerechnet (Faktor 0.5).
Quecksilberbestimmung mit AAS-Amalgammethode.
Bestimmungsgrenze von Kobalt ist matrixabhängig.
Die häufigste petrografische Bindungsform von Brom, Chlor, Iod und Schwefel sind Bromide, Chloride, Iodide und Sulfate.

Bachema AG
Rütistrasse 22
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für die Prüfung
von Umweltproben
(Wasser, Boden, Abfall,
Recyclingmaterial)

Akkreditiert nach
ISO/IEC 17025
STS-Nr. 0064



ANHANG 3



Analytik Aurachtal GmbH • Wirtshöhe 6 • 91086 Aurachtal
Büro für Umweltchemie GmbH
Herrn Matthias Klingler
Schaffhauserstrasse 21
CH-8006 Zürich
Switzerland

1. Juli 2024

Seite 1 von 11

Laborbericht E406717

Auftrag: Untersuchung Innenraumschadstoffe

Labornummer:	E406717	Auftragsdatum:	11.06.2024
Prüfleiter:	Johannes Förtsch	Eingangsdatum:	17.06.2024
Untersuchungszeitraum:	17.06. - 01.07.2024	Auftrags/Bestellnr:	Rennhard / Winterthur

Untersuchungsobjekt: Rennhard / Winterthur

Proben:
1x Luftprobe Tenax
1x Luftprobe DNPH

Untersuchungsauftrag:

Analytik Aurachtal wurde im Rahmen einer Konzentrationsermittlung beauftragt, die Raumluft auf flüchtige organische Verbindungen und Formaldehyd zu untersuchen. Die Beauftragung erfolgte mit Zusendung der Proben.

Die genauen Angaben über Erstellungsdatum, Renovierungsarbeiten und Raumgrößen sowie die Probenahme sind dem Auftraggeber bekannt, so dass diese nicht wiedergegeben werden.

Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt nur für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren. Akkreditierte Prüfverfahren sind im Bericht zusätzlich mit „a“ gekennzeichnet.
Anmerkungen, Beurteilungen und zusammenfassende Beurteilungen sind nicht Bestandteil der Akkreditierung.
Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Nur unterschriebene Berichte sind rechtsgültig. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichtes ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig



Analytik Aurachtal GmbH
Wirtshöhe 6, 91086 Aurachtal-Münchaurach
Tel.: +49 9132 75034-0
www.analytik-aurachtal.com
info@analytik-aurachtal.com

Geschäftsführer:
Dr. Thomas Fürst, Dipl. Chem.
Christian Schad, Dipl.-Ing. (FH)
Bastian Berndt, B. Sc.
Amtsgericht Fürth (HRB 13281)

Bankverbindung:
Raiffeisenbank Seebachgrund eG
IBAN: DE97 7606 9602 0000 0799 60
BIC: GENODEF1HSE
USt. Ident. Nr.: DE 815330348

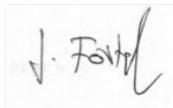
Inhaltsverzeichnis:

1	Raumluftprobe: organische Verbindungen	3
1.1	Probenahmebedingungen (Angaben vom Auftraggeber).....	3
1.2	Durchführung der Laboranalytik.....	3
1.3	Ergebnisse der Laboranalytik	5
	Versionierung:	11

Das Ergebnis ist im Anschluss aufgelistet.

Sollten Sie noch Fragen haben, wenden Sie sich bitte an Ihren Probenehmer.

Mit freundlichen Grüßen



Johannes Förtsch
(B.Sc. Angewandte Chemie, Prüfleiter)

1 Raumlufprobe: organische Verbindungen

1.1 Probenahmebedingungen (Angaben vom Auftraggeber)

Allgemeine Klimabedingungen und Probenahme:

Wetterlage:	-	Wind:	-	
Luftdruck:	960 hPa	Außentemperatur:	-	
		Außenfeuchtigkeit:	-	
Kundenprobennummer:	-			
Objekt:	Rennhard / Winterthur; Wohnzimmer			
Probenahmestelle:	Raummitte			
Probenahmehöhe:	1,2 m	Temperatur:	21,1 °C	
Probenehmer:	Julie	Luftfeuchtigkeit:	65,4 % r.F.	
RLT-Anlage:	nein	Vorgabe Lüftungszyklus:	-	
letzte Lüftung:	vor ca. > 8 Stunden			
Bemerkung:	-			
Probenahme	Tenax	DNPH-Kartusche	Silikagel	Qualitätsinformation:
Probennummer:	E406717/1	E406717-2	-	Kontrolle TENAX:
Datum:	11.06.2024	11.06.2024	-	-
Beginn [Uhr]:	08:40	08:35	-	Bedingung TENAX:
Ende [Uhr]:	09:05	09:08	-	Realliter
Dauer [min]:	20min	33min	-	Messung nach
Luftmenge [Liter]:	2,00	50,0	-	Lüftungsvorgaben
Sammelrate [l/min]:	-	1,5	-	von ISO 16000:
Röhrchen-Nummer:	793729	17662701	-	ja
Blindwert-Nummer:	450778	-	-	Flußkontrolle DNPH:
Probenahmegerät:	GilAirPlus	GilAirPlus	-	ja

Die Probenahme wurde vom Auftraggeber durchgeführt und die Angaben übernommen. Anhand dieser Angaben wurden die Ergebnisse ermittelt. Die Angabe der Ergebnisse erfolgt unter der Annahme einer normgerechten Probenahme, allerdings wurde entgegen der Normvorgabe keine Doppelprobe entnommen. Situations- oder nutzungsbedingte Abweichungen von der Norm sind dem Auftraggeber bekannt und werden in der Bewertung der Ergebnisse nicht berücksichtigt. Bei Messungen unter anderen Bedingungen können die ermittelten Ergebnisse abweichen.

Das Probenahmevervolumen bezieht sich auf Realbedingungen.

1.2 Durchführung der Laboranalytik

Das Adsorber-Material TENAX wurde mittels Thermodesorption und GC-MS gemessen (MARKES TD100-xr, Shimadzu GC-MS QP 2010 Ultra bzw. Shimadzu GC-MS-QP2020, 60 m Säule). Zur Übersichtsanalyse (Screening) wurde die Messung im Scan-Modus aufgenommen und die angegebenen Substanzen mit externen Standards quantifiziert. Die Durchführung erfolgte als Einzelprobe nach dem akkreditierten Verfahren a DIN EN ISO 16000-6:2022-03. Die Messunsicherheit der Analytik ohne Probenahme liegt im Mittel bei 19 %. Bei Interesse können auf unserer Homepage die Messunsicherheiten einzelner Verbindungen nachgeschlagen werden. Alle Messunsicherheiten wurde über ein kombiniertes Verfahren mit einem Erweiterungsfaktor von $k = 2$ berechnet.

Aufgrund prinzipieller analytischer Gegebenheiten sind die Konzentrationen der Carbonsäuren sowie die der sehr polaren Verbindungen mit einer erhöhten Unsicherheit behaftet. Essigsäure besitzt aufgrund einer Blindwertproblematik eine signifikant erhöhte Unsicherheit, sodass diese Konzentrationen nur orientierend zu werten sind.

Im Rahmen der Untersuchung wurde für die Probenahme mit TENAX ein Feldblindwert mit analysiert. Die

ermittelten Konzentrationen wurden über das Auswerteprogramm sowohl bei den Einzelverbindungen wie auch bei dem TVOC direkt von den Messwerten abgezogen, sodass die erhaltenen Luftkonzentrationen blindwertkorrigiert sind.

Zur Bestimmung der sehr leichtflüchtigen Aldehyde wurde das Adsorber-Material (mit 2,4-Dinitrophenylhydrazin DNPH dotiertes Silikagel) mit Desorptionsmittel (Acetonitril) versetzt und das Eluat mittels HPLC-DAD (Shimadzu HPLC LC40) vermessen. Die Quantifizierung erfolgte mit internen und externen Standards. Die Durchführung erfolgte nach dem akkreditierten Verfahren a DIN EN ISO 16000-3:2013-01. Für die gesättigten, die kurzkettigen ungesättigten und die aromatischen Aldehyde sowie die Ketone liegt die Messunsicherheit ohne Probenahme bei 7%. Diese gemittelte Messunsicherheit wurde über ein kombiniertes Verfahren mit einem Erweiterungsfaktor von $k = 2$ berechnet.

1.3 Ergebnisse der Laboranalytik

Objekt:	Rennhard / Winterthur			
Probennummer:				E406717/1
Kundenprobennummer:				-
Raum:				Wohnzimmer
Probenahmemenge:			Liter:	2,00
Verbindung	CAS-Nr.		BG	µg/m³
Hexan	110 - 54 - 3	a	1	<
Heptan	142 - 82 - 5	a	1	<
Oktan	111 - 65 - 9	a	1	<
Nonan	111 - 84 - 2	a	1	<
Dekan	124 - 18 - 5	a	1	<
Undekan	1120 - 21 - 4	a	1	<
Dodekan	112 - 40 - 3	a	1	<
Tridekan	629 - 50 - 5	a	1	1
Tetradekan	629 - 59 - 4	a	1	<
Pentadekan	629 - 62 - 9	a	1	<
Hexadekan	544 - 76 - 3	a	1	<
Heptadekan	629 - 78 - 7		1	<
Oktadekan	593 - 45 - 3		1	<
Nonadekan	629 - 92 - 5		1	<
2-Methylpentan	107 - 83 - 5		1	<
3-Methylpentan	96 - 14 - 0		1	<
2-Methylhexan	591 - 76 - 4	a	1	<
3-Methylhexan	589 - 34 - 4	a	1	<
2,3-Dimethylpentan	565 - 59 - 3	a	1	<
2,2,4-Trimethylpentan	540 - 84 - 1	a	1	<
2,3-Dimethylheptan	3074 - 71 - 3	a	1	<
Pentamethylheptan	13475 - 82 - 6	a	1	<
Heptamethylnonan	4390 - 04 - 9	a	1	<
Methylcyclopentan	96 - 37 - 7	a	1	<
Cyclohexan	110 - 82 - 7	a	1	<
Methylcyclohexan	108 - 87 - 2	a	1	<
Alkane Nonan-Tetradekan			30	1
Summe Aliphaten				1
1-Hepten	592 - 76 - 7	a	1	<
1-Okten	111 - 66 - 0	a	1	<
1-Nonen	124 - 11 - 8	a	1	<
1-Deken	872 - 05 - 9	a	1	<
1-Undeken	821 - 95 - 4	a	1	<
1-Dodeken	112 - 41 - 4	a	1	<
1-Trideken	2437 - 56 - 1	a	1	<
trimeres Isobuten	7756 - 94 - 7	a	1	<
Vinylcyclohexen	100 - 40 - 3	a	1	<
Isododekene		a	20	<
Summe Alkene				<
Benzol	71 - 43 - 2	a	1	<
Toluol	108 - 88 - 3	a	1	2
Ethylbenzol	100 - 41 - 4	a	1	<

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichtes ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig. Nur unterschriebene Berichte sind rechtsgültig



m/p-Xylol	108 - 38 - 3 # 106 - 42 - 3		1	<
o-Xylol	95 - 47 - 6	a	1	<
Xylole				<
n-Propylbenzol	103 - 65 - 1	a	1	<
iso-Propylbenzol	98 - 82 - 8	a	1	<
1,2,3-Trimethylbenzol	526 - 73 - 8	a	1	<
1,2,4-Trimethylbenzol	95 - 63 - 6	a	1	<
1,3,5-Trimethylbenzol	108 - 67 - 8	a	1	<
o-Ethyltoluol	611 - 14 - 3	a	1	<
m-Ethyltoluol	620 - 14 - 4	a	1	<
p-Ethyltoluol	622 - 96 - 8	a	1	<
p-Cymol	99 - 87 - 6	a	1	3
1,2,4,5-Tetramethylbenzol	95 - 93 - 2	a	1	<
1,4-Diethylbenzol	105 - 05 - 5	a	1	<
n-Butylbenzol	104 - 51 - 8	a	1	<
1,4-Diisopropylbenzol	100 - 18 - 5	a	1	<
Styrol	100 - 42 - 5	a	1	<
a-Methylstyrol	98 - 83 - 9	a	1	<
4-Phenylcyclohexen	4994 - 16 - 5	a	1	<
Indan	496 - 11 - 7	a	1	<
Inden	95 - 13 - 6	a	1	<
1,2,3,4-Tetrahydronaphthalin	119 - 64 - 2	a	1	<
Naphthalin	91 - 20 - 3	a	1	<
1-Methylnaphthalin	90 - 12 - 0	a	0,5	<
2-Methylnaphthalin	91 - 57 - 6	a	0,5	<
Dimethylnaphthaline		a	0,5	<
Acenaphthen	83 - 32 - 9	a	0,2	<
Acenaphthylen	208 - 96 - 8	a	0,2	<
Fluoren	86 - 73 - 7		0,2	<
Phenanthren	85 - 01 - 8		0,2	<
Anthracen	102 - 12 - 7		0,2	<
Diisopropyl-naphthaline	38640 - 62 - 9		2	<
Naphthalin UBA				<
Summe C9-C15-Alkylbenzole				3
Summe Aromaten				5
Methylacetat	79 - 20 - 9		2	3
Ethylacetat	141 - 78 - 6		1	14
Propylacetat	109 - 60 - 4	a	1	<
Isopropylacetat	108 - 21 - 4	a	1	<
n-Butylacetat	123 - 86 - 4	a	1	1
iso-Butylacetat	110 - 19 - 0	a	1	1
2-Ethylhexylacetat	103 - 09 - 3	a	1	<
n-Butylformiat	592 - 84 - 7	a	1	<
Methylacrylat	96 - 33 - 3	a	1	<
n-Butylacrylat	141 - 32 - 2	a	1	<
2-Ethylhexylacrylat	103 - 11 - 7	a	1	<
Methylmethacrylat	80 - 62 - 6	a	1	<
Methylbenzoat	93 - 58 - 3	a	1	<
Bernsteinsäuredimethylester	106 - 65 - 0	a	1	<
Glutarsäuredimethylester	1119 - 40 - 0	a	1	<

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichtes ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig. Nur unterschriebene Berichte sind rechtsgültig

Adipinsäuredimethylester	627 - 93 - 0		1	<
Bernsteinsäurediisobutylester	925 - 06 - 4	a	1	<
Glutarsäurediisobutylester	71195 - 64 - 7	a	1	<
Adipinsäurediisobutylester	141 - 04 - 8		1	<
Maleinsäuredibutylester	105 - 76 - 0	a	1	<
Dimethylphthalat	131 - 11 - 3	a	1	<
Diethylphthalat	84 - 66 - 2		1	<
Dibutylphthalat	84 - 74 - 2		1	<
Diisobutylphthalat	84 - 69 - 5		1	<
Summe Ester				19
Aceton	67 - 64 - 1		10	40
Methylethylketon	78 - 93 - 3	a	1	3,2
2-Pentanon	107 - 87 - 9	a	1	<
Methylbutylketon	591 - 78 - 6	a	1	<
Methylisobutylketon	108 - 10 - 1	a	1	<
2-Heptanon	110 - 43 - 0	a	1	<
3-Heptanon	106 - 35 - 4	a	1	<
2-Oktanon	111 - 13 - 7	a	1	<
Cyclohexanon	108 - 94 - 1	a	1	<
Acetophenon	98 - 86 - 2	a	1	<
Summe Ketone				43,2
1-Propanol	71 - 23 - 8		2	<
2-Propanol	67 - 63 - 0		2	9
1-Butanol	71 - 36 - 3	a	1	3
iso-Butanol	78 - 83 - 1	a	1	<
1-Pentanol	71 - 41 - 0	a	1	1
1-Hexanol	111 - 27 - 3	a	1	<
2-Ethylhexanol	104 - 76 - 7	a	1	2
1-Nonanol	143 - 08 - 8	a	2	<
1-Dekanol	112 - 30 - 1	a	2	<
Benzylalkohol	100 - 51 - 6	a	1	<
Phenol	108 - 95 - 2	a	1	1
o-Kresol	95 - 48 - 7	a	1	<
m/p-Kresol	108 - 39 - 4 # 106 - 44 - 5	a	1	<
Kresole				<
2,6-Di-tert.-butyl-4-methylphenol	128 - 37 - 0	a	1	<
Summe Alkohole				16
Ethylenglykol	107 - 21 - 1	a	10	<
2-Methoxyethanol	109 - 86 - 4	a	2	<
2-Ethoxyethanol	110 - 80 - 5	a	2	<
2-Butoxyethanol	111 - 76 - 2	a	2	2
2-Hexoxyethanol	112 - 25 - 4	a	2	<
2-Phenoxyethanol	122 - 99 - 6	a	2	<
2-Methoxyethylacetat	110 - 49 - 6	a	1	<
2-Ethoxyethylacetat	111 - 15 - 9	a	1	<
2-Butoxyethylacetat	112 - 07 - 2	a	1	<
Diethylenglykol	111 - 46 - 6	a	10	<
2-Methoxyethoxyethanol	111 - 77 - 3	a	3	<
2-Ethoxyethoxyethanol	111 - 90 - 0	a	3	<
2-Butoxyethoxyethanol	112 - 34 - 5	a	3	<

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichtes ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig. Nur unterschriebene Berichte sind rechtsgültig

Diethylenglykoldimethylether	111 - 96 - 6	a	1	<
Ethylidiglykolacetat	112 - 15 - 2	a	1	<
Butylidiglykolacetat	124 - 17 - 4	a	1	<
Triethylenglykolbutylether	143 - 22 - 6	a	3	<
Triethylenglykoldimethylether	112 - 49 - 2	a	2	<
Propylenglykol	57 - 55 - 6	a	10	<
1-Methoxy-2-propanol	107 - 98 - 2	a	2	<
1-Ethoxy-2-propanol	1569 - 02 - 4	a	2	<
1-Butoxy-2-propanol	5131 - 66 - 8	a	2	<
1-Tert.-Butoxy-2-propanol	57018 - 52 - 7	a	2	<
1-Phenoxypropanol	770 - 35 - 4	a	2	<
1-Methoxy-2-propylacetat	108 - 65 - 6	a	1	<
Dipropylenglykol	25265 - 71 - 8	a	10	<
Dipropylenglykolmonomethylether	34590 - 94 - 8	a	3	<
Dipropylenglykolmono-n-butylether	29911 - 28 - 2	a	3	<
Tripropylenglykol	24800 - 44 - 0	a	10	<
Tripropylenglykolmonobutylether	55934 - 93 - 5	a	3	<
3-Methoxybutanol-1	2517 - 43 - 3	a	2	<
3-Methoxybutylacetat	4435 - 53 - 4	a	1	<
Texanol	25265 - 77 - 4	a	2	<
TXIB	6846 - 50 - 0	a	1	1
Summe Glykol-Verbindungen				3
Trichlormethan	67 - 66 - 3	a	1	<
Tetrachlormethan	56 - 23 - 5	a	1	<
1,2-Dichlorethan	107 - 06 - 2	a	1	<
1,1,1-Trichlorethan	71 - 55 - 6	a	1	<
Trichlorethen	79 - 01 - 6	a	1	<
Tetrachlorethen	127 - 18 - 4	a	1	<
Chlorbenzol	108 - 90 - 7	a	1	<
1,2-Dichlorbenzol	95 - 50 - 1	a	1	<
1,3-Dichlorbenzol	541 - 73 - 1	a	1	<
1,4-Dichlorbenzol	106 - 46 - 7	a	1	<
1-Chlornaphthalin	90 - 13 - 1	a	1	<
Summe Halogen-KW				<
Limonen	138 - 86 - 3	a	1	39
Menthol	89 - 78 - 1	a	1	3
a-Terpinen	99 - 86 - 5	a	1	<
g-Terpinen	99 - 85 - 4	a	1	4
a-Terpineol	98 - 55 - 5	a	1	<
Terpinolen	586 - 62 - 9	a	1	<
Borneol	507 - 70 - 0	a	1	<
Bornylacetat	5655 - 61 - 8	a	1	<
Camphen	79 - 92 - 5	a	1	<
Campher	76 - 22 - 2	a	1	2
3-Caren	13466 - 78 - 9	a	1	2
Eukalyptol	470 - 82 - 6	a	1	7
a-Pinen	80 - 56 - 8	a	1	11
b-Pinen	127 - 91 - 3	a	1	12
b-Caryophyllen	87 - 44 - 5	a	1	<
Longifolen	475 - 20 - 7	a	1	<

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichtes ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig. Nur unterschriebene Berichte sind rechtsgültig

b-Linalool	78 - 70 - 6	a	1	4
Linalylacetat	115 - 95 - 7	a	1	5
b-Myrcen	123 - 35 - 3	a	1	3
Summe monocyclische Terpene				39
Summe bicyclische Terpene				25
Summe Terpene				92
Hexamethylcyclotrisiloxan	541 - 05 - 9	a	2	13
Oktamethylcyclotetrasiloxan	556 - 67 - 2	a	2	3
Dekamethylcyclopentasiloxan	541 - 02 - 6	a	2	6
Dodekamethylcyclohexasiloxan	540 - 97 - 6	a	2	<
Summe Siloxane				22
Acetaldehyd	75 - 07 - 0	a	2	26
Propanal	123 - 38 - 6	a	2	6,8
Butanal	123 - 72 - 8		1	5,5
Pentanal	110 - 62 - 3	a	1	4,4
Hexanal	66 - 25 - 1	a	1	21
Heptanal	111 - 71 - 7	a	1	2
Oktanal	124 - 13 - 0	a	1	4
Nonanal	124 - 19 - 6	a	1	16
Dekanal	112 - 31 - 2	a	1	5
Undekanal	112 - 44 - 7	a	1	<
Methylpropanal	78 - 84 - 2		1	3
3-Methylbutanal	590 - 86 - 3	a	1	<
2-Ethylhexanal	123 - 05 - 7	a	1	<
Benzaldehyd	100 - 52 - 7	a	1	4
Acrolein	107 - 02 - 8		1	n.b.
Crotonaldehyd	4170 - 30 - 3	a	1	<
Methacrolein	78 - 85 - 3		1	<
2-Hexenal	6728 - 26 - 3	a	1	<
2-Heptenal	2463 - 63 - 0	a	1	<
2-Oktenal	2548 - 87 - 0	a	1	<
2-Nonenal	18829 - 56 - 6	a	1	1
2-Dekenal	3913 - 71 - 1	a	1	<
Furfural	98 - 01 - 1	a	1	3
Summe Alkanale C4-C11				60,9
Summe Aldehyde				101,7
Essigsäure	64 - 19 - 7	a	10	38
Propionsäure	79 - 09 - 4	a	5	<
Butansäure	107 - 92 - 6	a	5	<
Pentansäure	109 - 52 - 4	a	5	<
Hexansäure	142 - 62 - 1	a	5	<
Heptansäure	111 - 14 - 8	a	5	<
Oktansäure	124 - 07 - 2	a	5	<
Nonansäure	112 - 05 - 0	a	5	<
Dekansäure	334 - 48 - 5	a	5	<
2-Ethylhexansäure	149 - 57 - 5	a	5	<
Summe Carbonsäuren				38
Tetrahydrofuran	109 - 99 - 9		1	<
2-Methylfuran	534 - 22 - 5	a	1	<
2-Pentylfuran	3777 - 69 - 3	a	1	<

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichtes ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig. Nur unterschriebene Berichte sind rechtsgültig

Dioxan	123 - 91 - 1		1	<
tert.-Butylmethylether	1634 - 04 - 4		1	<
Dibutoxymethan	2568 - 90 - 3	a	1	<
Diethylcarbonat	105 - 58 - 8	a	2	<
N-Methylpyrrolidon	872 - 50 - 4	a	2	<
Butanonoxim	96 - 29 - 7	a	1	<
Acetonoxim	127 - 06 - 0	a	1	<
Pentanonoxim	623 - 40 - 5	a	1	<
Caprolactam	105 - 60 - 2	a	2	<
Dimethylformamid	68 - 12 - 2	a	2	<
Dimethylacetamid	127 - 19 - 5	a	2	<
Benzothiazol	95 - 16 - 9	a	1	<
Methyl-Isothiazolinon	2682 - 20 - 4	a	0,1	<
Tris-2-chlorethyl-phosphat	115 - 96 - 8		1	<
Summe Sonstige				<
TVOC	nach DIN ISO 16000-6			221,4
TVOC nach UBA				263,6
VVOC				123,5
VOC _{id}				205,4
SVOC				1
Formaldehyd	50 - 00 - 0	a	2	27
Dichlormethan	75 - 09 - 2		5	unauffällig
2-Chlorpropan	75 - 29 - 6		5	unauffällig
weitere Verbindungen				
	Endknoten			
	Endknoten			
Carbonsäuren (Silikagel/IC):				
Ameisensäure	64 - 18 - 6		10	n.b.
Essigsäure (IC)	64 - 19 - 7		10	n.b.
Isothiazolinone (Silikagel/LCMS)				
Methyl-Isothiazolinon (LC)	2682 - 20 - 4	a	0,04	n.b.
Chlormethyl-Isothiazolinon	26172 - 55 - 4	a	0,02	n.b.
Benz-Isothiazolinon	2634 - 33 - 5	a	0,05	n.b.
Octyl-Isothiazolinon	26530 - 20 - 1	a	0,01	n.b.

BG: Bestimmungsgrenze

n.b.: nicht bestimmt

a: akkreditiert

TVOC ist der TVOC nach DIN ISO 16000-6: Summe von VOC_{id} + VOC_{un}, wobei VOC_{id} die Summe der quantifizierten Verbindungen und VOC_{un} die Summe der nicht identifizierten Verbindungen, quantifiziert als Toluol-Äquivalent ist (>1 µg/m³).

TVOC nach UBA entspricht dem TVOC inkl. Essigsäure, TXIB und Methyläthylketon

VVOC: Summe Retentionszeit vor Hexan

SVOC: Summe Retentionszeit nach Hexadekan

Nonan-Tetradekan: Summe der n-Alkane zzgl. der Isoaliphaten, wenn diese im Retentionszeitbereich auffällig. Isoaliphaten quantifiziert anhand Dodekan im TIC, nur semiquantitative Angabe.

Isododekane anhand 1-Dodekan quantifiziert, nur semiquantitative Angabe.

C9-C15-Alkylbenzole: quantifiziert anhand Butylbenzol im TIC, nur semiquantitative Angabe.

Bei Nonan-Tetradekan und C9-C15-Alkylbenzolen wurden über alle Signale aufsummiert.

Bei ca.-Angabe wurde die Verbindung anhand einer vergleichbaren Verbindung quantifiziert.

Die Summen berücksichtigen nur die oberhalb angegebenen Einzelverbindungen einer Verbindungsklasse.

Verbindungsklasse, Teilsommen sind nicht enthalten und nur informativ (Ausnahme Alkane Nonan-Tetradekan).

Dichlormethan und Chlorpropan nur qualitativ/semiquantitativ

Versionierung:

Version	Erstelldatum	Änderungen / Ergänzungen / Korrekturen	Kürzel
a	01.07.2024	Erstbericht	JF

Entscheidungsregel:

Folgende Entscheidungsregel gilt bei Analytik Aurachtal GmbH, soweit nicht anders vereinbart oder gesetzlich bzw. normativ vorgegeben: Messunsicherheiten werden bei Konformitätsaussagen nicht berücksichtigt.

ANHANG 4



Alle Angaben ohne Gewähr

Boden EG, Lettenstrasse 3

Kellerdecke
erstellt am 5.8.2024

Wärmeschutz

$U = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

MuKEn14 Umbauten*: $U < 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



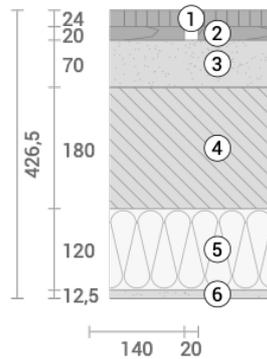
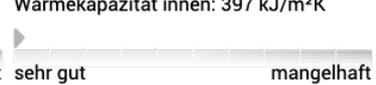
Feuchteschutz

Kein Tauwasser



Hitzeschutz

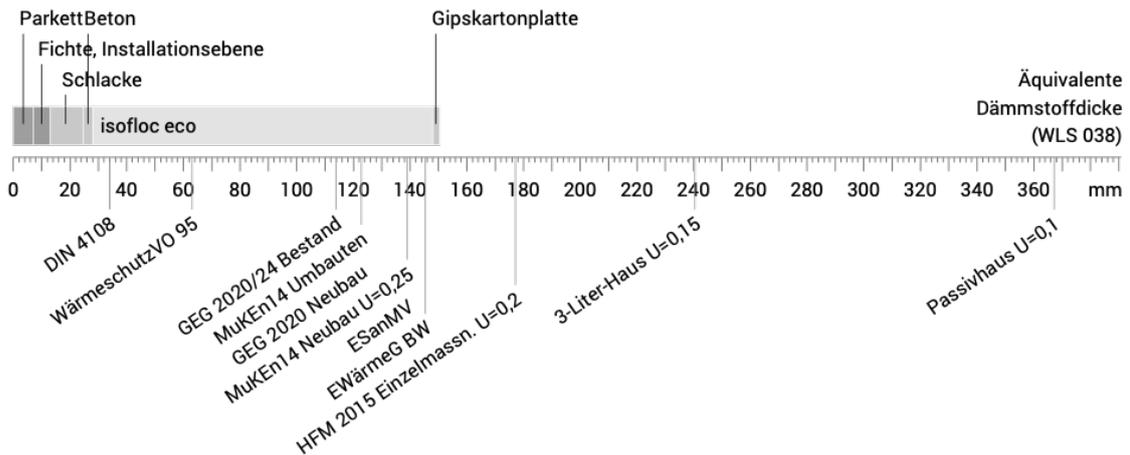
Temperaturamplitudendämpfung: >100
Phasenverschiebung: nicht relevant
Wärmekapazität innen: 397 kJ/m²K



- ① Parkett (24 mm)
- ② Installationsebene (20 mm)
- ③ Schlacke (70 mm)
- ④ Beton (180 mm)
- ⑤ isofloc eco (120 mm)
- ⑥ Gipskartonplatte (12,5 mm)

Dämmwirkung einzelner Schichten und Vergleich mit Richtwerten

Für die folgende Abbildung wurden die Wärmedurchgangswiderstände (d.h. die Dämmwirkung) der einzelnen Schichten in Millimeter Dämmstoff umgerechnet. Die Skala bezieht sich auf einen Dämmstoff der Wärmeleitfähigkeit 0,038 W/mK.



Raumluft: 20,0°C / 50%
Unbeheizter Raum: 5,0°C / 80%
Oberflächentemp.: 19,1°C / 5,1°C

sd-Wert: 25,2 m

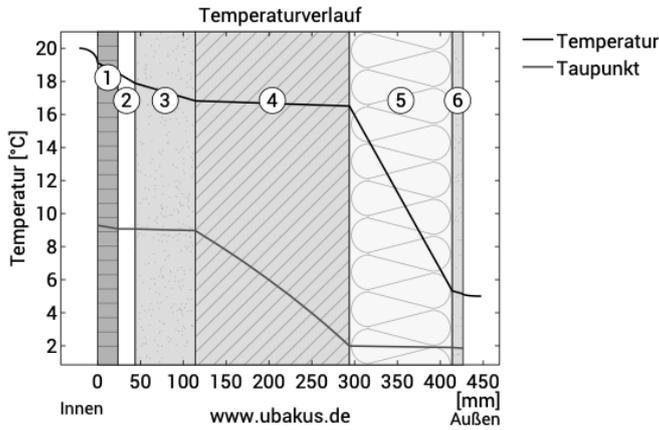
Dicke: 42,6 cm
Gewicht: 522 kg/m²
Wärmekapazität: 514 kJ/m²K

*Vergleich mit dem Grenzwert gemäß MuKEn14 Art. 1.7 Abs. 2 für Umbauten oder Umnutzungen für opake Bauteile gegen unbeheizte Räume oder mehr als 2 m im Erdreich.

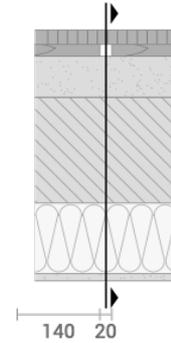
Gewerbliche Nutzung nur mit Plus-, PDF- oder Profi-Option (ab 2,99 €/Monat zzgl. MwSt).

Boden EG, Lettenstrasse 3, U=0,23 W/(m²K)

Temperaturverlauf



www.ubakus.de



- ① Parkett (24 mm)
- ② Installationsebene (20 mm)
- ③ Schlacke (70 mm)
- ④ Beton (180 mm)
- ⑤ isofloc eco (120 mm)
- ⑥ Gipskartonplatte (12,5 mm)

Links: Verlauf von Temperatur und Taupunkt an der in der rechten Abbildung markierten Stelle. Der Taupunkt kennzeichnet die Temperatur, bei der Wasserdampf kondensieren und Tauwasser entstehen würde. Solange die Temperatur des Bauteils an jeder Stelle über der Taupunkttemperatur liegt, entsteht kein Tauwasser. Falls sich die beiden Kurven berühren, fällt an den Berührungspunkten Tauwasser aus.

Rechts: Maßstäbliche Zeichnung des Bauteils.

Schichten (von innen nach außen)

#	Material	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m²]
				min	max	
Wärmeübergangswiderstand*						
1	2,4 cm Parkett	0,130	0,185	18,5	19,1	12,0
2	2 cm Installationsebene	0,097	0,206	17,9	18,5	0,0
	2 cm Fichte (88%)	0,130	0,154	17,9	18,5	7,9
3	7 cm Schlacke	0,230	0,304	16,8	17,9	55,3
4	18 cm Beton	2,000	0,090	16,5	16,8	432,0
5	12 cm isofloc eco	0,038	3,158	5,3	16,5	6,0
6	1,25 cm Gipskartonplatte	0,250	0,050	5,1	5,3	8,5
Wärmeübergangswiderstand*						
	42,65 cm Gesamtes Bauteil		4,286	5,0	5,1	521,7

*Wärmeübergangswiderstände gemäß DIN 6946 für die U-Wert-Berechnung. Für Feuchteschutz und Temperaturverlauf wurden Rsi=0,25 und Rse=0,04 gemäß DIN 4108-3 verwendet.

Oberflächentemperatur innen (min / mittel / max): 19,1°C 19,1°C 19,1°C
 Oberflächentemperatur außen (min / mittel / max): 5,1°C 5,1°C 5,1°C

Gewerbliche Nutzung nur mit Plus-, PDF- oder Profi-Option (ab 2,99 €/Monat zzgl. MwSt).

Boden EG, Lettenstrasse 3, U=0,23 W/(m²K)

Feuchteschutz

Für die Berechnung der Tauwassermenge wurde das Bauteil 90 Tage lang dem folgenden konstanten Klima ausgesetzt: innen: 20°C und 50% Luftfeuchtigkeit; außen: 5°C und 80% Luftfeuchtigkeit (Klima gemäß Benutzereingabe).

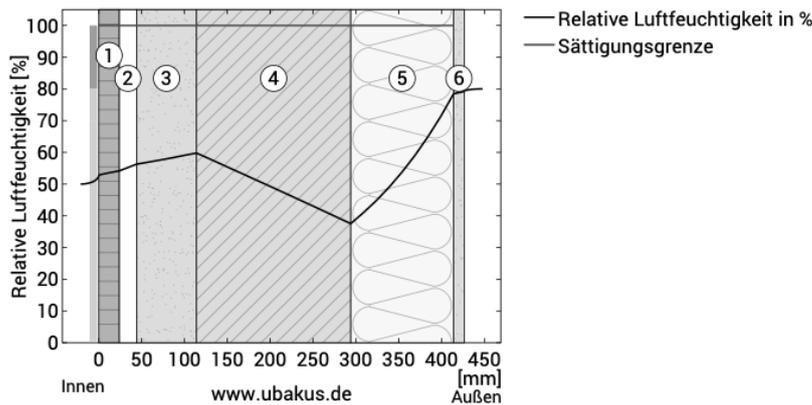
Unter den angenommenen Bedingungen bildet sich kein Tauwasser.

#	Material	sd-Wert [m]	Tauwasser [kg/m²]	Gewicht [kg/m²]
1	2,4 cm Parkett	0,72	-	12,0
2	2 cm Installationsebene	0,01	-	0,0
	2 cm Fichte (88%)	0,40	-	7,9
3	7 cm Schlacke	0,35	-	55,3
4	18 cm Beton	23,40	-	432,0
5	12 cm isofloc eco	0,24	-	6,0
6	1,25 cm Gipskartonplatte	0,13	-	8,5
	42,65 cm Gesamtes Bauteil	25,17	0	521,7

Luftfeuchtigkeit

Die Oberflächentemperatur auf der Raumseite beträgt 19,1 °C was zu einer relativen Luftfeuchtigkeit an der Oberfläche von 53% führt. Unter diesen Bedingungen sollte nicht mit Schimmelbildung zu rechnen sein.

Das folgende Diagramm zeigt die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb des Bauteils.



www.ubakus.de

- ① Parkett (24 mm)
- ③ Schlacke (70 mm)
- ⑤ isofloc eco (120 mm)
- ② Installationsebene (20 mm)
- ④ Beton (180 mm)
- ⑥ Gipskartonplatte (12,5 mm)

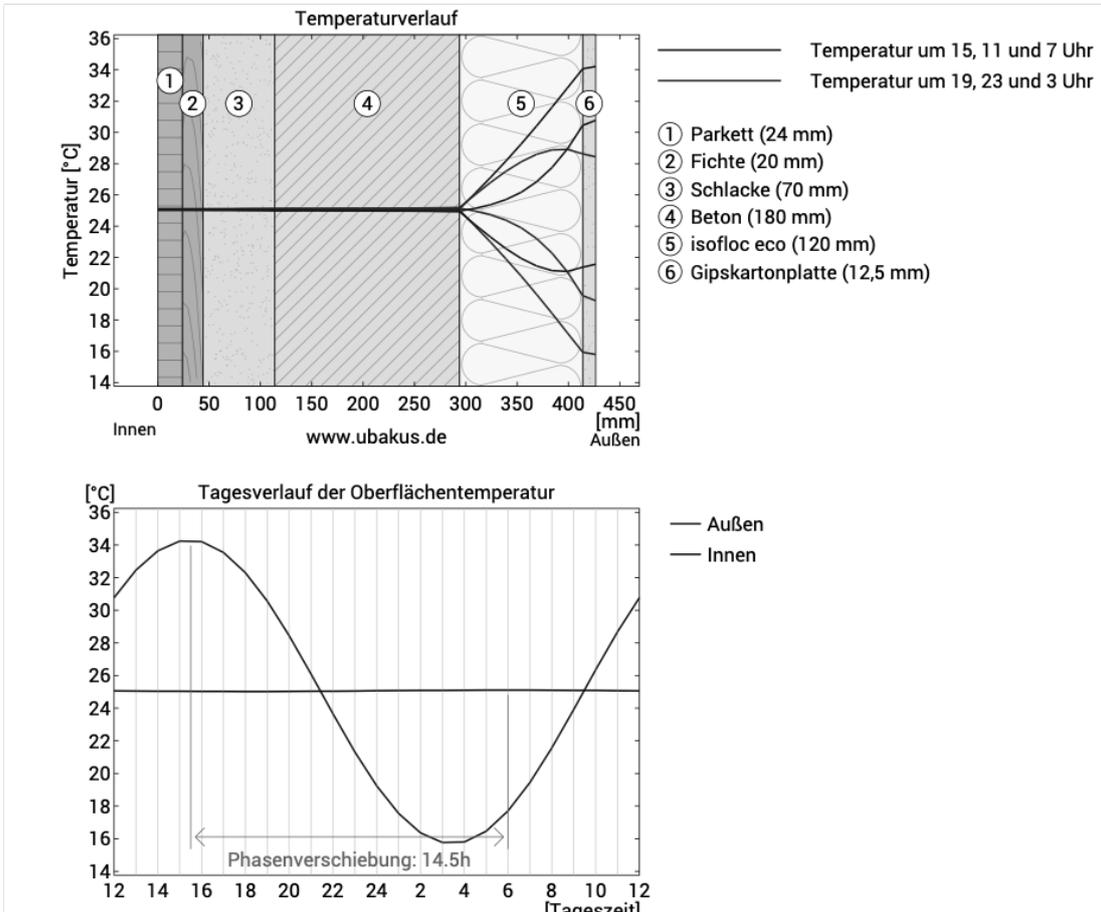
Hinweise: Berechnung mittels Ubakus 2D-FE Verfahren. Konvektion und die Kapillarität der Baustoffe wurden nicht berücksichtigt. Die Trocknungsdauer kann unter ungünstigen Bedingungen (Beschattung, feuchte/kühle Sommer) länger dauern als hier berechnet.

Gewerbliche Nutzung nur mit Plus-, PDF- oder Profi-Option (ab 2,99 €/Monat zzgl. MwSt).

Boden EG, Lettenstrasse 3, U=0,23 W/(m²K)

Hitzeschutz

Die folgenden Ergebnisse sind Eigenschaften des untersuchten Bauteils allein und machen keine Aussage über den Hitzeschutz des gesamten Raums:



Obere Abbildung: Temperaturverlauf innerhalb des Bauteils zu verschiedenen Zeitpunkten. Jeweils von oben nach unten, braune Linien: um 15, 11 und 7 Uhr und rote Linien um 19, 23 und 3 Uhr morgens.

Untere Abbildung: Temperatur auf der äußeren (rot) und inneren (blau) Oberfläche im Verlauf eines Tages. Die schwarzen Pfeile kennzeichnen die Lage der Temperaturhöchstwerte. Das Maximum der inneren Oberflächentemperatur sollte möglichst während der zweiten Nachthälfte auftreten.

Phasenverschiebung*	nicht relevant	Wärmespeicherfähigkeit (gesamtes Bauteil):	514 kJ/m²K
Amplitudendämpfung**	>100	Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten:	397 kJ/m²K
TAV***	0,005		

* Die Phasenverschiebung gibt die Zeitdauer in Stunden an, nach der das nachmittägliche Hitzemaximum die Bauteilinnenseite erreicht.

** Die Amplitudendämpfung beschreibt die Abschwächung der Temperaturwelle beim Durchgang durch das Bauteil. Ein Wert von 10 bedeutet, dass die Temperatur auf der Außenseite 10x stärker variiert, als auf der Innenseite, z.B. außen 15-35°C, innen 24-26°C.

*** Das Temperaturamplitudenverhältnis TAV ist der Kehrwert der Dämpfung: TAV = 1/Amplitudendämpfung

Hinweis: Der Hitzeschutz eines Raumes wird von mehreren Faktoren beeinflusst, im Wesentlichen aber von der direkten Sonneneinstrahlung durch Fenster und der Gesamtmenge an Speichermasse (darunter auch Fußboden, Innenwände und Einbauten/Möbel). Ein einzelnes Bauteil hat auf den Hitzeschutz des Raumes in der Regel nur einen sehr geringen Einfluss.

Die oben dargestellten Berechnungen wurden für einen 1-dimensionalen Querschnitt des Bauteils erstellt.

Dieses Dokument wurde vom U-Wert-Rechner auf www.ubakus.de generiert. Sollte Ihnen durch die kostenlose Nutzung dieser Inhalte ein Schaden entstehen, so haftet der Diensteanbieter nur bei Vorsatz und grober Fahrlässigkeit des Diensteanbieters. Weiteres entnehmen Sie bitte den AGB unter https://www.ubakus.de/agb

Gewerbliche Nutzung nur mit Plus-, PDF- oder Profi-Option (ab 2,99 €/Monat zzgl. MwSt).

ANHANG 5



Alle Angaben ohne Gewähr

Boden EG, L3 - Variante Dämmung

Kellerdecke
erstellt am 29.8.2024

Wärmeschutz

$U = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

MuKEn14 Umbauten*: $U < 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



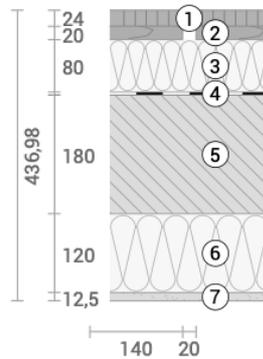
Feuchteschutz

Kein Tauwasser



Hitzeschutz

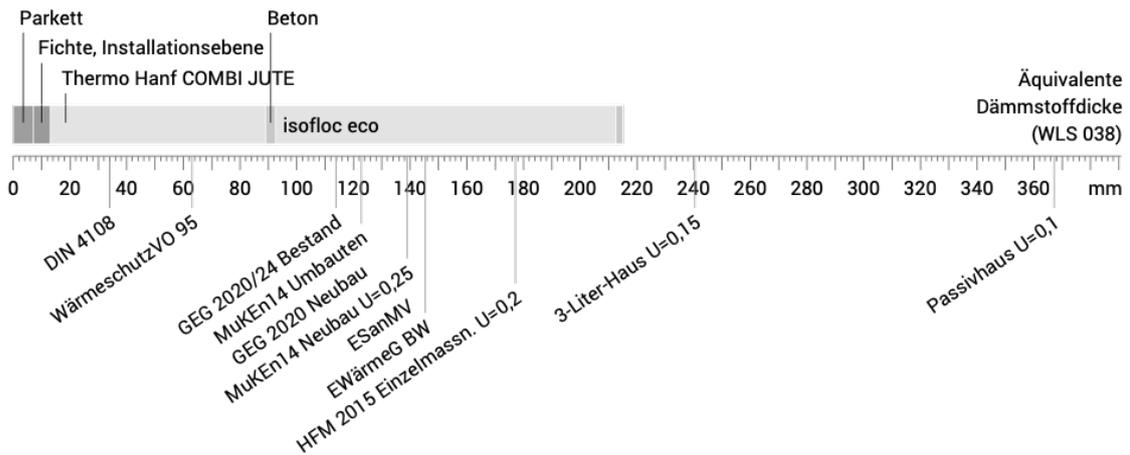
Temperaturamplitudendämpfung: >100
Phasenverschiebung: nicht relevant
Wärmekapazität innen: 268 kJ/m²K



- ① Parkett (24 mm)
- ② Installationsebene (20 mm)
- ③ Thermo Hanf COMBI JUTE (80 mm)
- ④ ALUJET Floorjet SPEED
- ⑤ Beton (180 mm)
- ⑥ isofloc eco (120 mm)
- ⑦ Gipskartonplatte (12,5 mm)

Dämmwirkung einzelner Schichten und Vergleich mit Richtwerten

Für die folgende Abbildung wurden die Wärmedurchgangswiderstände (d.h. die Dämmwirkung) der einzelnen Schichten in Millimeter Dämmstoff umgerechnet. Die Skala bezieht sich auf einen Dämmstoff der Wärmeleitfähigkeit 0,038 W/mK.



Raumluft: 20,0°C / 50%
Unbeheizter Raum: 5,0°C / 80%
Oberflächentemp.: 19,4°C / 5,1°C

sd-Wert: 1524,9 m

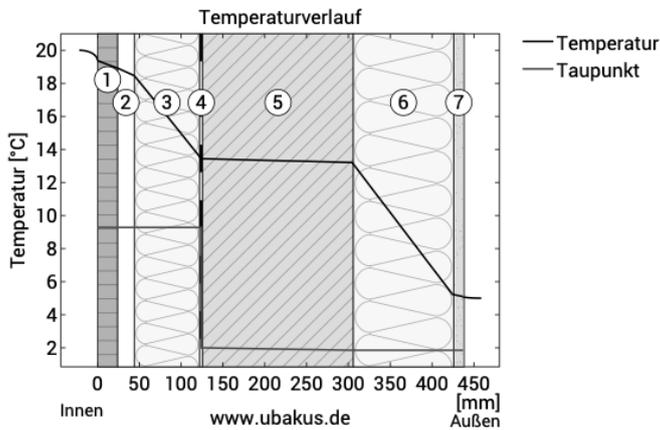
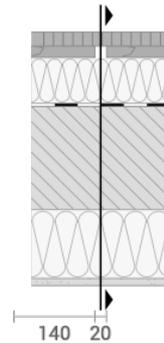
Dicke: 43,7 cm
Gewicht: 470 kg/m²
Wärmekapazität: 471 kJ/m²K

*Vergleich mit dem Grenzwert gemäß MuKEn14 Art. 1.7 Abs. 2 für Umbauten oder Umnutzungen für opake Bauteile gegen unbeheizte Räume oder mehr als 2 m im Erdreich.

Gewerbliche Nutzung nur mit Plus-, PDF- oder Profi-Option (ab 2,99 €/Monat zzgl. MwSt).

Boden EG, L3 - Variante Dämmung, $U=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Temperaturverlauf


www.ubakus.de


- | | | |
|----------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| ① Parkett (24 mm) | ④ ALUJET Floorjet SPEED | ⑦ Gipskartonplatte (12,5 mm) |
| ② Installationsebene (20 mm) | ⑤ Beton (180 mm) | |
| ③ Thermo Hanf COMBI JUTE (80 mm) | ⑥ isofloc eco (120 mm) | |

Links: Verlauf von Temperatur und Taupunkt an der in der rechten Abbildung markierten Stelle. Der Taupunkt kennzeichnet die Temperatur, bei der Wasserdampf kondensieren und Tauwasser entstehen würde. Solange die Temperatur des Bauteils an jeder Stelle über der Taupunkttemperatur liegt, entsteht kein Tauwasser. Falls sich die beiden Kurven berühren, fällt an den Berührungspunkten Tauwasser aus.

Rechts: Maßstäbliche Zeichnung des Bauteils.

Schichten (von innen nach außen)

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m ²]
				min	max	
Wärmeübergangswiderstand*						
1	2,4 cm Parkett	0,130	0,185	18,9	19,4	12,0
2	2 cm Installationsebene	0,094	0,213	18,5	18,9	0,0
	2 cm Fichte (88%)	0,130	0,154	18,5	18,9	7,9
3	8 cm Thermo Hanf COMBI JUTE	0,040	2,000	13,4	18,5	3,0
4	0,048 cm ALUJET Floorjet SPEED	0,500	0,001	13,4	13,4	0,2
5	18 cm Beton	2,000	0,090	13,2	13,4	432,0
6	12 cm isofloc eco	0,038	3,158	5,2	13,2	6,0
7	1,25 cm Gipskartonplatte	0,250	0,050	5,1	5,2	8,5
Wärmeübergangswiderstand*						
43,698 cm Gesamtes Bauteil			5,984	5,0	5,1	469,6

*Wärmeübergangswiderstände gemäß DIN 6946 für die U-Wert-Berechnung. Für Feuchteschutz und Temperaturverlauf wurden $R_{si}=0,25$ und $R_{se}=0,04$ gemäß DIN 4108-3 verwendet.

Oberflächentemperatur innen (min / mittel / max): 19,4°C 19,4°C 19,4°C
 Oberflächentemperatur außen (min / mittel / max): 5,1°C 5,1°C 5,1°C

Boden EG, L3 - Variante Dämmung, U=0,17 W/(m²K)

Feuchteschutz

Für die Berechnung der Tauwassermenge wurde das Bauteil 90 Tage lang dem folgenden konstanten Klima ausgesetzt: innen: 20°C und 50% Luftfeuchtigkeit; außen: 5°C und 80% Luftfeuchtigkeit (Klima gemäß Benutzereingabe).

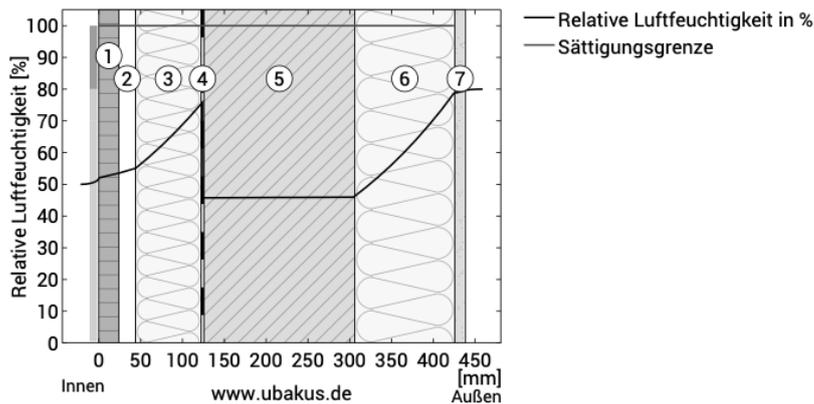
Unter den angenommenen Bedingungen bildet sich kein Tauwasser.

#	Material	sd-Wert [m]	Tauwasser		Gewicht [kg/m²]
			[kg/m²]	[Gew.-%]	
1	2,4 cm Parkett	0,72	-	-	12,0
2	2 cm Installationsebene	0,01	-	-	0,0
	2 cm Fichte (88%)	0,40	-	-	7,9
3	8 cm Thermo Hanf COMBI JUTE	0,08	-	-	3,0
4	0,048 cm ALUJET Floorjet SPEED	1500	-	-	0,2
5	18 cm Beton	23,40	-	-	432,0
6	12 cm isofloc eco	0,24	-	-	6,0
7	1,25 cm Gipskartonplatte	0,13	-	-	8,5
43,698 cm Gesamtes Bauteil		1.524,92	0		469,6

Luftfeuchtigkeit

Die Oberflächentemperatur auf der Raumseite beträgt 19,4 °C was zu einer relativen Luftfeuchtigkeit an der Oberfläche von 52% führt. Unter diesen Bedingungen sollte nicht mit Schimmelbildung zu rechnen sein.

Das folgende Diagramm zeigt die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb des Bauteils.



www.ubakus.de

- ① Parkett (24 mm)
- ② Installationsebene (20 mm)
- ③ Thermo Hanf COMBI JUTE (80 mm)
- ④ ALUJET Floorjet SPEED
- ⑤ Beton (180 mm)
- ⑥ isofloc eco (120 mm)
- ⑦ Gipskartonplatte (12,5 mm)

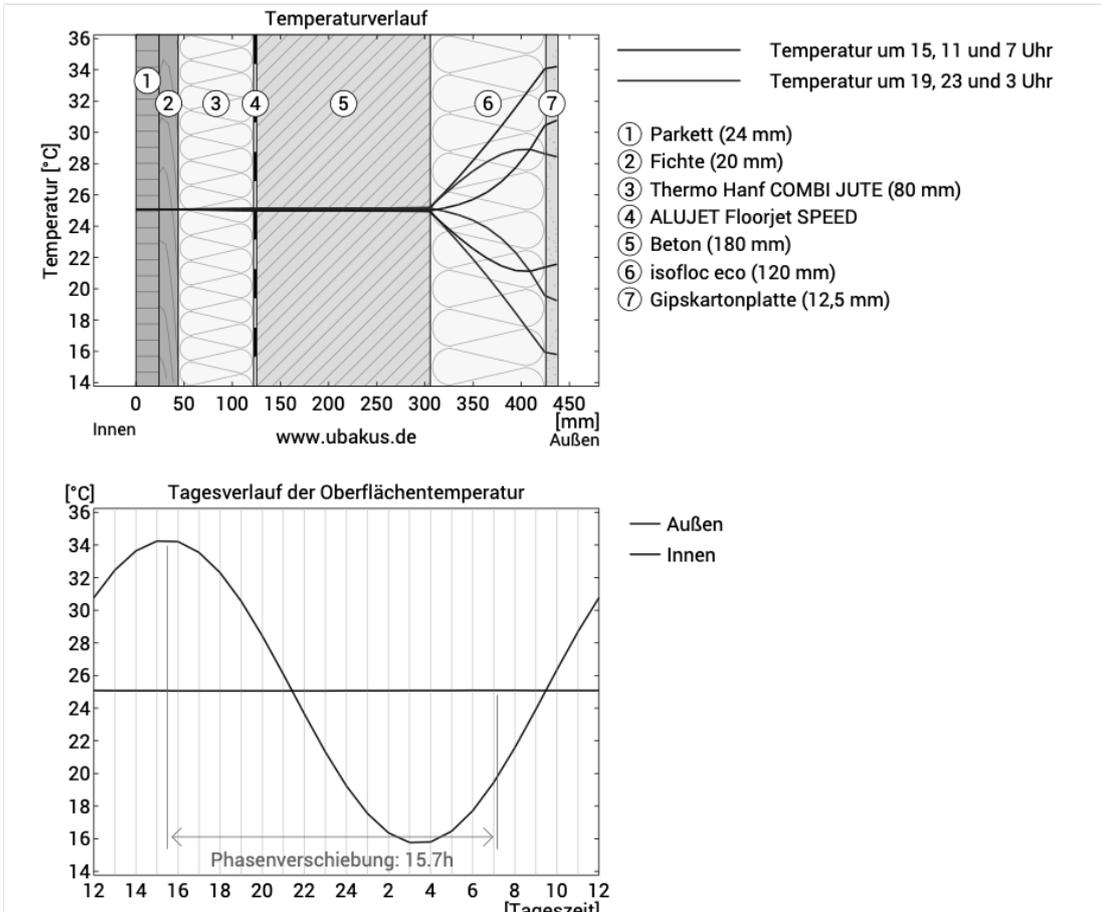
Hinweise: Berechnung mittels Ubakus 2D-FE Verfahren. Konvektion und die Kapillarität der Baustoffe wurden nicht berücksichtigt. Die Trocknungsdauer kann unter ungünstigen Bedingungen (Beschattung, feuchte/kühle Sommer) länger dauern als hier berechnet.

Gewerbliche Nutzung nur mit Plus-, PDF- oder Profi-Option (ab 2,99€/Monat zzgl. MwSt).

Boden EG, L3 - Variante Dämmung, $U=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Hitzeschutz

Die folgenden Ergebnisse sind Eigenschaften des untersuchten Bauteils allein und machen keine Aussage über den Hitzeschutz des gesamten Raums:



Obere Abbildung: Temperaturverlauf innerhalb des Bauteils zu verschiedenen Zeitpunkten. Jeweils von oben nach unten, braune Linien: um 15, 11 und 7 Uhr und rote Linien um 19, 23 und 3 Uhr morgens.

Untere Abbildung: Temperatur auf der äußeren (rot) und inneren (blau) Oberfläche im Verlauf eines Tages. Die schwarzen Pfeile kennzeichnen die Lage der Temperaturhöchstwerte. Das Maximum der inneren Oberflächentemperatur sollte möglichst während der zweiten Nachthälfte auftreten.

Phasenverschiebung*	nicht relevant	Wärmespeicherfähigkeit (gesamtes Bauteil):	471 kJ/m ² K
Amplitudendämpfung**	>100	Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten:	268 kJ/m ² K
TAV***	0,002		

* Die Phasenverschiebung gibt die Zeitdauer in Stunden an, nach der das nachmittägliche Hitzemaximum die Bauteilinnenseite erreicht.

** Die Amplitudendämpfung beschreibt die Abschwächung der Temperaturwelle beim Durchgang durch das Bauteil. Ein Wert von 10 bedeutet, dass die Temperatur auf der Außenseite 10x stärker variiert, als auf der Innenseite, z.B. außen 15-35°C, innen 24-26°C.

*** Das Temperaturamplitudenverhältnis TAV ist der Kehrwert der Dämpfung: $TAV = 1/\text{Amplitudendämpfung}$

Hinweis: Der Hitzeschutz eines Raumes wird von mehreren Faktoren beeinflusst, im Wesentlichen aber von der direkten Sonneneinstrahlung durch Fenster und der Gesamtmenge an Speichermasse (darunter auch Fußboden, Innenwände und Einbauten/Möbel). Ein einzelnes Bauteil hat auf den Hitzeschutz des Raumes in der Regel nur einen sehr geringen Einfluss.

Die oben dargestellten Berechnungen wurden für einen 1-dimensionalen Querschnitt des Bauteils erstellt.

Dieses Dokument wurde vom U-Wert-Rechner auf www.ubakus.de generiert. Sollte Ihnen durch die kostenlose Nutzung dieser Inhalte ein Schaden entstehen, so haftet der Diensteanbieter nur bei Vorsatz und grober Fahrlässigkeit des Diensteanbieters. Weiteres entnehmen Sie bitte den AGB unter https://www.ubakus.de/agb

Gewerbliche Nutzung nur mit Plus-, PDF- oder Profi-Option (ab 2,99 €/Monat zzgl. MwSt).

ANHANG 6



Alle Angaben ohne Gewähr

Boden EG, L3 - Variante Lehmschüttung

Kellerdecke
erstellt am 8.8.2024

Wärmeschutz

$U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

MuKEn14 Umbauten*: $U < 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



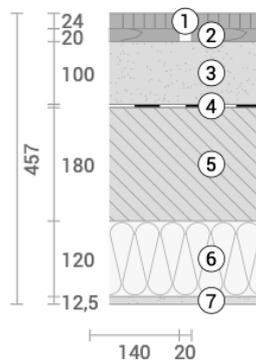
Feuchteschutz

Kein Tauwasser



Hitzeschutz

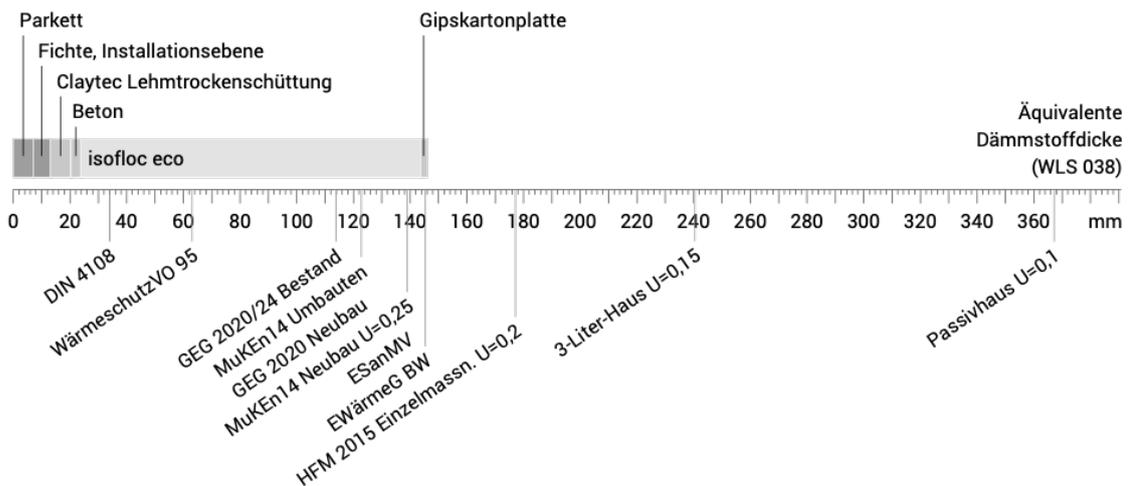
Temperaturamplitudendämpfung: >100
Phasenverschiebung: nicht relevant
Wärmekapazität innen: 472 kJ/m²K



- ① Parkett (24 mm)
- ④ Dampfbremse $s_d = 2,3$
- ⑦ Gipskartonplatte (12,5 mm)
- ② Installationsebene (20 mm)
- ⑤ Beton (180 mm)
- ⑥ isofloc eco (120 mm)
- ③ Claytec Lehm-trockenschüttung (100 mm)

Dämmwirkung einzelner Schichten und Vergleich mit Richtwerten

Für die folgende Abbildung wurden die Wärmedurchgangswiderstände (d.h. die Dämmwirkung) der einzelnen Schichten in Millimeter Dämmstoff umgerechnet. Die Skala bezieht sich auf einen Dämmstoff der Wärmeleitfähigkeit 0,038 W/mK.



Raumluft: 20,0°C / 50%
Unbeheizter Raum: 5,0°C / 80%
Oberflächentemp.: 19,1°C / 5,1°C

s_d -Wert: 27,6 m

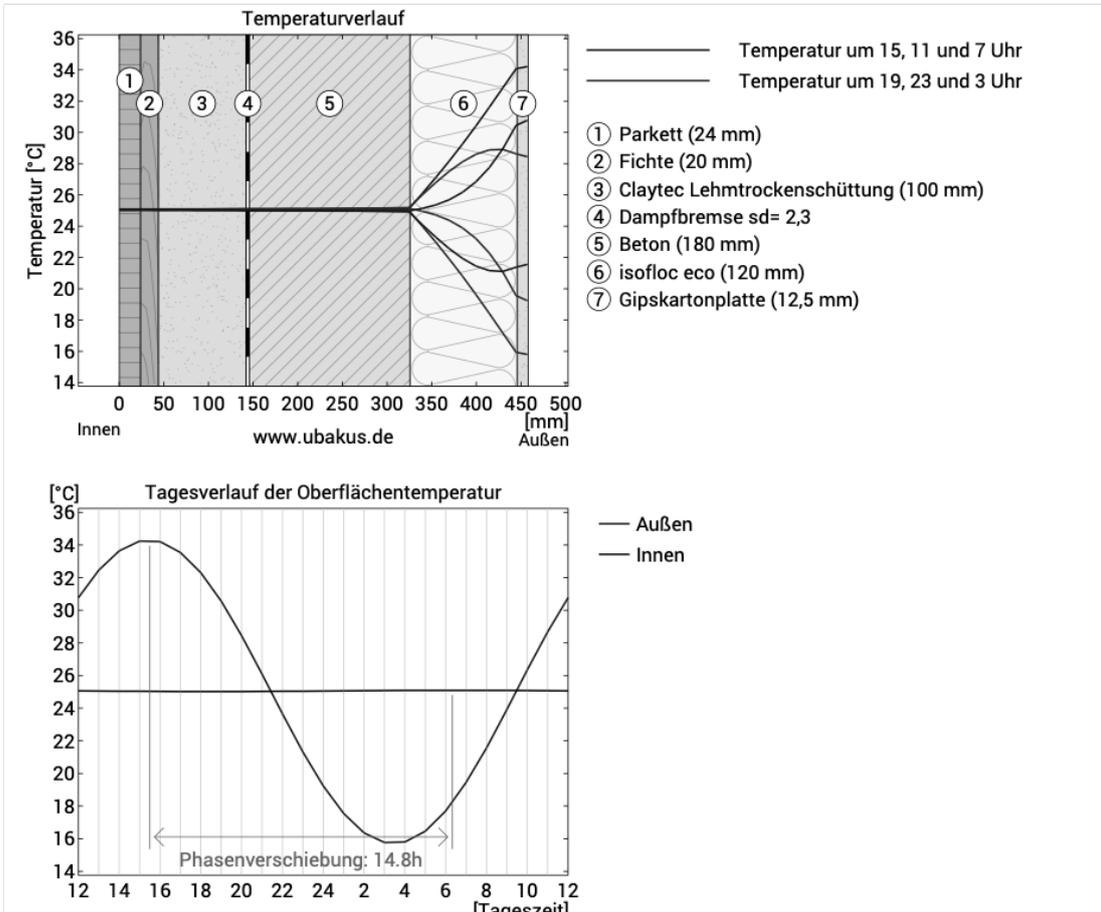
Dicke: 45,7 cm
Gewicht: 597 kg/m²
Wärmekapazität: 593 kJ/m²K

*Vergleich mit dem Grenzwert gemäß MuKEn14 Art. 1.7 Abs. 2 für Umbauten oder Umnutzungen für opake Bauteile gegen unbeheizte Räume oder mehr als 2 m im Erdreich.

Boden EG, L3 - Variante Lehmschüttung, $U=0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Hitzeschutz

Die folgenden Ergebnisse sind Eigenschaften des untersuchten Bauteils allein und machen keine Aussage über den Hitzeschutz des gesamten Raumes:



Obere Abbildung: Temperaturverlauf innerhalb des Bauteils zu verschiedenen Zeitpunkten. Jeweils von oben nach unten, braune Linien: um 15, 11 und 7 Uhr und rote Linien um 19, 23 und 3 Uhr morgens.

Untere Abbildung: Temperatur auf der äußeren (rot) und inneren (blau) Oberfläche im Verlauf eines Tages. Die schwarzen Pfeile kennzeichnen die Lage der Temperaturhöchstwerte. Das Maximum der inneren Oberflächentemperatur sollte möglichst während der zweiten Nachthälfte auftreten.

Phasenverschiebung*	nicht relevant	Wärmespeicherfähigkeit (gesamtes Bauteil):	593 kJ/m ² K
Amplitudendämpfung**	>100	Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten:	472 kJ/m ² K
TAV***	0,004		

* Die Phasenverschiebung gibt die Zeitdauer in Stunden an, nach der das nachmittägliche Hitzemaximum die Bauteilinnenseite erreicht.

** Die Amplitudendämpfung beschreibt die Abschwächung der Temperaturwelle beim Durchgang durch das Bauteil. Ein Wert von 10 bedeutet, dass die Temperatur auf der Außenseite 10x stärker variiert, als auf der Innenseite, z.B. außen 15-35°C, innen 24-26°C.

*** Das Temperaturamplitudenverhältnis TAV ist der Kehrwert der Dämpfung: $TAV = 1/\text{Amplitudendämpfung}$

Hinweis: Der Hitzeschutz eines Raumes wird von mehreren Faktoren beeinflusst, im Wesentlichen aber von der direkten Sonneneinstrahlung durch Fenster und der Gesamtmenge an Speichermasse (darunter auch Fußboden, Innenwände und Einbauten/Möbel). Ein einzelnes Bauteil hat auf den Hitzeschutz des Raumes in der Regel nur einen sehr geringen Einfluss.

Die oben dargestellten Berechnungen wurden für einen 1-dimensionalen Querschnitt des Bauteils erstellt.

Dieses Dokument wurde vom U-Wert-Rechner auf www.ubakus.de generiert. Sollte Ihnen durch die kostenlose Nutzung dieser Inhalte ein Schaden entstehen, so haftet der Diensteanbieter nur bei Vorsatz und grober Fahrlässigkeit des Diensteanbieters. Weiteres entnehmen Sie bitte den AGB unter https://www.ubakus.de/agb

Gewerbliche Nutzung nur mit Plus-, PDF- oder Profi-Option (ab 2,99 €/Monat zzgl. MwSt).

ANHANG 7



Alle Angaben ohne Gewähr

Wand EG, L3 - Bestand Putz

Außenwand
erstellt am 8.8.2024

Wärmeschutz

$U = 1,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

MuKEn14 Umbauten*: $U < 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

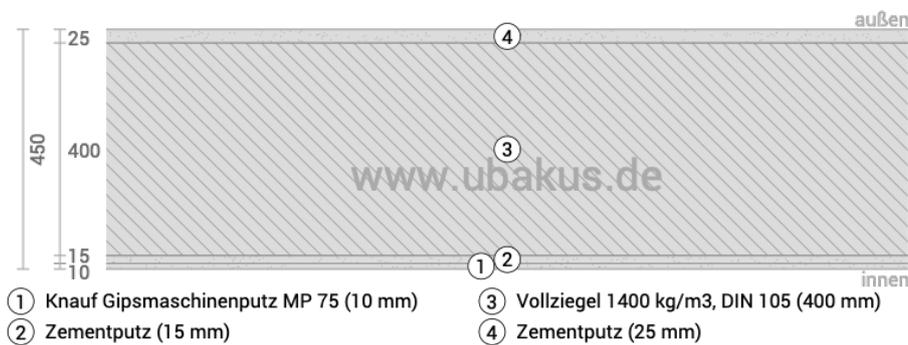


Feuchteschutz

Tauwasser: $254 \text{ g}/\text{m}^2$
Trocknet 19 Tage

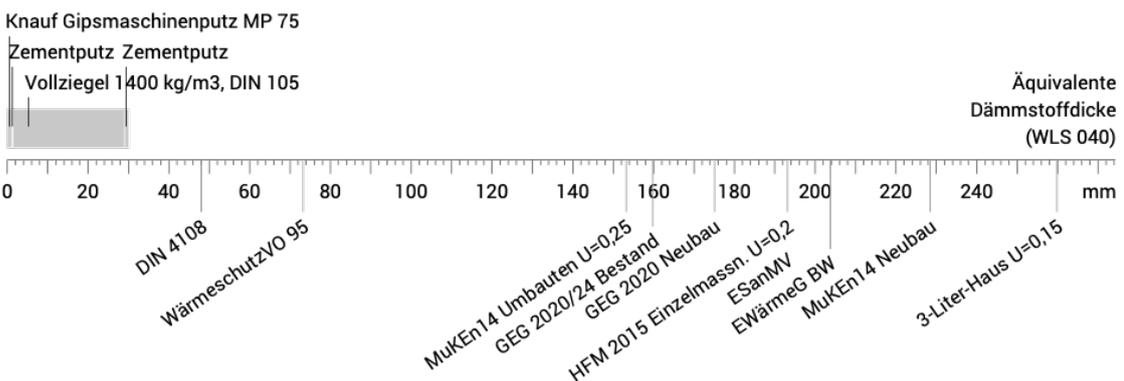
Hitzeschutz

Temperaturamplitudendämpfung: 34
Phasenverschiebung: 15,5 h
Wärmekapazität innen: $267 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$



Dämmwirkung einzelner Schichten und Vergleich mit Richtwerten

Für die folgende Abbildung wurden die Wärmedurchgangswiderstände (d.h. die Dämmwirkung) der einzelnen Schichten in Millimeter Dämmstoff umgerechnet. Die Skala bezieht sich auf einen Dämmstoff der Wärmeleitfähigkeit 0,040 W/mK.



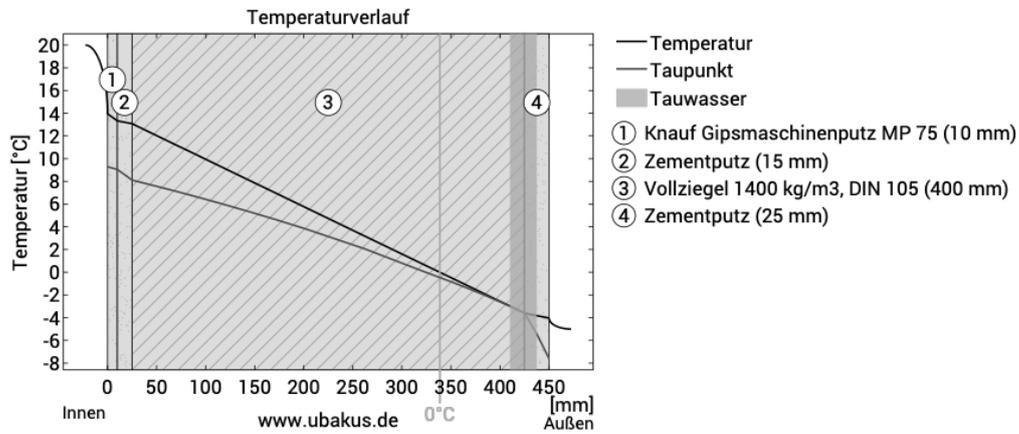
Raumluft:	20,0°C / 50%	sd-Wert:	3,2 m	Dicke:	45,0 cm
Außenluft:	-5,0°C / 80%			Gewicht:	651 kg/m ²
Oberflächentemp.:	14,0°C / -4,0°C			Wärmekapazität:	652 kJ/m ² K

*Vergleich mit dem Grenzwert gemäß MuKEn14 Art. 1.7 Abs. 2 für Umbauten oder Umnutzungen für opake Bauteile gegen Aussenklima oder weniger als 2 m im Erdreich. Seite 1

Gewerbliche Nutzung nur mit Plus-, PDF- oder Profi-Option (ab 2,99 €/Monat zzgl. MwSt.)

Wand EG, L3 - Bestand Putz, $U=1,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Temperaturverlauf



Verlauf von Temperatur und Taupunkt innerhalb des Bauteils. Der Taupunkt kennzeichnet die Temperatur, bei der Wasserdampf kondensieren und Tauwasser entstehen würde. Solange die Temperatur des Bauteils an jeder Stelle über der Taupunkttemperatur liegt, entsteht kein Tauwasser. Falls sich die beiden Kurven berühren, fällt an den Berührungspunkten Tauwasser aus.

Schichten (von innen nach außen)

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m ²]
				min	max	
	Wärmeübergangswiderstand*		0,130	14,0	20,0	
1	1 cm Knauf Gipsmaschinenputz MP 75	0,390	0,026	13,3	14,0	11,0
2	1,5 cm Zementputz	1,400	0,011	13,1	13,3	30,0
3	40 cm Vollziegel 1400 kg/m ³ , DIN 105	0,580	0,690	-3,6	13,1	560,0
4	2,5 cm Zementputz	1,400	0,018	-4,0	-3,6	50,0
	Wärmeübergangswiderstand*		0,040	-5,0	-4,0	
	45 cm Gesamtes Bauteil		0,914			651,0

*Wärmeübergangswiderstände gemäß DIN 6946 für die U-Wert-Berechnung. Für Feuchteschutz und Temperaturverlauf wurden $R_{si}=0,25$ und $R_{se}=0,04$ gemäß DIN 4108-3 verwendet.

Oberflächentemperatur innen (min / mittel / max): 14,0°C 14,0°C 14,0°C
Oberflächentemperatur außen (min / mittel / max): -4,0°C -4,0°C -4,0°C

Wand EG, L3 - Bestand Putz, $U=1,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Feuchteschutz

Für die Berechnung der Tauwassermenge wurde das Bauteil 90 Tage lang dem folgenden konstanten Klima ausgesetzt: innen: 20°C und 50% Luftfeuchtigkeit; außen: -5°C und 80% Luftfeuchtigkeit. Dieses Klima entspricht DIN 4108-3.

Unter diesen Bedingungen fallen insgesamt 0,25 kg Tauwasser pro Quadratmeter an. Diese Menge trocknet im Sommer innerhalb von 19 Tagen ab (Verdunstungsperiode gemäß DIN 4108-3:2018-10).

#	Material	sd-Wert [m]	Tauwasser [kg/m ²] [Gew.-%]	Gewicht [kg/m ²]
1	1 cm Knauf Gipsmaschinenputz MP 75	0,06	-	11,0
2	1,5 cm Zementputz	0,23	-	30,0
3	40 cm Vollziegel 1400 kg/m ³ , DIN 105	2,00	0,25	560,0
4	2,5 cm Zementputz	0,88	0,25	50,0
	45 cm Gesamtes Bauteil	3,16	0,25	651,0

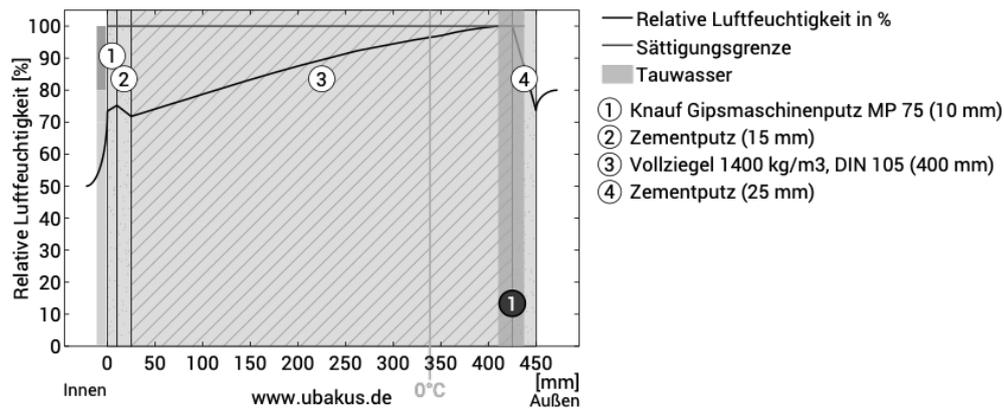
Tauwasserebenen

- ① Tauwasser: 0,25 kg/m² Betroffene Schichten: Zementputz, Vollziegel 1400 kg/m³, DIN 105

Luftfeuchtigkeit

Die Oberflächentemperatur auf der Raumseite beträgt 14,0 °C was zu einer relativen Luftfeuchtigkeit an der Oberfläche von 73% führt. Manche Arten von Bauschimmel gedeihen ab einer Luftfeuchtigkeit von 70%, Schimmelbildung kann nicht ausgeschlossen werden. Um Schimmelbildung zu vermeiden, sollte die Oberflächentemperatur durch (zusätzliche) Dämmung erhöht werden.

Das folgende Diagramm zeigt die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb des Bauteils.

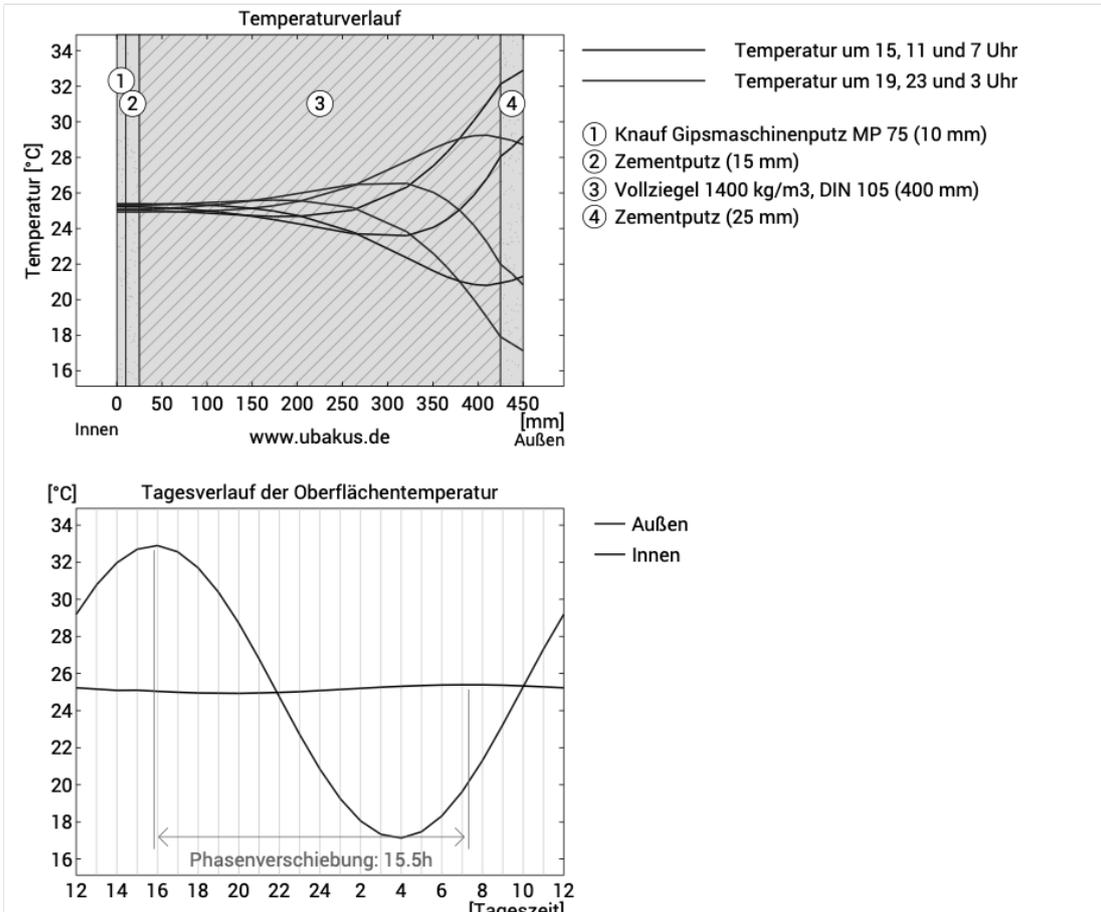


Hinweise: Berechnung mittels Ubakus 2D-FE Verfahren. Konvektion und die Kapillarität der Baustoffe wurden nicht berücksichtigt. Die Trocknungsdauer kann unter ungünstigen Bedingungen (Beschattung, feuchte/kühle Sommer) länger dauern als hier berechnet.

Wand EG, L3 - Bestand Putz, U=1,09 W/(m²K)

Hitzeschutz

Die folgenden Ergebnisse sind Eigenschaften des untersuchten Bauteils allein und machen keine Aussage über den Hitzeschutz des gesamten Raums:



Obere Abbildung: Temperaturverlauf innerhalb des Bauteils zu verschiedenen Zeitpunkten. Jeweils von oben nach unten, braune Linien: um 15, 11 und 7 Uhr und rote Linien um 19, 23 und 3 Uhr morgens.

Untere Abbildung: Temperatur auf der äußeren (rot) und inneren (blau) Oberfläche im Verlauf eines Tages. Die schwarzen Pfeile kennzeichnen die Lage der Temperaturhöchstwerte. Das Maximum der inneren Oberflächentemperatur sollte möglichst während der zweiten Nachthälfte auftreten.

Phasenverschiebung*	15,5 h	Wärmespeicherfähigkeit (gesamtes Bauteil):	652 kJ/m ² K
Amplitudendämpfung**	34,1	Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten:	267 kJ/m ² K
TAV***	0,029		

* Die Phasenverschiebung gibt die Zeitdauer in Stunden an, nach der das nachmittägliche Hitzemaximum die Bauteilinnenseite erreicht.

** Die Amplitudendämpfung beschreibt die Abschwächung der Temperaturwelle beim Durchgang durch das Bauteil. Ein Wert von 10 bedeutet, dass die Temperatur auf der Außenseite 10x stärker variiert, als auf der Innenseite, z.B. außen 15-35°C, innen 24-26°C.

*** Das Temperaturamplitudenverhältnis TAV ist der Kehrwert der Dämpfung: TAV = 1/Amplitudendämpfung

Hinweis: Der Hitzeschutz eines Raumes wird von mehreren Faktoren beeinflusst, im Wesentlichen aber von der direkten Sonneneinstrahlung durch Fenster und der Gesamtmenge an Speichermasse (darunter auch Fußboden, Innenwände und Einbauten/Möbel). Ein einzelnes Bauteil hat auf den Hitzeschutz des Raumes in der Regel nur einen sehr geringen Einfluss.

ANHANG 8



Alle Angaben ohne Gewähr

Wand EG, L3 - Bestand Täufer

Außenwand
erstellt am 8.8.2024

Wärmeschutz

$U = 0,87 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

MuKE n14 Umbauten*: $U < 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

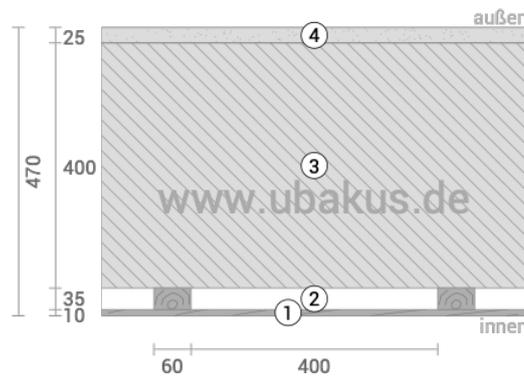


Feuchteschutz

Tauwasser: $310 \text{ g}/\text{m}^2$
Trocknet 21 Tage

Hitzeschutz

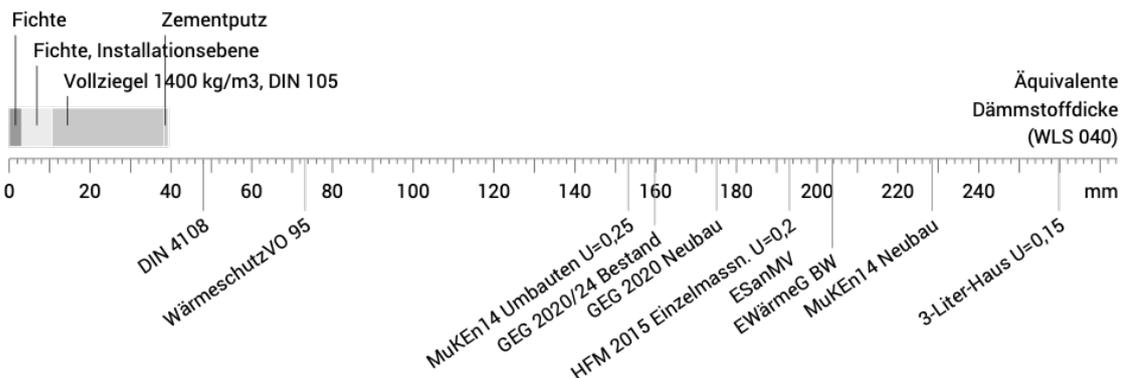
Temperaturamplitudendämpfung: 27
Phasenverschiebung: 15,2 h
Wärmekapazität innen: $200 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$



- ① Fichte (10 mm)
- ② Installationsebene (35 mm)
- ③ Vollziegel 1400 kg/m³, DIN 105 (400 mm)
- ④ Zementputz (25 mm)

Dämmwirkung einzelner Schichten und Vergleich mit Richtwerten

Für die folgende Abbildung wurden die Wärmedurchgangswiderstände (d.h. die Dämmwirkung) der einzelnen Schichten in Millimeter Dämmstoff umgerechnet. Die Skala bezieht sich auf einen Dämmstoff der Wärmeleitfähigkeit 0,040 W/mK.



Raumluft:	20,0°C / 50%	sd-Wert:	3,1 m	Dicke:	47,0 cm
Außenluft:	-5,0°C / 80%			Gewicht:	617 kg/m ²
Oberflächentemp.:	15,0°C / -4,2°C			Wärmekapazität:	621 kJ/m ² K

*Vergleich mit dem Grenzwert gemäß MuKE n14 Art. 1.7 Abs. 2 für Umbauten oder Umnutzungen für opake Bauteile gegen Aussenklima oder weniger als 2 m im Erdreich. Seite 1

Gewerbliche Nutzung nur mit Plus-, PDF-, oder Profi-Option (ab 2,99 €/Monat zzgl. MwSt.)

Wand EG, L3 - Bestand Täfer, U=0,87 W/(m²K)

Feuchteschutz

Für die Berechnung der Tauwassermenge wurde das Bauteil 90 Tage lang dem folgenden konstanten Klima ausgesetzt: innen: 20°C und 50% Luftfeuchtigkeit; außen: -5°C und 80% Luftfeuchtigkeit. Dieses Klima entspricht DIN 4108-3.

Unter diesen Bedingungen fallen insgesamt 0,31 kg Tauwasser pro Quadratmeter an. Diese Menge trocknet im Sommer innerhalb von 21 Tagen ab (Verdunstungsperiode gemäß DIN 4108-3:2018-10).

#	Material	sd-Wert [m]	Tauwasser [kg/m²] [Gew.-%]	Gewicht [kg/m²]
1	1 cm Fichte	0,20	-	4,5
2	3,5 cm Installationsebene	0,01	-	0,0
	3,5 cm Fichte (13%)	0,70	-	2,1
3	40 cm Vollziegel 1400 kg/m3, DIN 105	2,00	0,31	560,0
4	2,5 cm Zementputz	0,88	0,20	50,0
	47 cm Gesamtes Bauteil	3,14	0,31	616,6

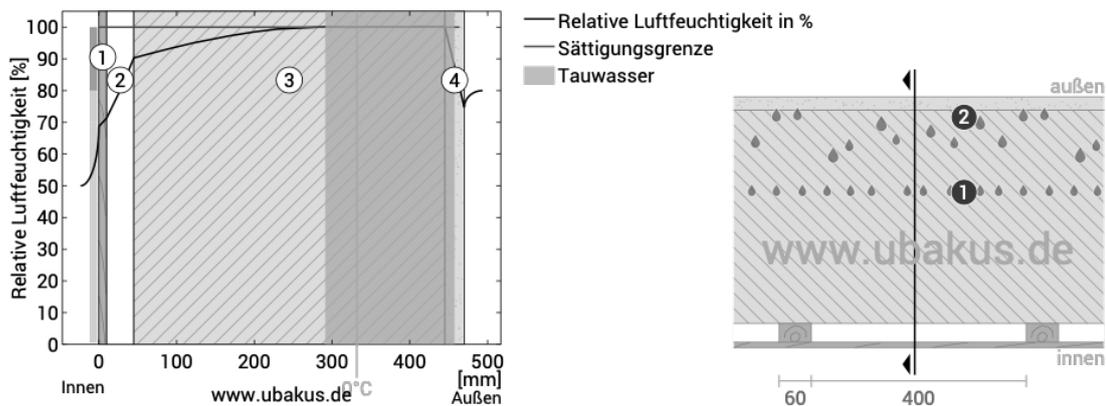
Tauwasserebenen

- 1 Tauwasser: 0,024 kg/m² Betroffene Schichten: Vollziegel 1400 kg/m3, DIN 105
- 2 Tauwasser: 0,29 kg/m² Betroffene Schichten: Vollziegel 1400 kg/m3, DIN 105, Zementputz

Luftfeuchtigkeit

Die Oberflächentemperatur auf der Raumseite beträgt 15,0 °C was zu einer relativen Luftfeuchtigkeit an der Oberfläche von 69% führt. Unter diesen Bedingungen sollte nicht mit Schimmelbildung zu rechnen sein.

Das folgende Diagramm zeigt die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb des Bauteils.



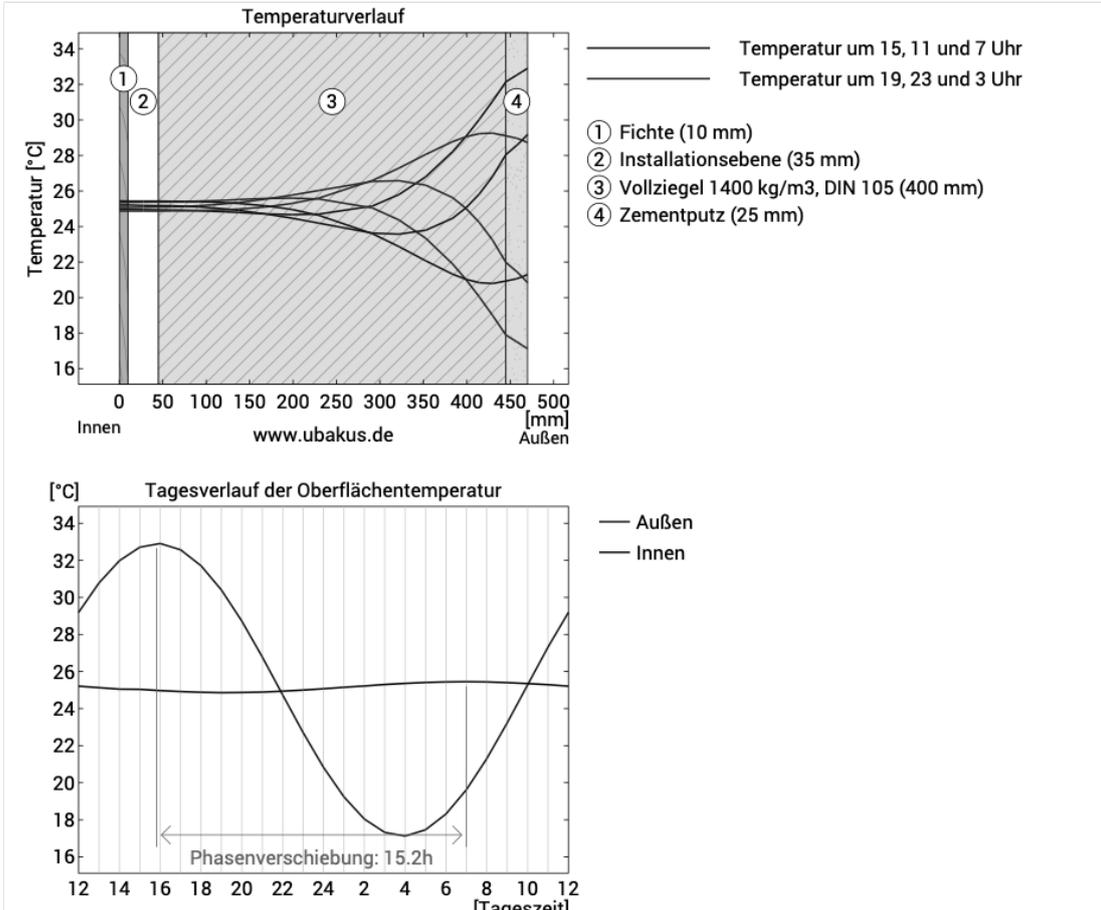
- 1 Fichte (10 mm)
- 2 Installationsebene (35 mm)
- 3 Vollziegel 1400 kg/m3, DIN 105 (40 mm)
- 4 Zementputz (25 mm)

Hinweise: Berechnung mittels Ubakus 2D-FE Verfahren. Konvektion und die Kapillarität der Baustoffe wurden nicht berücksichtigt. Die Trocknungsdauer kann unter ungünstigen Bedingungen (Beschattung, feuchte/kühle Sommer) länger dauern als hier berechnet.

Wand EG, L3 - Bestand Täfer, $U=0,87 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Hitzeschutz

Die folgenden Ergebnisse sind Eigenschaften des untersuchten Bauteils allein und machen keine Aussage über den Hitzeschutz des gesamten Raums:



Obere Abbildung: Temperaturverlauf innerhalb des Bauteils zu verschiedenen Zeitpunkten. Jeweils von oben nach unten, braune Linien: um 15, 11 und 7 Uhr und rote Linien um 19, 23 und 3 Uhr morgens.

Untere Abbildung: Temperatur auf der äußeren (rot) und inneren (blau) Oberfläche im Verlauf eines Tages. Die schwarzen Pfeile kennzeichnen die Lage der Temperaturhöchstwerte. Das Maximum der inneren Oberflächentemperatur sollte möglichst während der zweiten Nachthälfte auftreten.

Phasenverschiebung*	15,2 h	Wärmespeicherfähigkeit (gesamtes Bauteil):	621 kJ/m ² K
Amplitudendämpfung**	27,0	Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten:	200 kJ/m ² K
TAV***	0,037		

* Die Phasenverschiebung gibt die Zeitdauer in Stunden an, nach der das nachmittägliche Hitzemaximum die Bauteilinnenseite erreicht.

** Die Amplitudendämpfung beschreibt die Abschwächung der Temperaturwelle beim Durchgang durch das Bauteil. Ein Wert von 10 bedeutet, dass die Temperatur auf der Außenseite 10x stärker variiert, als auf der Innenseite, z.B. außen 15-35°C, innen 24-26°C.

*** Das Temperaturamplitudenverhältnis TAV ist der Kehrwert der Dämpfung: $TAV = 1/\text{Amplitudendämpfung}$

Hinweis: Der Hitzeschutz eines Raumes wird von mehreren Faktoren beeinflusst, im Wesentlichen aber von der direkten Sonneneinstrahlung durch Fenster und der Gesamtmenge an Speichermasse (darunter auch Fußboden, Innenwände und Einbauten/Möbel). Ein einzelnes Bauteil hat auf den Hitzeschutz des Raumes in der Regel nur einen sehr geringen Einfluss.

Die oben dargestellten Berechnungen wurden für einen 1-dimensionalen Querschnitt des Bauteils erstellt.

ANHANG 9

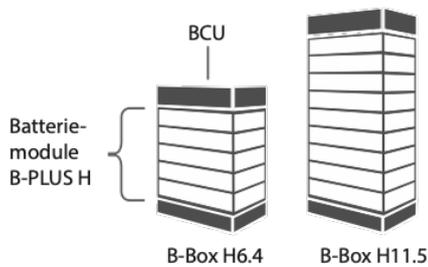


Die Batterie für alle Anwendungen - in echtem Hochvolt

- Von 6,4 kWh bis 57,6 kWh
- 200 - 500 V zur Verwendung als Hochvoltbatterie
- Notstromfähig durch hohe Entladeleistung (1-2 C)
- Maximale Effizienz dank echter Serienschaltung
- Lithium-Eisenphosphat Batterie: Höchstmaß an Sicherheit, Zyklfestigkeit und Leistung
- Patentiertes, kabelloses Stecksystem
- 1 und 3 phasige Systeme



B-Box HV



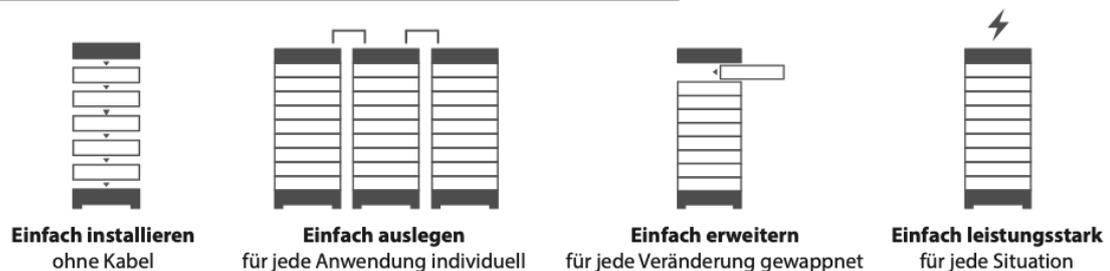
- Flexible 1,28 kWh Module
- Modulares Design vereinfacht Transport und Installation (schwerstes Einzelteil: 26 kg)

Die BYD B-Box HV ist eine Lithium-Eisenphosphat (LiFePO₄) Batterieeinheit zur Verwendung mit einem externen Wechselrichter. Eine B-BOX HV enthält zwischen 5 und 9 Batteriemodule **B-Plus H** in Serienschaltung und erreicht bis zu 11,52 kWh (nutzbar):

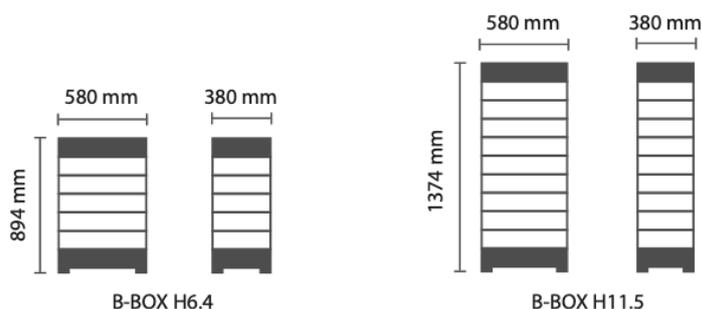
- **B-Box H6.4** (6,40 kW / 6,40 kWh)
- **B-Box H7.7** (7,68 kW / 7,68 kWh)
- **B-Box H9.0** (8,96 kW / 8,96 kWh)
- **B-Box H10.2** (10,24 kW / 10,24 kWh)
- **B-BOX H11.5** (11,52 kW / 11,52 kWh)

Die Parallelverschaltung bis zu 5 baugleicher B-BOX HV ermöglicht **maximal 57,6 kWh**. Die Nachrüstung ist jederzeit möglich.

Einfach. Flexibel



Abmessungen



Technische Parameter



	B-Box H6.4	B-Box H7.7	B-Box H9.0	B-Box H10.2	B-Box H11.5
Batterie-Typ	Lithium iron phosphate (LiFePO ₄)				
Batteriemodul	B-Plus-H (1,28 kWh // 26 kg // 580x120x380 mm)				
Konfiguration	5 Module	6 Module	7 Module	8 Module	9 Module
Nutzbare Kapazität ¹	6,40 kWh	7,68 kWh	8,96 kWh	10,24 kWh	11,52 kWh
Max. Ausgangsleistung	6,40 kW	7,68 kW	8,96 kW	10,24 kW	11,52 kW
Peak Ausgangsleistung, 5 min	12,80 kW	15,36 kW	17,92 kW	20,48 kW	23,04 kW
Nennspannung	256 V	307 V	358 V	409 V	460 V
Spannungsbereich	200-282 V	240-338 V	280-395 V	320-451 V	360-500 V
Umgebungstemperatur ²	-10 °C bis +50 °C				
Schnittstellen	CAN/RS485				
Batteriewirkungsgrad	≥ 95,3 % (nach Effizienzleitfaden)				
Garantie	10 Jahre				
Zertifizierung und Standards	CE / UL 1642 / RCM / Sicherheitsleitfaden Li-Ionen-Hausspeicher				
IP Schutzart	IP55				
Abmessungen (B/H/T, mm)	580x894x380	580x1014x380	580x1134x380	580x1254x380	580x1374x380
Gewicht	148 kg	174 kg	200 kg	226 kg	252 kg
Kompatible Wechselrichter	SMA / Kostal / aktuelle Liste auf www.eft-systems.de				
Skalierbar	Jederzeit / bis zu 5 baugleiche Systeme parallel / 57,6 kWh (Verfügbar ab Q1, 2018)				

[1] Testbedingungen: 100% DOD, 0,5C Ladung und Entladung bei +25°C

[2] Von -10°C bis 10°C wird die Leistung gedrosselt

BYD
BYD Company Limited
www.byd.com/energy
E-Mail: bydbbox@byd.com

BYD B-BOX EU Service Partner
EFT-Systems GmbH
www.eft-systems.de
info@eft-systems.de

Ihr Stromspeicher-Spezialist: