



### 3. Zwischenbericht vom 21.08.2024

---

# Projekt Hobelwerk

## Skalierbare Lösungen für den Weg zu Netto-Null

---



#### **DISCLAIMER / HAFTUNGSAUSSCHLUSS:**

Die Angaben im vorliegenden Zwischenbericht haben provisorischen Charakter. Im weiteren Projektverlauf können sich noch relevante Änderungen ergeben.



**Datum:** 21.08.2024

**Ort:** Zürich

**Subventionsgeberin:**

Bundesamt für Energie BFE  
Sektion Energieforschung und Cleantech  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Ko-Finanzierung:**

Stadtwerk Winterthur, Klimafonds  
8403 Winterthur  
<https://stadtwerk.winterthur.ch>

**Subventionsempfänger/innen:**

Baugenossenschaft mehr als wohnen  
Hagenholzstrasse. 104b, 8050 Zürich  
[www.mehralswohnen.ch](http://www.mehralswohnen.ch)

Lemon Consult AG  
Sumatrastrasse 10, 8006 Zürich  
[www.lemonconsult.ch](http://www.lemonconsult.ch)

Lignum  
Mühlebachstrasse 8, 8008 Zürich  
[www.lignum.ch](http://www.lignum.ch)

Baubüro in situ  
Dornacherstrasse 192, 4018 Basel  
[www.insitu.ch](http://www.insitu.ch)

Empa  
Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf  
[www.empa.ch](http://www.empa.ch)



**LEMON • CONSULT** •



**baubüro in situ ag**  
Zürich



**Empa**

Materials Science and Technology

**Autor/innen:**

Philip Haupt, Lemon Consult, [haupt@lemonconsult.ch](mailto:haupt@lemonconsult.ch)  
Philipp Heer, Empa UESL, [philipp.heer@empa.ch](mailto:philipp.heer@empa.ch)  
Martin Ménard, Low-Tech Lab, [menard@lowtechlab.ch](mailto:menard@lowtechlab.ch)  
Kerstin Müller, baubüro in situ, [k.mueller@insitu.ch](mailto:k.mueller@insitu.ch)  
Jules Petit, Lemon Consult, [petit@lemonconsult.ch](mailto:petit@lemonconsult.ch)  
Franziska Quandt, Zirkular, [f.quandt@zirkular.net](mailto:f.quandt@zirkular.net)  
Beni Rohrbach, Colabri, [br@colabri.ch](mailto:br@colabri.ch)  
Raphael Schär-Sommer, Lemon Consult, [schaer@lemonconsult.ch](mailto:schaer@lemonconsult.ch)  
Hansueli Schmid, Lignum, [hansueli.schmid@lignum.ch](mailto:hansueli.schmid@lignum.ch)  
Dario Vittani, Zirkular, [d.vittani@zirkular.net](mailto:d.vittani@zirkular.net)  
Andrea Wieland, mehr als wohnen (bis 2023)



**BFE-Projektbegleitung:**

Men Wirz, Bundesamt für Energie, +41 58 462 55 97, [men.wirz@bfe.admin.ch](mailto:men.wirz@bfe.admin.ch)

Nadège Vetterli, Anex Ingenieure AG, +41 41 226 16 23, [nadege.vetterli@anex.ch](mailto:nadege.vetterli@anex.ch)

**BFE-Vertragsnummer:** SI/502244-01

**Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren und Autorinnen dieses Berichts verantwortlich.**



## Zusammenfassung

Um die Pariser Klimaziele zu erreichen, muss der Gebäudepark der Schweiz klimaneutral werden. In diesem Projekt werden dafür vier vielversprechende und skalierbare Ansätze in einer realen Umgebung installiert, erprobt und miteinander verglichen. Die Ansätze sind zwar nicht CO<sub>2</sub>-frei, aber sie haben das Potential zu einer deutlichen Reduktion der Treibhausgasemissionen. Für die Gebäudeerstellung werden die Ansätze CO<sub>2</sub>-optimierter Holzbau sowie Re-Use erprobt. Für die Erstellung und den Betrieb wird eine einfache Abluftanlage, welche aber dank einer CO<sub>2</sub>-Regelung einen hohen Komfort ermöglicht, installiert. Auf die Treibhausgasemissionen im Betrieb wirkt auch eine prädiktive Bivalenz-Regelung der Wärmeerzeugung. Diese vier Lösungen werden mittels einer einheitlichen Methode bezüglich der Lebenszykluskosten sowie der Ökobilanzierung miteinander verglichen. Zudem werden Erhebungen zur Akzeptanz während der Planung sowie unter den Bewohnenden durchgeführt.

### Erste (provisorische) Ergebnisse

#### CO<sub>2</sub>-optimierter Holzbau

- Bei der Ausschreibung der Holzbauarbeiten von Haus C wurden auch Angaben zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen der Erstellung eingefordert. Ein Vergleich zeigt grosse Unterschiede zwischen den eingegangenen Angeboten. Preislich günstige Angebote weisen auch die tiefsten Erstellungsemissionen auf (siehe Kap. 2.5).
- Durch den Wechsel von einem Massivbau zu einem Holzbau, konnten in Bezug auf die Lebensdauer und die Energiebezugsfläche von Haus C 1.1 kg/m<sup>2</sup>a Treibhausgasemissionen eingespart werden. In Zusammenarbeit mit dem beauftragten Holzbauunternehmen wurden drei weitere Optimierungsmassnahmen umgesetzt: ein besonders schlanker Anhydrit-Unterslagsboden, Innenwände ohne Gipsbeplankung und die mehrheitliche Verwendung von Schweizer Holzprodukten. In der Summe führen diese Massnahmen zu einer zusätzlichen Einsparung an Treibhausgasemissionen von 0.5 kg/m<sup>2</sup>a (siehe Kap. 2.7). Die Erstellungsemissionen von Haus C liegen, exkl. Gebäudetechnik und zentraler Tiefgarage, bei 5.9 kg/m<sup>2</sup>a.
- Die Erstellungskosten pro Energiebezugsfläche von Haus C sind gegenüber einem vergleichbaren Massivbau rund 350 CHF/m<sup>2</sup> höher. Die zusätzlichen Optimierungsmassnahmen führen zu weiteren Mehrkosten von 24 CHF/m<sup>2</sup>.
- Die aus dem Verhältnis der Investitionskosten zu den Emissionseinsparungen berechneten Treibhausgas-Vermeidungskosten der untersuchten Holzbaumassnahmen liegen im Bereich von 0.8 bis 5.3 CHF/kg. Zum Vergleich: die CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Brennstoffe liegt in der Schweiz aktuell bei 0.12 CHF/kg.
- Bei Berücksichtigung der im Holz gebundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen, sinken die Netto-Erstellungsemissionen von Haus C auf 1.8 kg/m<sup>2</sup>a. Die Anrechnung des im Holz gebundenen biogenen CO<sub>2</sub> wird allerdings von Institutionen wie Minergie und SIA abgelehnt, weil die Permanenz und damit die Klimawirksamkeit der CO<sub>2</sub>-Speicherung zurzeit noch unklar sind.

#### Re-Use ohne Sonderstatus

- Bei der Planung von Haus D wurde ab dem Vorprojekt die Wiederverwendung von Bauteilen (Re-Use) aus Abbruchobjekten angestrebt. Dabei sollten weder der Kosten- noch der Zeitrahmen angepasst werden (ohne Sonderstatus).
- Von den für die Re-Use-Bauteilsuche angestrebten Materialmengen konnten aufgrund des engen Zeit- und Kostenrahmes nur ein Teil beschafft werden.





- Die verwendeten Re-Use-Bauteile ermöglichen gegenüber neuen Bauteilen eine Reduktion der Treibhausgasemissionen im Bereich von 49 bis 96%. Dank der Verwendung von Re-Use-Bauteilen sinken die Erstellungsemissionen von Haus D in Bezug auf die Lebensdauer und Energiebezugsfläche um  $0.5 \text{ kg/m}^2\text{a}$ . Insgesamt liegen die Erstellungsemissionen von Haus D, exkl. Gebäudetechnik und zentraler Tiefgarage, bei  $5.2 \text{ kg/m}^2\text{a}$ . Dieser, auch im Vergleich zu dem ebenfalls als Holzmodulbau realisierten Haus C, tiefe Wert, wird neben den Re-Use-Bauteilen vor allem auch durch den Verzicht auf ein Untergeschoss erreicht (siehe Kap. 3.6).
- Der Einsatz von Re-Use Bauteilen war trotz erheblicher Aufwände für Umplanung, Bauteilsuche, Ausbau, Transport, Lagerung, Aufbereitung und Einbau nahezu kostenneutral. Die Treibhausgasbilanz von Haus D konnte somit dank Re-Use ohne nennenswerte Mehrkosten verbessert werden (siehe Kap. 3.7).

Die Ergebnisse der Arbeitspakete CO<sub>2</sub>-geregelte Abluftanlagen (AP3), prädiktive bivalente Wärmezeugung (AP4), Treibhausgasbilanz und Lebenszykluskosten (AP5) werden im nächsten Zwischenbericht beschrieben.

#### Kommunikation

Das Pilot- und Demonstrationsprojekt Hobelwerk hat bereits viel Aufmerksamkeit generiert und hat Beiträge zu mehreren Veranstaltungen, Artikeln, Kursen und Fernsehsendungen beigesteuert (siehe Kap. 7.2).



## Résumé

Pour atteindre les objectifs climatiques de Paris, le parc immobilier de la Suisse doit devenir neutre en CO<sub>2</sub>. Dans ce projet, quatre approches prometteuses et évolutives seront installées, testées et comparées dans un environnement réel. Les approches ne sont certes pas neutres en CO<sub>2</sub>, mais elles ont le potentiel de le devenir. Pour la construction, les approches de construction en bois à faible émission de CO<sub>2</sub> ainsi que Re-Use seront testées. Pour l'exploitation, une régulation prédictive et optimisée de la bivalence dans la production de chaleur, ainsi qu'un système d'extraction d'air simple, mais qui permet un confort élevé grâce à une commande CO<sub>2</sub>, seront installés. Ces quatre solutions sont comparées entre elles au moyen d'une méthode uniforme concernant les coûts du cycle de vie et l'analyse du cycle de vie. En outre, des enquêtes sont menées sur l'acceptation pendant la planification et parmi les habitants.

## Summary

To achieve the Paris climate targets, Switzerland's building stock must become climate neutral. In this project, four promising and scalable approaches are installed, tested, and compared with each other in a real environment. The approaches are not CO<sub>2</sub>-free, but they have the potential to be. For the construction, the approaches of low-CO<sub>2</sub> timber construction and Re-Use will be tested. For operation, a predictive, optimised control system will be installed for the hybrid heat generation, as well as a simple exhaust air system, which, however, will enable a high level of comfort thanks to a CO<sub>2</sub> control system. These four solutions will be compared with each other using a uniform method regarding life cycle costs and life cycle assessment. In addition, surveys will be conducted on acceptance during the planning phase and among the residents.



# Inhaltsverzeichnis

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Zusammenfassung.....</b>                                          | <b>4</b>  |
| <b>Résumé.....</b>                                                   | <b>6</b>  |
| <b>Summary .....</b>                                                 | <b>6</b>  |
| <b>Inhaltsverzeichnis .....</b>                                      | <b>7</b>  |
| <b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>                                   | <b>11</b> |
| <b>1      Projektübersicht .....</b>                                 | <b>12</b> |
| 1.1    Ausgangslage und Hintergrund .....                            | 12        |
| 1.2    Motivation des Projektes .....                                | 12        |
| 1.3    Projektstruktur.....                                          | 13        |
| 1.4    Projektziele .....                                            | 16        |
| <b>2      AP1: CO<sub>2</sub>-optimierter Holzbau.....</b>           | <b>19</b> |
| 2.1    Ausgangslage .....                                            | 19        |
| 2.2    Stand des Marktes.....                                        | 19        |
| 2.3    Fragestellung und Zielsetzung .....                           | 21        |
| 2.4    Vorgehen und Methode .....                                    | 21        |
| 2.5    Ausschreibung und Auswahlverfahren Holzbauunternehmen .....   | 21        |
| 2.6    Zukünftige Optimierung der Holzbauausschreibung .....         | 23        |
| 2.7    Treibhausgasbilanz des Holzbaus .....                         | 25        |
| 2.7.1   Überblick.....                                               | 25        |
| 2.7.2   Optimierung 1 – Noppenboden .....                            | 26        |
| 2.7.3   Optimierung 2 – Innenwände ohne Gipsbeplankung .....         | 28        |
| 2.7.4   Optimierung 3 – Schweizer Holzlieferkette .....              | 28        |
| 2.7.5   Im Holz gespeicherter biogener Kohlenstoff .....             | 29        |
| 2.8    Kostenbilanz des Holzbaus .....                               | 30        |
| 2.9    Bewertung der Ergebnisse .....                                | 31        |
| 2.10   Weiteres Vorgehen.....                                        | 31        |
| <b>3      AP2: Re-Use ohne Sonderstatus .....</b>                    | <b>33</b> |
| 3.1    Ausgangslage .....                                            | 33        |
| 3.2    Stand der Forschung .....                                     | 33        |
| 3.2.1   Überblick zum Stand der Forschung .....                      | 33        |
| 3.2.2   Ausgewählte Forschungsprojekte .....                         | 34        |
| 3.2.3   Marktnahe Pilot- und Demonstrationsprojekte und Studien..... | 35        |
| 3.3    Fragestellung und Zielsetzung .....                           | 36        |
| 3.4    Vorgehen und Methode .....                                    | 37        |
| 3.5    Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse .....                   | 37        |
| 3.5.1   Auswahl Top10 Bauteile und Suchaufträge .....                | 38        |



|          |                                                                                |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5.2    | Entscheidungsabläufe .....                                                     | 40        |
| 3.5.3    | Bauteilsuche - Rückbauobjekte .....                                            | 41        |
| 3.5.4    | Bauteilsuche - Weitere Materialquellen .....                                   | 43        |
| 3.5.5    | Ergebnisse je Bauteilekategorie .....                                          | 43        |
| 3.5.6    | Erwerbsanträge und Bauteilmonitoring .....                                     | 66        |
| 3.5.7    | Ausbau / Transport / Lagerung .....                                            | 68        |
| 3.5.8    | Planung Wiedereinbau .....                                                     | 70        |
| 3.6      | Treibhausgasbilanz der Re-Use Bauteile .....                                   | 71        |
| 3.6.1    | Mengenbilanz .....                                                             | 71        |
| 3.6.2    | Eingesparte Treibhausgasemissionen .....                                       | 71        |
| 3.6.3    | Gespeichertes biogenes CO <sub>2</sub> .....                                   | 73        |
| 3.7      | Kostenbilanz der Re-Use Bauteile .....                                         | 74        |
| 3.7.1    | Kosten pro Re-Use Bauteil .....                                                | 74        |
| 3.7.2    | Honorar für die Re-Use-Planung und Verhältnis zu den Re-Use-Gesamtkosten ..... | 76        |
| 3.7.3    | Treibhausgas-Vermeidungskosten .....                                           | 77        |
| 3.7.4    | Fazit .....                                                                    | 78        |
| 3.8      | Interviews mit Fachspezialistinnen und Bewohnenden .....                       | 78        |
| 3.9      | Bewertung der Ergebnisse .....                                                 | 79        |
| 3.9.1    | Gewählte Strategie und Entscheidungen .....                                    | 79        |
| 3.9.2    | Mengen und Qualität .....                                                      | 79        |
| 3.9.3    | Aussichten .....                                                               | 79        |
| 3.10     | Weiteres Vorgehen .....                                                        | 79        |
| <b>4</b> | <b>AP3: CO<sub>2</sub>-geregelte Abluftanlage .....</b>                        | <b>80</b> |
| 4.1      | Ausgangslage .....                                                             | 80        |
| 4.2      | Stand der Forschung .....                                                      | 80        |
| 4.3      | Fragestellung und Zielsetzung .....                                            | 81        |
| 4.4      | Vorgehen und Methode .....                                                     | 82        |
| 4.5      | Anlagenbeschreibung .....                                                      | 82        |
| 4.6      | Testanlage .....                                                               | 85        |
| 4.6.1    | Ziele und Aufbau der Testanlage .....                                          | 85        |
| 4.6.2    | Ergebnisse der Testanlage .....                                                | 86        |
| 4.7      | Messkonzept .....                                                              | 88        |
| 4.8      | Befragung der Bewohnenden .....                                                | 90        |
| 4.9      | Messergebnisse .....                                                           | 90        |
| 4.9.1    | Methodik .....                                                                 | 90        |
| 4.9.2    | Messergebnisse .....                                                           | 91        |
| 4.10     | Thermographie Messungen .....                                                  | 92        |
| 4.10.1   | Methodik .....                                                                 | 92        |
| 4.10.2   | Ergebnisse .....                                                               | 93        |



|          |                                                          |            |
|----------|----------------------------------------------------------|------------|
| 4.11     | Umfrageergebnisse .....                                  | 93         |
| 4.11.1   | Methodik .....                                           | 93         |
| 4.11.2   | Ergebnisse.....                                          | 93         |
| 4.12     | Treibhausgasbilanz der Abluftsysteme .....               | 93         |
| 4.13     | Kostenbilanz der Abluftsysteme .....                     | 93         |
| 4.14     | Bewertung der Ergebnisse .....                           | 93         |
| 4.15     | Weiteres Vorgehen.....                                   | 93         |
| <b>5</b> | <b>AP4: Prädiktive bivalente Wärmeerzeugung .....</b>    | <b>94</b>  |
| 5.1      | Ausgangslage .....                                       | 94         |
| 5.2      | Stand der Technik .....                                  | 94         |
| 5.3      | Fragestellung und Zielsetzung .....                      | 96         |
| 5.4      | Vorgehen und Methode .....                               | 96         |
| 5.5      | Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse .....              | 97         |
| 5.6      | Messergebnisse .....                                     | 99         |
| 5.6.1    | Spitzenlastanteil .....                                  | 99         |
| 5.6.2    | Einschaltdauer Pelletkessel.....                         | 101        |
| 5.6.3    | Datenqualität.....                                       | 102        |
| 5.7      | Treibhausgasbilanz der Wärmeerzeugung .....              | 103        |
| 5.8      | Kostenbilanz der Wärmeerzeugung .....                    | 103        |
| 5.9      | Bewertung der Ergebnisse .....                           | 103        |
| 5.10     | Weiteres Vorgehen.....                                   | 103        |
| <b>6</b> | <b>AP5: Treibhausgas und Lebenszykluskosten .....</b>    | <b>104</b> |
| 6.1      | Ausgangslage .....                                       | 104        |
| 6.2      | Fragestellung und Zielsetzung .....                      | 104        |
| 6.3      | Vorgehen und Methode .....                               | 104        |
| 6.4      | Treibhausgasbilanz .....                                 | 104        |
| 6.4.1    | Vergleich mit den Anforderungen gemäss SIA 390/1 .....   | 104        |
| 6.4.2    | Vergleich Ausführungsprojekt mit Bauprojekt .....        | 105        |
| 6.4.3    | Treibhausgasbilanz der Erstellung .....                  | 106        |
| 6.4.4    | Optimierungspotenzial - Interviews mit Architekten ..... | 107        |
| 6.5      | Lebenszykluskosten .....                                 | 109        |
| 6.5.1    | Ausgangslage .....                                       | 109        |
| 6.5.2    | Vergleich Lebenszykluskosten .....                       | 109        |
| 6.5.3    | Berechnungsverfahren .....                               | 112        |
| 6.5.4    | Ergebnisse.....                                          | 112        |
| 6.6      | Bewertung der Ergebnisse .....                           | 114        |
| 6.7      | Weiteres Vorgehen.....                                   | 114        |
| <b>7</b> | <b>AP6: Kommunikation und Dissemination.....</b>         | <b>115</b> |
| 7.1      | Kommunikationskonzept .....                              | 115        |





|          |                                                                          |            |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.2      | Veranstaltungen und Publikationen .....                                  | 115        |
| 7.3      | Website .....                                                            | 116        |
| 7.4      | Nationale und internationale Zusammenarbeit .....                        | 117        |
| <b>8</b> | <b>Literaturverzeichnis .....</b>                                        | <b>118</b> |
| <b>9</b> | <b>Anhang .....</b>                                                      | <b>121</b> |
| 9.1      | Anhang zu AP1 – Ausschreibung CO <sub>2</sub> -optimierter Holzbau ..... | 121        |
| 9.2      | Anhang zu AP2 – Bauteilmonitoring, Stand 03. März 2023 .....             | 125        |
| 9.3      | Anhang zu AP2 – Interviews mit Fachspezialistinnen Haus D .....          | 132        |
| 9.3.1    | Fragen an die Architektur .....                                          | 132        |
| 9.3.2    | Fragen an die Bauherrenvertretung .....                                  | 134        |
| 9.3.3    | Fragen an die Bauherrschaft .....                                        | 137        |
| 9.3.4    | Fragen an den Holzbauunternehmer .....                                   | 140        |
| 9.4      | Anhang zu AP3 – Strangschema Lüftung .....                               | 143        |
| 9.5      | Anhang zu AP4 – Messkonzept .....                                        | 147        |
| 9.6      | Anhang zu AP5 – SIA 2040 Nachweis, THGE Erstellung .....                 | 153        |



## Abkürzungsverzeichnis

|                 |                                                    |
|-----------------|----------------------------------------------------|
| AP              | Arbeitspaket                                       |
| BFE             | Bundesamt für Energie                              |
| BO              | Betriebsoptimierung                                |
| CO <sub>2</sub> | Kohlendioxid                                       |
| EBF             | Energiebezugsfläche                                |
| EPD             | Environmental Product Declaration                  |
| FHNW            | Fachhochschule Nordwestschweiz                     |
| HSLU            | Hochschule Luzern                                  |
| JAZ             | Jahresarbeitszahl                                  |
| maw             | (Baugenossenschaft) mehr als wohnen                |
| MSR             | Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik            |
| Netto-Null      | Netto-Null Treibhausgasemissionen bis im Jahr 2050 |
| Re-Use          | Wiederverwendung gebrauchter Bauteile              |
| THGE            | Treibhausgasemissionen                             |



# 1 Projektübersicht

## 1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Bis 2050 muss der Gebäudepark der Schweiz Netto-Null Treibhausgasemissionen erreichen. Aktuell verursachen alle Bauten der Schweiz in Erstellung und Betrieb mehr als die Hälfte des Endenergieverbrauchs und 30% der inländischen CO<sub>2</sub>-Emissionen [1]. Während der Betrieb von Neu- und Umbauten heute bereits nahezu klimaneutral möglich ist, werden bei der Erstellung von Neubauten noch grosse Menge Treibhausgase im In- und Ausland verursacht. Gemäss Studien der Hochschule Fribourg und der ETH Zürich [2], liegen die jährlichen Treibhausgasemissionen der Erstellung von Neubauten heute im Durchschnitt bei knapp 12 kg/m<sup>2</sup> (siehe Abbildung 1). Um das 1.5°C Ziel zu erreichen, soll dieser Wert bereits im Jahr 2025 auf 7 kg/m<sup>2</sup> und 2030 auch 4 kg/m<sup>2</sup> reduziert werden. Aktuelle Bestwerte für die Treibhausgasemissionen der Erstellung von Neubauten liegen bei 6 bis 7 kg/m<sup>2</sup> [3, 4]. Um die Gebäudeerstellung möglichst rasch zu dekarbonisieren, müssen im Rahmen von Pilot- und Demonstrationsprojekten laufend neue Bestwerte angestrebt und die erfolgreichsten Strategien der Baubranche weitervermittelt werden.

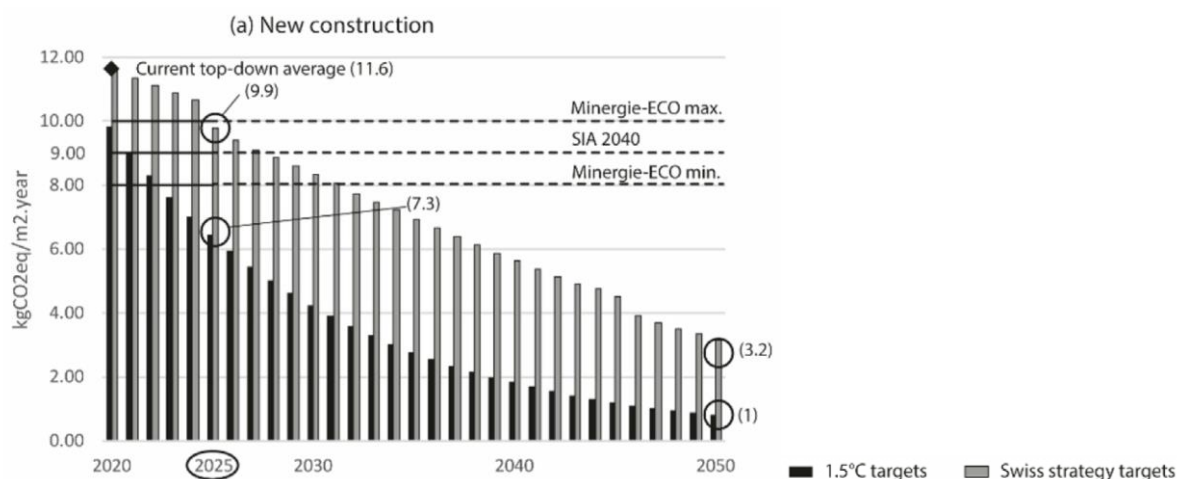


Abbildung 1 Vorschlag maximal zulässiger Treibhausgasemissionen für die Erstellung von Neubauten zur Einhaltung des 1.5°C Ziels (1.5°C targets) im Vergleich zur aktuellen Klimastrategie der Schweiz (Swiss strategy targets) [2]

Mit der beschleunigten Elektrifizierung der Wärmeerzeugung und Mobilität sowie dezentraler und witterungsabhängiger Energiesysteme spielen Lastspitzen im Stromnetz eine zunehmende Rolle. Entsprechende Flexibilitäten bei den grössten Stromverbrauchern in Kombination mit einem vorausschauenden Lastmanagement sind weitere Schlüsselkomponenten für den Erfolg der Energie- und Klimawende.

Damit die Dekarbonisierung gelingt, müssen die Lösungen sowohl skalierbar als auch kostengünstig sein. Teure und situationsspezifische Installationen haben eine geringere Breitenwirkung.

## 1.2 Motivation des Projektes

Die Baugenossenschaft mehr als wohnen wurde im Jahr 2007 durch über 35 gemeinnützige Wohnbauträger in Zürich als Lern- und Innovationsplattform gegründet. Mit dem 2000 Watt-Leuchtturm-Areal in Zürich-Nord (Hunziker Areal) konnte mehr als wohnen bereits wichtige Impulse für den systemisch nachhaltigen Wohnungsbau generieren. Insbesondere wurden Abluftanlagen sowie eine prädiktive Heizregelung evaluiert [5]. Auf beiden Erfahrungen möchte das neue Projekt aufbauen. Spezifisch



für die systematische Evaluation bezüglich des Komforts und Energieverbrauchs von Abluftanlagen werden direkte Vergleiche zu den Erhebungen auf dem Hunziker Areal gezogen.

Die Baugenossenschaft mehr als wohnen realisiert nun ihr zweites wegweisendes Arealprojekt. Das Hobelwerk, ehemaliges Industrieareal der Kälin & Co. AG, liegt inmitten der Winterthurer Stadtteile Neuhegi, Grüze und Oberwinterthur. Direkt hinter letzterem Bahnhof entlang der Gleise soll auf rund 1.5 Hektaren ein Wohn- und Arbeitsquartier für über 400 Personen in zwei Etappen entstehen. Die Überbauung wird die anspruchsvollen Emissionsziele gemäss SIA-Effizienzpfads Energie unterschreiten.

Gemäss dem Klima- und Innovationsgesetz sollen die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 auf Netto-Null gesenkt werden. Dies stellt insbesondere für die Bauwirtschaft eine enorme Herausforderung dar. Mit dem vorliegenden Projekt sollen konkrete und kostengünstige Ansätze zur Reduktion der Treibhausgasemissionen aus Erstellung und Betrieb von Wohnbauten evaluiert und die Erkenntnisse anderen Bauträgern vermittelt werden.

### 1.3 Projektstruktur

In diesem Projekt werden verschiedene Ansätze erprobt und auf einer vergleichbaren Ebene untersucht. Zwei davon richten sich an die Erstellungsphase, eines an die Erstellung und den Betrieb und eines primär an die Betriebsphase. Diese Ansätze werden durch einen einheitlichen Vergleichsrahmen analysiert und verglichen. Ebenfalls erfolgen Kommunikation und Dissemination gemeinsam, was es erlaubt, Synergien zu nutzen. Folgendes Diagramm illustriert die Projektstruktur:

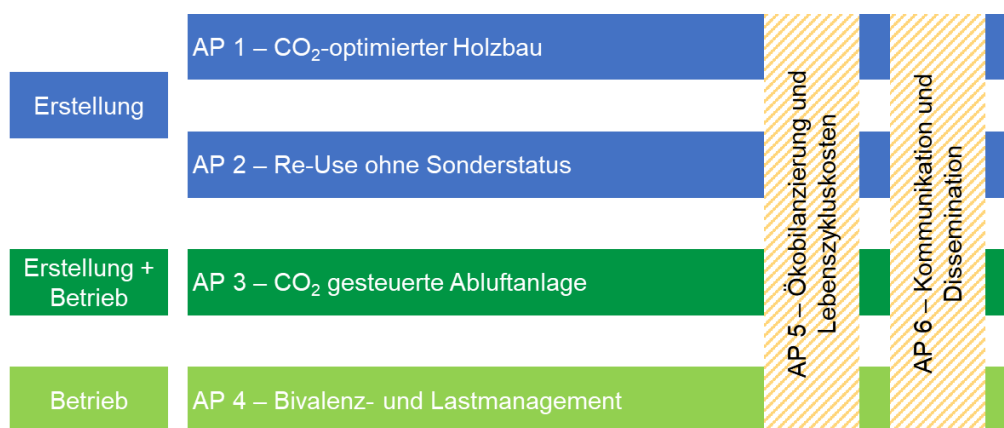


Abbildung 2 Projektstruktur mit vier horizontalen (AP1 bis AP4) und zwei transversalen (AP5 und AP6) Arbeitspaketen

Sämtliche Arbeitspakete (AP) stellen praxisnahe Bausteine dar, um die Emission an Treibhausgasen zu reduzieren. Dafür werden bekannte Ansätze mit innovativen Elementen kombiniert. Somit weisen die Ansätze eine hohe Markt- und Technologiereife aus. Ein Novum ist der systematische Vergleich der verschiedenen Ansätze unter ähnlichen Konditionen, und deren Evaluation und Dokumentation.

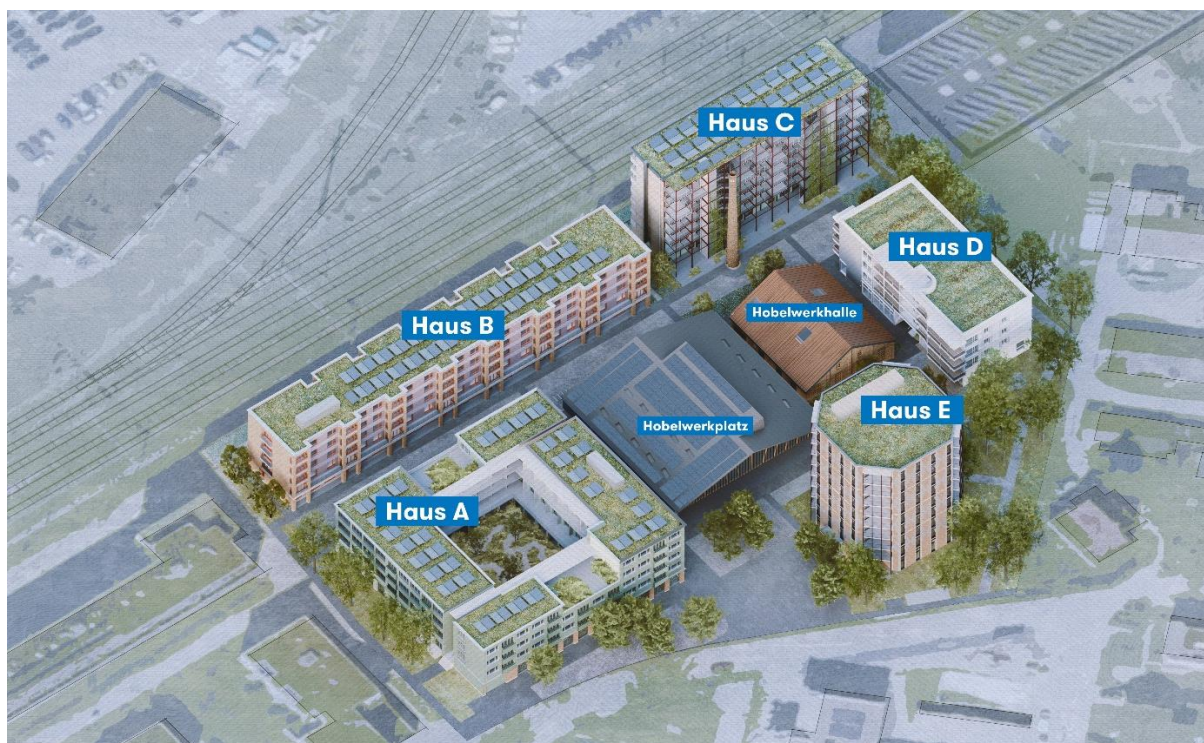


Abbildung 3 Visualisierung der sieben Häuser A bis F des Areals Hobelwerk ([www.hobelwerk-winterthur.ch](http://www.hobelwerk-winterthur.ch))

### Meilensteine

|                                    |                        |
|------------------------------------|------------------------|
| Start Bauprojekt Häuser A und B    | Juni 2019              |
| Start Planung Häuser C, D und E    | November 2019          |
| Start BFE-Projekt                  | Januar 2021            |
| Bezug Häuser A und B               | Oktober, Dezember 2021 |
| Start BFE Projekt                  | November 2021          |
| Start Ausführung Häuser C, D und E | Januar 2022            |
| Bezug Häuser C, D und E            | Juli/November 2023     |
| Abschluss BFE-Projekt              | Herbst 2026            |



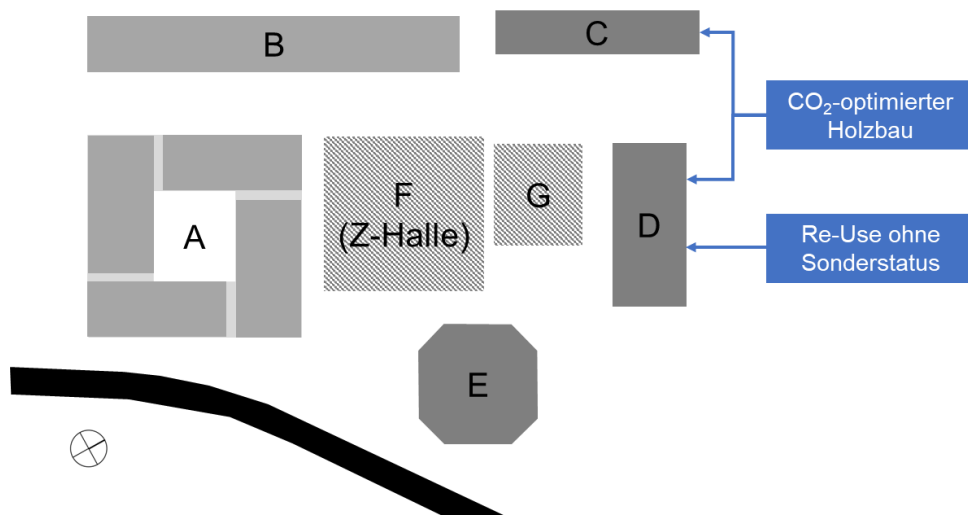


Abbildung 4 Umsetzung der Arbeitspakete AP1 (Holzbau) und AP2 (Re-Use) in den Häusern C bzw. D

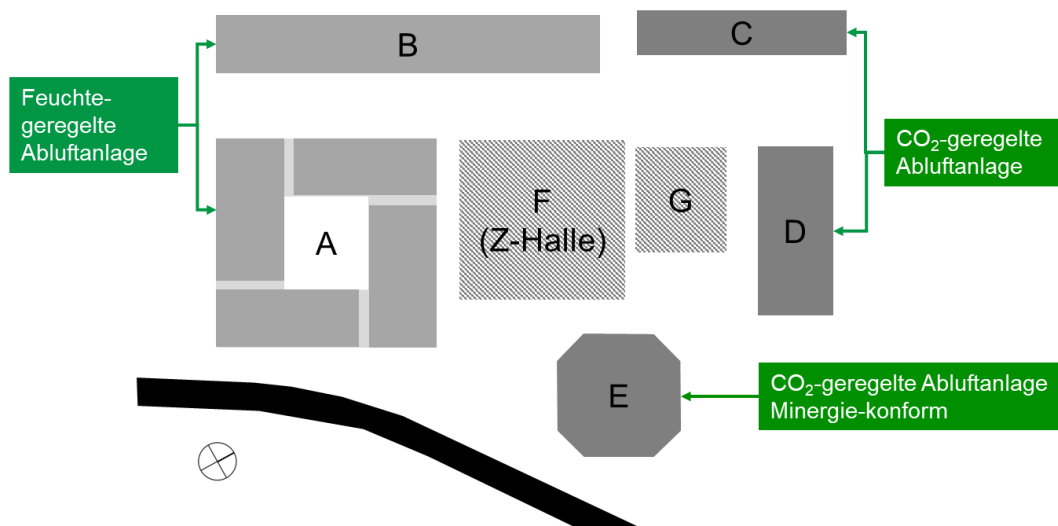


Abbildung 5 Umsetzung des Arbeitspakets AP3 (Abluft) in den Häusern C, D und E; die in den Häusern A und B installierte, feuchte-geregelte Abluftanlagen werden zu Vergleichszwecken ebenfalls untersucht

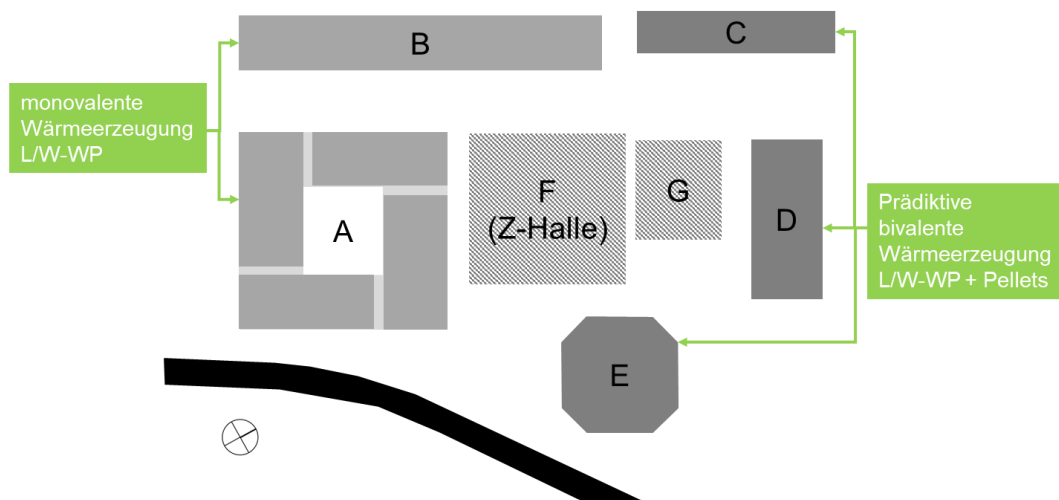


Abbildung 6 Umsetzung des Arbeitspakets AP4 (Bivalenz-Regelung) in den Häusern C, D und E mit einer bivalenten Wärmezeugung mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe und einem Pellet-Spitzenlastkessel; die in den Häusern A und B installierte monovalente Wärmezeugung mit Luft/Wasser Wärmepumpen wird zu Vergleichszwecken ebenfalls untersucht

## 1.4 Projektziele

Das Hauptziel des Projekts ist die Senkung deutlich unter die aktuellen Bestwerte von Treibhausgasemissionen sowohl in der Erstellung wie auch im Betrieb mit skalierbaren Massnahmen.

Die skalierbaren Massnahmen werden in den folgenden thematisch gegliederten Arbeitspaketen (AP) untersucht. Die Projektziele, Arbeitshypothesen und Messgrössen werden in den entsprechenden Kapiteln zu den einzelnen APs im Detail beschrieben.

### AP1 (Holzbau)

Das Ziel von AP1 ist, einen konsequenten Holzbau zu errichten und gleichzeitig eine transparente Lieferkette sicherzustellen. Dies stellt aufgrund der komplexen Zusammenhänge sowie des hohen Zeit- und Kostendrucks eine grosse Herausforderung für die Bauwirtschaft dar.

Umgesetzt wird AP1 im Haus C, ein achtgeschossiges Wohn- und Gewerbehaus. Die oberen sechs Stockwerke werden als reiner Holzbau, während die zwei untersten Stockwerke in Beton ausgeführt werden. Dabei werden mittels einer konsequenten Orientierung auf CO<sub>2</sub>-arme Baumaterialien (z.B. Dämmung und weitere mineralische Baumaterialien) die Treibhausgasemissionen möglichst reduziert. Damit wird ein Vorzeigebauwerk für ein CO<sub>2</sub>-armes, mehrstöckiges Holzhaus geschaffen. Dafür wird ein Fokus auf die Holzlieferkette sowie den innovativen Ersatz von CO<sub>2</sub>-intensiven Bauteilen (z.B. Zement, Stahl) und Holzwerkstoffen mit hohem Leimanteil gelegt. Auch das viergeschossige Haus D wird als Holzbau erstellt, wobei hier zusätzlich auf ein Untergeschoss verzichtet wird.

### AP2 (Re-Use)

Ziel von AP2 ist zu demonstrieren, dass wiederverwendete Bauteile, wie z.B. Fenster oder Fassadenelemente auch in einen regulären Bauprozess integriert werden können. Die Umsetzung erfolgt in Haus D, wobei es sich um ein viergeschossiges Wohn- und Gewerbehaus in einer Holz-Hybrid-Bauweise handelt. In Haus D soll ein möglichst grosser Anteil an wiederverwendeten Bauteilen eingesetzt werden, ohne Kompromisse beim Komfort und den Kosten zu machen. So sollen die Re-Use-Bauteile nicht zu Nachteilen für die Bewohnenden führen und in Zukunft auch zu keinen Mehrkosten beschaffbar sein. Im Gegensatz zu früheren Re-Use-Vorhaben wird hier ein pragmatischer Ansatz verfolgt, der



auch im Rahmen von konventionellen Bauprojekten umsetzbar ist. So kann der Wiederverwendung von Bauteilen auf einer grossen Skala zum Durchbruch verholfen werden. Gleichzeitig wird ausgewiesen, wieviel Treibhausgasemissionen durch diesen pragmatischen Ansatz bei der Erstellung eingespart werden können (Stand Bauteilmonitoring: siehe Anhang 9.2).

#### AP3 (CO<sub>2</sub>-geregelter Abluftanlage)

In AP3 wird ein marktübliches kostengünstiges Lüftungssystem mit einer Neuentwicklung verglichen. Ziel ist zu prüfen, ob eine Abluftanlage, die über die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Raumluft geregelt wird, einen angemessenen Komfort bei geringem Ressourceneinsatz in Erstellung und Betrieb generieren kann. Während auf dem Hunziker Areal, dem ersten Projekt von mehr als wohnen, der geringe Ressourceneinsatz für ein Abluftsystem ohne bedarfsgerechte Regelung des Volumenstroms bereits gezeigt werden konnte, gibt es bezüglich des Komforts noch Verbesserungsbedarf. In den Häusern A und B werden marktübliche Einzelventilatoren je Nasszelle und in den Reduits verbaut. Die Abluftventilatoren werden über Präsenzschnalter und bei Überschreitung eines Schwellenwerts für die relative Luftfeuchtigkeit aktiviert (Feuchteschutz-Lüftung). In den Häusern C, D und E ist dagegen eine CO<sub>2</sub>-Regelung des Abluftvolumenstroms pro Wohnung vorgesehen. Die Aussenluft strömt in allen fünf Häusern über manuell schliessbare Aussenluftdurchlässe nach. Der thermische Komfort kann im Winter und im Sommer zusätzlich durch eine automatische Reduktion des Volumenstroms bei Aussen-temperaturen < 0 °C und > 25°C auf der Grundlage von SIA 382/1 [6], verbessert werden.

Ziel der Feuchte- und CO<sub>2</sub>-geregelter Lüftungssysteme ist, einen möglichst ausgewogenen Kompromiss zwischen Ressourcen- und Kosteneinsparungen bei der Erstellung auf der einen Seite und Komfort- und Energieeffizienz sowie tiefe Betriebskosten auf der anderen Seite zu finden. Der Komfort wird sowohl messtechnisch (CO<sub>2</sub>-Konzentration, relative Raumluftfeuchte, Raumtemperatur) als auch mittels Umfragen bezüglich der subjektiven Wahrnehmung der Bewohnenden (Luftqualität, thermischer und hygrischer Komfort, Lärmbelastung) quantifiziert.

#### AP4 (Bivalenz-Regelung)

In AP 4 wird über den Stand der Industrie und den Stand der Technik hinaus, eine Bivalenz-Regelung entwickelt, welche übergreifend die Wärmebereitstellung regelt. Diese Regelung basiert auf einem selbstlernenden Algorithmus. Die selbstlernenden Algorithmen passen sich anhand realer Daten fortlaufend an saisonale Veränderungen oder verändertes Nutzungsverhalten an. Unter anderem wird dafür die Wärmespeicherung des Gebäudes besser ausgenutzt. Zudem werden Wetterdaten und -prognosen für eine selbstlernende Optimierung der Bivalenz-Regelung benutzt. Hauptziel des AP4 ist eine integrative Regelung der Wärmebereitstellung zu entwickeln und damit die realen Anlagen zu betreiben. Das Betriebsverhalten wird mit dem Betrieb aus der ersten Heizperiode sowie der reinen Wärmepumpen-Lösung in Gebäuden A und B verglichen (THG-Emissionen, JAZ, Betriebskosten).

Als Optimierungsgrösse steht die Reduktion der Treibhausgasemissionen der Wärmeerzeugung im Vordergrund. Dabei werden neben der temperaturabhängigen Arbeitszahl der Luft/Wasser-Grundlastwärmepumpe auch zeitabhängige Treibhausgasfaktoren für den Strombezug aus dem Netz berücksichtigt. Im Rahmen einer Szenario-Betrachtung wird der Einfluss unterschiedlicher Brennstoffe für die Spitzenlastabdeckung untersucht und ausgewiesen. Des Weiteren wird die Regelperformance bezüglich Energiebezug aus dem Verteilnetz (sowie deren Leistungsspitzen), Ein-/Ausschaltzyklen der individuellen Heizsysteme und Setpoint-Tracking analysiert und der Einfluss auf Betriebs- und Wartungskosten ausgewiesen.

Zielkonflikte mit einer betriebskostenoptimierten Bivalenz-Regelung werden aufgezeigt. Zudem wird die Dateneffizienz der entwickelten Lösung geprüft, um ein Mass über die minimale benötigte Messdatenmenge für einen effizienten Lernprozess geben zu können. Damit kann ermittelt werden, welche Sensorik für einen möglichst effizienten Betrieb tatsächlich notwendig ist.



#### AP5 (Treibhausgas- und Lebenszykluskostenanalyse)

AP5 hat zum Ziel, die einzelnen Ansätze vergleichbar zu machen. Das Gesamtprojekt wird mit einem gemeinsamen Analyserahmen und den einheitlichen Kenngrössen (z.B. CHF/gesparte Tonne CO<sub>2eq</sub>) evaluiert.

#### AP6 (Kommunikation und Dissemination)

Die Ergebnisse werden sowohl vor Ort (mittels Führungen, Fachveranstaltungen) als auch schriftlich (via Fachzeitschriften, Newsletter) publiziert. Von Seiten mehr als wohnen wird über einen Newsletter mit knapp 4'000 Adressen auf die Ergebnisse aufmerksam gemacht. Zudem finden auf dem Hunziker und dem Hobelwerk Areal regelmässig Führungen mit etwa 1'000 Besucher\*innen pro Jahr statt. Die Resultate werden darüber hinaus an verschiedenen Tagungen, unter anderem der Hauseigenen Innovationsversammlung, präsentiert und bei einschlägigen Fachzeitschriften (z.B. TEC21 und Wohnen) platziert.



## 2 AP1: CO<sub>2</sub>-optimierter Holzbau

### 2.1 Ausgangslage

Ein grosses Potential, um Gebäude möglichst klimaneutral zu erstellen, liegt beim Holzbau. Durch den im Holz eingelagerten biogene Kohlenstoff wird dieser während der Lebensdauer des Gebäudes der Atmosphäre entzogen und im Gebäudepark der Schweiz zwischengespeichert. Der eingelagerte Kohlenstoff kann auf der Grundlage der neuen Ökobilanzdaten KBOB:2022 [9] separat ausgewiesen werden oder nach SN EN 15804 [10] unter GWP LULUC in der Treibhausgasbilanz angerechnet werden. Durch die Steigerung des Holzbau-Anteils wird die CO<sub>2</sub>-Senke im Gebäudepark erhöht, wie eine Studie des Bundeamts für Umwelt aufzeigt [11]. Dies ist eine gute Möglichkeit, um Zeit zu schaffen, bis andere Lösungen für CO<sub>2</sub> neutrales Bauen oder gar den Entzug von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre vorhanden sind. Während die Gebäude als Kohlenstoffsенке agieren, können neue Wege für das CO<sub>2</sub>-arme Bauen entwickelt werden, was dem Absenkpfad im Gebäudebereich dient [12]. Wichtig im Holzbau ist die konzeptionelle Auslegung der Architektur auf den Holzbau wie die Berücksichtigung von Rastermassen und Standarddimensionen, sowie auch der konstruktive Holzschutz in Form von baulichen Massnahmen, welche garantieren, dass das Holz langfristig immer unter 20 % Holzfeuchtigkeit bleibt und damit nur schwer von biogenen Schädlingen wie Pilzen und Insekten angegriffen werden kann.

Sehr kompakte Holzbauten erreichen bei der Erstellung heute Bestwerte um 6 bis 7 kg/m<sup>2</sup> Treibhausgasemissionen pro Jahr [3, 4, 13]. Das Hobelwerk geht mit Haus C für die oberen sechs Stockwerke einen Schritt weiter: rohbelassene, weiss lasierte Grobspanplatten ohne zusätzliche Bekleidung, Holzprodukte aus mehrheitlich inländischer Produktion und besonders schlanke Anhydrid-Unterlagsböden sollen noch tiefere Emissionswerte ermöglichen.

In diesem Projekt wurde deshalb ein innovativer Ansatz gewählt, indem in der Projektdefinition der Holzbau festgelegt und zusätzlich die Kosten- und Treibhausgasoptimierung gleich gewichtet wurden. Dadurch können sowohl firmenspezifisches Praxiswissen als auch Erkenntnisse aus der Forschung und Entwicklung zum Einsatz kommen. Die Holzbausysteme werden aufgrund der Projektdefinition zusammen mit den anbietenden Holzbauunternehmen erarbeitet. Gleichzeitig können von Anfang an die Lösungen gewählt werden, die das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen, und Treibhausgasreduktionen müssen nicht über kostspielige Nachträge erfolgen. In diesem Rahmen wird die jeweilige Holzlieferkette auf deren Treibhausgasintensität überprüft und möglichst Treibhausgas-arme Holzwerkstoffe ausgewählt. Soweit uns bekannt, ist es das erste Mal, dass bereits bei der Vergabe eines Bauprojekts die Treibhausgasemissionen verschiedener Holzbauunternehmer verglichen und sowohl qualitativ als auch quantitativ berücksichtigt wurden. All diese Entscheidungsschritte und Abwägungen wurden dokumentiert. Damit wird der Handlungsspielraum für Architektinnen und Bauherren in Richtung Netto-Null-Treibhausgasemissionen bei der Erstellung von Holzbauten aufgezeigt und erweitert.

### 2.2 Stand des Marktes

Der Holzbau ist seit 2015 in der Höhe nicht mehr begrenzt und Holz wurde zudem in den VKF-Brandschutzvorschriften (Vereinigung Kantonalen Gebäudeversicherungen) als Baustoff normalisiert. Dies bedeutet, dass es nicht mehr darum geht, ob Holz verwendet werden darf, sondern nur noch wie. Planer können Holz somit in allen Bereichen einsetzen, sofern die entsprechenden Anforderungen erfüllt werden. Lignum erstellt seit 1930 technische Papiere, um die Hürden für die Anwendung von Holz in den Bereichen Dauerhaftigkeit, Brandschutz, Schallschutz und Statik zu senken und so den Holzbau zu fördern. Seit 2015 entwickelt Lignum die Plattform [www.lignumdata.ch](http://www.lignumdata.ch), auf der diese Informationen digital und maschinenlesbar und über API-Schnittstelle zur Verfügung bereitgestellt werden. Dies soll





neue und einfachere Anwendungsmöglichkeiten in der Planung ermöglichen, beispielsweise durch die Integration in BIM-Datenmodelle, bis hin zu Softwarelösungen oder Optimierungen mittels künstlicher Intelligenz.

Die Bereitstellung von Bauholz richtet sich nach dem Markt. Aufgrund der hohen Frankenstärke, der höheren Löhne in der Schweiz sowie der topografischen Lage der Holzernte sind die Herstellungskosten höher als bei importiertem Holz aus dem nahen Ausland. Bauherren, die nicht auf Schweizer Holz bestehen, erhalten daher meist ausländisches Holz oder Schweizer Holz, das im Ausland verarbeitet wurde. 70% des verbauten Holzes wird importiert, und viele Holzwerkstoffe werden in der Schweiz nicht produziert. In anderen Ländern sind solche Transportdistanzen jedoch auch inländisch üblich und es wäre wirtschaftlich unsinnig, bestimmte Holzwerkstoffe in der Schweiz zu produzieren.

Der europäische Markt für Bauholz ist noch nicht gross genug, um durchgehend auch Laubholz, kleinere Durchmesser und Industriequalitäten (Käferholz) oder Wiederverwendung wirtschaftlich konkurrenzfähig und breit einzusetzen. Diese Sortimente werden oft zur staatlich unterstützten Erzeugung von Bio-Energie verwendet. Der volkswirtschaftliche Nutzen der Kaskadennutzung von Holz wäre jedoch höher, aber die individuelle Marge der Marktteilnehmer entscheidet letztlich über den Verwertungsweg der Ressource. Zudem können Sägereien aufgrund begrenzter Kapazitäten die Spitzen in den Erntemengen, verursacht durch Sturm oder Käferholz, nicht jederzeit schnell genug verarbeiten.

Holz ist heute so günstig wie nie zuvor; Rundholzpreise haben dank neuer Erntetechnologien und internationalem Handel die Teuerung nicht mitgemacht und sind über Jahrzehnte stagniert. Ein Effekt davon ist, dass viele Wälder aufgrund der niedrigen Rundholzpreise nicht mehr bewirtschaftet werden und die Bäume natürlich absterben. In Hitze- und Trockenzeiten können daher ganze Bestände ausfallen. Dieser Effekt wird verstärkt durch nach dem Zweiten Weltkrieg angelegte, sortenreine Pflanzungen von standortfremden Nadelhölzern oder nicht standortgerechten Genotypen innerhalb einer Art.

Die aktuellen Herausforderungen der Holzbranche sind:

1. Steigerung der Kaskadennutzung:

Derzeit wird ein überwiegender Teil der geernteten Holzmenge energetisch verwertet und gelangt nicht in den Stoffkreislauf. Das liberale Wirtschaftskonzept führt dazu, dass nicht das volkswirtschaftlich rentabelste, sondern der individuell profitabelste Verwertungsweg gewählt wird.

2. Ressourceneffizienz:

Bei der Verarbeitung entsteht noch viel Verschnitt. Niedrigere Erscheinungsklassen, kleinere Durchmesser und ein Grossteil des Laubholzes gelangen nicht in die stoffliche Verwertung.

3. Berücksichtigung des biogenen Kohlenstoffes:

Es gibt noch nicht genügend Anreize für den Holzbau, sowohl hinsichtlich finanzieller Mittel für die Wald- und Holzwirtschaft, die über die Taxonomie der Finanzprodukte gesteuert werden könnten, als auch hinsichtlich der Holzbauweise, die durch gesetzliche Verpflichtungen und Anreize gefördert werden könnte.

Um diese Elemente künftig integral, transparent und reproduzierbar berücksichtigen zu können, sind Daten erforderlich, die auf Grundlage gemeinsamer digitaler Wörterbücher maschinenlesbar bereitgestellt werden. In der Revision der Europäischen Bauprodukteverordnung ist ein solches Konzept bereits im digitalen Produktpass (DPP) beschrieben. Einfache Anreize für den Holzbau könnten sich über die Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Speicherung im Holz während der Nutzungsdauer im Treibhausgaspotential ergeben. Hierzu müsste die Ökobilanz dynamisch betrachtet werden, insbesondere im Hinblick auf das zu erwartende Entsorgungsszenario von Holz in 60 Jahren. Strategien zu Biogenic Carbon Capture Storage-Technologien (BECCS) könnten eine Möglichkeit sein, verbautes Holz von heute bereits als Teil einer BECCS zu betrachten und den Anteil des Abfallholzes entsprechend zu berechnen.



## 2.3 Fragestellung und Zielsetzung

Haus C ist ein achtstöckiges Wohn- und Gewerbehäus. Die obersten sechs Stockwerke werden als reiner Holzbau ausgeführt, während die zwei untersten Stockwerke und das Untergeschoss aus Statik-, Lärmschutz und Kostengründen konventionell in Beton ausgeführt werden. Dabei werden mittels einer konsequenten Orientierung auf CO<sub>2</sub>-arme Baumaterialien (z.B. Dämmung und weitere mineralische Baumaterialien) die Treibhausgasemissionen möglichst reduziert. Damit wird ein Vorzeigeobjekt für ein CO<sub>2</sub>-armes, mehrstöckiges Holzhaus geschaffen. Dafür wird ein Fokus auf die Holzlieferkette sowie den Einsatz besonders schlanker Holz- und Bodenkonstruktionen gelegt.

Folgende Hypothesen sollen getestet werden:

- Mittels konsequenter Orientierung auf CO<sub>2</sub>-armes Bauen in Holzbauweise kann der CO<sub>2</sub>-Fussabdruck der Stockwerke in reiner Holzbauweise auf unter 5 kg/m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche gesenkt werden.
- Durch Berücksichtigung etablierter Unternehmenslösungen kann in Zukunft ein reduzierter CO<sub>2</sub>-Fussabdruck unter Berücksichtigung der verkürzten Bauzeit praktisch ohne Mehrkosten erreicht werden.
- CO<sub>2</sub>-arme Lieferketten für Holzbauteile sind möglich und praktisch kostenneutral, sofern diese eingefordert werden.

## 2.4 Vorgehen und Methode

Folgende Arbeitsschritte sind vorgesehen oder wurden bereits geleistet (**fett**):

1. **Planung und Evaluation** mit Holzbauingenieur
2. **Planung des Gebäudes** (Raumprogramm, Dimensionen, Erschliessung) mit einem Architektur-Team.
3. **Ausschreibung** an Holzbauunternehmung. Einholen von Vorschlägen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Intensität anhand der Erfahrungen und Methoden der Holzbauer. Berücksichtigen der Treibhausgasemissionen aufgrund der Transportdistanzen und Verarbeitung der Holzbaustoffe in der Vergabe.
4. **Analyse und Optimierung der Holzlieferkette** und der verwendeten **Holzwerkstoffe**
5. **Integration von innovativen Lösungen** der Holzbauunternehmung
6. **Realisierung des Gebäudes**
7. **Test von GreenBIM** zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen bei zukünftigen Holzbauauszeichnungen
8. Experteninterviews zum Prozess
9. Evaluation der Nutzenden-Perspektive (insbesondere Bewohnende). Visuelles Monitoring des Gebäudezustandes über die ersten Betriebsjahre.

## 2.5 Ausschreibung und Auswahlverfahren Holzbauunternehmen

Um die Angebote der Holzbauunternehmen nicht nur bezüglich ihres Preises, sondern auch bezüglich der zu erwartenden Einsparungen an Treibhausgasen beurteilen zu können, musste das Ausschreibungsverfahren in zentralen Punkten weiterentwickelt werden. Dafür wurden die folgenden Hilfsmittel entwickelt und eingesetzt:



- «Teaser Ausschreibung Holzbauunternehmen – CO<sub>2</sub>-arme Erstellung und Bauökologie»: In einem einseitigen Dokument (siehe Abbildung 49) werden die Ziele der Bauherrschaft bezüglich der Reduktion der Treibhausgasemissionen aus der Erstellung und die Erwartungen an die diesbezüglichen Lösungsvorschläge der Holzbauunternehmer beschrieben. Auch werden die wichtigsten Anforderungen an Bauökologie und Ressourceneffizienz aufgelistet. Als Anreiz für die Anbietenden wird der Leuchtturmcharakter und die zu erwartende hohe Sichtbarkeit des Projekts erwähnt.  
Der Teaser dient dem Zweck möglichst innovative und bezüglich Klimaschutz engagierte Holzbauunternehmen im Umfeld einer weitgehend ausgelasteten Holzbaubranche für die Teilnahme an einem überdurchschnittlich anspruchsvollen und zeitintensiven Vergabeverfahren zu motivieren. Es wurden Offerten von fünf Unternehmen eingegeben, wobei drei davon zusätzlich eine CO<sub>2</sub>-optimierte Unternehmensvariante einreichten.
- «Vergleichskriterien Netto-Null im Holzbau»: Dieses Dokument beschreibt die Kriterien und Verfahren, mit denen die Angebote der Holzbauunternehmen bezüglich der Treibhausgasemissionen bewertet werden (siehe Abbildung 50).
- «KBOB Holzrechner»: Mit diesem, von der KBOB entwickelten und unter [www.treeze.ch](http://www.treeze.ch) zum Download verfügbaren Excel-Tool, deklarierten die anbietenden Holzbauunternehmer die Lieferketten der für das Projekt Hobelwerk eingesetzten Holzwerkstoffe anteilmässig bezüglich Herkunftsländer, Transportdistanzen und Transportmittel. Als Ergebnis werden die Treibhausgasemissionen aus Herstellung, Transport und Entsorgung pro m<sup>3</sup> Holzwerkstoff angegeben.
- «Vergleichskennzahlen Holzbau Hobelwerk»: Mit diesem, durch das Projektteam entwickelten Excel-Tool (siehe Abbildung 51), gaben die Holzbauunternehmen die kalkulierten Materialmengen an Holzwerkstoffen und Wärmedämmstoffen für das Ausschreibungsprojekt und, sofern zusätzlich angeboten, für die CO<sub>2</sub>-optimierte Unternehmensvariante an. Die Angaben des ausgewählten Holzbauunternehmens werden im Rahmen der Ausführungsplanung in Detail überprüft.

Aus der Kombination von KBOB-Holzrechner und den Vergleichskennzahlen Holzbau konnten die projektspezifischen Treibhausgasemissionen bereits auf Stufe Ausschreibung abgeschätzt und in den Vergabeentscheid miteinbezogen werden.

Der Vergabeentscheid fiel schliesslich auf den bezüglich Treibhausgasen und Kosten zweitbesten Lösungsvorschlag in Modulbauweise. Entscheidende Gründe dafür waren unter anderem die Nähe der Produktionsanlagen der Firma zum Hobelwerk, die um drei Monate kürzere Fertigstellungszeit, die geringere Witterungsabhängigkeit gegenüber dem Elementbau und die Möglichkeit, Re-Use-Bauteile direkt in den Lagerhallen vom Holzbauunternehmen zwischenzulagern.

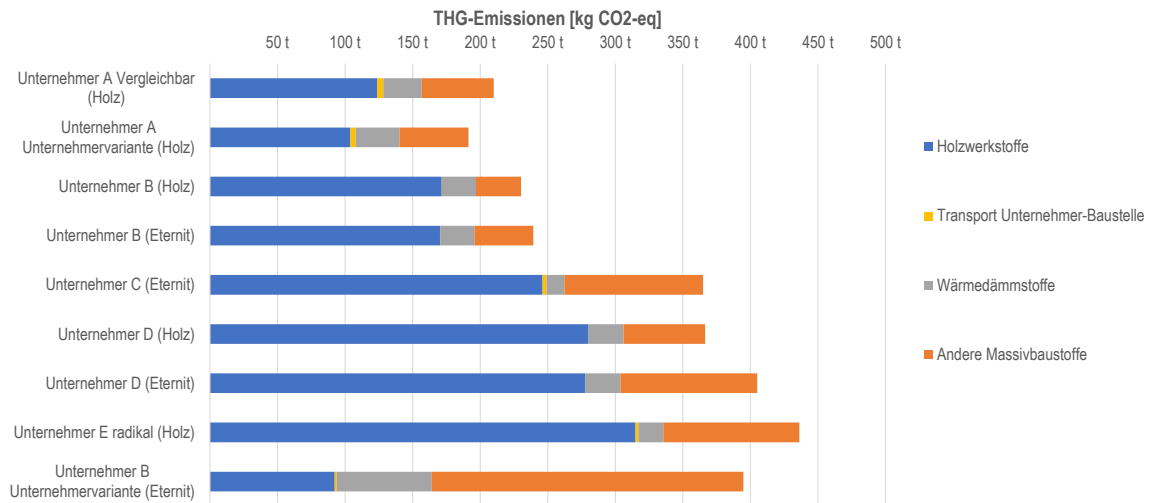


Abbildung 7 Berechnete Treibhausgasemissionen pro Holzbauunternehmen

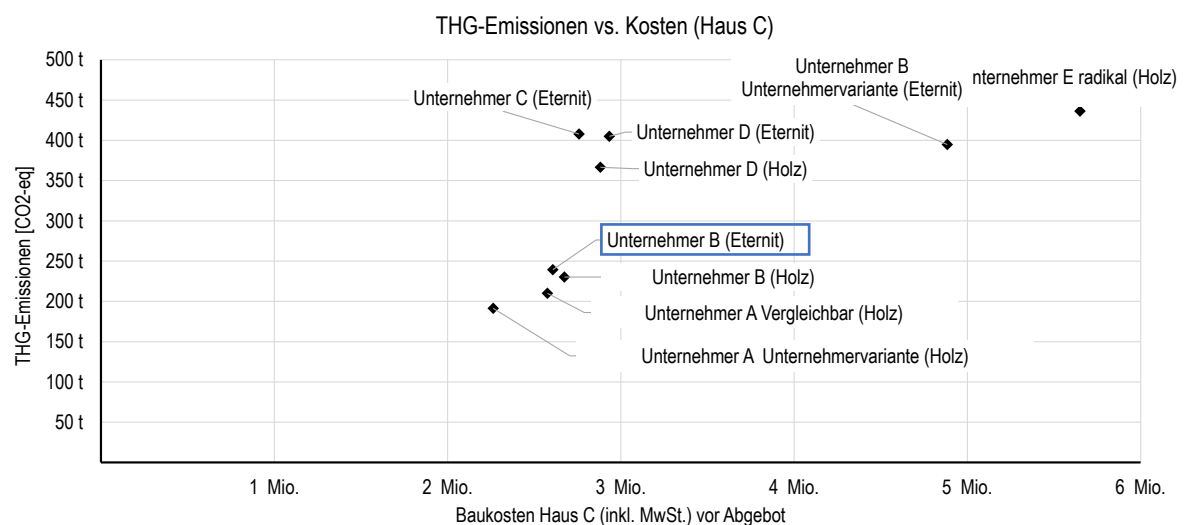


Abbildung 8 Bewertung der Angebote der Holzbauunternehmer bezüglich Treibhausgasemissionen und Baukosten; markiert ist das zur Ausführung ausgewählte Angebot der Firma Baltensperger (Unternehmer B, Eternit Fassade)

## 2.6 Zukünftige Optimierung der Holzbauausschreibung

Eine klare Projektdefinition und funktionale Ausschreibungen in Gesamtleistungswettbewerben helfen dem Planerteam, ein rundum optimiertes Angebot zu erstellen. In diesem Projekt wurde dies erfolgreich umgesetzt, was zu einem äusserst gelungenen Resultat führte. Allerdings haben sich einige Unternehmen nicht auf die erhöhten Anforderungen eingelassen und standardisierte Bausysteme angeboten. Der Innovationsgrad war auch ohne umfangreiche technische BIM-Lösungen mit vertretbarem Aufwand vergleichbar.



Dennoch hätten integrale BIM-Lösungen oder die einheitliche Verarbeitung der BIM-Modelle mit Tools wie GreenBIM den Vergleich der Treibhausgasemissionen der Unternehmerlösungen verbessert, die Transparenz erhöht und die Qualität des Siegerprojekts weiter gesteigert. Zudem hätten sie entsprechende Entscheidungen schneller und einfacher gemacht. In diesem Fall waren die Angaben trotz klarer Vorgaben nicht direkt vergleichbar, was die Beurteilung erschwerte.

Das Potential zur Beurteilung der Treibhausgasbilanz unterschiedlicher Unternehmerlösungen mit GreenBIM wird im Rahmen einer Zusammenarbeit zwischen Lignum und FHNW geprüft. Die Ergebnisse werden bis Ende Jahr erwartet.

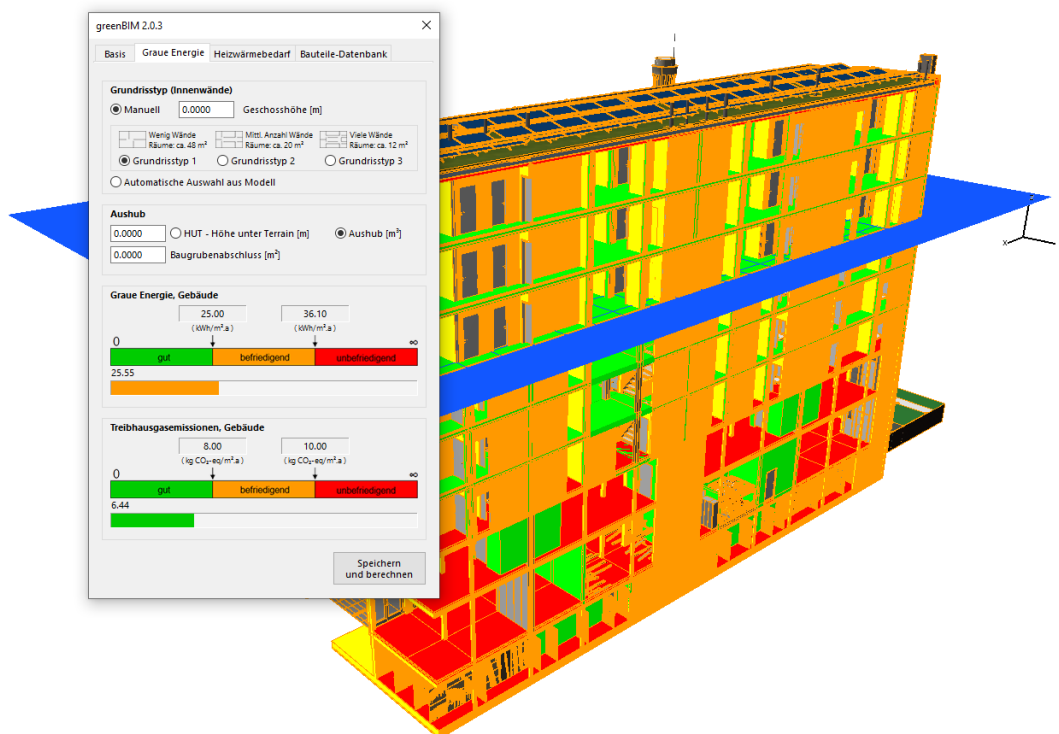


Abbildung 9 Berechnung der Treibhausgasemissionen von Haus C mit GreenBIM; Quelle: FHNW





## 2.7 Treibhausgasbilanz des Holzbaus

### 2.7.1 Überblick

Dieses Unterkapitel beleuchtet die Auswirkungen der einzelnen Massnahmen im Bereich des «CO<sub>2</sub>-optimierten Holzbaus». Die Treibhausgasemissionen der Erstellung von Haus C werden für folgende vier Varianten ausgewiesen (siehe Abbildung 10):

- Variante V1 Massivbau  
Bis zum Vorprojekt war Haus C als Massivbau geplant. Diese Variante entspricht einem architektonisch analogen Gebäude mit einem Tragwerk aus Beton und gemauerten Aussenwänden mit einer hinterlüfteten Eternitfassade.
- Variante V2 Holzbau (UG - 1.OG in Beton)  
Diese Variante entspricht dem realisierten Holzbau ohne die zusätzlich umgesetzten Optimierungsmassnahmen.
- **Variante V3 Holzbau optimiert\*** (UG - 1.OG in Beton)  
Diese Variante entspricht dem realisierten Holzbau inklusive folgender Optimierungsmassnahmen: Noppenboden anstelle eines Anhydritbodens, Verzicht auf eine Gipsbeplankung der Innenwände und die Verwendung von Bauholz, das mehrheitlich aus Schweizer Quellen stammt.
- Variante V4 reiner Holzbau optimiert\* (nur UG in Beton)  
Im Unterschied zu V3 werden auch das EG und das 1. OG (Aussenwände und Decken) in Holzbauweise erstellt.



Abbildung 10 Treibhausgasemissionen der untersuchten Varianten für die Erstellung von Haus C, bezogen auf die Energiebezugsfläche und die Lebensdauer des Gebäudes; Gebäude ohne Gebäudetechnik (BKP 2 exkl. BKP 23, 24 und 25); grün: Haus C wie realisiert; schwarz: im Holz gebundenes CO<sub>2</sub>.

Deutliche Einsparungen an Treibhausgasemissionen werden mit dem Wechsel von einem Massivbau (V1) mit 7.5 kg/m²a zu einem Holzbau (V2) mit 6.4 kg/m²a erzielt (- 1.1 kg/m²a). Weitere Einsparungen werden durch die drei im Haus C umgesetzten Optimierungsmassnahmen (V3) mit 5.9 kg/m²a erreicht (- 0.5 kg/m²a). Diese Reduktion ergibt sich aus der Summe folgender Optimierungsschritte:



- |                                  |               |
|----------------------------------|---------------|
| - Noppenboden                    | - 0.09 kg/m²a |
| - Innenwände ohne Gipsbeplankung | - 0.29 kg/m²a |
| - Schweizer Holzlieferkette      | - 0.12 kg/m²a |

Mit dem reinen Holzbau von Variante V4 könnten gegenüber der tatsächlich realisierten Variante V3 weitere 0.5 kg/m²a eingespart werden.

In Abbildung 10 wird zudem der im Bauholz gespeicherte biogenen Kohlenstoff als negative Treibhausgasemissionen schwarz dargestellt (siehe Ziffer 2.7.5).

#### 2.7.2 Optimierung 1 – Noppenboden

Bei den Nachverhandlungen wurde von der Firma Baltensperger als zusätzliche Option für einen CO<sub>2</sub>-optimierten Holzbau das Leichtbau-Bodensystem Becotec EN 23F vorgeschlagen. Bei diesem System mit einer Noppenplatte zur Montage der Bodenheizungsrohre ist der Anhydrit-Fliessestrich im Durchschnitt nur 30 mm dick. Ein konventioneller Anhydrit-Fliessestrich ist dagegen 60 mm, ein Zementestrich 80 mm dick.

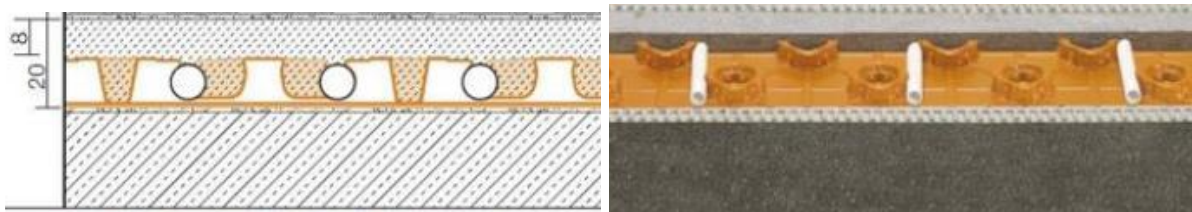


Abbildung 11 Schnitt und Foto des material- und gewichtsparenden Bodensystems mit Noppenplatte

Treibhausgasbilanz der drei Bodensysteme (siehe auch Tabelle 1 und Abbildung 12):

- Reduzierte Treibhausgasemissionen  
Das Bodensystem mit Noppenplatte spart gegenüber einem Anhydrit-Unterlagsboden 2.1 kg/m² bzw. 13% Treibhausgasemissionen ein. Gegenüber dem Zementestrich werden 10.2 kg/m² bzw. 42% Treibhausgasemissionen eingespart.
- Reduzierter Bodenaufbau  
Der Bodenaufbau des Bodensystems mit Noppenplatte ist gegenüber dem Anhydrit-Unterlagsboden rund 30 mm schlanker.
- Reduziertes Gewicht  
Das Gewicht des Bodensystems mit Noppenplatte wird gegenüber dem Anhydrit-Unterlagsboden knapp halbiert.



Tabelle 1 Schichtaufbau des Bodensystems mit Noppenplatte im Vergleich mit konventionellen Anhydrit- und Zement-Unterlagsböden

**Schlüter Bekotec-System, gemäss Nachtragsofferte von Baltensperger vom 21.10.2021**

| Schicht               | Material                       | CO <sub>2</sub> eq-Faktor<br>kg/kg | Dichte Bereich<br>kg/m <sup>3</sup> | Dichte Rechenwert<br>kg/m <sup>3</sup> | Schichtdicke<br>mm | Masse<br>kg/m <sup>2</sup> | Treibhausgas-emissionen<br>kg/m <sup>2</sup> |
|-----------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------------------|
| Anhydrit*             | Unterlagsboden Anhydrit, 60 mm | 0.0867                             | 2'000                               | 2'000                                  | 30.4               | 60.8                       | 5.27                                         |
| Schlüter Noppenplatte | Polystyrol (PS)                | 6.68                               | 1'050                               | 1'050                                  | 0.5                | 0.525                      | 3.51                                         |
| Trittschalldämmung    | Steinwolle                     | 1.13                               | 32-160                              | 35                                     | 20                 | 0.7                        | 0.79                                         |
| Wärmedämmung          | Polystyrol expandiert (EPS)    | 7.64                               | 15-40                               | 20                                     | 30                 | 0.6                        | 4.58                                         |
| <b>Total</b>          |                                |                                    |                                     |                                        | <b>81</b>          | <b>63</b>                  | <b>14.2</b>                                  |

\* Anhydrit-Schichtdicke: 35 mm abzüglich 20% Noppen mit 23 mm

**Unterlagsboden mit 60 mm Anhydrit**

| Schicht            | Material                       | CO <sub>2</sub> eq-Faktor<br>kg/kg | Dichte Bereich<br>kg/m <sup>3</sup> | Dichte Rechenwert<br>kg/m <sup>3</sup> | Schichtdicke<br>mm | Masse<br>kg/m <sup>2</sup> | Treibhausgas-emissionen<br>kg/m <sup>2</sup> |
|--------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------------------|
| Anhydrit           | Unterlagsboden Anhydrit, 60 mm | 0.0867                             | 2'000                               | 2'000                                  | 60                 | 120                        | 10.40                                        |
| PE-Folie           | Polyethylenfolie (PE)          | 5.33                               | 920                                 | 920                                    | 0.1                | 0.092                      | 0.49                                         |
| Trittschalldämmung | Steinwolle                     | 1.13                               | 32-160                              | 35                                     | 20                 | 0.7                        | 0.79                                         |
| Wärmedämmung       | Polystyrol expandiert (EPS)    | 7.64                               | 15-40                               | 20                                     | 30                 | 0.6                        | 4.58                                         |
| <b>Total</b>       |                                |                                    |                                     |                                        | <b>110</b>         | <b>121</b>                 | <b>16.3</b>                                  |

**Unterlagsboden mit 80 mm Zementestrich**

| Schicht            | Material                     | CO <sub>2</sub> eq-Faktor<br>kg/kg | Dichte Bereich<br>kg/m <sup>3</sup> | Dichte Rechenwert<br>kg/m <sup>3</sup> | Schichtdicke<br>mm | Masse<br>kg/m <sup>2</sup> | Treibhausgas-emissionen<br>kg/m <sup>2</sup> |
|--------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------------------|
| Anhydrit           | Unterlagsboden Zement, 85 mm | 0.125                              | 1'850                               | 1'850                                  | 80                 | 148                        | 18.50                                        |
| PE-Folie           | Polyethylenfolie (PE)        | 5.33                               | 920                                 | 920                                    | 0.1                | 0.092                      | 0.49                                         |
| Trittschalldämmung | Steinwolle                   | 1.13                               | 32-160                              | 35                                     | 20                 | 0.7                        | 0.79                                         |
| Wärmedämmung       | Polystyrol expandiert (EPS)  | 7.64                               | 15-40                               | 20                                     | 30                 | 0.6                        | 4.58                                         |
| <b>Total</b>       |                              |                                    |                                     |                                        | <b>130</b>         | <b>149</b>                 | <b>24.4</b>                                  |

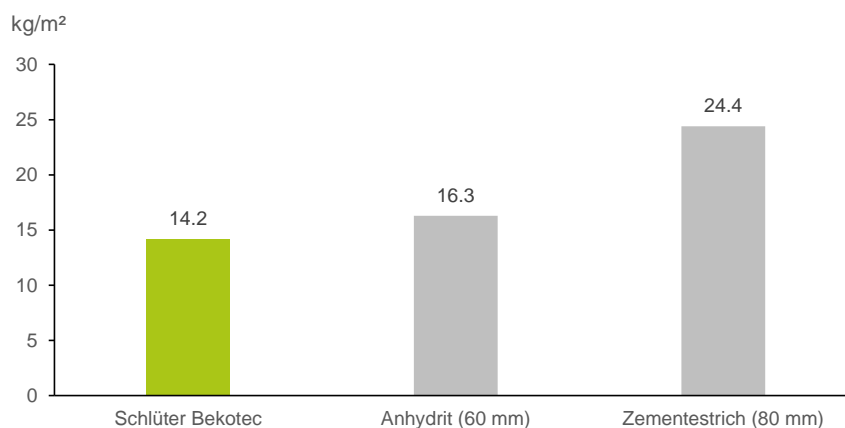


Abbildung 12 Treibhausgasemissionen der untersuchten Bodensysteme, bezogen auf die Bauteilfläche; grün: in Haus C verbautes Bodensystem



Bezogen auf die Lebensdauer von Haus C führt der Noppenboden zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen von 0.09 kg/m<sup>2</sup>a.

Die Bewertung dieser Lösungen kann je nach Gesichtspunkt unterschiedlich ausfallen. Der vom Holzbauunternehmer vorgeschlagene, besonders schlanke Bodenaufbau, bestehend aus Anhydrit und einer Noppenplatte aus Polystyrol, ist hinsichtlich der Trennbarkeit der Materialien am Ende des Lebenszyklus nicht ideal. Bezüglich der Treibhausgasemissionen erzielt diese Variante jedoch aufgrund geringerer Materialmengen gegenüber einem konventionellen Anhydrit-Unterlagsboden bessere Ergebnisse.

### 2.7.3 Optimierung 2 – Innenwände ohne Gipsbeplankung

Bei den Innenwänden wurden rohe Oberflächen mittels Grobspanplatten geschaffen. Diese wurden direkt mit weisser Farbe gestrichen, was eine gute Optik ohne weiteren Materialeinsatz, ähnlich einer Raufasertapete, ergibt. Hier wäre eine Ausschreibung mit Vorgabe einer zusätzlichen Gipsbeplankung völlig überflüssig gewesen, was das Innovationspotential funktionaler Ausschreibung beispielhaft darstellt.

Der Vergleich zeigt, dass durch diese materialsparende Massnahme die Treibhausgasemissionen um 0.29 kg/m<sup>2</sup>a gesenkt werden konnten.

### 2.7.4 Optimierung 3 – Schweizer Holzlieferkette

Auf die Herkunft des Holzes wurde geachtet. Dies unter anderem zur Reduktion der THGE in der Erstellung. Bereits bei der Ausschreibung wurde von den Holzbauunternehmen verlangt, diesen Hebel zu berücksichtigen und auch nachzuweisen.

Es folgt, dass der Grossteil des eingesetzten Holzes auch aus der Schweiz stammt. Aus Tabelle 2 ist ersichtlich, dass 72% des Holzvolumens Schweizer Ursprung hat.

Tabelle 2 Anteil Schweizer Herkunft des Holzes für Gebäude C

|         | Einheit        | Alle Holzprodu | Schweizer Hol | Anteil CH |
|---------|----------------|----------------|---------------|-----------|
| Anzahl  | -              | 16             | 10            | 63%       |
| Volumen | m <sup>3</sup> | 1159           | 832           | 72%       |
| Masse   | kg             | 558'950        | 373'722       | 67%       |

Gemäss SIA 2032 wird in der Herstellungsphase zwischen der Rohstoffbereitstellung (A1), dem Transport (A2) sowie der Herstellung (A3) unterschieden (siehe Tabelle 3). Unter dem Transport (A2) fallen der Weg vom Wald zum Sägewerk, dann zur Produktion und gegebenenfalls zum Regionallager an (siehe Abbildung 13). Typischerweise macht der Weg von einer ausländischen Produktion in ein Schweizer Regionallager  $\frac{3}{4}$  der Weglänge aus. Erfolgt die Produktion in der Schweiz, entfällt der Transport zum Regionallager und die Transportwege deutlich kürzer. Dieses Potential wird durch Einsatz von Schweizer Holzprodukten umgesetzt. Der Vergleich mit oder ohne Regionallager bzw mit Schweizer Holzprodukten zeigt, eine Reduktion um 14% beim Massivholz und 11% beim Brettschichtholz (siehe Abbildung 14).

Es folgt, dass mit dem erhöhten Einsatz von Schweizer Holzprodukten die Treibhausgasemissionen über die Lebensdauer von Haus C um 0.12 kg/m<sup>2</sup>a reduziert werden können.



Tabelle 3 Phasen gemäss SSN EN 15804 resp. SIA 2032

| Phasen gemäss<br>SN EN 15804          | Her-<br>stellungs-<br>phase |           |             | Errich-<br>tungs-<br>phase |                    | Nutzungsphase |                |           |        |            |                              |                             | Entsorgungs-<br>phase |           |                  |             |
|---------------------------------------|-----------------------------|-----------|-------------|----------------------------|--------------------|---------------|----------------|-----------|--------|------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|------------------|-------------|
|                                       | Rohstoffbereitstellung      | Transport | Herstellung | Transport                  | Errichtung, Einbau | Nutzung       | Instandhaltung | Reparatur | Ersatz | Erneuerung | Betrieblicher Energieeinsatz | Betrieblicher Wassereinsatz | Rückbau, Abriss       | Transport | Abfallbehandlung | Beseitigung |
|                                       |                             |           |             |                            |                    |               |                |           |        |            |                              |                             |                       |           |                  |             |
|                                       |                             |           |             |                            |                    |               |                |           |        |            |                              |                             |                       |           |                  |             |
| A1                                    | A2                          | A3        | A4          | A5                         | B1                 | B2            | B3             | B4        | B5     | B6         | B7                           | C1                          | C2                    | C3        | C4               |             |
| Bereich Erstellung<br>gemäss SIA 2032 | x                           | x         | x           | (x)                        | (x)                |               |                |           | x      |            |                              |                             | x                     | x         | x                | x           |



Abbildung 13 Schematische Darstellung der Transportwege

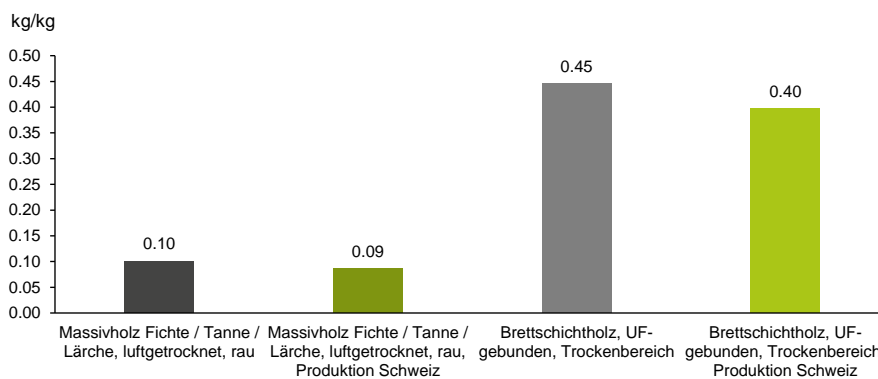


Abbildung 14 Treibhausgasemissionen, bezogen auf ein kg der jeweiligen Holzprodukts; Gegenüberstellung Holzprodukt mit Standard-Herkunft (Balken in grau) und Schweizer Produktion (Balken in grün) gemäss Datenbasis KBOB 2016

## 2.7.5 Im Holz gespeicherter biogener Kohlenstoff

Im Gebäude C werden rund 550 Tonnen Holz verbaut. Diese binden ca. 240 Tonnen Kohlestoff. Bezogen auf die Energiebezugsfläche und die Lebensdauer des Gebäudes bindet Haus C Treibhausgasemissionen im Umfang von 4.1 kg/m²a (siehe Abbildung 10). Es folgt, dass 80% der für die Baumaterialien (exklusive Gebäudetechnik) verursachten Treibhausgasemissionen im Holz gebunden werden. Bei der Variante V4, bei der auch das EG und 1.OG aus Holz bestehen, sind es 5.1 kg/m²a.



## 2.8 Kostenbilanz des Holzbaus

Die gemäss Bauabrechnung resultierenden Erstellungskosten der untersuchten Holzbauvarianten von Haus C werden in der folgenden Tabelle 4 den vermiedenen Treibhausgasemissionen gegenübergestellt. Die Erstellungskosten des Massivbaus beruhen auf einer Kostenschätzung mit Stand Vorprojekt, die noch bevor dem Entscheid zur Ausführung eines Holzbaus berechnet wurde.

Tabelle 4 Erstellungskosten pro Energiebezugsfläche und Treibhausgas-Vermeidungskosten

| Variante | Beschreibung                         | Erstellungskosten<br>(BKP2) | Mehrkosten<br>pro Variante | Treibhausgas-<br>Einsparung<br>(CO <sub>2</sub> eq) | Treibhausgas-<br>Vermeidungs-<br>kosten |
|----------|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|          |                                      | CHF/m <sup>2</sup>          | CHF/m <sup>2</sup>         | kg/m <sup>2</sup>                                   | CHF/kg                                  |
| V1       | Massivbau                            | 3'334                       | -                          | -                                                   | -                                       |
| V2       | Holzbau, UG - 1.OG Beton             | 3'685                       | 351                        | 66                                                  | 5.30                                    |
| V3       | Holzbau, UG - 1.OG Beton, optimiert* | 3'709                       | 24                         | 30                                                  | 0.80                                    |
| V4       | Holzbau, nur UG Beton, optimiert*    | 3'836                       | 117                        | 30                                                  | 3.90                                    |

Die Treibhausgas-Vermeidungskosten der untersuchten Holzbau-Varianten liegen im Bereich von 1.1 bis 5.3 CHF/kg CO<sub>2</sub>eq. Zum Vergleich: die CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Brennstoffe liegt in der Schweiz aktuell bei 0.12 CHF/kg oder die Firma Climeworks bietet mit ihrem «direct air capture and storage (DAC+S)» Verfahren Zertifikate an für die Abscheidung und dauerhafte Lagerung von CO<sub>2</sub> aus der Luft für 1.25 CHF/kg.

Tabelle 5 Erstellungskosten pro Energiebezugsfläche und Treibhausgas-Vermeidungskosten inkl. im Holz gespeichertes biogenes CO<sub>2</sub>

| Variante | Beschreibung                         | Erstellungskosten<br>(BKP2) | Mehrkosten<br>pro Variante | Treibhausgas-<br>Einsparung<br>inkl. gespei-<br>chertes CO <sub>2</sub> | Treibhausgas-<br>Vermeidungs-<br>kosten inkl. ge-<br>speichertes CO <sub>2</sub> |
|----------|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|          |                                      | CHF/m <sup>2</sup>          | CHF/m <sup>2</sup>         | kg/m <sup>2</sup>                                                       | CHF/kg                                                                           |
| V1       | Massivbau                            | 3'334                       | -                          | -                                                                       | -                                                                                |
| V2       | Holzbau, UG - 1.OG Beton             | 3'685                       | 351                        | 306                                                                     | 1.15                                                                             |
| V3       | Holzbau, UG - 1.OG Beton, optimiert* | 3'709                       | 24                         | 30                                                                      | 0.80                                                                             |
| V4       | Holzbau, nur UG Beton, optimiert*    | 3'836                       | 117                        | 87                                                                      | 1.34                                                                             |

Wenn neben den in der Erstellung eingesparten Treibhausgasemissionen auch das im Holz gespeicherte CO<sub>2</sub> angerechnet wird, sinken die Treibhausgas-Vermeidungskosten auf 1.13 bis 1.34 CHF/kg (siehe Tabelle 5).

Die Kosten- und Treibhausgasbilanz der im Rahmen von Variante V3 umgesetzten Holzbau-Optimierungsmassnahmen sind in Tabelle 6 dargestellt. Der Anhydritboden mit Noppenplatte führt zu Mehrkosten von 19 CHF pro m<sup>2</sup> Unterlagsboden. Bezogen auf die Energiebezugsfläche von Haus C entspricht dies 10 CHF/m<sup>2</sup>. Der Verzicht auf eine Gipsbeplankung der Innenwände ist kostenneutral, da die Einsparungen bei den Gipserarbeiten durch Mehraufwände zum Schleifen und Streichen der ro-



hen ESB-Innenwände kompensiert werden. Die Mehrkosten für die Holzprodukte aus Schweizer Lieferketten werden auf insgesamt 40'000 CHF bzw. 14 CHF/m<sup>2</sup> geschätzt. Die Einsparungen an Treibhausgasemissionen liegen, bezogen auf die Energiebezugsfläche, je nach Massnahmen im Bereich von 5.4 bis 17.4 kg/m<sup>2</sup>. Daraus resultieren Treibhausgas-Vermeidungskosten von 1.9 CHF/kg für den Anhydritboden mit Noppenplatte bzw. bei 2.0 CHF/kg für die CH-Holzlieferkette. Der Verzicht auf die Gipsbeplankung spart Treibhausgasemission ohne Mehrkosten. In der Summe der drei Optimierungsmassnahmen ergeben sich Treibhausgas-Vermeidungskosten von 0.80 CHF/kg.

Tabelle 6 Mehrkosten pro Energiebezugsfläche und Treibhausgas-Vermeidungskosten der in Variante V3 enthaltenen Optimierungsmassnahmen

| Variante | CO <sub>2</sub> -Optimierungsmassnahmen | Mehrkosten<br>pro Variante | Treibhausgas-<br>Einsparung (CO <sub>2</sub> eq) | Treibhausgas-<br>Vermeidungskosten |
|----------|-----------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------|
|          |                                         | CHF/m <sup>2</sup>         | kg/m <sup>2</sup>                                | CHF/kg                             |
| V3.1     | Anhydritboden mit Noppenplatte          | 10                         | 5.4                                              | 1.9                                |
| V3.2     | Innenwände ohne Gipsbeplankung          | 0                          | 17.4                                             | -                                  |
| V3.3     | CH-Holzlieferkette                      | 14                         | 7.2                                              | 2.0                                |
| Total    |                                         | 24                         | 30.0                                             | 0.80                               |

## 2.9 Bewertung der Ergebnisse

Das oben beschriebene Vorgehen verdeutlicht, dass im nachhaltigen Bauen die Baubeteiligten intensiver als üblich miteinbezogen werden müssen und auch die Architekten und Architektinnen lernen müssen, kreativ und flexibel mit aktuell verfügbaren materiellen und immateriellen Ressourcen wie dem Know-how im Team umzugehen.

Eine zentrale Erkenntnis war, dass die Anpassung des Ausschreibungs- und Auswahlverfahrens um die zu erwartenden Einsparungen an Treibhausgasen nicht nur möglich ist, sondern auch den Planungs- und Bauprozess nicht verzögert. Bei der Beurteilung hat sich des Weiteren gezeigt, dass es nicht nur um den Preisvergleich oder den Treibhausgasvergleich geht, sondern eine umfassendere Beurteilung, basierend auf den lokalen (Projekt-)Gegebenheiten notwendig und zielführend ist.

Durch die zusätzliche Berücksichtigung der etablierten Unternehmer-Lösung von Baltensperger und einer gemeinsamen Weiterentwicklung konnte ein Holzbau mit reduziertem CO<sub>2</sub>-Fussabdruck realisiert werden. Die Mehrkosten der optimierten Holzbauvariante V3 liegen gegenüber einem Massivbau, bezogen auf die Energiebezugsfläche; bei rund 370 CHF/m<sup>2</sup>. Die Treibhausgas-Vermeidungskosten liegen bei 3.9 CHF/kg.

Des Weiteren hat der Holz-Modulbau auch die Entwicklung der neuen Wohnformen «Micro-Co-Living» wesentlich unterstützt, welche den persönlichen Flächenverbrauch reduziert (22 m<sup>2</sup> Hauptnutzfläche pro Person bei Doppel-Micro-Wohnung).

## 2.10 Weiteres Vorgehen

Die Forschungsarbeiten sind im Arbeitspaket AP1 weitgehend abgeschlossen. Das Potential zur Beurteilung der Treibhausgasbilanz unterschiedlicher Unternehmerlösungen bei zukünftigen Holzbauausschreibungen mit GreenBIM wird bis Ende 2024 untersucht. Die Experteninterviews wurden bereits durchgeführt und die Evaluation der Nutzenden-Perspektive (Bewohnende und Betrieb) soll im Frühling 2025 durchgeführt werden.





Die Erstellungskosten des Holzbaus insgesamt und der Optimierungsvarianten werden nach Vorliegen der definitiven Bauabrechnung nochmals überprüft und abschliessend dokumentiert. Die Betrachtung der gesamten Lebenszykluskosten inkl. allfälliger holzbauspezifischer Wartungs-, Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten erfolgt im Rahmen des Arbeitspakets AP5.



## 3 AP2: Re-Use ohne Sonderstatus

### 3.1 Ausgangslage

In der Schweiz werden jährlich etwa 90% der verwendeten Baumaterialien (13.8 Mio. Tonnen) für Neubauten eingesetzt [15]. Gleichzeitig werden 2.1 Mio. Tonnen an Baumaterialien mit eher kurzer Lebensdauer wie Fassaden oder Fenster freigesetzt [16]. Diese werden heute oft vor dem Ende ihrer Lebensdauer entsorgt, da es sich beispielsweise um Nutzungsänderungen oder den Rückbau temporärer Bauten handelt. Sie können jedoch aufgrund der Prozesse im Neubau nicht in den Bauprozess integriert werden. Es fehlt an Erfahrung mit der Wiederverwendung von Bauteilen. Das schweizweite Potential für solche Prozesse ist noch nicht bekannt und hängt stark von der Erfahrung und der Skalierung der Prozesse ab. Gleichzeitig ist klar, dass das Potential aktuell noch längst nicht ausgeschöpft ist und viele Bauteile vor Ende ihrer Lebensdauer entsorgt werden. Weil mit stark sinkenden Grenzkosten für die Wiederverwendung zu rechnen ist, lassen sich künftig vermutlich auch weitere Bauteilgruppen für die Wiederverwendung erschliessen. Damit lassen sich erhebliche Mengen an Treibhausgasen und grauer Energie einsparen. Die genauen Werte sollen im Rahmen dieses Arbeitspakets ermittelt werden. [17]. Das hier vorgeschlagene Vorgehen ist risikobehaftet, da zu Projektbeginn unklar war, ob a) überhaupt passende Bauteile gefunden werden und b) die Bauteile ästhetischen und regulatorischen Ansprüchen genügen. Selbst wenn kein passendes Bauteil gefunden wird, fällt Aufwand für die Suche, Katalogisierung und Evaluation der Bauteile an.

Anhand von diesem Projekt wird ein Prozess entwickelt und publiziert, welcher die Verantwortlichkeiten, Haftbarkeiten und Entscheidungswege skizziert. Die Ergebnisse fliessen zudem in eine digitale Plattform des Baubüros in situ zur grossmassstäblichen Wiederverwendung von Bauteilen ein. Damit werden die technischen und prozessualen Grundlagen für eine weitergehende Skalierung geschaffen. Mit der Demonstration am Objekt wird zudem der Erfolg manifest und interessierte Bauherrschaften können sich vor Ort von der Praktikabilität überzeugen lassen.

In diesem Projekt wird im Gebäude D exemplarisch gezeigt, wie wiederverwendete Bauteile in einen regulären Bauprozess eingebunden werden können. Dafür wird eine Liste der zehn dafür am besten geeigneten Bauteile erstellt. Diese werden prioritär bis zu einem definierten Datum gesucht. Anschliessend werden noch fehlende Bauteile durch neue Bauteile ersetzt. Dies erfordert eine neue Rollendefinition zwischen Architekten und Architektinnen, Bauteilsuchenden und Bauherrschaften. Zudem stellen sich Fragen bei der Anrechnung der grauen Energie und der Treibhausgasemissionen nach SIA 2032.

### 3.2 Stand der Forschung

#### 3.2.1 Überblick zum Stand der Forschung

In den letzten Jahren wurden rund um das Thema Wiederverwendung im Baubereich vielseitig ausgerichtete Forschungsprojekte durchgeführt und publiziert. Neben der akademischen Forschung an Schweizer Universitäten und Fachhochschulen förderten auch der Bund und die öffentliche Hand (hauptsächlich vertreten durch Städte wie Zürich oder Basel) sowie Verbände (z.B. SZS) die Forschung rund um Re-Use. Nachfolgend sind einige der wichtigsten abgeschlossenen und laufenden Forschungsprojekte aufgeführt. Die Auswahl fokussiert grösstenteils auf Projekte innerhalb der Schweiz und ist keinesfalls abschliessend.



### 3.2.2 Ausgewählte Forschungsprojekte

Das Ausmass der Bauabfallproblematik und die Handlungsnotwendigkeit belegt die Studie Bauabfälle in der Schweiz - Hochbau, welche 2015 durch die Wüest & Partner AG im Auftrag des Bundesamts für Umwelt erstellt wurde [20]. Sie errechnet ein Total an 7.5 Mio. Tonnen Bauabfällen aus dem Hochbau (inkl. Strassenaufbruch und Ausbauasphalt), wovon 4.2 Mio. Tonnen Material auf Abbrüche zurückzuführen sind, Tendenz steigend.

Der Bericht Klimapositives Bauen - Ein Beitrag zum Pariser Absenkpfad [21] nennt die Wiederverwendung sowie das Design-for-Disassembly unter den Hauptmassnahmen, um die politisch geforderte Absenkung der Treibhausgasemissionen zu erreichen. Vergleichbare Strategiepapiere wurden im In- und Ausland von diversen Städten, Landesregierungen und Verbänden veröffentlicht. Beispiele dafür sind die Ressourcenstrategie der Stadt Zürich [22], welche von der Stadt als Materiallager spricht, das Konzept Zirkuläres Bauen von der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen [23] oder die National Strategy for Sustainable Construction vom Ministry of the Interior and Housing des Staates Dänemark [24].

Eine an der EPFL entstandene Studie zum Thema Selektiver Rückbau - Rückbaubare Konstruktion [25] bietet anhand verschiedener Fallstudien und Praxisbeispielen einen breiten Überblick zu aktuellen Möglichkeiten und Potenzialen auf Seiten Gebäudebestand aber auch der Projektplanung von Neubauten in Bezug auf deren zukünftige Rückbaubarkeit, Stichwort Design-for-Disassembly.

Aufgrund der vielfältigen organisatorischen, technischen, normativen und gestalterischen Fragestellungen bietet sich an, anhand gebauter Pionierprojekte einen Erfahrungsschatz aufzubauen und daraus allgemeine Vorgehensweisen und Grundsätze induktiv herzuleiten. Das durch das baubüro in situ geplante und realisierte Projekt Kopfbau 118 in Winterthur wurde durch die ZHAW wissenschaftlich begleitet und lieferte dadurch Grundlagen für eine Vielzahl weiterer Projekte und Forschungsansätze. Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung entstand die Publikationen Bauteile wiederverwenden - Ein Kompendium zum zirkulären Bauen [26] welches mit einem breiten, interdisziplinären Blick die Thematik von architekturhistorischer, aber auch der baulich-konstruktiven Seite aufarbeitet und zudem die eingesparten Treibhausgase sowie die Kosteneffizienz bilanziert. Im zeitgleich erschienenen Buch Die Wiederverwendung von Bauteilen von Andreas Abegg und Oliver Streiff [27] werden zudem die öffentlich-rechtlichen sowie die privatrechtlichen Rahmenbedingungen in Bezug auf das Bauen mit Re-Use Bauteilen beleuchtet. In einer daran anknüpfenden Kooperation von Oliver Streiff und dem baubüro in situ wird aktuell ein von Innosuisse gefördertes Projekt mit dem Titel Wiederverwendung von Bauteilen: Rechtlicher Rahmen bearbeitet [28].

2022 entstand die Studie Regelwerke des Normungs- und technischen Zulassungswesens anhand des Themenkomplexes Recyclingverfahren und Weiter-/Wiederverwendung von Bauprodukten und Baustoffen von Franssen und Nusser [29].

Ebenfalls im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Projekts K118 entstand die Studie Graue Energie und Treibhausgasemissionen von wiederverwendeten Bauteile von Kathrin Pfäffli, welche über das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich publiziert wurde [30]. Sie vergleicht verschiedene Ansätze für Bilanzierungsmöglichkeiten und setzt daraus einen methodischen Standard.

Darauf aufbauend ist derzeit das vom BFE geförderte Projekt Reuse-LCA [31] in Bearbeitung. Ziel des Projektes ist u.a., den Kosten / Nutzen von Re-Use besser zu verstehen sowie dessen Nutzen in Kombination mit anderen kohlenstoffreduzierten Strategien im Rahmen der Netto-Null Frage einzuordnen. Federführend in dem Projekt ist die Hochschule HEIG-VD.

In diesem Kontext ist das Paper Embodied Carbon in EU Construction interessant [32]. Unter anderem kommen die Autoren zum Schluss, dass durch Re-Use eine Kostenersparnis möglich ist.



Innerhalb des Empa NEST (Next Evolution in Sustainable Building Technologies) konnte 2021 durch das baubüro in situ die Unit Sprint [33] realisiert werden, welche aus reinen Re-Use und Sekundärmaterialien besteht. In kürzester Zeit wurden Büroräumlichkeiten im Holzelementbau ausgeführt. Innerhalb des Versuchs-Gebäudes werden unter realen Bedingungen die Sekundärbaustoffe getestet und die Funktionalität von ertüchtigten Bauteilen gemessen (z.B. U-Wert Messungen an mit minimal-invasiven Eingriffen energetisch ertüchtigte Fenster). In dem Rahmen entstand eine Forschungsarbeit zur Ökobilanzierung von Gebäuden / Bauteilen, die mehrere Lebenszyklen durchlaufen:

Kakkos, Efstathios: Paving the way towards circularity in the building sector. Empa's Sprint Unit as a beacon of swift and circular construction [34].

### 3.2.3 Marktnahe Pilot- und Demonstrationsprojekte und Studien

In diesem Kontext kann das BFE Projekt Hobelwerk skalierbare Lösungen für Netto-Null als Weiterführung einer Reihe von Pilotprojekten zwecks Erfahrungsaufbau seitens der Bauherrschaft wie auch der Planenden sowie zur Datenerhebung verstanden werden. Die Vorgehensweise der wissenschaftlichen Praxisbegleitung scheint sich bei Re-Use Projekten zu bewähren und für das Planungs- und Bauwesen anwendbare Ergebnisse zu liefern. Dies zeigt sich in immer vielfältiger entstehenden Pionierprojekten wie dem DomoHabitare in Ste-Croix [35] oder diversen Wettbewerben mit Re-Use als integrale Anforderung oder dem grossen Echo des Basel Pavilion 2022 [36].

In den Städten Zürich und Basel fanden Bauteilkataloge Eingang in Wettbewerbsprogramme, so beim Recyclingzentrum Juch-Areal [37], ausgelöst durch das Amt für Hochbauten Stadt Zürich oder den Wettbewerben Areal Walkeweg [38] und Pilotprojekt Schliengerweg [39] ausgelöst durch Immobilien Basel-Stadt.

Nebst der Forschung an Pionierprojekten wurden auch bauteilspezifische Projekte und Studien durchgeführt. Die darunter bisher umfangreichste stammt aus dem Interreg FCRBE Projekt [40], welches von Belgischen Planungsbüro Rotor geleitet wurde. Kern der Arbeit bildet ein Re-Use Toolkit mit Leitfäden zu verschiedenen Bauteilkategorien sowie einige allgemeine Arbeitshilfen für die Wiederverwendungspraxis.

Spezifisch mit der Wiederverwendung des Werkstoffs Stahl befasst sich die Publikation Re-Use: Wie-der-ver-wen-dung von Stahl-bau-tei-len des Stahlbau Zentrums Schweiz SZS [41].

Das aktuell laufende Projekt FenSanReUse [42] der FHNW in Zusammenarbeit mit Zirkular sowie diversen privatwirtschaftlichen Partnern untersucht energetische Sanierungsmassnahmen an Re-Use Fenstern und erstellt daraus Wegleitungen für Fenstersanierungen an Bauteilen verschiedenen Alters.

Konstruktiver Beton stellt die Wiederverwendung vor besondere Herausforderungen, welche sich jedoch aufgrund hoher THG-Einsparungspotenziale als lohnend erweisen sollten. Die Studie Wiederverwendung Fertigbetonelemente - Rückbau Personalhäuser Triemli [43] beschäftigte sich im Auftrag der Stadt Zürich mit der Thematik.

Ein weiteres Forschungsprojekt zu Beton Wiederverwendung wurde kürzlich auf europäischer Ebene unter dem Namen ReCreate - Deconstruction and reuse instead of demolition and waste [44] publiziert.

Umfangreiche Betrachtungen zum Thema Holzbau finden sich in der im Auftrag des BAFU durch die Primin Jung AG verfassten Studie Rückbau und Wiederverwendung von Holzbauten [45].



### 3.3 Fragestellung und Zielsetzung

Beim Haus D handelt es sich um ein vierstöckiges Wohn- und Gewerbehause in einer Holz-Hybrid-Bauweise. Ziel ist zu demonstrieren, dass wiederverwendete Bauteile, wie z.B. Fenster auch in den regulären Bauprozess integriert werden können. Das quantitative Ziel ist einen möglichst grossen Anteil an wiederverwendeten Bauteilen einzusetzen, ohne Kompromissen beim Komfort und den Kosten zu machen. So sollen die Bauteile nicht zu Nachteilen für die Bewohnenden führen und in Zukunft auch zu keinen Mehrkosten beschaffbar sein oder unterhalten werden. So kann der Wiederverwendung von Bauteilen auf einer grossen Skala zum Durchbruch verholfen werden. Gleichzeitig wird ausgewiesen, dass durch diesen Ansatz viel Treibhausgase und graue Energie eingespart werden können. Folgende Hypothesen sollen in diesem Projekt getestet werden:

- Re-Use-Bauteile können mit geeigneten Hilfsmitteln ohne Mehrkosten und Terminverzögerungen in der Erstellung verwendet werden.
- Für die Bewohnenden resultiert bezüglich des Wohnkomforts kein Unterschied zwischen einem Gebäude aus neuen und aus wiederverwendeten Bauteilen.
- Innerhalb der Projektlaufdauer (erste 3 Betriebsjahre) wird kein erhöhter Betriebsaufwand verzeichnet.

#### Bauteilliste:

Die folgenden zehn Bauteile wurden in die Liste aufgenommen. Die tatsächlich verwendeten Mengen richten sich dabei an dem Angebot, also den gefundenen Mengen. Aufgrund des iterativen Charakters von Bauteilsuche und Planung wurde die Materialauswahl im Laufe der Bauteilsuche angepasst.

- A1. Fassadenverkleidung - Holzschalung mit Nut und Kamm bis zu 940 m<sup>2</sup> oder Fassadenbleche, bis zu 200 m<sup>2</sup>
- A2. Fenster - Holz/Metall, Metall oder Kunststoff, bis zu 430 m<sup>2</sup>
- A3. Aussentüren / Brandschutztüren - Türen mit wärmedämmten Profilen und Isolierverglasungen, bis zu 20 Stück
- A4. Balkonbrüstungen - Staketengeländer oder Geländersystem mit gebrauchtem Maschen- draht oder Gitterrostfüllungen, bis zu 140 m
- A5. Bodenbeläge Aussenbereich - Balkonbeläge mit gebrauchtem Holz, Umgebungsarbeiten mit wiederverwendeten Zementplatten / Natursteinplatten, bis zu 300 m<sup>2</sup>
- I1. Boden- und Wandbeläge - Linoleum oder Parkett aus Restposten, bis zu 1920 m<sup>2</sup> + bis zu 900 m<sup>2</sup> Plattenbeläge in Nasszellen
- I2. Innentüren - Blendrahmen- oder Zargentüren aus Holz / evtl. Stahlzargen, teilw. mit Brand- schutzanforderungen EI30, bis zu 74 Stück
- I3. Bäder - Sanitärapparate (ausgenommen WC's), bis zu 36 Stück
- I4. Küchen - Küchen ohne Geräte, aus Rückbauten oder Küchenausstellungen, max 14 Stück
- I5. Wandverkleidungen - Verschnitte und Restposten von Holzbauer, Holzwerkstoffplatten aus Rückbauten, bis zu 2247 m<sup>2</sup>
- XX. Fundstücke ohne Suchauftrag

Hinweis: das Re-Use-Bauteilmonitoring für alle Gebäude auf dem Areal ist im Anhang 9.2 zu finden.



### 3.4 Vorgehen und Methode

Folgende Arbeitsschritte sind vorgesehen oder wurden bereits geleistet (**fett**):

1. **Definition der Top Ten**, der zehn am besten für Re-Use geeigneten Bauteile für dieses spezifische Projekt. Die Auswahl beruht auf den bisherigen Erfahrungen des Baubüros in situ in Abstimmung mit Architektin und Bauherrschaft.
  - a. Spezifische Projektunterlagen und -abläufe werden entwickelt und mit den betrieblichen Anforderungen abgestimmt.
  - b. Entwurf von einem Gebäude mit neuen Bauteilen, welches die oben definierten Re-Use-Bauteile aufnehmen kann, aber nicht muss. Neubauteile bilden die Rückfallebene und werden im Planungsprozess parallel bearbeitet. Damit ermöglichen wir, dass wiederverwendete Bauteile in einen regulären Bauprozess eingebunden werden können, ohne für die Bauherrschaft übermässige Risiken zu generieren.
2. **Suche nach Bauteilen**. Bei Eignung **Ausbau, Lagerung** und **Transport**.
3. **Kostenermittlung je Re-Use Bauteil** sowie der Kosten vergleichbarer Neubauteile
4. **Berechnen von Energienachweis und Treibhausgasemissionen** der gefundenen Re-Use-Bauteile.
5. **Realisierung des Gebäudes**.
6. **Expert\*innen-Interviews** mit den Beteiligten zu ihren Erfahrungen.
7. Umfrage zur Wahrnehmung der Bewohnenden.
8. Zusammenfassen der Erfahrungen mit den Prozessen und Rollen und in einem Fact-Sheet.

### 3.5 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die bisherigen Ergebnisse und Erfahrungen werden in folgender Chronologie beschrieben:

Definition der Anforderungen und Abläufe

- Auswahl Top10 Bauteile und Suchaufträge
- Entscheidungsabläufe

Bauteilsuche

- Rückbauobjekte
- Weitere Materialquellen
- Ergebnisse je Bauteilkategorie
- Erwerbsanträge und Bauteilemonitoring

Ausbau / Transport / Lagerung

- Exemplarisch Zürcher Kantonalbank, Dübendorf
- Transporte
- Lagermöglichkeiten

Planung Wiedereinbau

- Schnittstellen
- Ausschreibung Wiedereinbau







| Projekt                                   | Bauteilkategorie        | Menge | Bauteilname                           | Abmessungen                                                   | weitere Beschreibung                                                                                                                            |
|-------------------------------------------|-------------------------|-------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| + gesamt                                  |                         |       |                                       |                                                               |                                                                                                                                                 |
| - 016_082 - Hobelwerk Haus D - Winterthur | + Aussentüren gesamt    |       |                                       |                                                               |                                                                                                                                                 |
|                                           | - Fassadenverkleidungen | - 164 | - V2 Fassadenverkleidung              | -                                                             | - Eternit, hinterlüftet, weiss                                                                                                                  |
|                                           |                         | - 846 | - V1 Fassadenverkleidung              | -                                                             | - Holz, Holz Vertikal, Nut+Kamm, hinterlüftet, weiss                                                                                            |
|                                           | - Fenster               | - 1   | - F12 Verglasung Gemeinschaftsatelier | - Breite: siehe Bem. x Höhe: min -> siehe Bemessung -max: 356 | - Holz-Metall Holz-Holz Metall-Metall* Kunststoff Alu eloxiert oder weiss aussen+innen weiss Festverglasung >30 dB Ug-Wert:1.10, Uf-Wert:1.80   |
|                                           |                         | - 3   | - F3 Fenster Wohnraum Ost             | - Breite:310-330 x Höhe:215-235                               | - Holz-Metall* Holz-Holz Metall-Metall Kunststoff Alu eloxiert oder weiss aussen+innen weiss Doppeldrehflügel >30 dB Ug-Wert:1.10, Uf-Wert:1.80 |
|                                           |                         |       | - F3' Fenster Wohnraum Süd            | - Breite: 310-330 x Höhe: 235-255                             | - Holz-Metall* Holz-Holz Metall-Metall Kunststoff Alu eloxiert oder weiss aussen+innen weiss Doppeldrehflügel >30 dB Ug-Wert:1.10, Uf-Wert:1.80 |

Abbildung 16 Bildschirmfoto Suchauftragsdatenbank, baubüro in situ



### 3.5.2 Entscheidungsabläufe

Die hier als Materialquellen dienenden Rückbauten folgen jeweils einem eigenständigen und oftmals durch Bewilligungsfristen, Rekurse und allgemeinen Termindruck geprägten Programm. Um das darin enthaltene Materialangebot mit der Terminplanung des Zielprojekts in Einklang zu bringen, sind schnelle Entscheidungswege notwendig. Diese wurden in der ersten Projektphase unter Einbezug aller Planenden erstellt und in einem Diagramm festgehalten. Nach Fertigstellung wurde dieses zusammen mit weiteren Arbeitsgrundlagen im Rahmen eines Workshops besprochen.

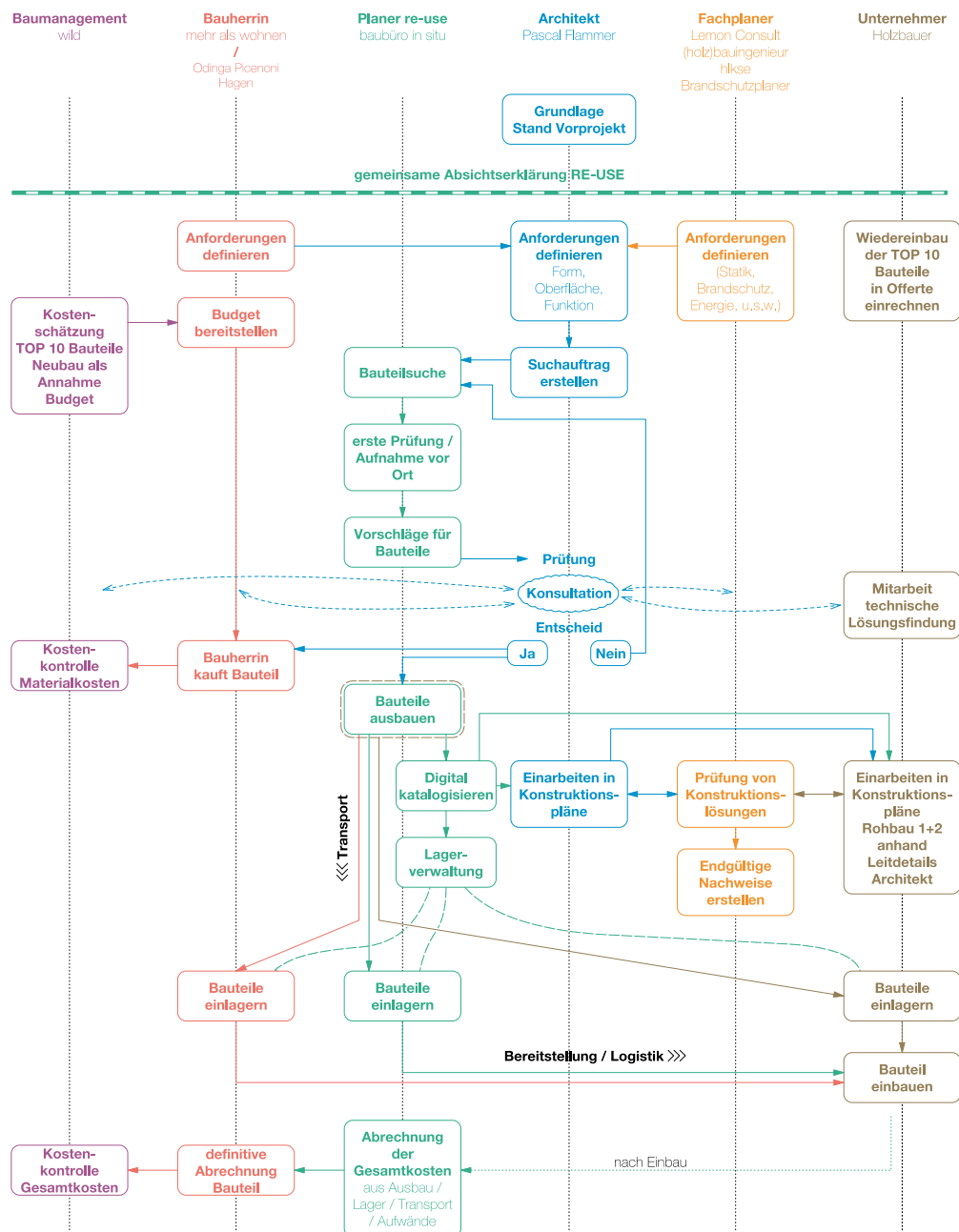


Abbildung 17 Entscheidungsablauf Suchauftrag bis Ausbau, baubüro in situ AG



Im gewählten Modell liegt die Verantwortung für die Definition aller Anforderungen sowie die Konsultation aller Parteien bei vorliegenden Suchergebnissen beim Architekturbüro. Vor Ausbau potenzieller Bauteile ist durch Pascal Flammer Architekten sowie die Bauherrin ein Erwerbsantrag zu unterzeichnen, in welchem die verfügbaren Mengen mit den entsprechenden Kosten abgeschätzt werden. Durch den Freigabeprozess ist gesichert, dass die planerische und gestalterische Übersicht beim Architekten verortet bleibt. Nach erfolgreicher Bauteiljagd pflegt der Architekt die erhaltenen Informationen in das Projekt ein.

Die Bauherrin definiert als Bestellerin die Anforderungen an die zu suchende Bauteile. Nach Freigabe des Erwerbsantrags wird sie entweder durch Kauf oder Schenkung Besitzerin der Bauteile.

Die Rolle der Re-Use-Planenden, wie sie im vorliegenden Falle vom Baubüro in situ eingenommen wurde, gleicht der eines klassischen Fachplanungsbüros. Der Re-Use-Planer\*innen unterstützt bei der Definition der Suchaufträge, leitet die Bauteilsuche, beurteilt geeignete Materialien und erstellt gegebenenfalls Erwerbsanträge an Bauherrin und Architekturbüro. Nach deren Freigabe koordiniert er Rückbau, Transport und Einlagerung und erstellt Bauteilpässe zuhanden des Architekten.

Das Baumanagement rechnet Vergleichskosten für die Rückfallebene Neubau. Diese bilden grundsätzlich den Kostenrahmen für die Wiederverwendung.

Weitere Fachplanende sowie die ausführenden Unternehmen unterstützen in der technischen Lösungsfindung, sowie der Prüfung und Bilanzierung von gefundenen Bauteilen.

### 3.5.3 Bauteilsuche - Rückbauobjekte

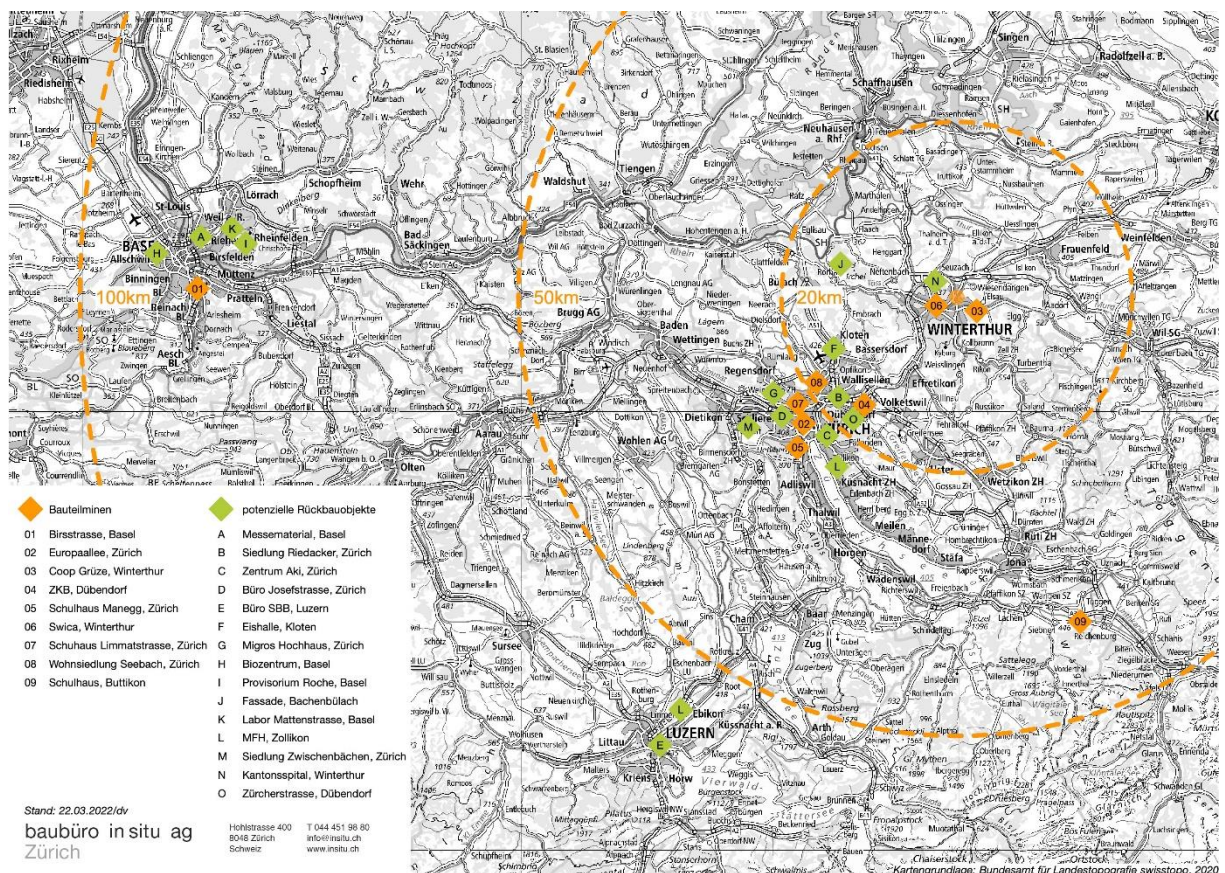


Abbildung 18 Bauteilminen und besichtigte Rückbauobjekte, baubüro in situ



Im Zuge der Bauteilsuche führten die Bauteiljäger\*innen des Baubüro in situ gegen 30 Rückbaubesichtigungen durch. Bisher wurden aus 9 besichtigten Bauteilminen Material rückgebaut. Trotz gebäudespezifischer Unterschiede wurde grundsätzlich folgendes Vorgehen angestrebt:

- Suche möglicher Bauteilminen über Amtsblatt, GIS und Netzwerk Baubüro in situ
- Kontaktaufnahme mit Eigentümern, Rückbauunternehmen oder Planenden
- Erstbesichtigung mit Fotoauswahl und ersten Massaufnahmen
- Vorbesprechung der Auswahl mit Architekten und Bauherrenvertreterin
- Weitere Abklärungen / Aufnahmen vor Ort
- Rückmeldung des Materialbedarfs an die Eigentümer\*innen

Nachfolgend ist ein Rückbaugebäude exemplarisch porträtiert.

Zürcher Kantonalbank, Dübendorf

Das ehemalige Bürogebäude der Zürcher Kantonalbank (ZKB) wurde 1994 fertiggestellt und 2021, gerade mal nach 27 Jahren Nutzungsdauer, rückgebaut. Nachdem die ZKB ihren Geschäftssitz aufgegeben hatte, wurde das Gebäude an die Firma Mettler2Invest verkauft, welche nun auf dem Grundstück eine neue Wohnsiedlung erstellt. Vor dem Rückbau wechselte, wie dies üblich ist, das Gebäude ins Eigentum der Eberhard AG, welche wiederum in Zusammenarbeit mit der Baskarad AG die Abbrucharbeiten ausführte. Mit der Besitzerin wechselte das Eigentum der Bauteile, was jeweils neue Verhandlungen über die Wiederverwendungskonditionen (Kosten /Termine) notwendig macht.



Abbildung 19 ZKB Dübendorf, © Google Maps

Die beiden Häuser wurden als Massivbau erstellt, die Räume praktisch ausschliesslich als Büros genutzt. Sämtliche oberirdischen Geschosse sind mit Doppelböden und heruntergehängten Decken versehen. Die Fassaden sind mit grauem und schwarzem Naturstein verkleidet. Vorhandene Bauteile gibt es meist in hoher Stückzahl und Wiederholung. Aber auch als verhältnismässig junges Gebäude brachte die ZKB Dübendorf einige Überraschungen. Trotz vorgängigen Sondagen zeigten sich beim Rückbau der Natursteinplatten diverse beschädigte Rückseiten, wohl von einer einstigen Änderung an der Aufhängekonstruktion herrührend. Zudem wiesen die stichprobenmässig identischen Türblätter eine grössere Varianz auf, als ursprünglich angenommen.



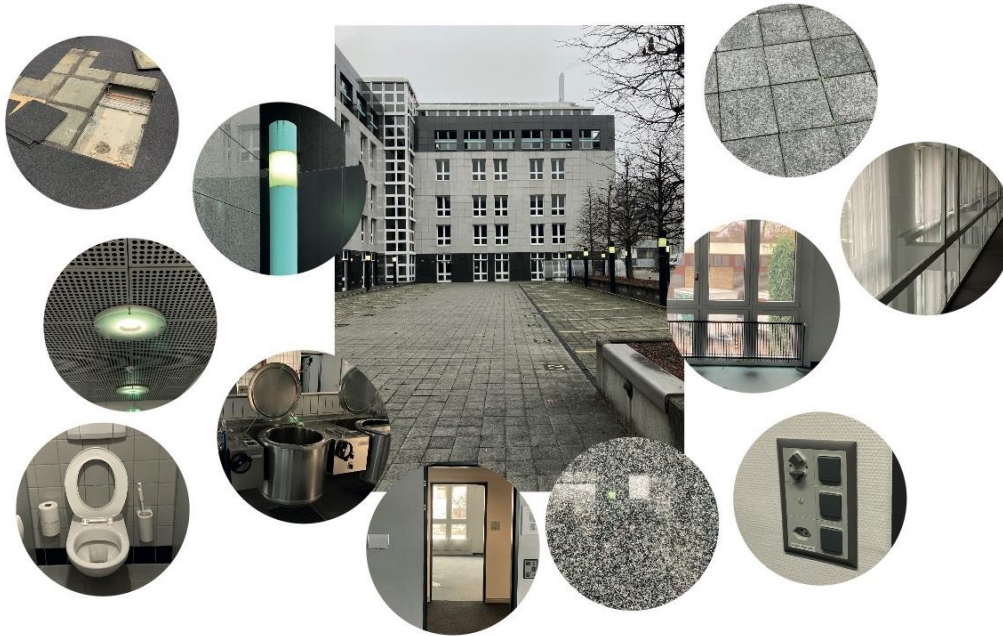


Abbildung 20 Auszug von Bauteilen aus dem Gebäude der ZKB Dübendorf

#### 3.5.4 Bauteilsuche - Weitere Materialquellen

Nebst den rund 30 besichtigten Rückbauten wurden nachfolgende Materialquellen angefragt und teils für das Projekt hinzugezogen. Bei der Verwendung von Restpostenbeständen von Materialproduktionen handelt es sich streng genommen nicht um Wiederverwendung im Sinne eines zweiten Nutzungszyklus. Gleichwohl wird durch die Substituierung von Neumaterial durch solche Quellen die Bauabfallmenge reduziert, was den Zielen der Kreislaufwirtschaft grundsätzlich entspricht.

- Bauteilbörsen in der Region Zürich und Basel
- Fehlproduktionen von Fensterbauern
- Restpostenbestände von Plattenlegern
- Restpostenbestände der Firma Eternit
- Ausstellungsküchen Küchenbauer

#### 3.5.5 Ergebnisse je Bauteilekategorie

Auf den nachfolgenden Seiten werden die gefundenen und den Suchaufträgen entsprechenden Bauteile, welche PFA und der Bauherrin vorgelegt wurden, aufgeführt. Wo dies den Umfang dieses Berichts überschreiten würde, wurde eine repräsentative Auswahl getroffen. Die durch Planer und Bauherrin ausgewählten Bauteile sind mit der entsprechenden Stückzahl beschrieben. Die Zusammenstellung soll beispielhaft aufzeigen, welche Gegebenheiten im Einzelfalle die Wiederverwendung von Bauteilen ermöglichen, beziehungsweise verhindern.

Zusätzlich zum ursprünglichen Suchauftrag für das Gebäude D wurden weitere Bauteile für andere Häuser ausgebaut. Diese wurden ebenfalls in die folgende Aufstellung integriert.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für einen erfolgreichen Bauteilausbau folgende Kriterien erfüllt sein müssen:

- Materialqualität und Menge



- Rückbautermin
- Demontagekosten
- Vollständigkeit und Richtigkeit der Bauteilinformationen und Abmessungen
- Eignung im Projekt, Abmessungen und Anforderungen
- Kommunikation der Planenden, rechtzeitige Freigabe Erwerbsantrag
- Kommunikation mit Eigentümerin Rückbau und Rückbauunternehmen
- Ästhetische Anforderungen
- Verfügbarkeit von Demontageunternehmen und Lagerplatz



## A1. Fassadenverkleidung

### Suchauftrag:

- Fassadenbekleidung Holzschalung weiss, vertikal, geschlossen, Nut und Kamm, 940 m<sup>2</sup>
- Fassadenbekleidung Blech Re-Use hinterlüftet, RF1, 200 m<sup>2</sup>
- oder Fassadenbekleidung Eternit hinterlüftet, RF1, 200 m<sup>2</sup>

### Ablauf und Entscheidungen:

Im Zuge der Bauteilsuche wurde ersichtlich, dass im Sinne der auf der vorangehenden Seite formulierten Kriterien keine geeigneten Holzschalungen in den Rückbauten vorhanden sind. Zudem wurde mit Eintreffen der Unternehmerangebote deutlich, dass die Vergleichskosten für eine neue Holzschalung rund 30 bis 40% tiefer ausfallen. In Kombination mit der vergleichsweise geringen Einsparung an Treibhausgasen von knapp einer Tonne bei 940 m<sup>2</sup> Fassadenfläche, wurde das Material von der Wiederverwendung ausgeschlossen. Stattdessen konzentrierten sich die Planenden auf die Beschaffung von Blechverkleidungen für die Fassadenbereiche mit erhöhten Anforderungen bezüglich Brennbarkeit.

### Potenzielle und ausgewählte Bauteile:



|            |                                                                                                                                    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material:  | Aluminiumwellblech                                                                                                                 |
| Beschrieb: | natur eloxiert, diagonal montiert, Längen bis 12m, verschraubt                                                                     |
| Mine:      | Coop Grüzemärkte, Winterthur                                                                                                       |
| Vorgehen:  | Prüfung durch PFA, Erwerbsantrag, Ausbau und Spezialpalettierung durch Rückbauunternehmer, Abtransport in Lager Holzbauunternehmer |

200 m<sup>2</sup> ausgewählt für Wiederverwendung





- Material:** Aluminiumwellblech, lackiert
- Beschrieb:** weiss lackiert, horizontal verlegt, relativ kurze Bahnen mit diversen Ausschnitten für Türen und Fenster
- Mine:** Roche Provisorium, Basel
- Vorgehen:** Prüfung durch PFA, da Material praktisch zeitgleich mit Aluminiumblech Grüze gefunden wurde, fiel Entscheid zugunsten des Materials mit grösserer Menge und subjektiv ansprechenderer Optik > Grüze



- Material:** Fichtenpaletten für Käselagerung
- Beschrieb:** Spezialpaletten mit Überlänge und geschlossener Nut/Kamm Deckung, zuvor rund 10 Jahre in Gebrauch zur Käsereifung
- Mine:** ELSA, Estavayer
- Vorgehen:** Vorschlag: Decklage ausschneiden und Plattenweise als Fassadenschalung einsetzen. Fund zu spät im Bauprozess, Eigenschaften bezüglich Quellverhalten ungewiss, teilweise ungenügende Holzqualität und Beschädigungen, daher durch PFA und Holzbauunternehmer abgelehnt.



## A2. Fenster

### Suchauftrag:

- 96 Fenster verschiedener Formate, unterteilt in 9 Gruppen, darunter rund 60 zweiflügelige Zimmerfenster in Standardformaten, des weiteren Balkontüren und schaufensterartige Verglasungen
- Rahmenmaterial grundsätzlich frei, Präferenz im EG Metall, im OG Holz oder Holz/Metall
- Ug-Wert: 1.1 W/m<sup>2</sup>K, Uf-Wert: 1.8 W/m<sup>2</sup>K, R'<sub>w</sub> + C<sub>tr</sub> ≥ 30 dB

### Ablauf und Entscheidungen:

Innerhalb der Fenstersuchaufträge wurde eine Massspanne für die jeweiligen Fenstergruppen definiert. Der Glas U-Wert von 1.1 W/m<sup>2</sup>K findet sich ungefähr ab Baujahr 1990, ausgewiesen im Glasstempel meist erst ab Jahr 2000. Daher lag das Augenmerk für die Suche klar auf neueren Fenstern. Nebst einer systematischen Abfrage der regionalen Fensterbauern nach Fehlproduktionen wurden auch die Bauteilbörsen in Winterthur, Zürich und Basel kontaktiert. Erfolgreich war dies insbesondere im Fall Birsstrasse Basel.

### Potenzielle und ausgewählte Bauteile:



|            |                                                                                                                              |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material:  | Holzmetallfenster                                                                                                            |
| Beschrieb: | Jahrgang 2012, zweiflügelig, 2-fach IV Verglasung mit Ug-Wert 1.0 W/m <sup>2</sup> K, innenseitig auf Anschlag verschraubt   |
| Mine:      | Birsstrasse, Winterthur                                                                                                      |
| Vorgehen:  | Prüfung durch PFA und Lemon Consult, Erwerbsantrag, Ausbau durch Bauteilbörse Basel, Abtransport in Lager Holzbauunternehmer |

48 Stk. ausgewählt für Wiederverwendung



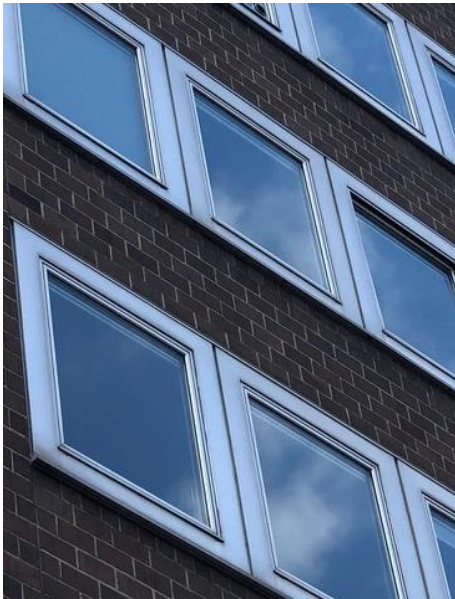
- Material: Holzmetallfenster, Balkontüre
- Beschrieb: Jahrgang 2012, zweiflüglig, 2-fach IV Verglasung mit Ug-Wert 1.0 W/m<sup>2</sup>K, innenseitig auf Anschlag verschraubt
- Mine: Birsstrasse, Winterthur
- Vorgehen: Prüfung durch PFA und Lemon Consult, Erwerbsantrag, Ausbau durch Bauteilbörse Basel, Abtransport in Lager Holzbauunternehmer

12Stk. ausgewählt für Wiederverwendung



- Material: Holzmetallfenster
- Beschrieb: Jahrgang 2020, Kipp- und Drehkipppflügel, 3-fach IV Verglasung mit Ug-Wert 0.7 W/m<sup>2</sup>K
- Mine: MockUp Schulhaus Manegg, Zürich  
Hersteller: Setz Fensterbau, Schötz
- Vorgehen: Prüfung durch PFA und Lemon Consult, Erwerbsantrag, Ausbau durch Setz Fensterbau, Abtransport in Lager Emil Egger

2 Stk. ausgewählt für Wiederverwendung



- Material: Holzmetallfenster
- Beschrieb: Jahrgang 2000, Drehkippflügel, Renovationsrahmen  
2-fach IV Verglasung mit Ug-Wert 1.0 W/m<sup>2</sup>K
- Mine: Migros Hochhaus, Zürich  
Meko Fenster, Muttenz
- Vorgehen: Prüfung durch PFA und baubüro in situ, Flügel klemmen wegen ungünstiger Belastung auf Bänder, Stabilität von Renovationsrahmen nicht eruierbar, Absagen wegen technischer Unsicherheiten



- Material: Kunststofffenster
- Beschrieb: Jahrgang ca. 2000, zweiflüglig, U-Wert unbekannt
- Mine: Siedlung Riedacker, Zürich Stettbach  
Dörig Fenster
- Vorgehen: Prüfung durch PFA und baubüro in situ, Fensterbauer mittlerweile Konkurs gegangen, keine Ersatzteile mehr erhältlich, Kunststofffenster entsprechen nicht Wunsch Bauherrin, Format kleiner als gewünscht, Absage



Material: Holzmetallfenster

Beschrieb: Jahrgang ca. 1986, mehrflüglig, 2-fach  
IV Verglasung,  
U-Wert unbekannt, Glasdistanzhalter  
Alu

Mine: Aki Hirschengraben, Zürich

Vorgehen: Prüfung durch PFA und baubüro in situ,  
wird gewünschten U-Wert nicht einhalten,  
Absage





### A3. Aussentüren

#### Suchauftrag:

- A3.A Holztüren mit Holzverkleidung / Verglasung
- A3.B Metalltüren mit Verglasung
- Rahmenmaterial grundsätzlich frei, Präferenz Metall
- Ug-Wert: 1.1 W/m<sup>2</sup>K, Uf-Wert: 1.8 W/m<sup>2</sup>K, R'<sub>w</sub> + C<sub>tr</sub> ≥ 30 dB

#### Ablauf und Entscheidungen:

Aussentüren wurden widererwarten nicht in passender Ausführung gefunden. Meist erfüllten die Suchresultate die geforderten U-Werte nicht, waren nicht konform mit den Sigab-Empfehlungen, welche Anforderungen bezüglich der Verletzungssicherheit definiert oder passten bezüglich ihrer Abmessungen nicht ins Projekt. Da die Öffnungsgrössen in der Werkplanung des Holzbauers relativ früh fixiert werden mussten, wurde die Suche ohne Ergebnisse abgeschlossen.

#### Potenzielle und ausgewählte Bauteile:



|            |                                                                                                            |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material:  | Glasmetailtüre                                                                                             |
| Beschrieb: | Jahrgang 2003, einflüglig, 2-fach IV Verglasung, U-Wert unbekannt, Glasdistanzhalter Alu                   |
| Mine:      | Siedlung Zwischenbächen, Zürich                                                                            |
| Vorgehen:  | Prüfung durch PFA und baubüro in situ, wird gewünschten U-Wert und Sigab-Richtinie nicht einhalten, Absage |



- Material: Glasmetalлтüre
- Beschrieb: Jahrgang ca. 1990, zweiflüglig, 2-fach IV Verglasung, U-Wert unbekannt, Glasdistanzhalter Alu
- Mine: Siedlung Zwischenbächen, Zürich
- Vorgehen: Prüfung durch PFA und baubüro in situ, wird gewünschten U-Wert und Sigab-Richtlinie nicht einhalten, passt von den Abmessungen nicht ins Projekt, Absage



- Material: Glasmetalлтüre
- Beschrieb: Jahrgang ca. 1980, einflüglig, 2-fach IV Verglasung, innen mit Strukturglas, U-Wert unbekannt, Glasdistanzhalter Alu
- Mine: Siedlung Zwischenbächen, Zürich
- Vorgehen: Prüfung durch PFA und baubüro in situ, wird gewünschten U-Wert und Sigab-Richtlinie nicht einhalten, Zustand nicht geeignet für zweiten Lebenszyklus, Absage





#### A4. Balkonbrüstungen

Suchauftrag:

- 150 Im Balkonbrüstungen oder Füllmaterial für neue Geländerrahmen

Ablauf und Entscheidungen:

In einer relativ späten Phase des Projekts konnte eine grosse Menge an Gitterrosten lokalisiert werden, welche als Füllung für Balkongeländer eingesetzt werden können. Diese werden an Stellen verbaut, wo die Ausrichtung und Raumtiefe eine mit dem Material einhergehende Verschattung erlaubt. Im Verlauf der Suche zeigte sich auch, dass bei Geländern oftmals die Schwierigkeit besteht, dass diese als Absturzsicherung während der Rückbauphase vorhanden bleiben müssen.

Potenzielle und ausgewählte Bauteile:



|            |                                                    |
|------------|----------------------------------------------------|
| Material:  | Gitterroste                                        |
| Beschrieb: | Jahrgang ca. 1972, teils mit oberflächlichem Rost  |
| Mine:      | Biozentrum, Basel                                  |
| Vorgehen:  | aktuell in Prüfung PFA, Rückbau ab Ende April 2022 |



Material: Staketengeländer  
Beschrieb: verzinkt, ca. 14 m lang  
Mine: Landheim, Dätttau  
Vorgehen: Prüfung durch PFA,  
zu spät im Planungsprozess, An-  
schlussdetail bereits anders in Werkpla-  
nung eingeflossen, nur 1 Element in an-  
sonsten neuer Fassade, Absage



Material: Geländer mit Gitterfüllung  
Beschrieb: verzinkt, in Pfosten verschraubt, Ma-  
schengrösse 8x8cm > bekletterbar  
Mine: Landheim, Dätttau  
Vorgehen: Prüfung durch PFA,  
Maschengrösse bekletterbar, Absage



#### A5. Bodenbeläge Balkon oder Umgebung

Suchauftrag:

- Terrassendielen aus Holz
- Zement- oder Natursteinplatten für Umgebungsarbeiten

Ablauf und Entscheidungen:

Gleich zu Beginn der Bauteilsuche wurde dem Baubüro in situ ein Materialkatalog mit Eventmaterial der Messe Basel angeboten. Dies geschah aufgrund des Covid bedingten Ausfalls der geplanten Events. Im Materialkatalog enthalten waren einige hundert Quadratmeter Terrassendielen. Als sich gegen den Sommer hin die Lage für die Veranstalter veränderte, wurde das angebotene Material zurückgezogen. Anschliessend lag der Fokus auf Gehwegplatten für die Umgebungsarbeiten. Fündig wurden wir bei der ZKB Dübendorf, welche eine Natursteinfassade aufweist. Allgemein kann hier festgehalten werden, dass sich oft Ausweidlösungen anhand der Verfügbarkeit ergaben (Prinzip der "selon arrivage"). Die Herausforderung für die Projektbeteiligten bestand darin, zu unterschiedlichen Phasen auf diese neuen Gegebenheiten zu reagieren.

Potenzielle und ausgewählte Bauteile:



|            |                                                                                                                                                                 |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material:  | Naturstein (Granit)                                                                                                                                             |
| Beschrieb: | Jahrgang 1994, 3cm stark, Rückseite teils durch alte Verankerung beschädigt                                                                                     |
| Mine:      | ZKB Bürogebäude, Dübendorf                                                                                                                                      |
| Vorgehen:  | Prüfung durch PFA und baubüro in situ, Sondage, Muster auf Split verlegt und Festigkeit geprüft da Plattenstärke nicht die von der SIA geforderten 4cm beträgt, |

30 m<sup>2</sup> ausgewählt für Wiederverwendung im Haus D

30 m<sup>2</sup> ausgewählt für Wiederverwendung im Haus A



|            |                                                                                                               |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material:  | Zementsteine                                                                                                  |
| Beschrieb: | Jahrgang ca. 1990, Zustand generell sehr gut und sauber                                                       |
| Mine:      | Coop Grüzemärkte, Winterthur                                                                                  |
| Vorgehen:  | Prüfung durch Landschaftsarchitekt, Kosten verglichen mit Neumaterial deutlich zu hoch (ca. Faktor 2), Absage |

#### Zusatz: A6. Sonnenschutz

- Kein Suchauftrag

#### Ablauf und Entscheidungen:

Die Sonnenschutzelemente waren ursprünglich nicht aus wiederverwendetem Material gedacht. Da die Fensterläden von der Birsstrasse allerdings einen sehr guten Zustand aufwiesen, wurden diese mit geringem Mehraufwand gleich mitausgebaut. Dies ist beispielhaft für das Prinzip der "low hanging fruits", nach welchem bei ohnehin erfolgtem Grundaufwand bei einem Rückbau eine möglichst grosse Menge an einfach verfügbarem Material mit ausgebaut werden kann. Die nötige Initiative dafür war beim Architekturbüro und der Bauherrin spontan vorhanden. Potenzielle und ausgewählte Bauteile:



|            |                                                                                                                |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material:  | Fensterläden                                                                                                   |
| Beschrieb: | Aluminium, Alter unbekannt, grün lackiert                                                                      |
| Mine:      | Birsstrasse, Winterthur                                                                                        |
| Vorgehen:  | Prüfung durch PFA, Erwerbsantrag, Ausbau durch Bauteilbörse Basel, Abtransport in Lager des Holzbauunternehmer |

96 Stk. ausgewählt für Wiederverwendung



## I1. Boden- und Wandbeläge

### Suchauftrag:

- Rund 600 m<sup>2</sup> Bodenbelag, wahlweise Parkett oder Linoleum
- auch Restposten möglich
- Keramische Boden- und Wandbeläge für Nasszellen

### Ablauf und Entscheidungen:

Nach dem Angebotsvergleich der Holzbauer entschied sich die Bauherrin für einen Bodenaufbau mit Unterlagsboden und integrierter Bodenheizung. Da dieser bereits als Gehoberfläche dienen kann, wurde die Suche nach Parkett- und Linoleumböden eingestellt, da diese bezüglich Treibhausgasen trotz Wiederverwendung die Bilanz verschlechtert hätten (zusätzliche Schicht). Für die Verwendung in den Nasszellen wurde nach Restposten von Plattenbelägen gesucht. Diese fallen bei Überbestellungen und Änderungen der Verkaufskollektionen vielerorts an.

### Potenzielle und ausgewählte Bauteile:

Verschiedene Restbestände sind bei Plattenlegern reserviert worden.

## I2. Innentüren

### Suchauftrag:

- 64 Stk. Zimmertüren ohne Brandschutzanforderungen, erhöhte Schallschutzanforderungen
- 8 Stk. Innentüren mit Brandschutzanforderung EI30

### Ablauf und Entscheidungen:

Im ehemaligen Bürogebäude der ZKB Dübendorf wurden diverse massgleiche Innentüren gefunden. Diese erfüllten die erhöhten Schallschutzanforderungen nicht. Um die Türblätter wiederverwenden zu können, wurden die Anforderungen der Bauherrin bezüglich des wohnungsinternen Schallschutzes dem gefundenen Material angepasst.

### Potenzielle und ausgewählte Bauteile:



|            |                                                                                                                                                    |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material:  | Innentüren                                                                                                                                         |
| Beschrieb: | 1993, kunstharzbelegt, Stahlzargen teils eingemauert, teils LBW Zargen, mit Planetdichtungen                                                       |
| Mine:      | ZKB Bürogebäude, Dübendorf                                                                                                                         |
| Vorgehen:  | Prüfung durch PFA und baubüro in situ, Stahlzargen konnten nicht zerstörungsfrei ausgebaut werden, daher wurden nur die Türblätter wiederverwendet |

64 Stk. ausgewählt für Wiederverwendung





- Material: verglaste Brandschutztüren EI30
- Beschrieb: 2017, Blendrahmen, EI30 zertifiziert, mit Brandschutzglas
- Mine: Europaallee Haus Gustav, Zürich
- Vorgehen: Prüfung durch PFA und baubüro in situ, Abmessungen passen nicht ins Projekt, Absage.



- Material: Bürotüren
- Beschrieb: 2004, Eichefurnier, Blockzarge Eiche Massiv mit seitlicher Verglasung, kein Brandschutz
- Mine: Swica Bürohaus, Winterthur
- Vorgehen: Prüfung durch PFA und baubüro in situ, Ausbau nicht zerstörungsfrei möglich, da Eichenrahmen in UB eingegossen, Leibungen teils mit Gipskartonplatten überdeckt, Absage



### I3. Sanitärapparate

Suchauftrag:

- Apparate, Spiegelschränke und Garnituren für rund 36 Nasszellen
- Wunsch Gebäudeunterhalt: keine wiederverwendeten WCs

Ablauf und Entscheidungen:

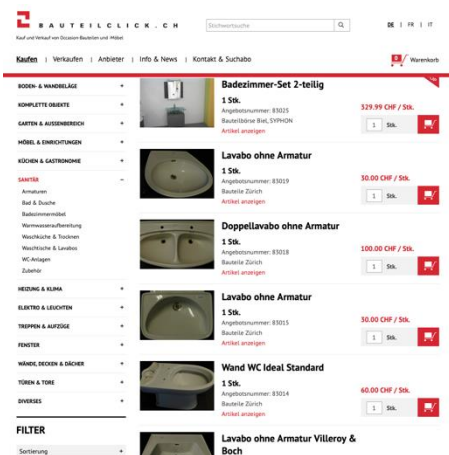
Aus dem Rückbau der Altersresident Gustav an der Europaallee in Zürich konnte eine grosse Menge an praktisch neuwertigen Sanitärapparaten, Spiegelschränken und Garnituren rückgebaut werden. Weitere Apparate werden voraussichtlich über Bauteilbörsen bezogen, da diese bereits ein funktionierendes Wiederverwendungsnetzwerk für derartige Bauteile unterhalten.

Potenzielle und ausgewählte Bauteile:



|            |                                                                                                               |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material:  | Lavabos, Spiegelschränke und Garnituren                                                                       |
| Beschrieb: | 2017, neuwertig, teils mit originaler Produktetikette                                                         |
| Mine:      | Europaallee Haus G, Zürich                                                                                    |
| Vorgehen:  | Prüfung durch PFA und baubüro in situ, Ausbau in Zusammenarbeit mit der Bauteilbörse Zürich (Stiftung Chance) |

12 Apparate, 15 Spiegelschränke und diverse Garnituren ausgewählt für Wiederverwendung im Haus D und weiteren Gebäuden



|            |                                                                                  |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Material:  | Angebot Bauteilbörsen                                                            |
| Beschrieb: | ständig wechselnde Apparate verschiedener Jahrgänge, meist gereinigt und geprüft |
| Vorgehen:  | fehlende Apparate werden über Bauteilbörse beschafft                             |





#### I4. Küchen

- Suchauftrag: 8 Atelierküchen à 4 Elemente, bevorzugt Euronorm

##### Ablauf und Entscheidungen:

In den Clusterwohnungen mit 7 bis 12 Bewohnenden sind die Anforderungen an die Küchen verglichen mit gängigen Wohnungsküchen deutlich anspruchsvoller. Daher wurde die Suche auf die Atelierküchen eingeschränkt. Grundsätzlich werden Euronormküchen bevorzugt, um auf dem gesamten Areal einheitliche Geräte einsetzen zu können. Abgesehen von Stahlküchen eignen sich Unterbauten und Schränke von Einbauküchen, welche älter als 20 Jahre sind, oftmals nur bedingt zur Wiederverwendung. Eine bezüglich Anforderungen und Geometrie grössere Flexibilität bot sich in den Gemeinschaftsräumen ausserhalb des Perimeters. Deshalb wurde entschieden, diese mit unterschiedlichen Re-Use Küchen auszustatten.

##### Potenzielle und ausgewählte Bauteile:



|                                                                         |                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material:                                                               | Einbauküche                                                                                                   |
| Beschrieb:                                                              | Unterbauten und Schränke aus lackiertem Holzwerkstoff, Abdeckung aus Kunststein                               |
| Mine:                                                                   | Europaallee Haus G, Zürich                                                                                    |
| Vorgehen:                                                               | Prüfung durch PFA und baubüro in situ, Für Haus D nicht geeignet, jedoch Einbau in Gemeinschaftsraum möglich. |
| 2 Stk. ausgewählt für Wiederverwendung in Gemeinschaftsräumen auf Areal |                                                                                                               |



Material: Stahlküche

Beschrieb: CH Norm Küche System Forster, 90er Jahre, Abdeckung aus Naturstein

Mine: Siedlung Zwischenbächen, Zürich

Vorgehen: Prüfung durch PFA und baubüro in situ, Freigabe für den Ausbau zu spät erhalten, daher wurden die Küchen anderweitig vermittelt



Material: Teeküche

Beschrieb: CH Norm Küche System Forster, 90er Jahre, Abdeckung aus Naturstein

Mine: Aki Hirschengraben, Zürich

Vorgehen: Prüfung durch PFA und baubüro in situ, gestalterisch unpassend, Abdeckung entspricht nicht den geforderten Abmessungen, Einzelstück, Absage



## I5. Wandbekleidungen aus Holz

- Suchauftrag: Wandbekleidungen aus wiederverwendeten Holzwerkstoffen

### Ablauf und Entscheidungen:

Optional zum funktionalen Leistungsbesrieb war es von den offerierenden Holzbauunternehmern gewünscht, eigene Lösungen für die Verwendung von Verschnitten und anderenorts anfallenden Rückbaumaterialien vorzuschlagen.

Das ausgewählte Unternehmen konnte leider keine entsprechenden Lösungen einbringen. Dazu muss allerdings ergänzt werden, dass der Markt für wiederverwendetes Holz und Holz im Allgemeinen durch die marktbedingte Ressourcenverknappung und die damit verbundenen sehr hohen Holzpreise, ausgetrocknet war.

### Potenzielle und ausgewählte Bauteile:



|            |                                                                                                                                                                                                                              |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material:  | Furnierschichtplatten                                                                                                                                                                                                        |
| Beschrieb: | 2018, KertoQ Platte mit Abdeckung aus Siebdruckplatte (verschraubt), teils mit Fussabdrücken und taktilen Linien                                                                                                             |
| Mine:      | Provisorium, Bahnhof Winterthur                                                                                                                                                                                              |
| Vorgehen:  | Material wurde vor Beginn des Projekts Hobelwerk für ein anderes Projekt des Baubüros in situ verwendet, eine erwartete zweite Charge war leider zum Rückbauzeitpunkt aufgrund des erhöhten Holzbedarfs nicht mehr verfügbar |



#### Zusatz: Z.I.6 Schiebetüren

Suchauftrag:

- Kein Suchauftrag

Ablauf und Entscheidungen:

Schiebetüren wurden wegen den geringen Erfolgschancen nicht in die Suchaufträge aufgenommen. Beim Rückbau der Altersresidenz Gustav an der Europaallee bot sich jedoch die Möglichkeit, einige passende Schiebetüren auszubauen. Dieser Prozess steht stellvertretend für eine iterative Planung, in welcher die Bauteilnachfrage auch durch das vorgefundene Angebot bestimmt wird.

Potenzielle und ausgewählte Bauteile:



|            |                                                                     |
|------------|---------------------------------------------------------------------|
| Material:  | Schiebetüre                                                         |
| Beschrieb: | 2018, neuwertig, inkl. Führungsschiene                              |
| Mine:      | Europaallee Haus G, Zürich                                          |
| Vorgehen:  | Prüfung durch PFA und baubüro in situ,<br>Ausbau durch Bauteilbörse |

16 Stk. ausgewählt für Wiederverwendung in Haus D



## XX. Fundstücke

### Suchauftrag:

- Kein spezifischer Suchauftrag, «Beifang» aus besichtigten Rückbauten

### Ablauf und Entscheidungen:

Naturgemäss finden sich in den besichtigten Gebäuden oftmals Bauteile, für welche vorgängig keine Suchaufträge erstellt wurden, welche sich aber trotzdem für das Projekt eignen. Diese wurden unter der Kategorie «Fundstücke» geführt, für welche ein eigenes Bauteilbudget aufgestellt wurde.

### Potenzielle und ausgewählte Bauteile:



Material: Briefkästen  
Beschrieb: System Kehrer Stebler, 6 Briefkästen und Zeitungsfach  
Mine: Siedlung Seebach, Zürich  
Vorgehen: Prüfung durch PFA und baubüro in situ, Abklärungen wegen Zylindermodell nötig, Ausbau durch Bauteilbörse

4 Stk. ausgewählt für Wiederverwendung in Haus D



Material: Schulwandtafeln  
Beschrieb: Flügel von Schulwandtafeln  
Mine: Schulhaus Buttikon  
Vorgehen: Prüfung durch PFA und baubüro in situ, Werden als Wand / Küchenverkleidung benutzt, Ausbau durch Bauteilbörse

10 Stk. ausgewählt für Wiederverwendung in Haus D





## Brüstungen und Mauerwerksteine Altes Hobelwerk

### Suchauftrag:

- Kein spezifischer Suchauftrag, Material war bereits im Besitz der Bauherrin (Rückbau)

### Ablauf und Entscheidungen:

Aus den Rückbauten, welche im Rahmen des Gestaltungsplans auf dem Hobelwerkareal durchgeführt wurden, konnten Mauerwerkbrüstungen ausgeschnitten werden. Diese werden neu auch wieder als Brüstung eingesetzt und verschliessen die Öffnung, welche durch den Abbruch entstanden ist. Zudem wurden diverse Backsteine vom Mörtel bereit, welche nun für Ausbesserungsarbeiten am Mauerwerk bereitstehen.

### Potenzielle und ausgewählte Bauteile:



- Material: Backsteinbrüstungen
- Beschrieb: Backsteinmauerwerk auf Betonsockel
- Mine: Hobelwerk, Winterthur
- Vorgehen: Prüfung durch in situ, Ausbau durch spezielle Sägetechnik-unternehmen, mit Kantenhölzern und Gewindestangen stabilisiert, vor Ort gelagert



3 Brüstungen ausgebaut für Wiederverwendung in Haus G



Material: Backsteine  
Beschrieb: Vollsteine aus bestehendem Mauerwerk  
Mine: Hobelwerk, Winterthur  
Vorgehen: Prüfung durch in situ, Ausbau von Hand mit Hammer und Meissel, Lagerung vor Ort

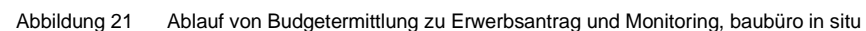
Rund 200 Steine ausgebaut für Wiederverwendung in Haus G

### 3.5.6 Erwerbsanträge und Bauteilmonitoring

Um in der Personenkonstellation genügend schnelle Entscheide fällen zu können, wurde ein Erwerbsantrag erarbeitet, welcher vor dem Ausbau von Material von je einer Vertretung der Planer- und Bauherrschaftsseite freigegeben werden muss. Darauf aufgeführt sind die geschätzten Beschaffungskosten +/- 15%, die auszubauenden Mengen und allfällige Aufbereitungsarbeiten.

Nach der Demontage wird die effektiv rückgebaute Menge, der Lagerort und die weiterhin gesuchten Mengen in einem Monitoring festgehalten und überprüft.







### 3.5.7 Ausbau / Transport / Lagerung

Verglichen mit einem konventionellen Neubau vergrösserten sich die Planungsleistungen nebst der Bauteilsuche und Beurteilung um die Bereiche Logistik und Transport. Ein effizienter Transport und eine möglichst platz- und damit kostensparende Lagerung, setzt eine geplante Palettierung voraus.

Diese wurde bei komplizierten Bauteilen meist vorgängig gezeichnet. Im Beispiel der Türblätter aus der ZKB Dübendorf wurde entschieden, diese in Palettrahmen stehend zu lagern, um damit Lagerplatz einzusparen und die Bauteile für den Transport optimal zu schützen.

Grösstenteils wurden die Bauteile im Lager von Emil Egger Bassersdorf eingelagert, da sich dieses, verglichen mit einer eigens angemieteten und unterhaltenen Lagerhalle, als deutlich kosteneffizienter erwies. Zudem wurden einige Bauteile direkt auf der Baustelle zwischengelagert. Insbesondere solche, die keine regulierten Klimabedingungen benötigen oder gut gegen die Witterung geschützt werden konnten.

Dabei war zu beachten, dass die Bauteile während des Bauablaufs möglichst nicht bewegt werden müssen, um die Synergie von Baustelle und Lagermöglichkeit effizient nutzen zu können.

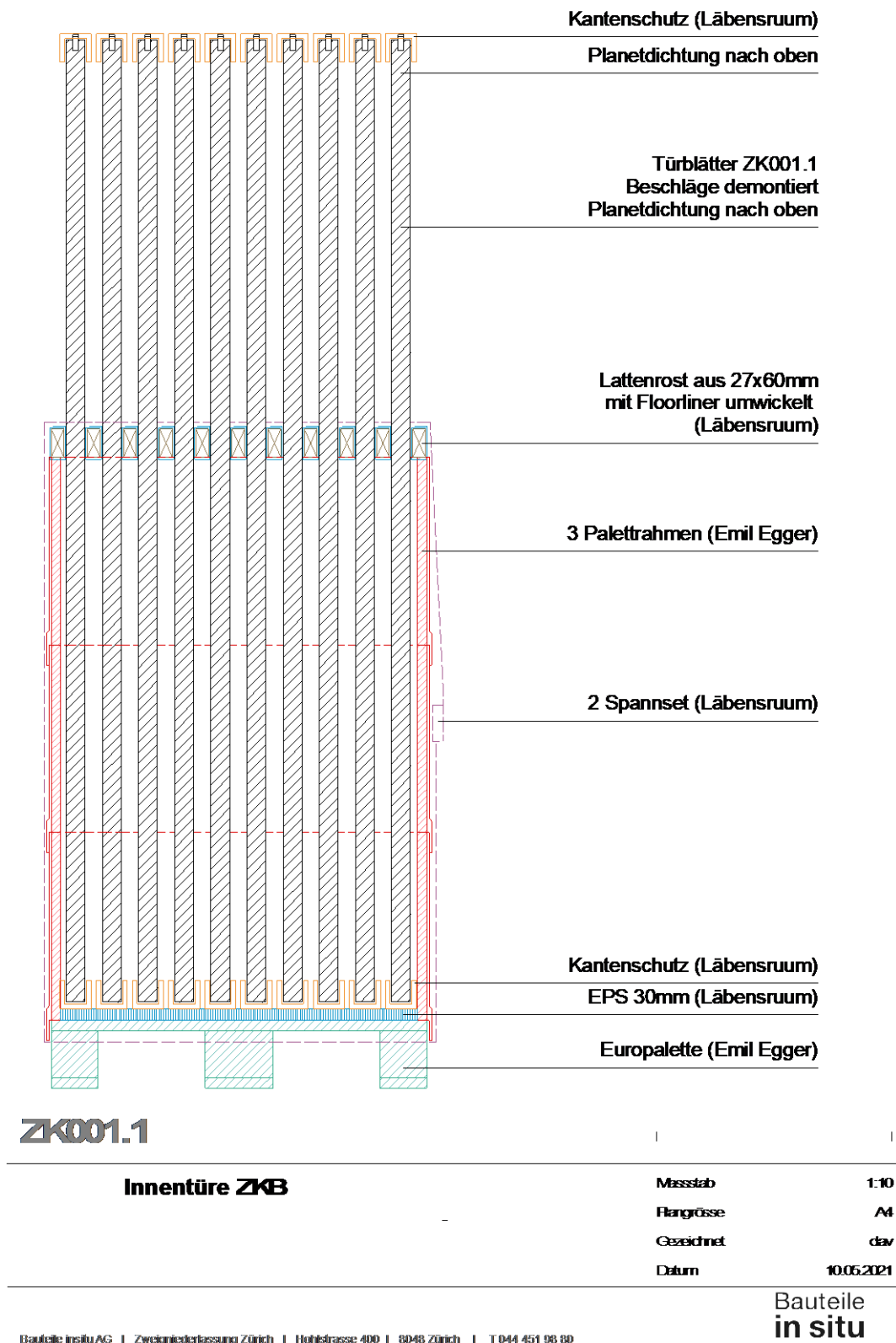
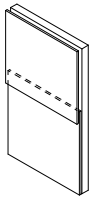


Abbildung 22 Palettierungsplan Türblätter ZKB Dübendorf, baubüro in situ

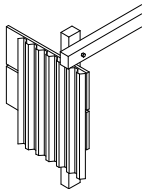


### 3.5.8 Planung Wiedereinbau

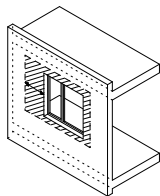
Nach Abgabe der Bauteilpässe, welche nebst den gesammelten Materialinformationen jeweils eine Massaufnahme enthalten, obliegt die Koordination der weiteren Planung dem Architekten. Um diese bereits in einer frühen Phase, in welcher noch keine Suchresultate vorliegen, möglichst ergebnisflexibel zu gestalten, wurden folgende Planungsprinzipien definiert:



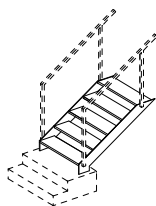
- Zusammenfügen von Baumaterialien additiv und überlappend
- Aufputz Installationen, Systemtrennung
- Schrauben statt kleben, sichtbare Verbindungen



- Lösbare Verbindungen ermöglichen einfache Reparatur und Trennung am Ende der Nutzungsdauer
- Roh- und massive Materialien gebrauchen
- Keine Verbunde machen = entkoppeln  
(Gilt im Speziellen für Bauteile mit verschiedenen Nutzungszyklen)



- Spielraum für veränderliche Dimensionen einplanen
- Detaillösungen entstehen anhand von gefundenem Material
- keine strikten Detaillösungen, sondern Systeme mit Flexibilität



- Gebrauchtes anpassen und instand stellen
- kreative Materialverwertung und unorthodoxe Lösungen
- Vorgefundenes zu etwas Neuem arrangieren

Die demontierten Bauteile wurden händisch vermessen und als zweidimensionaler CAD-Plan gezeichnet.



## 3.6 Treibhausgasbilanz der Re-Use Bauteile

### 3.6.1 Mengenbilanz

Bei Projektbeginn wurden für Haus D aufgrund der Erfahrungen von in situ und im Austausch mit Pascal Flammer Architekten zehn Bauteile für eine möglichst erfolgversprechende Bauteilsuche ausgewählt. Die tatsächlich verwendeten Mengen richten sich dabei an dem Angebot, also den tatsächlich gefundenen Mengen. Aufgrund des iterativen Charakters von Bauteilsuche und Planung wurde die Materialauswahl im Laufe der Bauteilsuche angepasst und erweitert, z.B. um die Bauteile Sonnenschutz (ZA6) und Schiebetüren (ZI6) sowie um weitere «Fundstücke» für weitere Gebäude auf dem Hobelwerk Areal (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7 Bilanz der gesuchten und gefundenen Mengen an Re-Use-Bauteilen für Haus D sowie zusätzliche Fundstücke

| Top-Ten-Bauteile und Zusatzaufträge |                                                                | Einheit        | gesucht | gefunden | %    |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------|---------|----------|------|
| A1                                  | Fassadenverkleidung nicht brennbar, Metall                     | m <sup>2</sup> | 155     | 155      | 100% |
|                                     | Fassadenverkleidung brennbar, Holz                             | m <sup>2</sup> | 940     | 0        | 0%   |
| A2                                  | Fenster - Holz/Metall, Metall oder Kunststoff                  | Stk            | 96      | 62       | 65%  |
| A3                                  | Aussentüren / Brandschutztüre                                  | Stk            | 22      | 0        | 0%   |
| A4                                  | Balkonbrüstungen - Staketengeländer oder Geländersystem        | m <sup>2</sup> | 150     | 17       | 11%  |
| A5                                  | Bodenbeläge Aussenbereich - Balkonbeläge mit gebrauchtem Holz  | m <sup>2</sup> | 280     | 280      | 100% |
| I1                                  | Boden- und Wandbeläge - Linoleum oder Parkett aus Restposten   | m <sup>2</sup> | 1'920   | 446      | 23%  |
| I2                                  | Innentüren - Blendrahmen- oder Zargentüren aus Holz            | Stk            | 72      | 64       | 89%  |
| I3                                  | Bäder - Sanitärapparate (ausgenommen WC's)                     | Stk            | 73      | 41       | 56%  |
| I4                                  | Küchen - Küchen ohne Geräte, aus Rückbauten oder Ausstellungen | Stk            | 8       | 0        | 0%   |
| I5                                  | Wandverkleidungen - Verschnitte und Restposten                 | m <sup>2</sup> | 2'247   | 0        | 0%   |
| ZA6                                 | Sonnenschutz                                                   | Stk            | 55      | 55       | 100% |
| ZI6                                 | Schiebetüren                                                   | Stk            | 37      | 16       | 43%  |
| Fundstücke                          |                                                                |                |         |          |      |
| XXA                                 | Briefkästen                                                    | Stk            | 4       | 4        |      |
| XXB                                 | Gitterrost Schmutzschleuse                                     | Stk            | 2       | 2        |      |
| XXC                                 | Brüstungselement aus Re-Use Klinker Haus G                     | m <sup>2</sup> | 7       | 7        |      |
| XXD                                 | Fenster Nordfassade Haus G                                     | m <sup>2</sup> | 28      | 28       |      |
| XXE                                 | Holzwerkstoffe, Furnierschichtplatten Haus G                   | m <sup>2</sup> | 140     | 140      |      |
| XXF                                 | Aussenbodenbeläge                                              | m <sup>2</sup> | 80      | 80       |      |

### 3.6.2 Eingesparte Treibhausgasemissionen

Die Auswirkung der Re-Use Bauteile auf die Treibhausgasbilanz wird in diesem Kapitel beschrieben. In diesem Kontext wurden zehn Bauteile analysiert. Die Einsparung an Treibhausgasemissionen durch Re-Use gegenüber einem neuen Bauteil machen zwischen -49% für den Sonnenschutz aus Aluminium und -96% für die Granitplatten aus (siehe Tabelle 8 und Abbildung 23).

Tabelle 8 Treibhausgasemissionen absolut und spezifisch (massenbezogen) von neuwertigen Bauteilen, Re-Use-Bauteilen sowie die aus der Differenz resultierende Einsparung

| Bauteil                         | Material      | Neubauteil |       | Re-Use |       | Einsparung |     |       |      |
|---------------------------------|---------------|------------|-------|--------|-------|------------|-----|-------|------|
|                                 |               | kg         | kg/kg | kg     | kg/kg | kg         | %   | kg/kg | %    |
| Fassadenverkleidung             | Aluminium     | 3'620      | 8.4   | 1'219  | 2.8   | 2'401      | 66% | 5.6   | -66% |
| Fenster                         | Holz / Metall | 16'418     | 5.4   | 8'290  | 2.7   | 8'128      | 50% | 2.7   | -50% |
| Sonnenschutz (shutter)          | Aluminium     | 18'213     | 14.6  | 9'307  | 7.5   | 8'906      | 49% | 7.1   | -49% |
| Sonnenschutz (blind)            | Aluminium     | 1'140      | 23.8  | 571    | 11.9  | 569        | 50% | 11.9  | -50% |
| Bodenbelag Balkon               | Holz          | 1'176      | 0.2   | 112    | 0.0   | 1'064      | 90% | 0.1   | -90% |
| Bodenbelag Balkon               | Granit        | 962        | 0.2   | 40     | 0.0   | 922        | 96% | 0.2   | -96% |
| Innentüren                      |               | 12'988     | 4.3   | 6'570  | 2.2   | 6'417      | 49% | 2.1   | -50% |
| Innenbauteile (exkl Innentüren) | Fliesen       | 12'953     | 1.6   | 6'644  | 0.8   | 6'308      | 49% | 0.8   | -49% |
| Aussenbereich - Gitterrost      | Metall        | 5'820      | 2.6   | 1'951  | 2.3   | 3'869      | 66% | 0.3   | -12% |
| Furniture*                      | Divers        | 3'272      | 3.2   | 1'584  | 1.1   | 1'688      | 52% | 2.1   | -66% |
|                                 |               | 76'563     |       | 36'290 |       | 40'273     | 53% |       |      |

\* Nicht in Systemgrenze SIA 2032

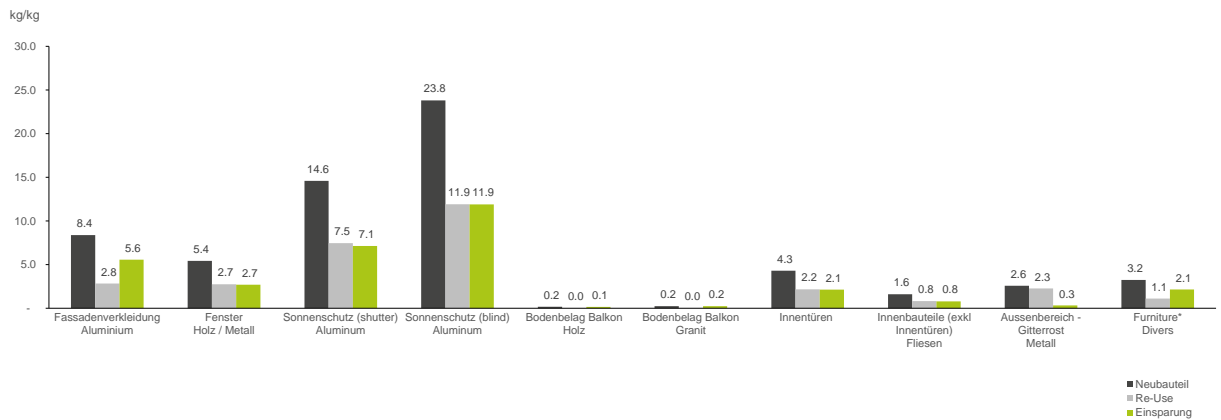


Abbildung 23 Spezifische Treibhausgasemissionen von neuwertigen Bauteilen (dunkelgrau), Re-Use-Bauteilen (hellgrau) sowie die Einsparung (in grün), bezogen auf die Masse des jeweiligen Bauteils

Für die gesamten Einsparungen sind neben der Einsparung pro Bauteil auch die Menge an verwendeten Bauteilen relevant. So spart der Sonnenschutz aus Aluminium (shutter) mit 8.9 Tonnen am meisten Treibhausgasemissionen ein. Gefolgt sind sie von den Fenstern mit 8.1 Tonnen.

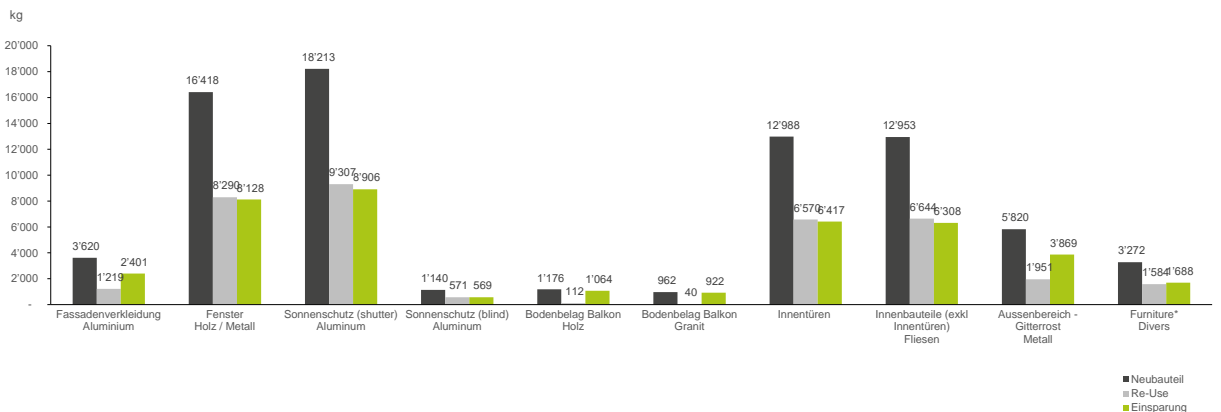


Abbildung 24 Absolute Treibhausgasemissionen von neuwertigen Bauteilen (dunkelgrau), Re-Use-Bauteilen (hellgrau) sowie die Einsparung (in grün), bezogen auf die Masse des jeweiligen Bauteils

Für die Ökobilanzierung nach SIA 2032 sind neu der zehn Bauteile zu berücksichtigen. Durch diese werden insgesamt 40 Tonnen an Treibhausgasemissionen eingespart. In Bezug auf die Energiebezugsfläche und die Lebensdauer von Haus C entspricht dies einer Einsparung von 0.50 kg/m<sup>2</sup>a. Bauteile wie Spiegel, Handtuchhalter oder Tafel wurden nicht berücksichtigt. Sie sind nicht Teil der Systemgrenze nach SIA 2032.



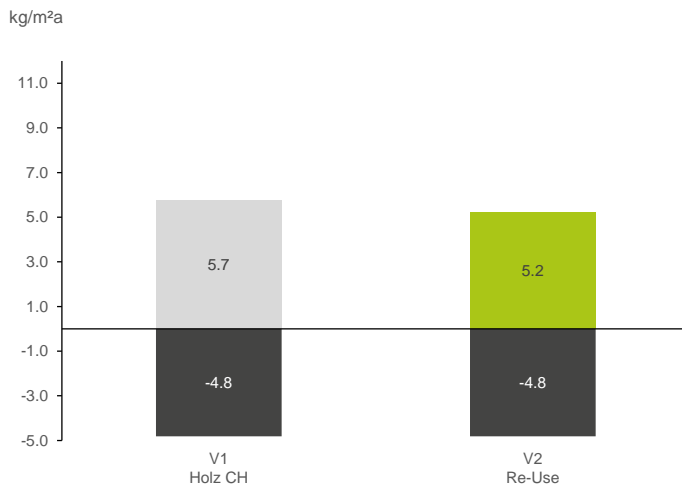


Abbildung 25 Treibhausgasemissionen für die Erstellung von Gebäude D (ohne Gebäudetechnik) ohne Berücksichtigung der verwendeten Re-Use Bauteile (V1) und in grün Haus D wie realisiert, in schwarz im Holz gespeichertes biogenes CO<sub>2</sub>

### 3.6.3 Gespeichertes biogenes CO<sub>2</sub>

Haus D ist wie Haus C ein Holzmodulbau. Auch hier wurde das Potential des im Holz gespeicherten biogenen CO<sub>2</sub> berechnet. Im Gebäude D werden rund 445 Tonnen Holz verbaut. Diese binden ca. 180 Tonnen Kohlestoff. Umgerechnet auf die Lebensdauer des Gebäudes und das Treibhausgaspotential bindet der Holzbau wie umgesetzt 4.8 kg/m<sup>2</sup>a. Es folgt, dass mehr als 90% der für die Herstellung der Baumaterialien verursachten Treibhausgasemissionen im Holz als biogenes CO<sub>2</sub> gebunden sind.



## 3.7 Kostenbilanz der Re-Use Bauteile

### 3.7.1 Kosten pro Re-Use Bauteil

Von Seite in situ wurde für jedes Bauteil ein Beschaffungsantrag mit detaillierten Kosten erstellt. Die Kosten der Re-Use Bauteile setzen sich folgendermassen zusammen:

- Kosten Erwerb, bzw. Entschädigung Eigentümerin / Verkäuferin
- Kosten Ausbau und Rüsten
- Transportkosten bis zum Lager
- Lagerkosten
- Logistikkosten in situ

Der Vergabeantrag enthält jeweils ein Bauteilbudget mit einem definierten Mengenpreis, der vom Kostenvoranschlag Neubau abgeleitet wird. Dies wird in den folgenden Aufstellungen mit den effektiv abgerechneten Kosten pro Re-Use Bauteil verglichen, da die Kosten in den Beschaffungsanträgen teilweise signifikant von den abgerechneten Kosten abweichen (siehe Tabelle 9). Diese effektiv abgerechneten Kosten wurden zusätzlich mit dem Honorar der Bauteilsuche anteilmässig gemäss Bauteilkosten ergänzt (siehe Tabelle 10).

Tabelle 9 Übersicht über die Bauteile, Anzahl und Bezeichnung

| Bauteilkategorie                      | Bauteil-Nr. | Bezeichnung Baubüro in situ   | Anzahl | Einheit        |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------------|--------|----------------|
| A1 Fassadenverkleidung nicht brennbar | GR001       | Aluminium Wellblech Grüze     | 155    | m <sup>2</sup> |
| A2 Fenster                            | EB003       | Balkonfenster Eisenbahnergen. | 12     | Stk.           |
| A2 Fenster                            | EB004       | Zimmerfenster Eisenbahnergen. | 48     | Stk.           |
| A2 Fenster                            | MA001       | Fenster Schulhaus Manegg      | 2      | Stk.           |
| A4 Balkonbrüstungen                   | PZ_J_004    | Gitterroste Propog            | 17     | m <sup>2</sup> |
| A5 Aussenbodenbeläge                  | ZK005(D)    | Granitplatten                 | 30     | m <sup>2</sup> |
| A5 Aussenbodenbeläge                  | IPE001      | IPE Terrassendielen           | 250    | m <sup>2</sup> |
| Z.A. 6 Sonnenschutz                   | EB005       | Fensterläden Eisenbahnergen.  | 53     | Stk.           |
| Z.A. 6 Sonnenschutz                   | MA002       | Storen zu Fenster MA001       | 2      | Stk.           |
| I1 Boden- und Wandbeläge              | PG001       | Restposten Platten Ganz       | 446    | m <sup>2</sup> |
| I2 Innentüren                         | ZK001       | Türblätter ZKB Dübendorf      | 63     | Stk.           |
| I3 Bäder                              | EA003       | Waschtisch                    | 10     | Stk.           |
| I3 Bäder                              | EA004       | Spiegelschrank                | 15     | Stk.           |
| I3 Bäder                              | KSW 005     | Spiegelschrank                | 14     | Stk.           |
| I3 Bäder                              | EA009       | DuschWC mit AP Spühlkasten    | 1      | Stk.           |
| I3 Bäder                              | EA025       | Ausguss und Armatur           | 1      | Stk.           |
| I3 Bäder                              | EA005       | Haltegriff WC klappbar        | 1      | Stk.           |
| I3 Bäder                              | EA006       | Haltegriff WC klein           | 1      | Stk.           |
| I3 Bäder                              | EA007       | Handtuchhalter                | 11     | Stk.           |
| I3 Bäder                              | BH011       | Handtuchstangen               | 23     | Stk.           |
| Z.I.6 Schiebetüren                    | EA001       | Schiebetüren Europaallee      | 15     | Stk.           |
| Z.I.6 Schiebetüren                    | EA001       | Schiebetüren Europaallee      | 1      | Stk.           |
| XX. Fundstücke                        | SB001       | Briefkästen Seebach 6er       | 4      | Stk.           |



Tabelle 10 Kosten Re-Use versus Kosten neue Bauteile, pro Kategorie (rot = teurer, grün = günstiger)

| Bezeichnung                   | Anzahl | Einheit        | Gesamtkosten bis Lager<br>Re-Use Bauteil mit Hono-<br>rarkosten (brutto) | Vergleich Material<br>neu |
|-------------------------------|--------|----------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Aluminium Wellblech Grüze     | 155    | m <sup>2</sup> | 24'309 CHF                                                               | 9'218 CHF                 |
| Balkonfenster Eisenbahnergen. | 12     | Stk.           | 12'952 CHF                                                               | 14'625 CHF                |
| Zimmerfenster Eisenbahnergen. | 48     | Stk.           | 45'520 CHF                                                               | 40'320 CHF                |
| Fenster Schulhaus Manegg      | 2      | Stk.           | 3'356 CHF                                                                | 5'076 CHF                 |
| Gitterroste Propog            | 17     | m <sup>2</sup> | 6'524 CHF                                                                | 1'925 CHF                 |
| Granitplatten                 | 30     | m <sup>2</sup> | 2'273 CHF                                                                | 1'200 CHF                 |
| IPE Terrassendielen           | 250    | m <sup>2</sup> | 9'055 CHF                                                                | 17'688 CHF                |
| Fensterläden Eisenbahnergen.  | 53     | Stk.           | 11'753 CHF                                                               | 21'733 CHF                |
| Storen zu Fenster MA001       | 2      | Stk.           | in Fenster Schulhaus Manegg enthalten                                    |                           |
| Restposten Platten Ganz       | 446    | m <sup>2</sup> | 11'312 CHF                                                               | 16'320 CHF                |
| Türblätter ZKB Dübendorf      | 63     | Stk.           | 15'714 CHF                                                               | 25'800 CHF                |
| Waschtisch                    | 10     | Stk.           | 3'882 CHF                                                                | 3'065 CHF                 |
| Spiegelschrank                | 15     | Stk.           | 5'823 CHF                                                                | 6'761 CHF                 |
| Spiegelschrank                | 14     | Stk.           | 3'834 CHF                                                                | 6'310 CHF                 |
| DuschWC mit AP Spülkasten     | 1      | Stk.           | 388 CHF                                                                  |                           |
| Ausguss und Armatur           | 1      | Stk.           | 388 CHF                                                                  | 185 CHF                   |
| Haltegriff WC klappbar        | 1      | Stk.           | 388 CHF                                                                  | 606 CHF                   |
| Haltegriff WC klein           | 1      | Stk.           | 388 CHF                                                                  |                           |
| Handtuchhalter                | 11     | Stk.           | 4'270 CHF                                                                | 336 CHF                   |
| Handtuchstangen               | 23     | Stk.           | 3'973 CHF                                                                | 702 CHF                   |
| Schiebetüren Europaallee      | 15     | Stk.           | 5'015 CHF                                                                | 7'845 CHF                 |
| Schiebetüren Europaallee      | 1      | Stk.           | 334 CHF                                                                  | 523 CHF                   |
| Briefkästen Seebach 6er       | 4      | Stk.           | 2'789 CHF                                                                | 2'200 CHF                 |
| <b>Gesamtbilanz</b>           |        |                | <b>174'242 CHF</b>                                                       | <b>182'438 CHF</b>        |



Tabelle 11 Kosten Re-Use versus Kosten neue Bauteile, pro Einheit

| Bezeichnung                   | Einheit        | Gesamtkosten bis Lager Re-Use Bauteil mit Honorarkosten (brutto) | Vergleich Material neu | Abweichung |
|-------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------|------------------------|------------|
| Aluminium Wellblech Grüze     | m <sup>2</sup> | 156.83 CHF                                                       | 59 CHF                 | 266%       |
| Balkonfenster Eisenbahnergen. | Stk.           | 1079 CHF                                                         | 1219 CHF               | 89%        |
| Zimmerfenster Eisenbahnergen. | Stk.           | 948 CHF                                                          | 840 CHF                | 113%       |
| Fenster Schulhaus Manegg      | Stk.           | 1678 CHF                                                         | 2538 CHF               | 66%        |
| Gitterroste Propog            | m <sup>2</sup> | 384 CHF                                                          | 110 CHF                | 349%       |
| Granitplatten                 | m <sup>2</sup> | 76 CHF                                                           | 40 CHF                 | 189%       |
| IPE Terrassendielen           | m <sup>2</sup> | 36 CHF                                                           | 59 CHF                 | 61%        |
| Fensterläden Eisenbahnergen.  | Stk.           | 222 CHF                                                          | 453 CHF                | 49%        |
| Storen zu Fenster MA001       | Stk.           | in Fenster Schulhaus Manegg enthalten                            |                        |            |
| Restposten Platten Ganz       | m <sup>2</sup> | 25 CHF                                                           | 3CHF                   | 833%       |
| Türblätter ZKB Dübendorf      | Stk.           | 249 CHF                                                          | 404 CHF                | 62%        |
| Waschtisch                    | Stk.           | 388 CHF                                                          | 306 CHF                | 127%       |
| Spiegelschrank                | Stk.           | 388 CHF                                                          | 451 CHF                | 86%        |
| Spiegelschrank                | Stk.           | 274 CHF                                                          | 451 CHF                | 61%        |
| Dusch-WC mit AP Spühlkasten   | Stk.           | 388 CHF                                                          |                        |            |
| Ausguss und Armatur           | Stk.           | 388 CHF                                                          | 185 CHF                | 210%       |
| Haltegriff WC klappbar        | Stk.           | 388 CHF                                                          | 606 CHF                | 64%        |
| Haltegriff WC klein           | Stk.           | 388 CHF                                                          |                        |            |
| Handtuchhalter                | Stk.           | 388 CHF                                                          | 31 CHF                 | 1252%      |
| Handtuchstangen               | Stk.           | 173 CHF                                                          | 31 CHF                 | 557%       |
| Schiebetüren Europaallee      | Stk.           | 334 CHF                                                          | 523 CHF                | 64%        |
| Schiebetüren Europaallee      | Stk.           | 334 CHF                                                          | 523 CHF                | 64%        |
| Briefkästen Seebach 6er       | Stk.           | 697 CHF                                                          | 550 CHF                | 127%       |

Bisher zeigt sich, dass komplexe, durch aufwändige Arbeiten hergestellte Bauteile, wie z.B. Fenster, tendenziell kostengünstiger wiederverwendet werden können. Einfache Baustoffe wie Holz, Bleche oder Plattenbeläge sind hingegen eher teurer.

### 3.7.2 Honorar für die Re-Use-Planung und Verhältnis zu den Re-Use-Gesamtkosten

#### Bauteiljäger Phase 0

Diese Planungskosten belaufen sich auf insgesamt CHF 62'000.- (inklusive Nebenkosten und Mehrwertsteuer) oder rund ein Drittel der gesamten Bauteilkosten der eingebauten Re-Use Bauteile. Unter diesem Aspekt werden die Einsparungen von rund CHF 8'200.- oder 4.5 % auf die Summe der Re-Use Bauteile zu Mehrkosten im Rahmen von rund CHF 55'000.- oder knapp 30 %.

Im Verhältnis zu den Baukosten des Haus D, rund 8.5 Millionen, machen diese Mehrkosten von CHF 55'000.- einen Anteil von 0.6 % aus. In Anbetracht der Gesamtkosten Re-Use von rund CHF 236'242.- oder 2.8 % der Bausumme, ist die Höhe der Planungskosten doch verhältnismässig hoch. Ob dies von den vielen, nicht realisierten Re-Use Bauteilanträgen herkommt, muss noch untersucht werden.



### 3.7.3 Treibhausgas-Vermeidungskosten

Als einfacher Indikator sollen die Mehrinvestitionskosten der einzelnen Bauteile den eingesparten Treibhausgasemissionen gegenübergestellt werden. Damit kann der Preis pro Kilogramm eingespartes CO<sub>2,eq</sub> (Treibhausgas-Vermeidungskosten) in der Erstellung ermittelt und die bezüglich der Kosteneffizienz interessanteren Re-Use-Bauteile eruiert werden.

Tabelle 12 Mehr-/Minderkosten und eingesparte Treibhausgasemissionen der Re-Use-Bauteile

| Bezeichnung                   | Gesamtkosten bis<br>Lager Re-Use Bauteil<br>mit Honorarkosten<br>(brutto) | Vergleich<br>Material neu | Differenzkosten<br>Re-Use minus<br>neu | Eingesparte<br>THGE<br><br>kg |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|
|                               | CHF                                                                       | CHF                       | CHF                                    |                               |
| Aluminium Wellblech Grüze     | 24'309.00                                                                 | 9'218.00                  | 15'091.00                              | 2'401                         |
| Balkonfenster Eisenbahnergen. | 12'952.00                                                                 | 14'625.00                 | -1'673.00                              | 8'128                         |
| Zimmerfenster Eisenbahnergen. | 45'520.00                                                                 | 40'320.00                 | 5'200.00                               |                               |
| Fenster Schulhaus Manegg      | 3'356.00                                                                  | 5'076.00                  | -1'720.00                              |                               |
| Gitterroste Propog            | 6'524.00                                                                  | 1'925.00                  | 4'599.00                               | 3'869                         |
| Granitplatten                 | 2'273.00                                                                  | 1'200.00                  | 1'073.00                               | 922                           |
| IPE Terrassendielen           | 9'055.00                                                                  | 17'688.00                 | -8'633.00                              | 1'064                         |
| Fensterläden Eisenbahnergen.  | 11'753.00                                                                 | 21'733.00                 | -9'980.00                              | 8'906                         |
| Storen zu Fenster MA001       | in Fenster Schulhaus Manegg enthalten                                     |                           |                                        |                               |
| Restposten Platten Ganz       | 11'312.00                                                                 | 16'320.00                 | -5'008.00                              | 6'308                         |
| Türblätter ZKB Dübendorf      | 15'714.00                                                                 | 25'800.00                 | -10'086.00                             | 6'417                         |
| Waschtisch                    | 3'882.00                                                                  | 3'065.00                  | 817.00                                 |                               |
| Spiegelschrank                | 5'823.00                                                                  | 6'761.00                  | -938.00                                |                               |
| Spiegelschrank                | 3'834.00                                                                  | 6'310.00                  | -2'476.00                              |                               |
| DuschWC mit AP Spülkasten     | 388.00                                                                    |                           |                                        |                               |
| Ausguss und Armatur           | 388.00                                                                    | 185.00                    | 203.00                                 |                               |
| Haltegriff WC klappbar        | 388.00                                                                    | 606.00                    | -218.00                                |                               |
| Haltegriff WC klein           | 388.00                                                                    |                           |                                        |                               |
| Handtuchhalter                | 4'270.00                                                                  | 336.00                    | 3'934.00                               |                               |
| Handtuchstangen               | 3'973.00                                                                  | 702.00                    | 3'271.00                               |                               |
| Schiebetüren Europaallee      | 5'015.00                                                                  | 7'845.00                  | -2'830.00                              | 1'019                         |
| Schiebetüren Europaallee      | 334.00                                                                    | 523.00                    | -189.00                                |                               |
| Briefkästen Seebach 6er       | 2'789.00                                                                  | 2'200.00                  | 589.00                                 |                               |
| <b>Gesamtbilanz</b>           | <b>174'242.00</b>                                                         | <b>182'438.00</b>         | <b>-8'196.00</b>                       |                               |

Für die vorhandenen Zahlen der Ökobilanzen wird nun der Investitionsbetrag pro Kilogramm eingespartes CO<sub>2,eq</sub> (Treibhausgas-Vermeidungskosten) berechnet.



Tabelle 13 Resultierende Treibhausgas-Vermeidungskosten pro Re-Use-Bauteil

| Bezeichnung                   | Differenzkosten<br>Re-Use minus<br>neu<br><br>CHF | Differenzkosten<br>Re-Use minus<br>neu<br>gruppiert<br><br>CHF | Eingesparte<br>THG gemäss<br>Berechnung<br><br>kg | Investitions-<br>kosten pro kg<br>gespartes<br>CO <sub>2</sub> eq<br><br>CHF/kg |
|-------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Aluminium Wellblech Grüze     | 15'091.00                                         | 15'091.00                                                      | 2'401                                             | 6.3                                                                             |
| Balkonfenster Eisenbahnergen. | -1'673.00                                         | 3'527.00                                                       | 8'128                                             | 0.43                                                                            |
| Zimmerfenster Eisenbahnergen. | 5'200.00                                          |                                                                |                                                   |                                                                                 |
| Gitterroste Propog            | 4'599.00                                          | 4'599.00                                                       | 3'869                                             | 1.19                                                                            |
| Granitplatten                 | 1'073.00                                          | 1'073.00                                                       | 922                                               | 1.16                                                                            |
| IPE Terrassendielen           | -8'633.00                                         | -8'633.00                                                      | 1'064                                             | -7.7                                                                            |
| Fensterläden Eisenbahnergen.  | -9'980.00                                         | -9'980.00                                                      | 8'906                                             | -1.12                                                                           |
| Restposten Platten Ganz       | -5'008.00                                         | -5'008.00                                                      | 6'308                                             | -0.79                                                                           |
| Türblätter ZKB Dübendorf      | -10'086.00                                        | -10'086.00                                                     | 6'417                                             | -1.57                                                                           |
| <b>Total</b>                  | <b>-9'417.00</b>                                  | <b>-9'417.00</b>                                               | <b>38'015</b>                                     | <b>-0.25</b>                                                                    |

### 3.7.4 Fazit

Die Verwendung von Re-Use Bauteilen resultiert nicht zwingend in Mehrkosten für das Gebäude. Im Gegenteil, es besteht sogar die Möglichkeit von Einsparungen bei Verwendung von Re-Use Bauteilen. Hier sind im Besonderen die teureren Bauteile, wie Fenster oder hochwertige Wand-, bzw. Bodenbeläge zu nennen. Die zuzüglichen Planungskosten sind entsprechend im Verhältnis zur realisierten Re-Use-Quote (Kostenanteil) zu sehen.

## 3.8 Interviews mit Fachspezialistinnen und Bewohnenden

Beim Haus D auf dem Hobelwerk Areal in Winterthur erprobte die Baugenossenschaft mehr als wohnen zum ersten Mal den Einsatz von wiederverwendeten Bauteilen in einem ihrer Projekte. Das Projekt wurde als Zusammenarbeit zwischen mehr als wohnen und Topik Partner (Vertretung Auftraggebende) Pascal Flammer Architektur, Zirkular GmbH (Fachplanungsbüro Re-Use), Baltensperger AG (Holzbau) und weiteren Akteuren realisiert. In vier verschiedenen Interviews erzählen die am Bau Beteiligten, welche Herausforderungen für sie entstanden und wie sie diese meisterten. Die vollständigen Interviews mit den Fachspezialistinnen sind in im Anhang 9.3 wiedergegeben.

Die Fachspezialisten-Interviews zeigen deutlich, dass das Bauen mit wiederverwendeten Bauteilen komplexer und zeitaufwendiger ist als konventionelles Bauen. Es erfordert eine frühzeitige Entscheidung für Re-Use, klare Verantwortlichkeiten und eine enge Zusammenarbeit aller am Bau Beteiligten und mit erfahrenen Fachplanenden. Angesprochen wurden auch politische Entscheidungen und Förderinitiativen, um Re-Use finanziell attraktiver zu gestalten und zu verbreiten.

Die Befragung der Bewohnenden erfolgt – zusammen mit der Erhebung weiterer Informationen – im Rahmen eines Online-Fragebogens im Sommer 2024.





## 3.9 Bewertung der Ergebnisse

### 3.9.1 Gewählte Strategie und Entscheidungen

Grundsätzlich erwies sich der gewählte Weg für die Planenden und die Bauherrin als lehrreich. Als eines der ersten Wohnbauprojekte mit grossmassstäblich geplanter Wiederverwendung in der Schweiz konnten Erfahrungen mit einigen breit verfügbaren Bauteilgruppen gesammelt werden. Durch eine noch frühere Planung mit wiederverwendeten Bauteilen könnten diese Bauteilgruppen zusätzlich noch um Treibhausgas-intensivere Konstruktionsaufbauten erweitert werden (Tragwerk, Treppen, Innenwandaufbauten).

Für künftige Projekte bleibt es wichtig, dass auch Materialien, welche nicht Teil des definierten Suchauftrags sind, besprochen und geprüft werden. Es ist zu erwarten, dass anhand der fortlaufend gesammelten Erfahrungen bei Demontage und Wiedereinbau, künftig bereits in früheren Projektphasen mehr Planungs- und Kostensicherheit bestehen wird und der Planungsablauf mit Wiederverwendung insgesamt konsistenter werden wird. Solange jedoch die wiederzuverwendenden Bauteile zu Planungsbeginn noch nicht ausgebaut, eingelagert und vermessen sind, wird Planung und Bauteilsuche als iterativer Prozess funktionieren müssen.

Die im Projekt erarbeiteten Abläufe bedürfen jedoch noch weiterer Etablierung im regulären Planungsprozess, wobei sicherlich auch eine stellenweise Normierung hilfreich wäre. Auch scheint es förderlich, das rechtliche und finanzielle Risiko weiter zu minimieren. Förderlich dafür wären Materialbanken (sog. Bauteilhubs) welche unabhängig vom Zielprojekt Material sammeln und dieses mit gegebener Kostensicherheit weiterverkaufen.

### 3.9.2 Mengen und Qualität

Grundsätzlich konnte im bisherigen Verlauf der Bauteilsuche zu allen der 11 definierten Bauteilkategorien Suchergebnisse vorgelegt werden. Zudem konnten Bauteile von drei weiteren Kategorien ausgebaut werden, welche ursprünglich nicht für die Bauteilsuche vorgesehen waren. Damit wurde das Vorgehen grundsätzlich bestätigt.

Die schweizweit aus dem Rückbau verfügbaren Bauteile werden aktuell durch die Wiederverwendung in Neu- und Umbauprojekten nicht ansatzweise ausgeschöpft. Bei unveränderter Rückbautätigkeit kann mit dem verfügbaren Material auch eine starke Zunahme der Nachfrage nach wiederverwendbaren Bauteilen gedeckt werden. Die benötigte Menge und Qualität der Bauteile können somit voraussichtlich für weitere, grössere Projekte erwartet werden.

### 3.9.3 Aussichten

Bessere Möglichkeiten für Datenmanagement:

Die Möglichkeit, Material direkt aus Lagern (Bauteilhubs) beschaffen zu können, würde den Prozess bezüglich Planungs- und Kostensicherheit deutlich vereinfachen. Dazu sind auf theoretischer Ebene in einigen Hochschularbeiten Überlegungen gemacht worden. Abgesehen von klassischen Bauteilbörsen, welche sich in erster Linie auf Kleinbauteile wie Lavabos, Küchen, Heizkörper und dergleichen konzentrieren, sind solche Bauteilhubs bisher nicht vorhanden. Gründe dafür könnten finanzielle Unsicherheiten und eine bisher ungewisse (aber subjektiv wachsende) Nachfrage sein.

## 3.10 Weiteres Vorgehen

Die Forschungsarbeiten sind im Arbeitspaket AP2 weitgehend abgeschlossen. Die Befragung und Evaluation der Nutzenden-Perspektive (Bewohnende und Betrieb) wird im Sommer 2024 durchgeführt und die Auswertung der Ergebnisse erfolgt im nächsten Zwischenbericht.



## 4 AP3: CO<sub>2</sub>-geregelte Abluftanlage

### 4.1 Ausgangslage

In der Schweiz sind im Wesentlichen drei Typen von Wohnungslüftungsanlagen verbreitet:

1. **Zu-/Abluftanlagen** mit Wärmerückgewinnung, umgangssprachlich als Komfortlüftung bezeichnet. Diese führen vorgewärmte Aussenluft in die Wohn- und Schlafräume und saugen Abluft aus Nassräumen und Küchen ab.
2. **Einfache Abluftanlagen** ohne Dauerbetrieb, umgangssprachlich als Bedarfslüftung bezeichnet. Diese entlüften Nassräume und Kochstellen, während diese benutzt werden. Schlaf- und Wohnzimmer müssen durch die NutzerInnen über Fenster belüftet werden.
3. **Einfache Abluftanlagen mit Dauerbetrieb**. Die Nachströmung der Aussenluft erfolgt in der Regel über Aussenluftdurchlässe (ALD). Dank des permanenten Luftaustauschs ermöglichen diese Anlage auch ohne unterstützende Fensterlüftung die Sicherstellung von Feuchteschutz und Raumluftqualität.

Bisher müssen Abluftanlagen mit Dauerbetrieb zwingend mit einer Wärmerückgewinnung ausgerüstet werden. Die Wärmerückgewinnung erfolgt in der Regel durch eine Abluft-Wärmepumpe für die Warmwassererzeugung. Mit der Umsetzung der neuen Musterverordnung der Kantone im Energiebereich (MuKE 2014) [49], können einfache Abluftanlagen mit Dauerbetrieb auch ohne Wärmerückgewinnung realisiert werden, sofern der Abluftvolumenstrom anhand von CO<sub>2</sub>- oder Feuchtesensoren geregelt wird.

Dank dem bedarfsgeregelten Betrieb soll der durchschnittlich geförderte Abluftvolumenstrom deutlich tiefer liegen als bei Abluftanlagen mit konstantem Dauerbetrieb. Der Strombedarf der Abluftventilatoren und die Lüftungswärmeverluste im Winter sollen dadurch um rund 50% reduziert werden können. Zudem wird eine Verbesserung des thermischen Komforts im Winter erwartet, dank einer höheren relativen Raumluftfeuchtigkeit und weniger Zugluft im Bereich der Aussenluftdurchlässe.

Ob die Bedarfsregelung des Abluftvolumenstroms die erhoffte Steigerung von Energieeffizienz und Komfort in der Praxis tatsächlich erfüllt, ist offen. Auch die Akzeptanz durch die Bewohnenden sowie die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit dieser Lösung sollen untersucht werden.

Im Hobelwerk Areal werden im Rahmen des Arbeitspakets AP3 drei Mehrfamilienhäuser mit insgesamt 150 CO<sub>2</sub>-geregelten Abluftventilatoren ausgerüstet, im Betrieb messtechnisch untersucht, die Wirtschaftlichkeit, die Treibhausgasemissionen und die Akzeptanz durch Befragungen der Bewohnenden ausgewertet.

### 4.2 Stand der Forschung

In den vergangenen Jahren wurden mehrere Studien im Auftrag des Bundesamts für Energie mit dem Ziel erarbeitet, die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Wohnungslüftungssysteme zu quantifizieren.

Die umfangreiche Studie *Vergleich von Lüftungskonzepten für Wohnbauten* der Hochschule Luzern [50] vergleicht fünf Lüftungskonzepte bezüglich Treibhausgasemissionen und Jahreskosten, darunter auch Abluftanlagen im Dauerbetrieb und Fensterlüftung kombiniert mit Abluftanlagen. Nicht untersucht werden Abluftanlagen mit CO<sub>2</sub>-Regelung des Volumenstroms.

Die Studie FENLEG [51] wertet Abluftkonzepte mit unterschiedlichen Aussenluftdurchlässen (Fensterlüftern) in 28, mehrheitlich sanierten, Gebäuden messtechnisch aus. Der Fokus der Studie liegt auf der Schimmelfreiheit. Neben den Zu- und Abluftvolumenströmen im Auslegungsfall werden auch Langzeitmessungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration der Raumluft, Raumtemperatur und Rauluftfeuchte sowie eine Befragung der Bewohnenden ausgewertet.



In der Studie ABLEG [52] werden die produktspezifischen Abluftsysteme der Firmen Aereco und Trivent messtechnisch untersucht. Beide Systeme arbeiten mit variablem Abluftvolumenstrom. Das System von Trivent arbeitet mit dezentralen Abluftventilatoren in jedem Nassraum. Die Abluftventilatoren können via Feuchtesensoren sowie über eine zeitgesteuerte Stufenschaltung betrieben werden. Eine Spezialität von Aereco ist die selbsttätige Feuchteregelung: Bei tiefer relativer Raumluftfeuchte drosselt ein feuchtesensitives Kunststoffband den Zuluftvolumenstrom durch die Aussenluftdurchlässe.

Die Studie *Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie* [53] untersucht zehn Objekte bezüglich Hygiene und Luftmengen vor und nach Filterwartung und Reinigung. Die Messungen beschränken sich auf den Zustand bei Nennvolumenstrom. In der Untersuchung wurde die Raumluftqualität weder gemessen noch durch eine systematische Befragung erfasst.

Im BFE-Leuchtturmprojekt *2000-Watt-Leuchtturm-Areal mehr als wohnen* konnten verschiedene Wohnungslüftungssysteme im Betrieb untersucht und verglichen werden. Die neun Häuser mit Abluftanlagen wiesen dabei einen im Vergleich zu den Planungswerten eher geringen Heizwärme- und Lüftungsstromverbrauch auf. Bei den vier Häusern mit Zu-/Abluftanlagen werden dagegen die Planungswerte deutlich überschritten.

In allen vorgenannten Studien wird auf die Problematik der thermischen Behaglichkeit (Zugerscheinungen) bei Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen hingewiesen.

Im Rahmen des Arbeitspaktes AP3 wird das Problem der Zugluft mittels einer erweiterten CO<sub>2</sub>-Regelung des Abluftvolumenstroms adressiert und gleichzeitig die Energieeffizienz verbessert sowie die Erkenntnisse aus dem Hunziker Areal, dem ersten P+D-Projekt von mehr als wohnen [5], erweitert.

### 4.3 Fragestellung und Zielsetzung

Es wird eine marktübliche Lösung mit einer Neuentwicklung verglichen. Ziel ist zu prüfen, ob eine Abluftanlage, welche über die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Raumluft geregelt wird, einen angemessenen thermischen Komfort und eine akzeptable Raumluftqualität bei geringem Ressourceneinsatz sicherstellen kann. Während auf dem Hunziker Areal der geringe Ressourceneinsatz für ein System ohne Regelung über die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Raumluft bereits gezeigt werden konnte, gab es bezüglich des thermischen Komforts bzw. der Akzeptanz durch die Nutzenden noch Verbesserungsbedarf.

In den Häusern A und B des Hobelwerks wurden marktübliche Einzelventilatoren je Nasszelle sowie in den Reduits verbaut. Die Abluftventilatoren werden über Präsenzschnalter und bei Überschreitung des Schwellenwerts für die relative Luftfeuchtigkeit aktiviert (Feuchteschutz-Lüftung). In den Häusern C, D und E wird dagegen eine CO<sub>2</sub>-Regelung des Abluftvolumenstroms pro Wohnung eingesetzt (kontrollierte Lüftung). Die Aussenluft strömt in allen Gebäuden über manuell schliessbare Aussenluftdurchlässe nach.

Der thermische Komfort soll zudem durch eine automatische Reduktion des Volumenstroms bei Aussen-temperaturen < 0 °C (geringeres Zugluftisiko, geringere Wärmeverluste) und > 25°C (geringerer Wärmeeintrag) in Anlehnung an SIA 382/1, verbessert werden können.

Im Rahmen des Pilotprojekts sollen folgende Arbeitshypothesen überprüft werden:

- Gegenüber einer reinen Feuchteschutz-Lüftung (Häuser A + B) werden im Durchschnitt tiefere Raumluft-CO<sub>2</sub>-Konzentrationen erreicht. Dank der besseren Raumluftqualität müssen die Fenster durch die Bewohnenden seltener geöffnet werden.
- Die Luftqualität ist vergleichbar mit einer mehrstufigen, zeitgesteuerten Zu-/Abluftanlage und die Anzahl geöffneter Fenster im Winter ähnlich (Vergleich mit dem Hunziker Areal, Haus B).



- Eine CO<sub>2</sub>-geregelter Abluftanlage mit Einzelventilatoren führt gegenüber einer Abluftanlage mit konstantem Volumenstrom (Hunziker Areal) zu einer deutlichen Reduktion des durchschnittlichen Aussenluftvolumenstroms.
- Aufgrund des reduzierten Aussenluft-Volumenstroms ist der Energieverbrauch für die Luftförderung und die Erwärmung der Aussenluft vergleichbar mit einer Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung.
- Die Investitionskosten einer CO<sub>2</sub>-geregelter Abluftanlage mit Einzelventilatoren sind vergleichbar mit jenen einer reinen Feuchteschutz-Lüftung (Häuser A, B) und deutlich tiefer als bei einer Zu-/Abluftanlage.
- Die Erstellung der CO<sub>2</sub>-gesteuerten Abluftanlage ist Bezug auf die Treibhausgasemissionen deutlich sparsamer als eine Lösung mit Zu-/ Abluft und Wärmerückgewinnung.

#### 4.4 Vorgehen und Methode

Folgende Arbeitsschritte sind vorgesehen, wurden bereits umgesetzt (**fett**) oder sind aktuell laufend (kursiv):

1. **Planung der Lüftungsanlage** mit marküblichen Komponenten, inkl. Regelbeschreibung
2. **Programmierung der Volumenstromregelung**
3. **Aufbau einer Versuchsanlage** in einer Testumgebung
4. **Analyse und Optimierung der Testanlage**
5. **Inbetriebnahme** und *Einregulierung* der CO<sub>2</sub>-geregelter Abluftanlagen der Häuser C, D, E
6. *Kontinuierliche Messung und Auswertung* der Raumluft-CO<sub>2</sub>-Konzentration, der relativen Luftfeuchtigkeit, der Raumtemperatur, des Volumenstroms der Einzelventilatoren sowie des Heizwärmebedarfs pro Wohnung, in allen Wohnungen der Häuser C, D, E während der ersten zwei Betriebsjahre
7. Thermographie mehrerer Fassaden im Winter, um die durchschnittliche Anzahl offener Fenster zu ermitteln
8. Befragung der Bewohnenden auf dem Hobelwerk bezüglich des Komforts und der Luftqualität inkl. statistischer Auswertung
9. Vergleich der Ergebnisse der Messung und der Befragung der Häuser C, D, E mit denjenigen der Häuser A und B sowie mit den Ergebnissen auf dem Hunziker Areal (vgl. Studie «2000-Watt-Leuchtturm-Areal mehr als wohnen» [5])

#### 4.5 Anlagenbeschreibung

Die Pilotanlage besteht, mit Ausnahme der Volumenstromregelung, aus marküblichen Komponenten. Die Volumenstromregelung der Häuser C, D, E erfolgt dynamisch über das Gebäudeleitsystem. Der Sollwert der Raumluft-CO<sub>2</sub>-Konzentration kann via einem BUS vom Gebäudeleitsystem mit je Abluftventilator angepasst werden. Der Sensor gibt, basierend auf dem CO<sub>2</sub>-Messwert, ein 0 bis 10-V-Signal aus und wirkt auf die Drehzahlregelung des zugehörigen Einzelventilators. Auf diese Weise kann der effektiv geförderte Volumenstrom via Gebäudeleitsystem beeinflusst und an verschiedene Lüftungsregimes angepasst werden. Zudem kann der Volumenstrom bei tiefen Aussentemperaturen < 0 °C und bei hohen Aussentemperaturen > 25 °C reduziert werden. Auch andere Grenz- und Schwellenwerte sind denkbar und werden im Verlauf des Projekts evaluiert. Dadurch wird gleichzeitig der thermische Komfort und die Wärmeleistungsbilanz im Heiz- und Kühlfall verbessert.

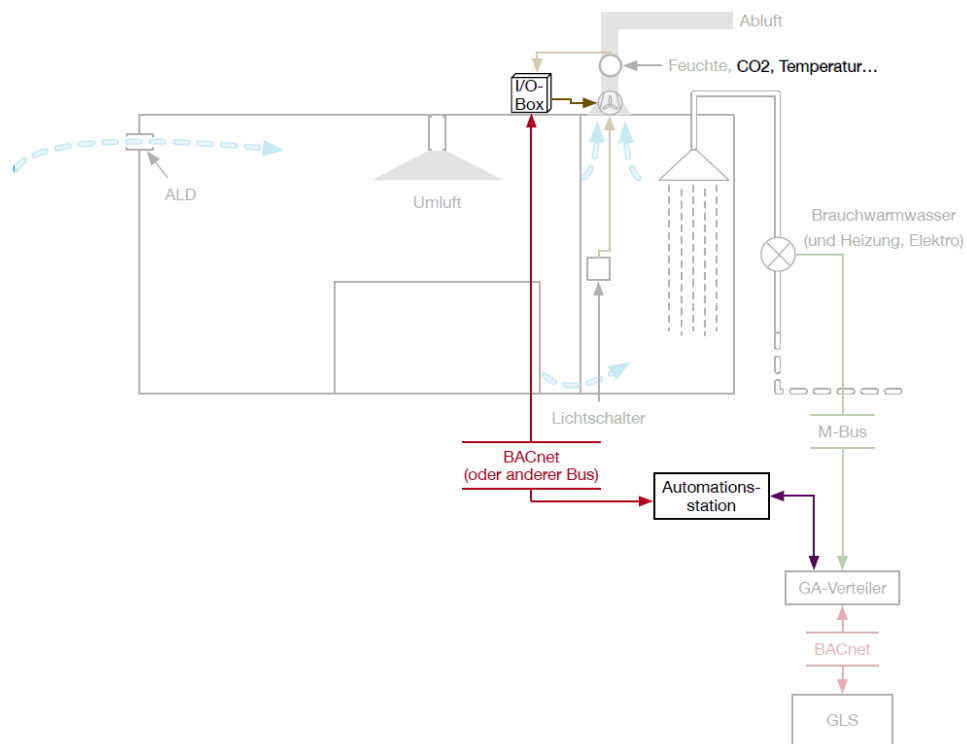


Abbildung 26 Prinzipschema der CO<sub>2</sub>-geregelten Abluftanlagen; hervorgehoben sind die Komponenten, die für den Zweck des P+D-Projekts zusätzlich installiert werden.

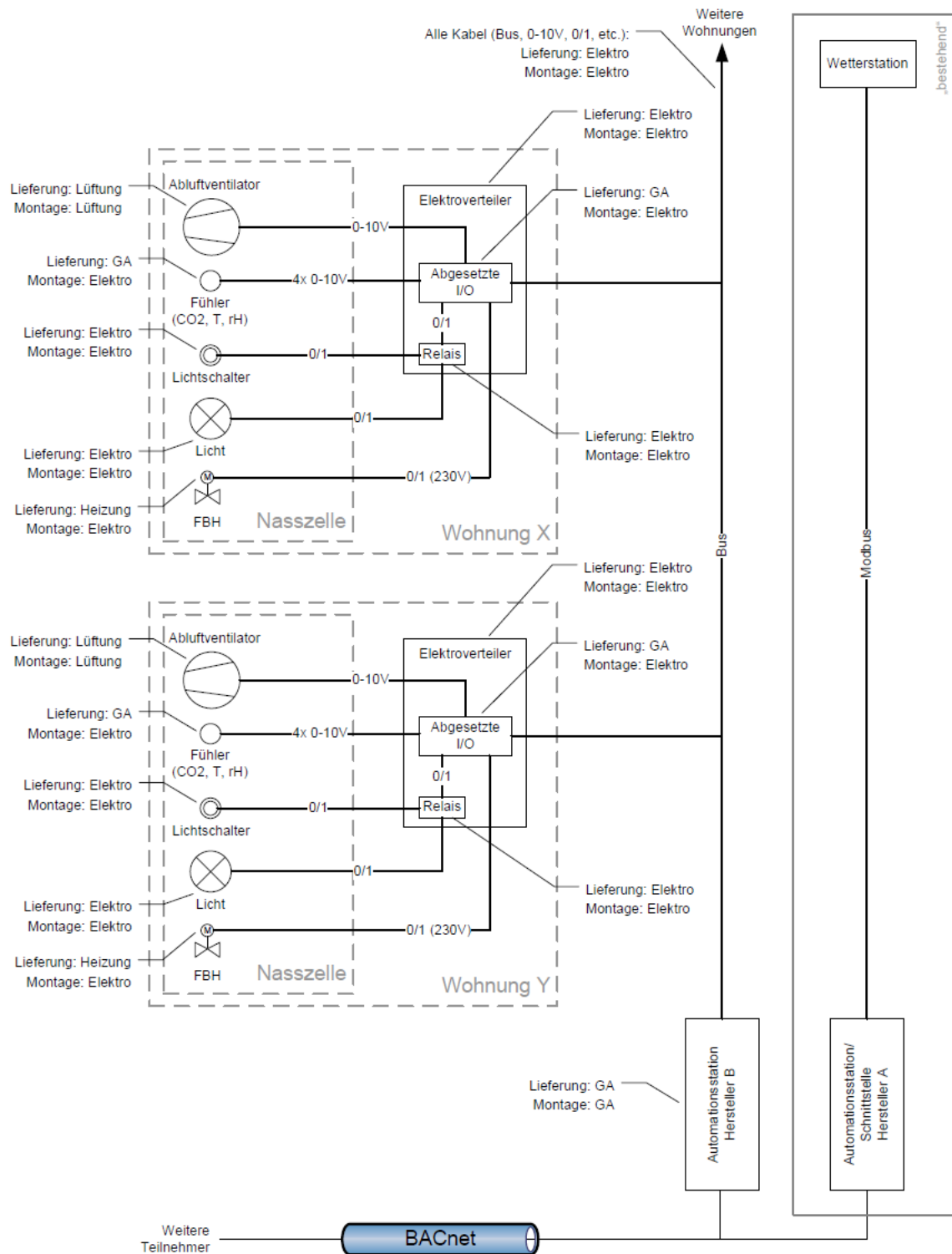


Abbildung 27 Prinzipschema der Raumregulierung.



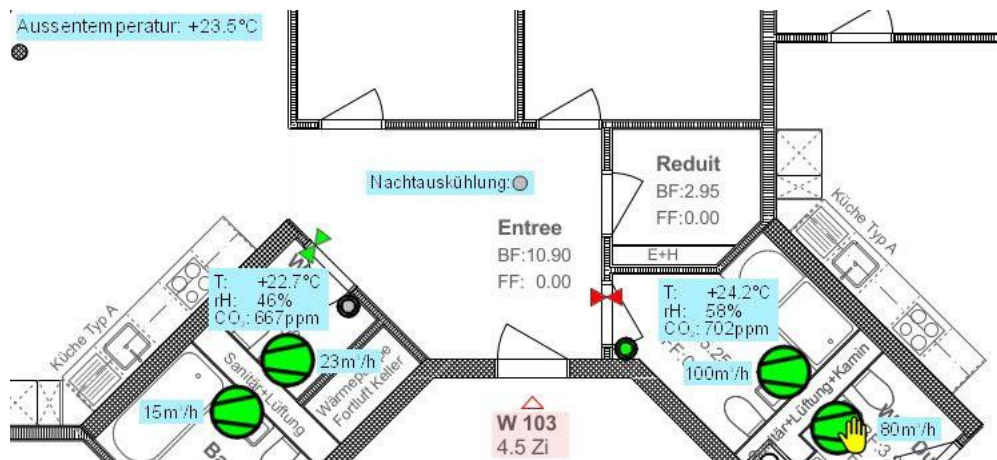


Abbildung 28 Vorschlag für die Visualisierung der Messdaten der Lüftungsregelung im Gebäudeleitsystem

## 4.6 Testanlage

### 4.6.1 Ziele und Aufbau der Testanlage

Mit der Testanlage sollen vor Ausführung der Lüftungsanlagen einerseits das Verhalten des Abluftventilators bei unterschiedlichen Volumenströmen erfasst und andererseits die Funktionstüchtigkeit und Zweckmässigkeit der CO<sub>2</sub>-Regelung sichergestellt werden. Im Zentrum der Tests stehen folgende Fragen:

- Wie hoch ist die elektrische Leistungsaufnahme des Abluftventilators bei unterschiedlichen Volumenströmen?
- Wie hoch ist der Geräuschpegel des Abluftventilators bei unterschiedlichen Volumenströmen?
- Erfüllt die vorgesehene Regulierung die im Projektbeschrieb des Gebäudeautomationsplaners (Pega) definierten Anforderungen sowie die Bedürfnisse des Forschungsprojekts?
- Wie hoch ist die elektrische Leistungsaufnahme der CO<sub>2</sub>-Regulierung?

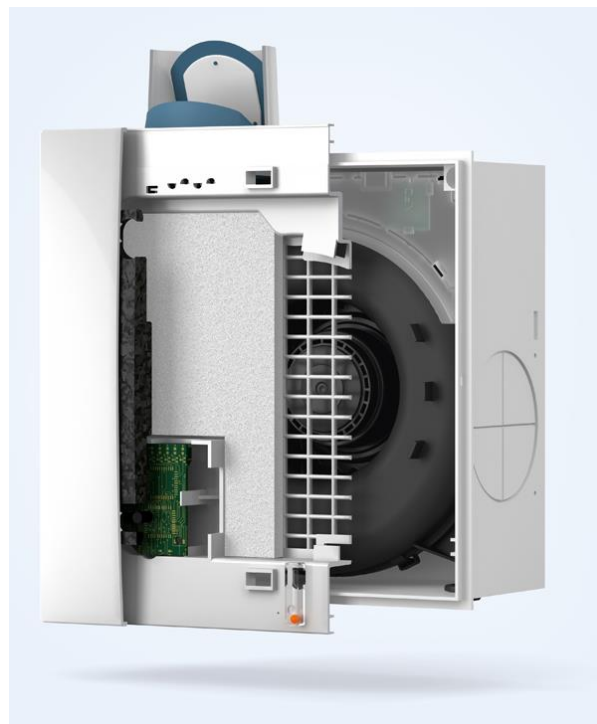


Abbildung 29 Aufputz montierter Abluftventilator der Testanlage (links); Schnittdarstellung des Abluftventilators von Wernig (rechts)

| SILENT ECO UEC ... .. Ø 80 oben*                                    |               |               |               |               |               |               |
|---------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Nennvolumenstrom                                                    | 15 m³/h       | 20 m³/h       | 30 m³/h       | 40 m³/h       | 60 m³/h       | 100 m³/h      |
| Leistungsaufnahme                                                   | 1,8 W         | 1,9 W         | 2,2 W         | 2,8 W         | 4,6 W         | 13,0 W        |
| spez. Leistungsaufn.                                                | 0,11 Wh/m³    | 0,09 Wh/m³    | 0,07 Wh/m³    | 0,07 Wh/m³    | 0,08 Wh/m³    | 0,13 Wh/m³    |
| Spannung                                                            | 230 V~, 50 Hz | 230 V~, 50 Hz | 230 V~, 50 Hz | 230 V~, 50 Hz | 230 V~, 50 Hz | 230 V~, 50 Hz |
| Schalldruckpegel**                                                  | 19 dB(A)      | 19 dB(A)      | 23 dB(A)      | 27 dB(A)      | 33 dB(A)      | 43 dB(A)      |
| * Daten für SILENT ECO UEC ... .. Ø 80 hinten siehe SILENT ECO AEC  |               |               |               |               |               |               |
| ** bezogen auf eine Nachhallzeit von 0,5 s gemäß ÖNORM EN ISO 16032 |               |               |               |               |               |               |

Abbildung 30 Technische Daten des Abluftventilators gemäss Herstellerangaben; Silent ECO UEC (oben): wie im Projekt ausgeführt; (Silent ECO AEC: entspricht der Aufputz-Ausführung analog der Testanlage)

#### 4.6.2 Ergebnisse der Testanlage

Der Abluftventilator ist serienmässig mit einer Kaltrauch-Rückschlagklappe ausgestattet. Diese verursacht einen zusätzlichen Druckverlust und erhöht dadurch die elektrische Leistungsaufnahme und den Schalldruckpegel der Abluftanlage. Die Kaltrauch-Rückschlagklappe wird im Hobelwerk aus Sicherheitsgründen, z.B. im Brandfall bei gleichzeitigen Stromunterbruch, verbaut.

Beim Betrieb mit Kaltrauch-Rückschlagklappe liegt die Leistungsaufnahme des Abluftventilators je nach Volumenstrom um bis zu 43% über den Werten gemäss Produktdatenblatt (siehe Tabelle 14). Zudem liegt der tatsächlich geförderte Volumenstrom, insbesondere bei Volumenströmen über 40 m³/h, deutlich unter dem Nennvolumenstrom gemäss Datenblatt. In der Folge steigt die spezifische Leistungsaufnahme bei einem Nenn-Volumenstrom von 40 m³/h von 0.07 W/(m³/h) auf 0.10 W/(m³/h), was einem Mehrverbrauch von gut 40% entspricht.

Auch der mit Kaltrauch-Rückschlagklappe gemessene Schalldruckpegel liegt deutlich über den Werten gemäss Produktdatenblatt, insbesondere bei tiefen Volumenströmen (siehe Tabelle 14).



Tabelle 14 Messergebnisse des Abluftventilators mit Kaltrauch-Rückschlagklappe

| Regelung |                   |                   | Abluft-Volumenstrom |     |      | Leistungsaufnahme |                       |                       | Spez. Leistungsaufnahme |         |    | Schalldruckpegel |         |    |
|----------|-------------------|-------------------|---------------------|-----|------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|---------|----|------------------|---------|----|
| Drehzahl | Datenblatt        | Messung           |                     |     |      | Datenblatt        | Messung               |                       | Datenblatt              | Messung |    | Datenblatt       | Messung |    |
| %        | m <sup>3</sup> /h | m <sup>3</sup> /h | %                   | W   | W    | %                 | W/(m <sup>3</sup> /h) | W/(m <sup>3</sup> /h) | %                       | dB      | dB | %                | dB      | dB |
| 20       | 20                | 20                | 0                   | 1.9 | 2.2  | 16                | 0.10                  | 0.11                  | 16                      | 19      | 45 | 137              |         |    |
| 30       | 30                | 30                | 0                   | 2.2 | 2.7  | 23                | 0.07                  | 0.09                  | 23                      | 23      | 48 | 109              |         |    |
| 40       | 40                | 35                | -13                 | 2.8 | 3.5  | 25                | 0.07                  | 0.10                  | 43                      | 27      | 51 | 89               |         |    |
| 50       | 50                | 43                | -14                 | 3.5 | 4.8  | 37                | 0.07                  | 0.11                  | 59                      | 30      | 55 | 83               |         |    |
| 60       | 60                | 49                | -18                 | 4.6 | 6.6  | 43                | 0.08                  | 0.13                  | 76                      | 33      | 58 | 76               |         |    |
| 70       | 70                | 56                | -20                 | 6.0 | 8.6  | 43                | 0.09                  | 0.15                  | 79                      | 36      | 61 | 69               |         |    |
| 80       | 80                | 62                | -23                 | 8.0 | 11.1 | 39                | 0.10                  | 0.18                  | 79                      | 38      | 63 | 66               |         |    |

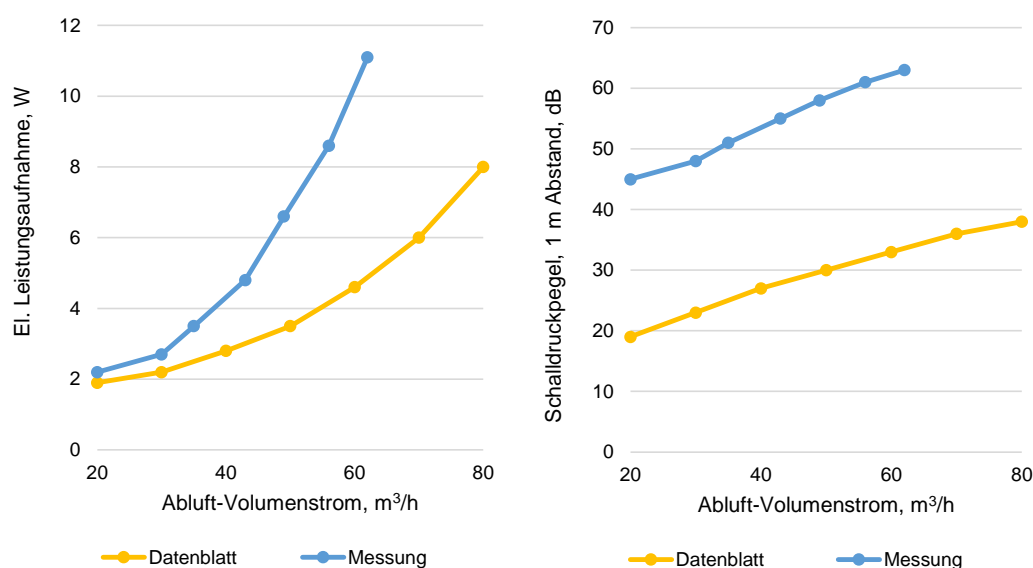


Abbildung 31 Auswertung der elektrischen Leistungsaufnahme (links); und des Schalldruckpegels in 1 m Abstand (rechts) des Abluftventilators mit Kaltrauchklappe bei unterschiedlichen Volumenströmen

Neben der Leistungsaufnahme und dem Schalldruckpegel des Abluftventilators wurde mit der Testanlage auch die vorgesehene Automationslösung für die CO<sub>2</sub>-Regulierung und die Nachtauskühlung getestet. Fehlende Funktionen, wie die Möglichkeit zur automatischen Volumenstromreduktion bei tiefen Aussentemperaturen (Reduktion des Zugluftrisikos) und die Vorgabe eines maximalen (Nenn-)Volumenstroms für die Inbetriebnahme, wurden beanstandet und deren Ergänzung mit dem Lieferanten vereinbart.

Die Messergebnisse der Testanlage zeigen, dass der Lüftungsenergiebedarf der vorgesehenen CO<sub>2</sub>-geregelten Abluftventilatoren in der Konzeptphase unterschätzt wurde. Der höhere Energiebedarf wird einerseits durch Abweichungen gegenüber den Angaben auf dem Datenblatt und durch den zusätzlichen Energiebedarf der CO<sub>2</sub>-Regulierung verursacht. Bei einem mittleren Volumenstrom von 40 m<sup>3</sup>/h steigt die elektrische Leistungsaufnahme von 2.8 W auf rund 6 W pro Abluftventilator.

Der in der Planungsphase angenommene, auf die Energiebezugsfläche bezogene Stromverbrauch der Abluftanlagen steigt damit voraussichtlich von < 0.3 kWh/m<sup>2</sup> auf ca. 0.6 kWh/m<sup>2</sup>. Diese vorläufigen Testergebnisse sollen nun unter realen Betriebsbedingungen überprüft werden. Dabei sollen auch Massnahmen zur Reduktion des Lüftungsenergiebedarfs untersucht werden.

Die Akzeptanz des erhöhten Geräuschpegels sowie der variablen Ventilatorordrehzahl, soll nach Abschluss des ersten Betriebsjahres durch eine Befragung der Bewohnenden erhoben werden.



Die für die Grundeinstellung bei der Inbetriebnahme der CO<sub>2</sub>-Regelung vorgeschlagenen Einstellungen sind aus Abbildung 32 ersichtlich. Im Betrieb können die Einstellungen schrittweise an die spezifischen Bedürfnisse der Bewohnenden sowie, vorübergehend, entsprechend den Anforderungen der Testfälle aus dem Forschungsprojekt angepasst werden.

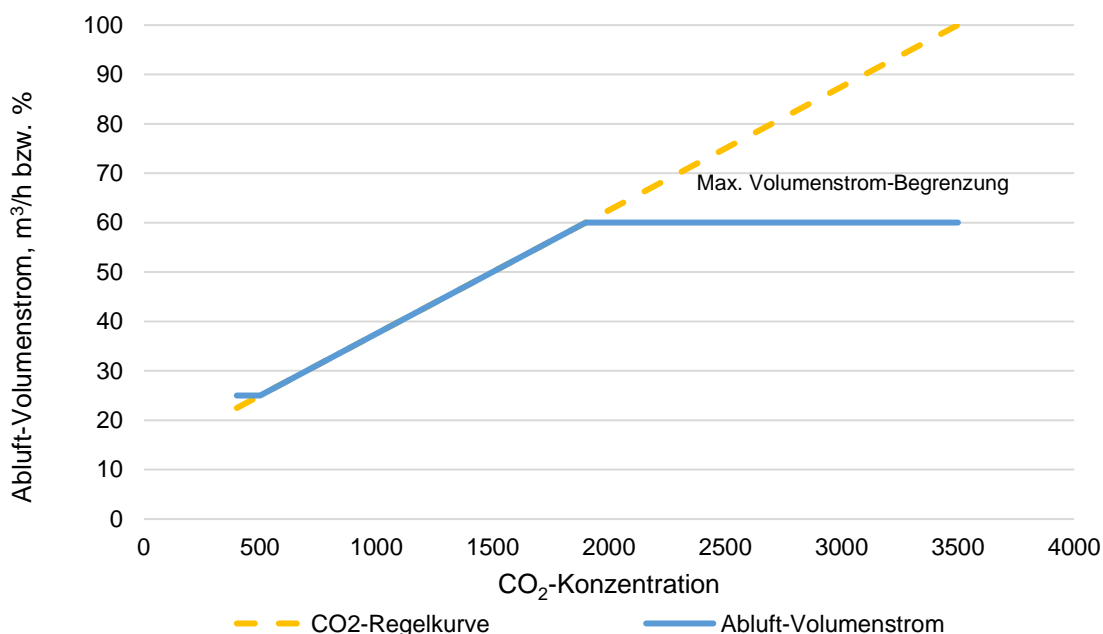


Abbildung 32 Auf der Grundlage der Testergebnisse vorgeschlagene Grundeinstellung der CO<sub>2</sub>-Regelung des Abluftventilators:  
Regelkurve: X1 = 500 ppm, Y1 = 25%; X2 = 3500 ppm, Y2 = 100%; max. Volumenstrom-Begrenzung: 60%

Für Haus E wird ein Minergie-Zertifikat beantragt, woraus sich für die Inbetriebnahme der Abluftanlagen zusätzliche Anforderungen ergeben. Minergie fordert bei Abluftanlagen unter anderem die Einhaltung einer minimalen Abluftmenge von 30% des Nenn-Volumenstroms. Die Nenn-Volumenströme müssen daher im Rahmen der Inbetriebnahme an den Abluftventilatoren eingestellt sowie bei den Abluftventilatoren und den Aussenluftdurchlässen gemessen und im Luftmengenprotokoll festgehalten werden. Erst danach kann die tatsächlich vorgesehene CO<sub>2</sub>-Regelung des Volumenstroms aktiviert werden.

## 4.7 Messkonzept

Die CO<sub>2</sub>-geregelten Abluftanlagen der Häuser C, D und E wurden im Jahr 2023 installiert und in Betrieb genommen. Die Einregulierung erfolgt schrittweise während dem ersten Betriebsjahr anhand der vorliegenden Messwerte der Raumluftqualität sowie aufgrund der Rückmeldungen der Bewohnenden. Die Auslegung der Lüftungskomponenten von Haus E wurden so angepasst, dass die spezifischen Anforderungen für eine Minergie-Zertifizierung der Abluftanlage erfüllt werden. Die Strangschemata der Lüftungsanlagen der Häuser C, D und E sind im Anhang 9.4 abgebildet.



Die Regulierung der Anlagen ist, inklusive den Anforderungen aus dem P+D-Projekt, im Gebäudeautomation-Projektbeschrieb vom 23.07.2021<sup>1</sup> festgehalten. Die Kommunikation der einzelnen Gebäudeautomations-Verteiler mit den angeschlossenen Anlagen (Lüftungsanlagen, Wärmepumpe, Wetterstation) sowie die Gebäude- und Arealübergreifende Kommunikation erfolgen über BACnet/IP.

Zum Bedienen, Beobachten und Auswerten wird eine Managementebene mit integrierten Energiemanagement-Funktionen auf einem Server verwendet. Die Abluftanlagen sind eigenständig und autonom funktionsfähig.

Folgende Werte werden vom Gebäudeleitsystem aufgezeichnet und können gemeinsam oder ausgewählt in Listen- und/oder Diagrammform pro Wohnung, beziehungsweise Nasszelle oder als Gesamtübersicht abgerufen werden:

- Aussentemperatur, in °C
- CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Nasszelle, in ppm
- Raumtemperatur in der Nasszelle, in °C
- Raumtemperatur Sollwert, in °C
- Relative Raumluftfeuchte in der Nasszelle, in % r.F.
- Abluftvolumenstrom, in m<sup>3</sup>/h
- Aktive Präsenzschtaltung, True/False
- Aktive Nachtauskühlung, True/False
- Datum/Zeit

Um die Raumluftkonditionen auch in Schlaf- und Wohnzimmern erfassen zu können, sind zusätzlich mobile Funksensoren (miro Insight von miromico) in ausgewählten Wohnungen installiert. Folgende Messdaten werden via LoraWAN in die Cloud übermittelt, periodisch als csv-Datei zwischengespeichert und in anonymisierter Form ausgewertet:

- CO<sub>2</sub>-Konzentration im Schlaf- und Wohnzimmer, in ppm
- Raumlufttemperatur im Schlaf- und Wohnzimmer, in °C
- Relative Raumluftfeuchte im Schlaf- und Wohnzimmer, in % r.F.

Die Planung der Anzahl Sensoren basiert auf der Annahme von 10 Sensoren pro Haus mit Ausnahme von Haus E (Prüfung Minergie-Anforderungen) mit 30 Sensoren. Zwischenzeitlich (Stand: Ende April 2024) sind folgende Anzahl Funksensoren pro Haus installiert oder terminiert:

- Haus A: 5 Sensoren in 2 Wohnungen (noch 1-2 Wohnungen sind gesucht)
- Haus B: 8 Sensoren in 4 Wohnungen (noch 1-2 Wohnungen sind gesucht)
- Haus C: 6 Sensoren in 2 Wohnungen (noch 2 Wohnungen sind gesucht)
- Haus D: 12 Sensoren in 3 Wohnungen (davon 2 Cluster-Wohnungen)
- Haus E: 26 Sensoren in 11 Wohnungen (noch 2 Wohnungen sind gesucht)

---

<sup>1</sup> Dokumentbezeichnung: P2018063-06-02-Projektbeschrieb GA-100



Die Teilnahme an den zusätzlichen mobilen Messungen ist freiwillig. Die Suche nach interessierten Bewohnenden erfolgte über die Partizipationsstelle der Baugenossenschaft mehr als wohnen, über Mund-zu-Mund Information durch bereits involvierte Teilnehmende sowie über die Gruppenchats der einzelnen Häuser. Bei Interesse erfolgt die Installation der mobilen Funksensoren in Schlaf- und Wohnzimmern durch Lemon Consult.

## 4.8 Befragung der Bewohnenden

Zusätzlich zur Messkampagne sollen alle Bewohnenden mittels eines Fragebogens befragt werden. Zweck der Befragung ist es, Kenntnis über die Störgrößen für die Messungen sowie die Wahrnehmung des Komforts zu erhalten.

Die Störgrößen der Messung können grob in drei Kategorien unterteilt werden. Einerseits die Bewohnenden als CO<sub>2</sub>-Quelle. Aus diesem Grund wird die Zahl der Bewohnenden sowie die Anzahl Personen im gemessenen Schlafzimmer befragt. Eine weitere Kategorie betrifft die Luftströmung wobei konkret befragt wird, wie häufig und in welcher Jahreszeit das Fenster nachts geöffnet wird und ob die Schlafzimmertür nachts geschlossen ist. Die letzte Kategorie betrifft Quellen für zusätzliche Feuchte im Raum wobei in dieser Thematik die Luftbefeuchter im Fokus liegen.

Hinsichtlich des Komforts werden die drei Themen Zugluft, Lärm und Wohnklima befragt. Das Ziel dieser Befragung ist eine subjektive Validierung der Messresultate durch die Bewohnenden. Befragt wird darum die Zugluft in der Nähe der Aussenwanddurchlässe (ALD), der Aussenlärm durch die ALD, der Lärm durch die Abluftventilatoren sowie zur Thematik des Wohnklimas die Temperatur, Feuchte und Raumluftqualität.

Da sich die subjektive Wahrnehmung im Bereich Komfort über die Zeit verändern kann und insbesondere auch saisonale Schwankungen häufig festgestellt werden, sollen die Bewohnenden mindestens zweimal befragt werden. Durch die erneute komplette Befragung werden auch Veränderungen der Störgrößen besser festgehalten. Die Befragung soll darum im Januar/Februar 2025 und Januar/Februar 2026 erfolgen. Eine weitere Befragung kann im Sommerhalbjahr erfolgen. Da die Teilnahmebereitschaft über die Zeit meistens sinkt, wird diese Umfrage unter Umständen gekürzt oder nur als Stichprobe durchgeführt. Die Messkampagne läuft von November 2023 bis Frühling 2026 und somit über nahezu drei Heizperioden, wobei die erste Heizperiode aufgrund der Einregulierungen nicht in die Auswertung einfließen wird.

Die Befragung erfolgt mittels einem Online-Tool und kann auf Wunsch auch auf Papier abgegeben werden.

## 4.9 Messergebnisse

### 4.9.1 Methodik

Hinsichtlich der Auswertung muss in zwei Bereiche unterteilt werden. Einerseits können Auswertungen über alle Wohnungen der Häuser A, B, C, D und E gemacht werden. Andererseits können für die Wohnungen in den Häusern C, D und E zusätzliche Auswertungen infolge der festinstallierten Sensoren erfolgen.

Wichtigste Erkenntnis aus allen Wohnungen ist der mechanisch geförderte Abluftvolumenstrom, berechnet basierend auf der gemessenen Ventilatorrehzahl und der im Vorfeld ermittelten Kennlinie. Anhand der ermittelten Kennlinie kann auch der elektrische Energieverbrauch der Abluftventilatoren berechnet werden. Ausgewertet werden unter anderem die Unterschiede zwischen der Regelung nach Raumluftfeuchte und der Regelung nach der Luftqualität, wobei für ersteres Annahmen getroffen werden müssen, da nicht alle Parameter gemessen werden können. Weiter kann die zusätzlich erforderliche Wärmeenergie basierend auf der Aussentemperatur, der Temperatur in der Nasszelle sowie





dem Luftvolumenstrom ermittelt werden. Der so ermittelte Lüftungswärmebedarf kann zudem mit dem je Wohnung gemessenen Heizwärmebedarf verglichen werden.

Die Parameter Raumluftqualität, Raumluftfeuchte und Raumlufttemperatur werden in Bezug auf die Anzahl Zimmer (oder die Anzahl ALD), Anzahl Bewohnende und allenfalls unter Einbezug der Präsenzschtaltung im Bad in einer statistischen Verteilung bewertet. Die statistische Verteilung der gemessenen Grössen erfolgt inkl. Medianwerte, oberem und unterem Quantil (z.B. 10 % und 90 %), den Höchst- und Tiefstwerten sowie in Bezug auf die Klassen des Innenraumklimas gemäss prSIA 382/1.

In den Räumen mit zusätzlichen Sensoren erfolgt die Bewertung der statistischen Verteilung der Raumluftqualität, der Raumlufttemperatur sowie der Raumluftfeuchte im Wohn- und Schlafzimmer im Verhältnis zu den gemessenen Werten in der Nasszelle. In der Bewertung wird zudem die Sensitivität nach Anzahl Zimmern (resp. Anzahl ALD) und Anzahl Bewohnende berücksichtigt.

Für repräsentative Tage und Wohnungen wird eine zeitliche Verlaufskurve der Messpunkte Raumluftqualität, Raumtemperatur und Raumfeuchte über 24-48 Stunden dargestellt.

Weiter soll ein Vergleich zwischen der Regelung nach der Raumluftfeuchte und der Raumlufttemperatur in Sachen Luftqualität, Raumluftfeuchte und Raumlufttemperatur erfolgen. In Sachen Betriebsenergie wäre es wünschenswert, jedoch sind für die Häuser A und B keine Messungen der Betriebsenergie, sondern lediglich Abschätzungen möglich.

Die Leistungskennlinie und Lärmemissionen der Abluftventilatoren soll in einer Messung gegenüber der Testanlage validiert werden.

Die gewonnen Ergebnisse werden mit den Ergebnissen des Projektes «Leuchtturm Hunziker Areal» verglichen und Schlüsse daraus gezogen. Insbesondere in Sachen notwendige Betriebsenergie zur Sicherstellung der Raumluftqualität.

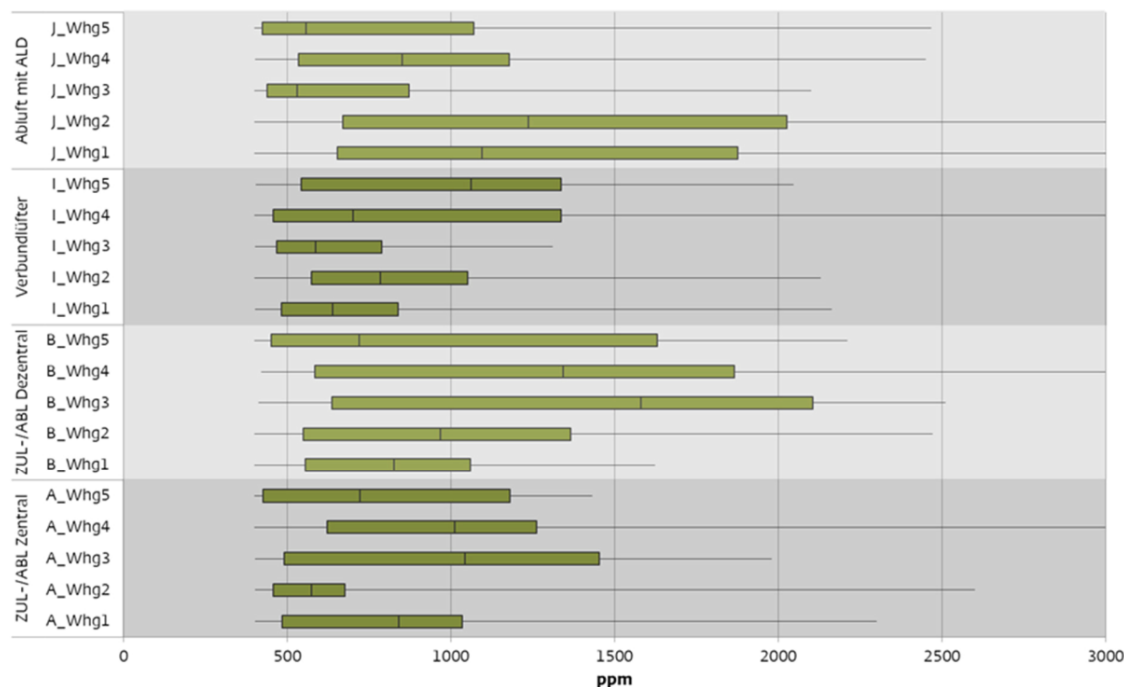


Abbildung 33 Statistische Auswertung der CO<sub>2</sub>-Konzentration der Raumluft; aus BFE-Projekt «Leuchtturm Hunziker Areal» [5]

#### 4.9.2 Messergebnisse

Die ersten umfassenden Auswertungen sind für den Sommer 2025 geplant. Erste Ergebnisse können im Zwischenbericht 2025 präsentiert werden.



## 4.10 Thermographie Messungen

### 4.10.1 Methodik

Ergänzend zur umfangreichen Messkampagne in den Wohnungen wird mittels Thermographie Messung punktuell untersucht, wie viele offene Fenster in besonders kalten ( $< 0^{\circ}\text{C}$ ) und in eher milden (5 bis  $10^{\circ}\text{C}$ ) Winternächten vorhanden sind.

Die Aufnahmen erfolgen jeweils morgens zwischen 03:00 und 04:00 Uhr mit einer Infrarotkamera in einer festgelegten Reihenfolge. Die nachfolgende Abbildung zeigt die geplanten Aufnahmen der Fassaden für das Areal Hobelwerk. Aufgrund der engen Verhältnisse zwischen einzelnen Baufeldern muss die Aufnahme teilweise von der Seite her gemacht werden.

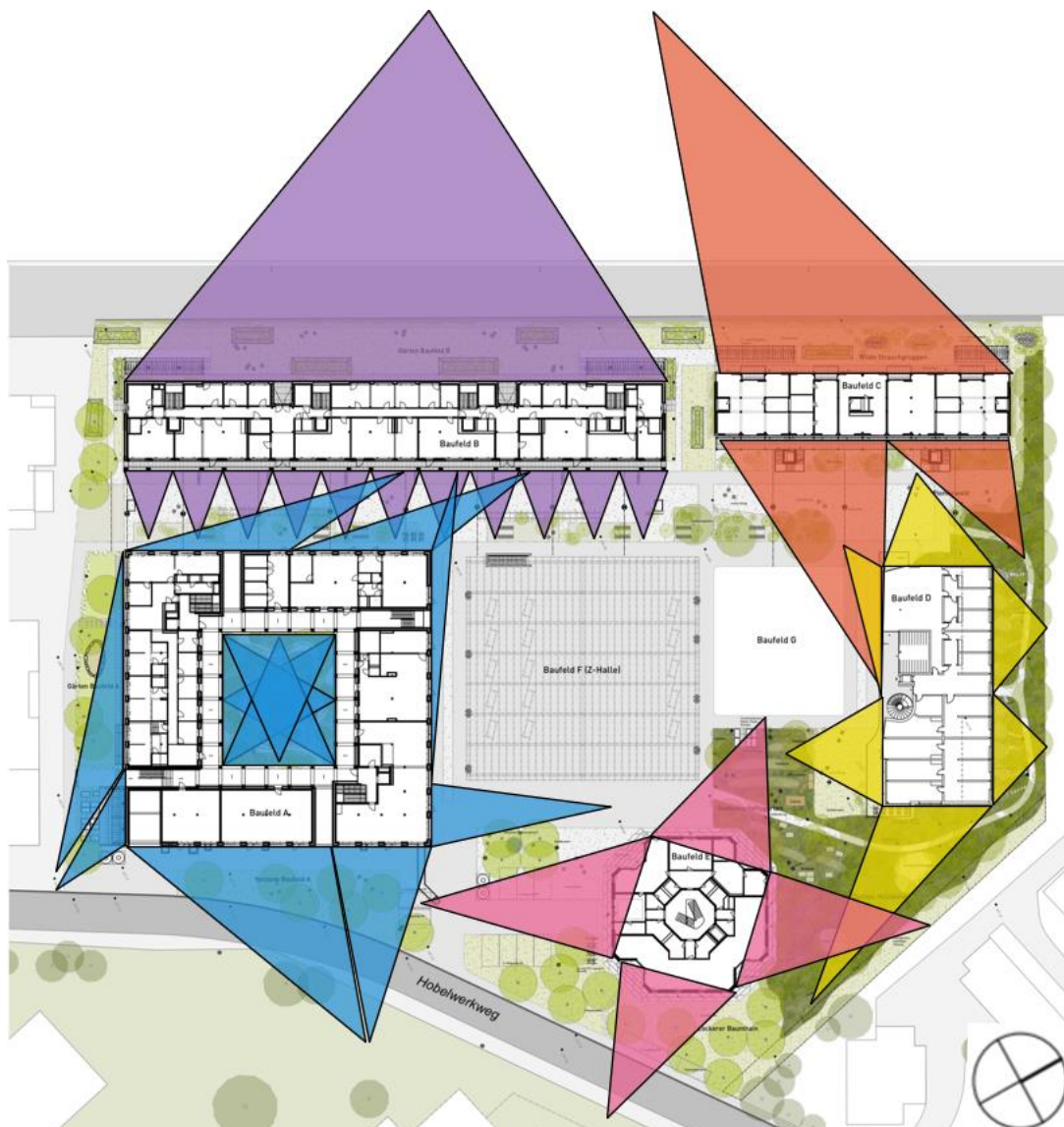


Abbildung 34 Lageplan für die Thermographie-Messung der 5 Baufelder (blau: A, violett: B, rot: C, gelb: D, rosa: E)



#### 4.10.2 Ergebnisse

Die Aufnahmen sind für den Winter 2024/2025 geplant. Die daraus folgenden Ergebnisse werden im Zwischenbericht 2025 präsentiert.

### 4.11 Umfrageergebnisse

#### 4.11.1 Methodik

Im Fragebogen werden die gemessenen Erkenntnisse mit dem subjektiven Empfinden der Bewohnenden in Bezug auf das Wohnklima (Raumlufttemperatur, Raumluftfeuchte und Raumluftqualität) verglichen. Dabei soll bei den Fragen auch mit den Antworten aus dem Projekt Hunziker Areal [5] verglichen werden.

Im Vergleich kann geprüft werden, ob die Fenster nachts weniger häufig geöffnet werden, da eine bessere Raumluftqualität empfunden wird.

Im Hunziker Areal wurde gefragt, ob die Lüftungsanlage im Sommer ausgeschaltet wird. Dies ist im Hobelwerk technisch nicht mehr möglich. Ebenfalls kann bezüglich der Zugluft nur beschränkt ein Vergleich gezogen werden. Im Projekt Hunziker Areal wurde die Zugluft pauschal befragt während im Hobelwerk der Fokus auf der Zugluft aufgrund der ALD liegt.

Da dieselben Fragen über die Messkampagne mehrmals gestellt werden, sollen die Befragungen auch miteinander verglichen werden. Dies insbesondere im Hinblick auf das Wohnklima.

Verglichen wird auch zwischen den beiden Volumenstromregelungen (Regelung nach der Raumluftfeuchtigkeit und Regelung nach der Raumluftqualität) sowie zwischen den durchschnittlich geförderten Abluftmengen (ohne und mit 30% Volumenstromzuschlag gemäss Minergie-Reglement)

#### 4.11.2 Ergebnisse

Die Umfrage soll im Winter 2024/2025 durchgeführt werden. Erste Ergebnisse sind im Zwischenbericht 2025 zu erwarten.

### 4.12 Treibhausgasbilanz der Abluftsysteme

Die Berechnung der THGE Erstellung anhand der Ausschreibung der Lüftungsinstallationen; folgt im Zwischenbericht 2025.

### 4.13 Kostenbilanz der Abluftsysteme

Die Berechnung der Investitions-, Betriebs- und Ersatzkosten (LCC) folgt im Zwischenbericht 2025

### 4.14 Bewertung der Ergebnisse

Für dieses Arbeitspaket liegen noch keine bewertbaren Ergebnisse vor. Die bisher durchgeführten Vorbereitungsarbeiten liegen im Zeitplan.

### 4.15 Weiteres Vorgehen

Die Einregulierung der Abluftanlagen erfolgt aufgrund von Verzögerungen mit der Aufschaltung der Lüftungs-Controller auf dem Gebäudeleitsystem zwischen Mai 2024 und April 2025. Die Messung, Befragung und Auswertung des Anlagenbetriebs erfolgen ebenfalls im Zeitraum 2024 bis 2025.



## 5 AP4: Prädiktive bivalente Wärmeerzeugung

### 5.1 Ausgangslage

Luft-Wasser-Wärmepumpen sind verhältnismässig kostengünstig, haben in den vergangenen Jahren einen grossen Entwicklungsschub erlebt und relevante Effizienzgewinne herbeigeführt. Sie weisen aber zwei Problematiken auf, welche in diesem Projekt mithilfe einer prädiktiven Bivalenz-Regelung adressiert werden. Erstens werden Luft-Wasser-Wärmepumpen aus Lärm- und Platzgründen in der Stadt und der Agglomeration für grössere Bauten nur selten eingesetzt. Zweitens belasten solche Systeme das Stromnetz in den Wintermonaten erheblich, gerade dann, wenn der Netzstrom eher CO<sub>2</sub> intensiv ist<sup>2</sup>. Eine bekannte Lösung stellen bivalente Luft/Wasser-Wärmepumpen dar, bei denen die Spitzenlast durch einen Brennstoff gedeckt wird. Eine typische Anlage wird so dimensioniert, dass das Spitzenlastsystem 50 % des Heizleistungsbedarfs und etwa 20 % bis 25 % des jährlichen Wärmebedarfs für Raumheizung und Warmwasser abdeckt. Bei einer marktüblichen Bivalenz-Regelung wird das Spitzenlastsystem dazu geschaltet, sobald die Vorlauftemperatur über einen bestimmten Zeitraum, z.B. über 10 Minuten, unter dem Sollwert liegt. Diese Regelung führt zu relativ häufigen Starts des Spitzenlastsystems. Dies oft auch für die Warmwasserproduktion im Sommer, was zu erhöhtem Brennstoffverbrauch, Wartungskosten und, je nach Spitzenlastsystem, hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen führt.

Zudem führt die Zuschaltung des Spitzenlastsystems meist zu einer Erhöhung der Rücklauftemperatur, wodurch die Arbeitszahl und der Leistungsanteil der Grundlast-Wärmepumpe sinken (bivalent-paralleler Betrieb). Mit einer optimierten Bivalenz-Regelung soll einerseits der Energieanteil der Spitzenlast weiter gesenkt werden und andererseits der Bezug von CO<sub>2</sub>-intensivem Netzstrom minimiert werden. Damit kann das Brennstofflager für die Spitzenlast potentiell kleiner dimensioniert werden. Dadurch können graue Energie bei der Erstellung eingespart werden und die Systemkosten sinken. Zudem könnten zukünftig auch neue, synthetische Brennstoffe (Power-to-X) eingesetzt werden, da die relativ hohen Kosten für den erneuerbaren Brennstoff durch den geringeren Verbrauch relativiert werden. Darüber hinaus kann die elektrische Anschlussleistung reduziert werden, was das Stromnetz entlastet und ebenfalls graue Energie einspart. Zudem bleibt, dank einer kleineren Luft/Wasser-Wärmepumpe, mehr Fläche auf dem Dach, welche für die Installation von PV-Modulen verwendet werden kann. Dies führt in der Summe zu tieferen Treibhausgasemissionen im Betrieb und in der Erstellung, und damit zu einer weiteren Annäherung an Netto-Null.

Die Anlage besteht aus zwei Gebäuden (A, B) mit je einer reinen Wärmepumpen-Lösung und drei Gebäuden (C, D, E), welche über eine gemeinsame bivalente Wärmeerzeugung mittels Luft/Wasser-Wärmepumpe und Holzpelletfeuerung verfügen. Alle fünf Gebäude und drei Wärmeerzeugungen sind auf dem Gebäudeleitsystem aufgestalten. Im Rahmen des Arbeitspaktes AP4 wird eine prädiktive Regelung entwickelt und mittels einer Beckhoff-SPS in das Gebäudeleitsystem integriert.

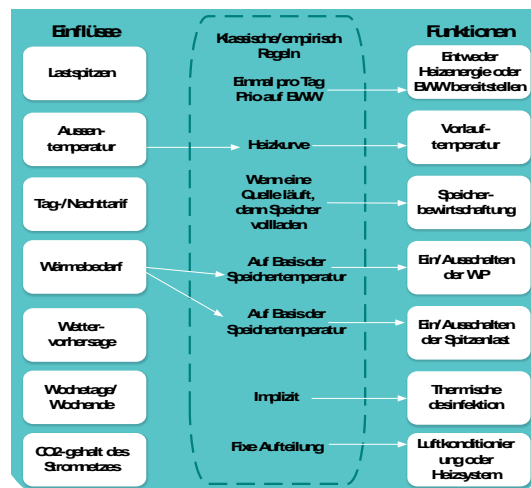
### 5.2 Stand der Technik

---

<sup>2</sup> Rüdisüli et al. (2019): Impacts of an Increased Substitution of Fossil Energy Carriers with Electricity-Based Technologies on the Swiss Electricity System, <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/12/2399>

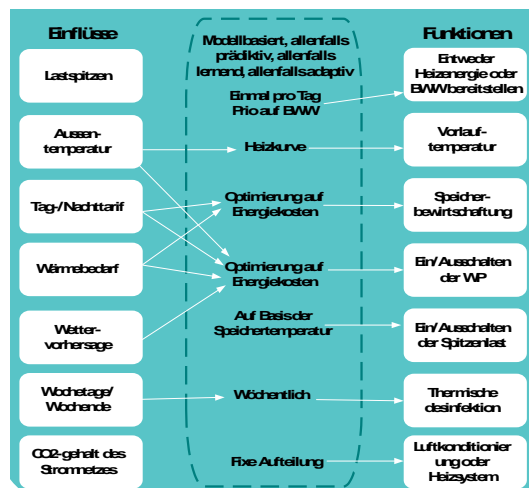
## Innovation im Bereich der Heizungsregelungen

### Stand der Industrie



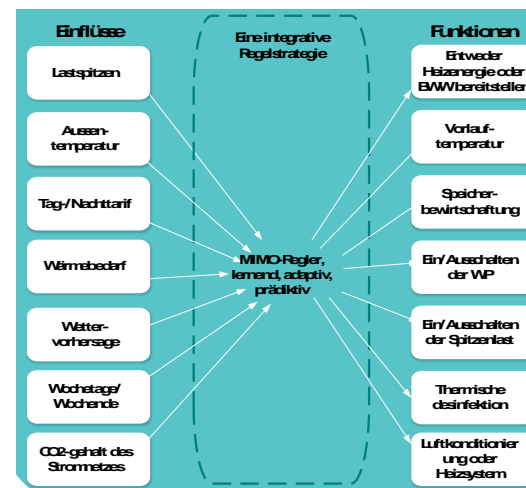
Folgendes Schaubild illustriert den Stand der Industrie. Dieser Stand wird als Referenz hinzugenommen, da er dem Ursprünglich von den Planenden empfohlenen Regelung entspricht. Hysterese-basierte oder PI(D)-basierte Regler, die unterschiedliche Funktionen getrennt und unabhängig voneinander betreiben. Vorlauf-temperaturregelung anhand von Heizkurven, welche getrennt von der Speicherbewirtschaftung und getrennt von der Ein-Ausschalt-Logik der Heizung operieren. Die statischen Regelparameter müssen spezifisch für das Gebäude/die Heizung parametrisiert werden. Diese Regler handeln aufgrund von vergangenen Messdaten, nicht prädiktiv.

### Stand der Technik



Entwicklungen der letzten Jahre zeigen eine Tendenz zum Datamonitoring mit Energie Monitoring Systemen, damit die Performance der Anlagen von Betriebspersonal empirisch evaluiert werden kann und bei Bedarf Systemintegratoren Anpassungen vornehmen können. In Anwendungen ausserhalb der (Fertigungs-)Industrie werden die einzelnen Funktionen immer noch getrennt voneinander geregelt. Das nachfolgende Schaubild illustriert den Stand der Technik. In der Wärmeverteilung (z.B. Raumtemperaturregelung) werden MPC-basierte oder lernende Algorithmen (beide prädiktiv agierend) entwickelt und in Feldtests implementiert. In der Wärmebereitstellung gibt es MPC basierte Ansätze, lernende Algorithmen werden noch nicht eingesetzt.

### In diesem Projekt



Es soll aufbauend auf den BFE-Projekten S-DSM und UC-DPC eine übergreifende, selbstlernende und adaptive Regelung für die Wärmebereitstellung implementiert und um im Betrieb getestet werden. Im Gegensatz zum Stand der Technik soll die übergreifende Regelung mehrere voneinander abhängige Teilsysteme gleichzeitig regeln und ohne Parametrierungsaufwand auskommen. Das obige Schaubild illustriert diesen Ansatz.



### 5.3 Fragestellung und Zielsetzung

In AP 4 wird über den Stand der Industrie und dem Stand der Technik hinaus, eine Bivalenz-Regelung entwickelt, welche übergreifend die Wärmebereitstellung regelt. Diese Regelung basiert auf einem übergreifenden, selbstlernenden Algorithmus. Die selbstlernenden Algorithmen passen sich anhand realer Daten fortlaufend an saisonale Veränderungen oder verändertes Nutzungsverhalten an. Unter anderem wird dafür die Wärmespeicherung des Gebäudes besser ausgenutzt. Zudem werden Wetterdaten und -prognosen für eine selbstlernende Optimierung der Bivalenz-Regelung benutzt. Hauptziel von AP4 ist, eine integrative Regelung der Wärmebereitstellung zu entwickeln und damit die realen Anlagen zu betreiben. Das Betriebsverhalten wird mit dem Betrieb aus der ersten Heizperiode sowie der reinen Wärmepumpen-Lösung in Gebäuden A und B verglichen (THG-Emissionen, JAZ, Betriebskosten).

Zudem wird die Dateneffizienz der entwickelten Lösung geprüft, um ein Mass über die minimale benötigte Messdatenmenge für einen effizienten Lernprozess geben zu können. Damit kann ermittelt werden, welche Sensorik für einen möglichst effizienten Betrieb tatsächlich notwendig ist. Des Weiteren wird die Regelperformance bezüglich Ein-/Ausschaltzyklen und Setpoint-Tracking durchgeführt, um tiefere Wartungskosten zu erreichen. Folgende Teilziele werden adressiert:

- Es werden Möglichkeiten aufgezeigt, mittels optimierter Bivalenz-Regelung den Energieanteil der Spitzenlast auf unter 10 % zu reduzieren.
- Der Einfluss einer solchen Regelung auf die Treibhausgas-Intensität vom bezogenen Netzstrom wird quantifiziert. Dies wird mit reinen Wärmepumpen-Lösungen (Haus A und B) verglichen, wobei auch hier mittels prädiktiver Regelung versucht werden soll, die Treibhausgas-Intensität vom bezogenen Netzstrom zu minimieren. Zielkonflikte mit der Reduktion des Energieanteils der Spitzenlast und der Minimierung des Grundlastsystems werden aufgezeigt.
- Es wird mittels Berechnungen gezeigt, dass durch eine entsprechend verkleinerte Elektroinstallation beim Netzanschlusspunkt sowie einem verkleinerten Brennstofflager, Kosten und graue Treibhausgasemissionen eingespart werden können. Zudem wird aufgezeigt, dass neue Technologien (Power-to-X) mit höheren Brennstoffpreisen nur einen geringen Einfluss auf die Betriebskosten haben werden.
- Der Komfort wird über Messungen sowie Umfragen bei den Gebäudenutzenden, sowie den Gebäudebetreibenden erhoben. Dabei wird insbesondere die bivalente Lösung einer reinen Wärmepumpen-Lösung (Haus A und B) gegenübergestellt.

### 5.4 Vorgehen und Methode

Folgende Arbeitsschritte sind vorgesehen bzw. wurden bereits umgesetzt (**fett**):

1. **Erstellung eines Regelbeschriebs** zur prädiktiven Bivalenz-Regelung mit Lastmanagement.
2. **Inbetriebnahme und Einregulierung der Heizungsanlage** für Gebäude C, D und E mit dem anlagenspezifischen Standardheizungsregler.
3. **Entwickeln des modellbasierten, prädiktiven und selbstlernenden Reglers** mit dem Ziel CO<sub>2</sub>-Ausstoss und Kosten zu minimieren.
4. Nach Abschluss der 1. Heizperiode: Aktivierung der optimierten Bivalenz-Regelung auf dem GLS für die Gebäude C, D und E.
5. Messungen über die 2. und 3. Heizperiode.





6. Erhebung der Akzeptanz der prädiktiven Bivalenz-Regelung beim Betriebspersonal und den Bewohnenden anhand von Expertinnen- und Experteninterviews und einer Online-Befragung (kombiniert mit weiteren Komfortfragen, siehe AP2 und AP3).
7. Vergleich der Antworten über die Häuser A und B (reines Wärmepumpen-System) sowie C, D und E (bivalentes System).
8. Analyse des Energieverbrauchs, der summierten THGE durch den konsumierten Netzstrom, des Energieanteils des Spitzenlastsystems und des Eigenstromanteils im Vergleich zum Referenzjahr.

## 5.5 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Seit Projektstart wurden folgende Arbeiten begonnen.

- Zu Schritt 1: Seitens der Gebäudeautomationsplanung (GA-Planung), Bauherrenvertretung, Systemlieferanten (Scheco und Heim AG) und der Empa wurden mehrere Sitzungen durchgeführt, um Anlagenfunktionalitäten mit den Bedürfnissen des Forschungsprojektes abzustimmen.
- Zu Schritt 2: Die Heizungsanlagen für Gebäude C, D und E wurden in Betrieb genommen und die Standard-Bivalenzregelung wurde einreguliert.
- Zu Schritt 3: Der Datenzugang zum lokalen Automationssystem (blaue Komponenten in Abbildung 35) wurde sichergestellt. Für Gebäude A und B, welche als erstes in Betrieb genommen wurden, stehen seit dem 16.02.2023 thermische Messungen und ab dem 05.10.2023 elektrische Messungen zur Verfügung. Messdaten der Anlagen für Gebäude C, D und E stehen seit dem 18.12.2023 zur Verfügung. Aufgrund grösserer Lücken und mangelnder Datenqualität können erst Daten ab dem 18.12.2023 für die Modellierung und Reglersynthese verwendet werden. Eine Arbeit zur Reglersynthese auf Basis von Experimenten und Daten des NEST wurde veröffentlicht<sup>3</sup>. Die dort verwendete Lösung ist nicht eins-zu-eins Vergleichbar mit jener im Hobelwerk, jedoch konnte eine Erweiterung der Regelmethode zur Ansteuerung mehrerer gekoppelter Teilsysteme entwickelt und gezeigt werden. Diese Erweiterung ermöglicht eine Anwendung auf bivalente Systeme wie im Hobelwerk.

Dazu wurde aufgrund von Datenpunktlisten und Funktionsbeschrieben der Teilanlagen in Haus A+B, relevante Datenpunkte zum Auslesen, aber auch zum Übersteuern der Anlage definiert. Zusätzlich wurden erste Sitzungen vereinbart, um die Integration und Terminierung der Beckhoff SPS, welche als Gateway zum lokalen System dient, zu koordinieren.

Hinweis: die Liste der Datenpunkten und Prinzipschemata der Wärmeerzeugung sind im Anhang 9.5 abgebildet.

---

<sup>3</sup> Yin, M., Cai, H., Gattiglio, A., Khayatian, F., Smith, R. S., & Heer, P. (2024). Data-driven predictive control for demand side management: theoretical and experimental results. *Applied Energy*, 353, 122101 (12 pp.). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122101>

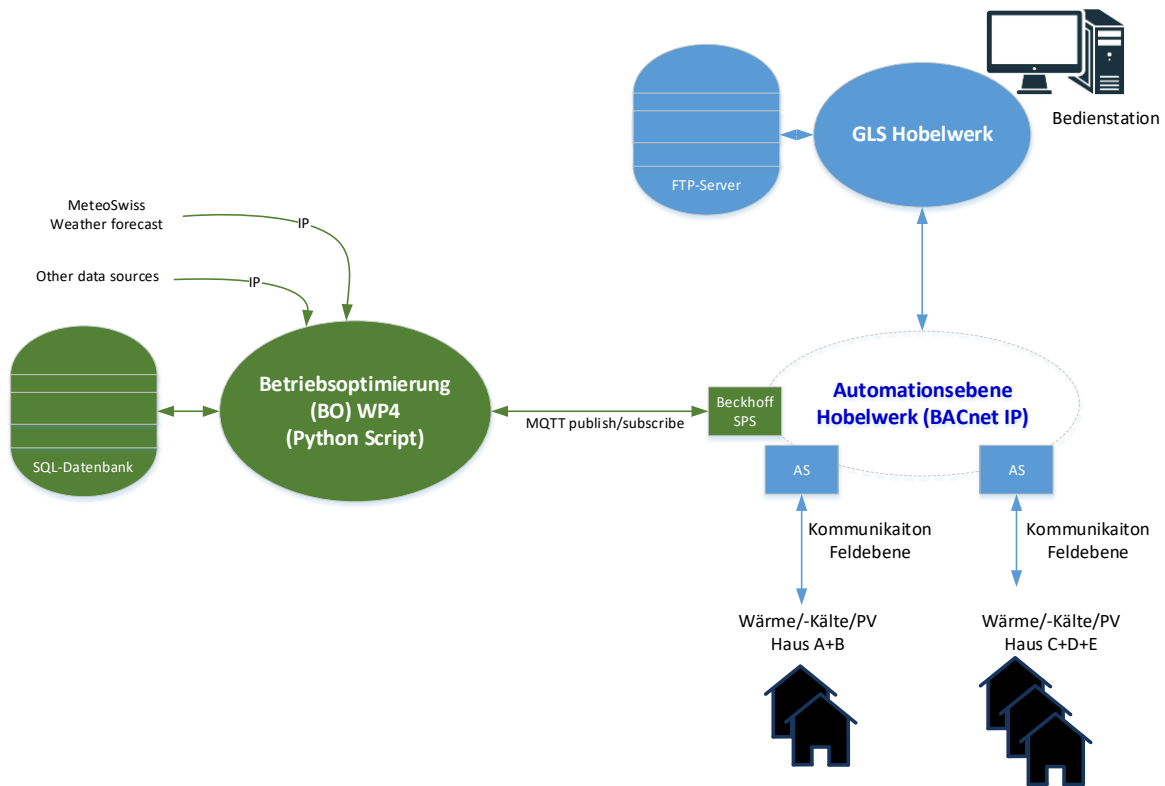


Abbildung 35 Konzeptionelle Anordnung und Integration der Betriebsoptimierung in das Automationssystem HAWnet

Da ein regulärer "Stand der Industrie" Betrieb über mindestens ein Jahr als Referenz-Datensatz dienen soll, wurde Wert daraufgelegt, dass die Betriebsoptimierung minimalinvasiv auf den regulären Betrieb einwirken soll, jedoch hinreichend Freiheitsgrade für einen optimierten Betrieb zur Verfügung stehen. So wurden auch Aspekte der Betriebssicherheit adressiert, im Falle eines Kommunikationsausfalls zwischen BO und Anlage oder eines Funktionsausfalls der BO selbst. Durch beidseitige Watchdogs kann die lokale Automation einen Anlagenausfall erkennen und auf den regulären Betrieb wechseln.

Gegenüber der Standardregelung benötigt die Betriebsoptimierung zusätzlich eine Wettervorhersage sowie eine Vorhersage des Wärmebedarfs. Die Wettervorhersage kann über APIs, bspw. via MeteSwiss abgerufen werden. Die Vorhersage des Wärmebedarfs basiert auf Verbrauchsmessungen für Heizwärme und Brauchwarmwasser der einzelnen Gebäude. Je nach Messkonzept sind solche Messungen in konventionell betriebenen Anlagen nicht vorhanden. Abgesehen davon werden keine zusätzlichen Messungen benötigt.

Für diesen Pilot ersetzt die Betriebsoptimierung nicht den Standardregler. Auch im Falle der aktiven Betriebsoptimierung bleibt der Standardregler aktiv. Damit die Betriebsoptimierung auf die Anlage einwirken kann, wurden Offset-Datenpunkte für Sollwerte definiert, die von Fern geschrieben werden können. So bewirtschaftet beispielsweise der Standardregler weiterhin die Wärme in den Pufferspeichern auf eine Soll Ein/Ausschalttemperatur. Die Betriebsoptimierung kann jedoch diese Ein/Ausschalttemperatur maximal  $\pm 5^\circ\text{C}$  verändern, und daher ein längeres/kürzeres Einschalten der Anlagen herbeiführen. Gemeinsam mit den HLK- und MSRL-Planer wurde eine Liste mit den nötigen Offset-Datenpunkten definiert und implementiert. Ein wichtiges Augenmerk wurde auf die Grenzwerte dieser Offsets gelegt, damit die Anlage keinen Schaden nehmen kann im Falle einer Fehlkommunikation.



Um spezifisch die Themen der Skalierbarkeit betrachten zu können, wurde zusätzliche Unterstützung durch den Klimafonds Winterthur beantragt und gutgeheissen. Im Projekt "Low tech, High intelligence" soll zusätzlich die WP-Automation von Haus A und B optimiert werden und die Transferierbarkeit auf das System in Haus C, D und E untersucht werden.

Zur Vorbereitung der messtechnischen Begleitung und Optimierung der bivalenten Heizungsregelung der Häuser C, D und E wird der Betrieb der monovalenten Luft/Wasser-Wärmepumpen der Häuser A und B (siehe Abbildung 36) bereits überwacht und optimiert.

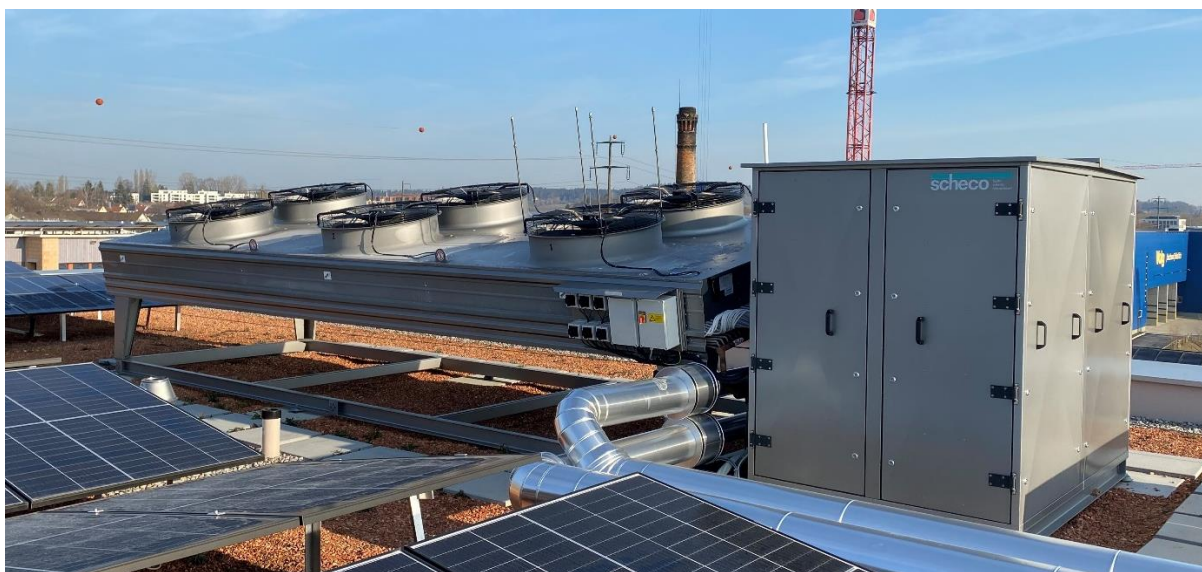


Abbildung 36 Auf dem Flachdach von Haus A aufgestellte Luft/Wasser-Wärmepumpe; Wärmeleistung (A-7/W35): 140 kW.

## 5.6 Messergebnisse

Mit den vorhandenen Messdaten wurden erste Analysen durchgeführt. Als Erstes wird auf den Spitzenlastanteil der Wärmeproduktion eingegangen, danach wird die Einschaltdauer des Pelletofens diskutiert. Auch wird auf die Datenqualität eingegangen. Diese Messergebnisse stellen erste Analysen dar, die über die kommenden Monate komplettiert werden.

### 5.6.1 Spitzenlastanteil

Ein Schwerpunkt dieses Arbeitspakets liegt in der Koordination des Spitzenlastsystems (Pelletkessel) und der Wärmepumpenanlage. Der Anteil der Bereitstellung von Wärme für Heizung und Brauchwarmwasser zwischen den beiden Systemen konnte mit den ersten gemessenen Daten über fünf Monate beziffert werden. Mit dem Standartregler wurden in diesem Zeitraum 14.9% der Wärme durch das Spitzenlastsystem bereitgestellt. Für die verhältnismässig warme Zeit zwischen Ende Dezember 2023 und Mai 2024 wurde also ein Grossteil der Energie von der Wärmepumpe bereitgestellt. Es kann aber der Trend beobachtet werden, dass je kälter die Mittlere Tagestemperatur ist, desto mehr Energie wird auch durch die Spitzenlast gedeckt. Es ist also davon auszugehen, dass über einen längeren Zeitraum – der auch kältere Perioden umfasst – der Anteil der Spitzenlast zunimmt. Abbildung 38 zeigt dazu die mittlere Tagesleistung der beiden Anlagen entsprechend der Tagesmitteltemperatur. Man kann beobachten, dass der gesamte Wärmebedarf gut durch die Anlagen bereitgestellt werden kann. Mit einer Nennleistung im Auslegungspunkt der Wärmepumpe von 225kW, sowie des Pelletkessels von 200kW, steht im Tagesmittel genügend Kapazität zur Verfügung, um den Wärmebedarf auch bei sehr kalten Temperaturen durch lediglich eine der beiden Anlagen zu decken. Das Zuschalten der



Spitzenlast kann beobachtet werden, wenn tagesintern der Wärmebedarf die Nennleistung der Wärmepumpe übersteigt. Abbildung 37 zeigt drei Tage mit Aussentemperaturen um null Grad, während denen die Spitzenlast nach dem Hochfahren der Wärmepumpe auf ihr Maximum unterstützt (grüner Kreis). Davor und danach fährt die Wärmepumpe unter 50% der Nennleistung. Es können auch Fälle beobachtet werden, in denen die Spitzenlast zuschaltet, aber die Wärmepumpe nicht auf 100% läuft (roter Kreis).

Es ist also davon auszugehen, dass ein Flexibilitätspotential vorhanden ist, den Anteil der Spitzenlast weiter zu reduzieren.

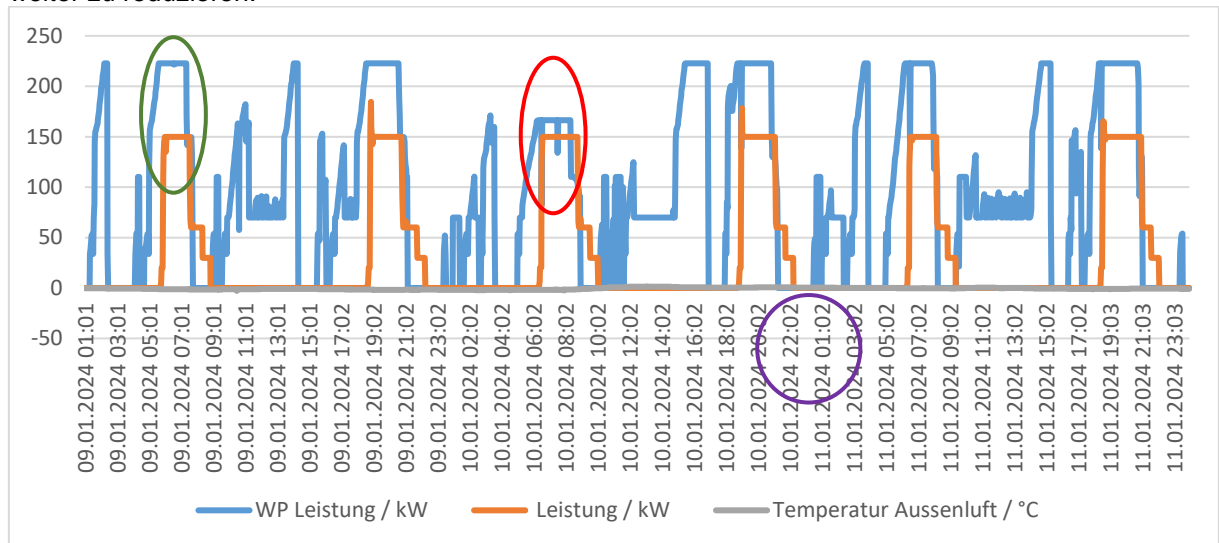


Abbildung 37: Leistungsverlauf von Wärmepumpe und Pelletkessel in 2-Min. Auflösung über 3 Tage.

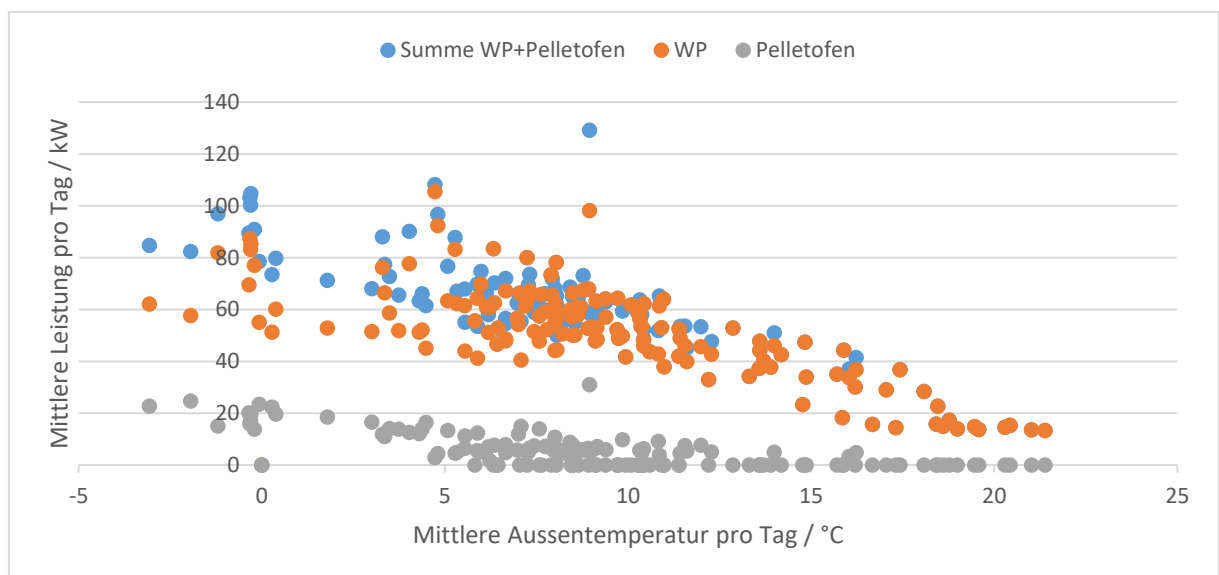


Abbildung 38: Wärmebereitstellung über gemittelte Tage über 5 Monate Messdauer.



### 5.6.2 Einschaltdauer Pelletkessel

Der Pelletkessel hat eine mittlere Einschaltdauer von 3.06 Stunden. Es kann eine Verteilung von einer Stunde um diesen Mittelwert beobachtet werden, mit wenigen Ausreißern. So konnte lediglich eine Einschaltdauer kürzer als 45 Minuten (minimaler Ausreisser) und eine Einschaltdauer von 7.5 Stunden (maximaler Ausreisser) beobachtet werden. Abbildung 39 zeigt ein Histogramm der Einschaltdauer des Pelletofens.

Eine Betrachtung des Einschaltmoments am Tag (siehe Abbildung 40) zeigt eine Häufung in den frühen Morgenstunden, sowie eine Zunahme am Abend. Dies kann auf den Tendenziell höheren Warmwasserbedarf in den Morgen- und Abendstunden, sowie häufigerer Abtauvorgänge der Wärmepumpe in dunklen und eher feuchteren Stunden (siehe Abbildung 41) zurückgeführt werden.

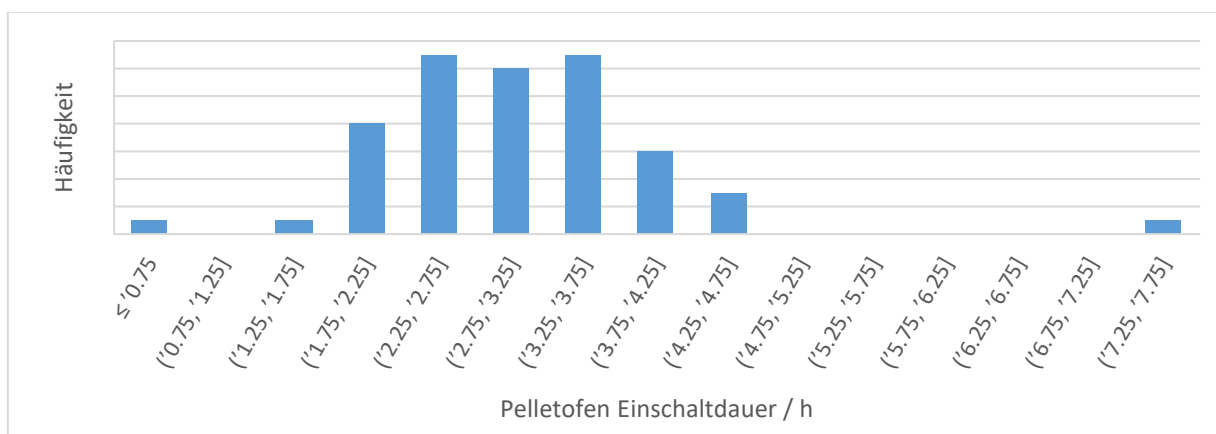


Abbildung 39: Histogramm der Pelletofen Einschaltdauer.

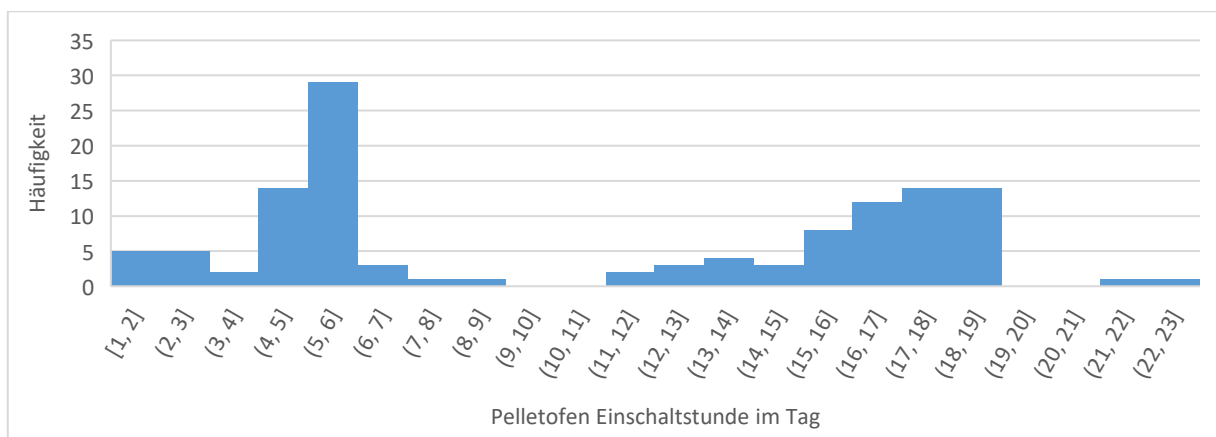


Abbildung 40: Histogramm der Pelletkessel- Betriebsstunden je Tageszeit.

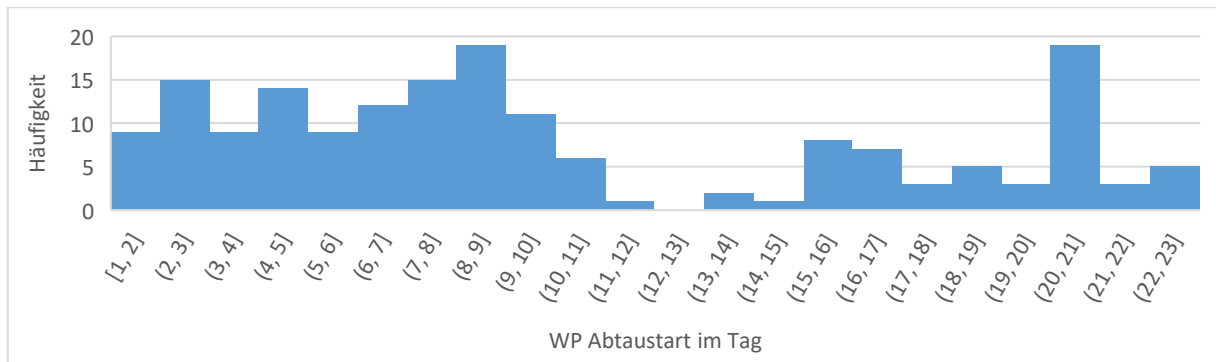


Abbildung 41: Anzahl Abtaustarts der Wärmepumpe je Tageszeit.

### 5.6.3 Datenqualität

Wie bereits unter 5.5 angemerkt, wurde eine mangelnde Datenqualität festgestellt. Es wurden viele unregelmässige kürzere Messlücken (<10 Minuten; siehe rote Klammer in Abbildung 42: Histogramm der Dauer von Datenlücken. Abbildung 42) aber auch längere regelmässige Messlücken (regelmässig keine Daten in der ersten Stunde des Tages; siehe roter Pfeil in Abbildung 42: Histogramm der Dauer von Datenlücken. Abbildung 42 und violetter Kreis in Abbildung 37). Ab dem 18.12.2023 hat die Datenqualität generell zugenommen, wie Abbildung 43 beispielhaft zeigt. Die stündige Lücke zwischen 00:00:00 und 01:00:00 bleibt jedoch bestehen. Für die Modellierung und Reglersynthese kann mit dieser Datenqualität gearbeitet werden. Für eine spätere Regelung der Anlage muss jedoch dieser Fehler behoben werden, um eine durchgehende Betriebsoptimierung sicherstellen zu können.

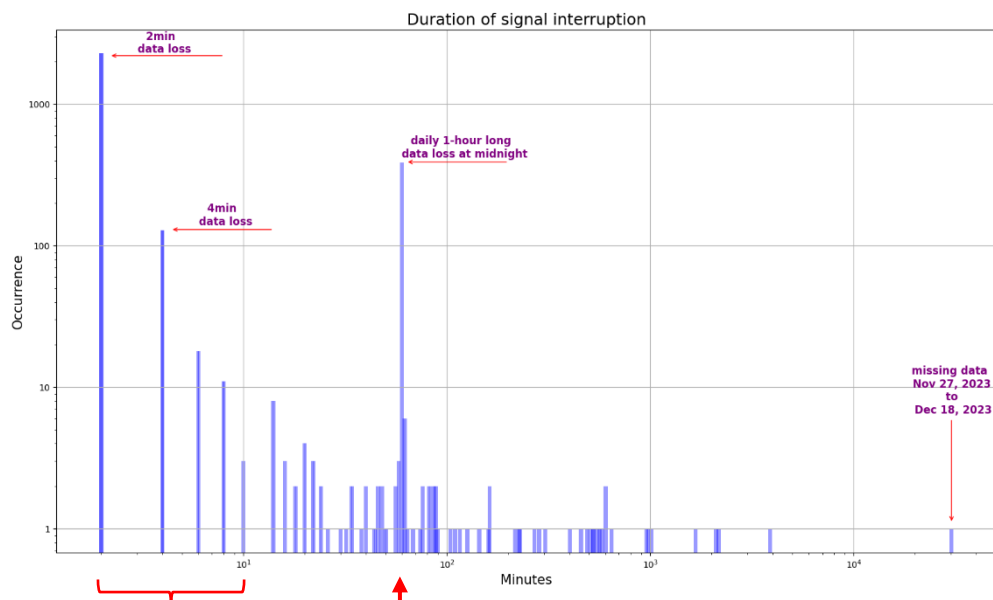


Abbildung 42: Histogramm der Dauer von Datenlücken.



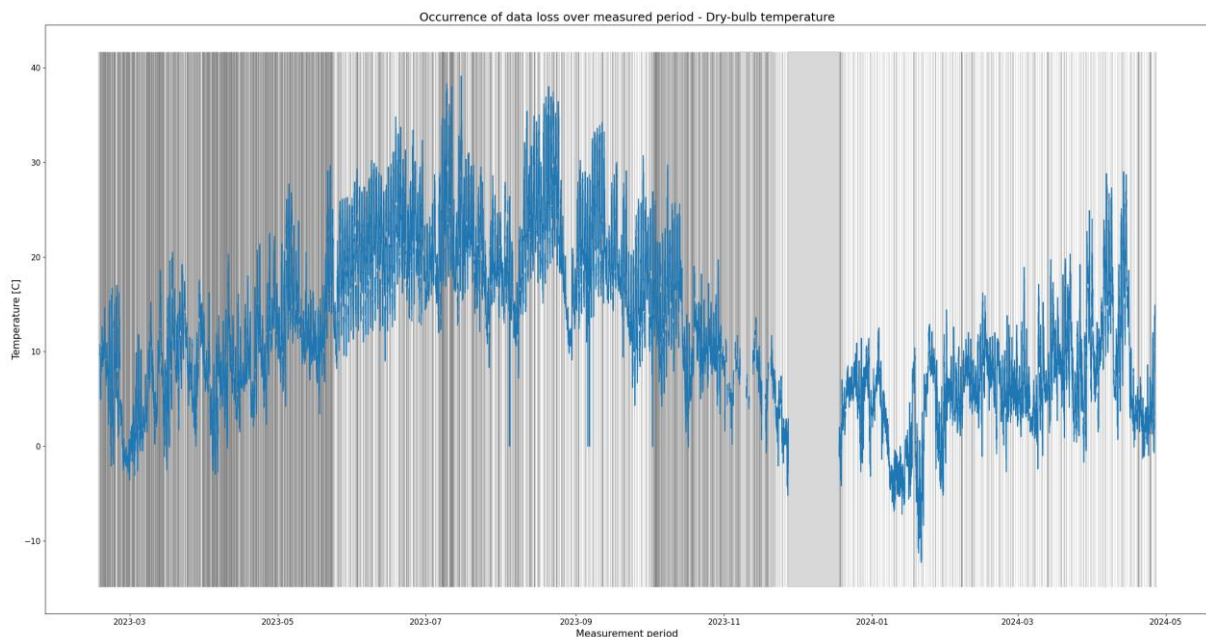


Abbildung 43: Beispielzeitreihe eines Datenpunkts mit eingezeichneten Datenausfällen (grau hinterlegt).

## 5.7 Treibhausgasbilanz der Wärmeerzeugung

Die Abschätzung des Materialaufwands und der Treibhausgasbilanz Erstellung folgt im Zwischenbericht 2025.

## 5.8 Kostenbilanz der Wärmeerzeugung

Die Abschätzung der Investitions- und Betriebskosten folgen im Zwischenbericht 2025

## 5.9 Bewertung der Ergebnisse

Abgesehen von der mangelnden Datenqualität schreitet das Arbeitspaket planmässig voran. Es konnten grosse Fortschritte in den einzelnen Teilschritten gemacht werden.

## 5.10 Weiteres Vorgehen

Über die kommenden Monate soll die Betriebsanalyse aller Heizsysteme in den Gebäuden A, B, C, D und E auf Basis der Messdaten abgeschlossen werden. Zudem wird eine erste Akzeptanzerhebung vorbereitet, die Anfang 2025 durchgeführt werden soll, um die Analyse und Bewertung des Standartreglers zu komplettieren. Neben der Reglersynthese wird parallel an der Verbesserung der Datenqualität gearbeitet. Es kann davon ausgegangen werden, dass in der Heizperiode 2024/25 erste Kampagnen mit aktivierter Betriebsoptimierungen gefahren werden können.



## 6 AP5: Treibhausgas und Lebenszykluskosten

### 6.1 Ausgangslage

Es ist bisher noch unklar, welche Kosten-/Umweltnutzen die einzelnen, in der Arbeitspaketen AP1 bis AP4 untersuchten, Ansätze haben. Für eine erfolgreiche Skalierung der Massnahmen sind diese Kenntnisse aber unabdingbar. AP5 stellt die verschiedenen Ansätze auf eine vergleichbare Basis und erlaubt damit eine Synthese auf Gebäudeebene.

### 6.2 Fragestellung und Zielsetzung

AP5 hat zum Ziel, die einzelnen Ansätze vergleichbar zu machen. Das Gesamtprojekt wird mit einem gemeinsamen Analyserahmen und einheitlichen Kenngrössen (z.B. CHF pro eingesparte Tonne CO<sub>2,eq</sub>) evaluiert.

### 6.3 Vorgehen und Methode

AP5 umfasst folgende Arbeitsschritte:

- Berechnung der eingesparten Treibhausgasemissionen und der Mehr- und Minderkosten durch die Innovationen im Holzbau (AP1)
- Berechnung der eingesparten Treibhausgasemissionen und der Mehr- und Minderkosten, auch unter Berücksichtigung der zu erwartenden Restlebensdauer, der Re-Use Bauteile (AP2)
- Auswertung der Materialauszüge um die Treibhausgasemissionen sowie die Investitionskosten für die Erstellung der bedarfsabhängig geregelten Abluftanlagen (AP3) zu ermitteln
- Vergleich der Treibhausgasemissionen der Erstellung der beiden unterschiedlichen Wärmeerzeugungssysteme (monovalent versus bivalent) (AP4)
- Analyse von CO<sub>2</sub>-Ausstoss und Kosten der bivalenten Heizungsanlage anhand statistischer Analyse des Brennstoffverbrauchs, der Wärmeproduktion, der Aussentemperatur und weiteren Daten des Gebäudeleitsystems (AP4)
- Identifikation von Synergiepotential und vom abnehmenden Grenznutzen bei der Kombination der einzelnen Ansätze

### 6.4 Treibhausgasbilanz

#### 6.4.1 Vergleich mit den Anforderungen gemäss SIA 390/1

In diesem Kapitel werden die Treibhausgasemissionen der realisierten Gebäude behandelt. Dabei fliessen die Erkenntnisse der einzelnen Arbeitspakete in die Auswertung ein. Dargestellt werden die Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus, bezogen auf die Energiebezugsfläche und die Lebensdauer der einzelnen Bauteile. Die Bilanz umfasst die Emissionen der Gebäudeerstellung, des Betriebs und der durch die Gebäudenutzung induzierten Alltagsmobilität.

Die höchsten Treibhausgasemissionen sind, wie zu erwarten, bei Haus E, dem Massivbau, festzustellen (siehe Abbildung 44). Um rund 10% besser schneidet Haus C ab. Spitzenreiter ist das Haus D welches 15 % besser ist als Haus E. Zum guten Ergebnis tragen bei Haus D der Holzbau, Re-Use-Bauteile sowie der Verzicht auf ein Untergeschoss bei.



Bei allen drei Häusern werden für diesen Zwischenbericht die gleichen Werte auf Ebene Betrieb und Mobilität verwendet. Eine differenzierte Auswertung der Betriebsemissionen erfolgt im nächsten Zwischenbericht.

Die beiden Holzbauten C und D halten sowohl den Zielwert B als auch die Zusatzanforderung B für Wohnbauten gemäss SIA 390/1 ein. Der Massivbau, Haus E, überschreitet die Zusatzanforderung B deutlich, um 1.4 kg/m<sup>2</sup>a und den Zielwert B knapp, um 0.2 kg/m<sup>2</sup>a.

Dargestellt sind in Abbildung 44 der Zielwert B (jährliche Emissionen Erstellung + Betrieb + Mobilität) und die Zusatzanforderung B (jährliche Emissionen Erstellung + Betrieb) für Wohnbauten. Haus C umfasst auch rund 20% Büroflächen. Der Zielwert B und die Zusatzanforderung B wären daher bei Haus C genau genommen leicht höher.

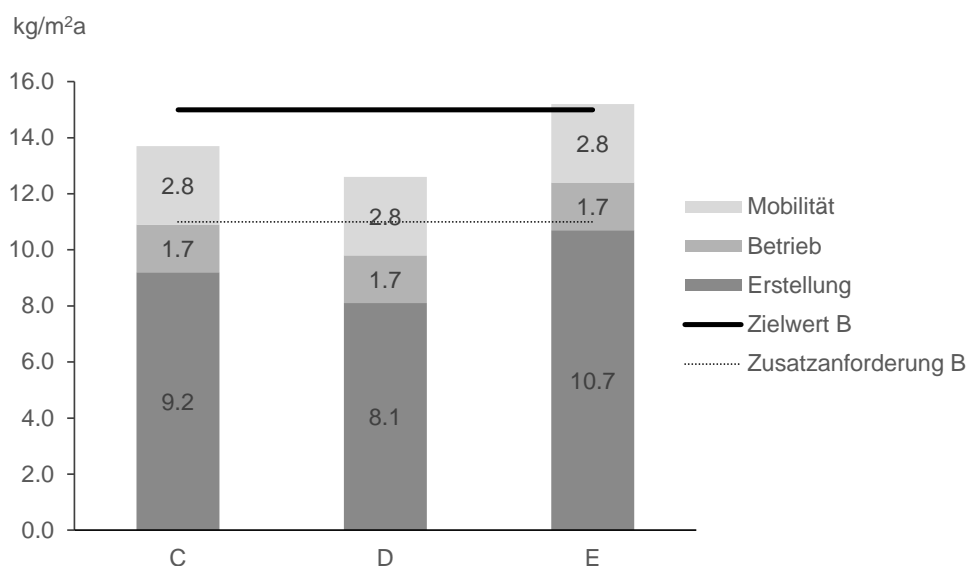


Abbildung 44: Treibhausgasemissionen der Häuser C, D, E für Erstellung, Betrieb und Mobilität – Vergleich mit den Anforderungen gemäss SIA 390/1 Klimapfad; Zielwert B Wohnen: 15.0 kg/m<sup>2</sup>a; Zusatzanforderung B: 11.0 kg/m<sup>2</sup>a

#### 6.4.2 Vergleich Ausführungsprojekt mit Bauprojekt

Auf Stufe Ausführungsprojekt ergeben sich Ökobilanzen, welche über die Detailtiefe der klassischen Nachweisberechnung auf Stufe Baueingabe hinaus gehen. In Abbildung 45 ist ein Vergleich der Ergebnisse auf Stufe Bauprojekt mit den aktuell vorliegenden Ergebnissen der Häuser C, D, E auf Stufe Ausführungsprojekt dargestellt. Die aktuelle Treibhausgasbilanz der drei Häuser ist mit 14.1 kg/m<sup>2</sup>a gegenüber 15.1 kg/m<sup>2</sup>a rund 1.0 kg/m<sup>2</sup>a tiefer als noch auf Stufe Bauprojekt berechnet. Folgendes hat zu den tieferen Werten beigetragen:

- Erstellung: die Materialisierung einzelner Holzbauteile (OSB statt Hartfaserplatte, Vollholz statt Brettschichtholz, Holzfaser statt Steinwolle) und des Laubengangs von Haus C (mehr Stahl, weniger Beton) wurde angepasst.
- Betrieb: der Betriebsenergiebedarf basiert auch beim Ausführungsprojekt noch auf der Baueingabe, die Auswertung des tatsächlichen Betriebsenergieverbrauchs liegt noch nicht vor.
- Mobilität: die tiefe Personenwagen-Verfügbarkeit pro Bewohnende (0.10) wurde auf Stufe Bauprojekt noch nicht korrekt berücksichtigt.

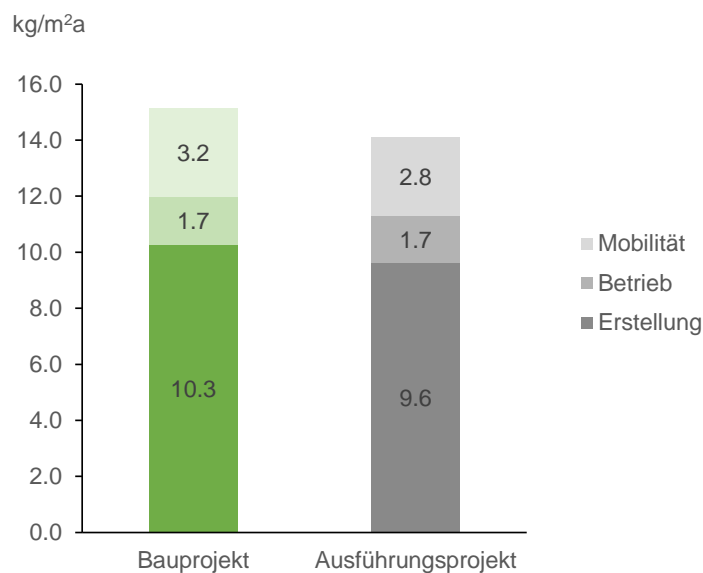


Abbildung 45: Treibhausgasemissionen der Häuser C, D & E für Erstellung, Betrieb und Mobilität – Vergleich Bauprojekt mit Ausführungsprojekt

#### 6.4.3 Treibhausgasbilanz der Erstellung

Auf Ebene Erstellung stellt man fest, dass sich die drei Häuser bezüglich der «Baumaterialien allgemein» und «Haustechnik allgemein» unterscheiden (siehe Abbildung 46). Die Erstellung der Photovoltaikanlage sowie die Erstellung der Tiefgarage hingegen bilden einen «Sockel», der bei allen Gebäuden gleich ist. Grund hierfür ist, dass durch einen Zusammenschluss zum Eigenverbrauch (ZEV) alle drei Gebäude gleichermassen von den auf den Dächern von Haus C und der bestehenden Z-Halle installierten Photovoltaikanlagen profitieren. Weiter nutzen alle Häuser die gemeinsame Tiefgarage, die sich unter den Baufeldern A und B befindet, mit durchschnittlich 0.3 Parkplätzen pro Wohneinheit.

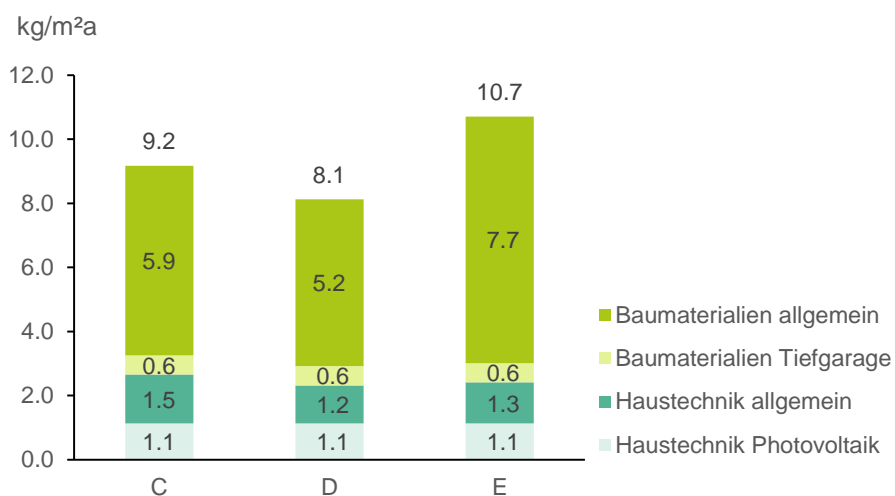


Abbildung 46: Treibhausgasemissionen der Erstellung



Taucht man auf Ebene «Baumaterial allgemein» tiefer ein, lässt sich erkennen, welche Gebäude in Holzbauweise sind. Dabei macht das Holz bis zu einem Drittel der Treibhausgasemissionen aus.

Bei Haus C stammen die meisten Treibhausgasemissionen von Beton (das UG bis 1.OG sind in Beton erstellt), gefolgt von Holz und mineralischen Materialien (Gips, Anhydrit, Mörtel etc.). Zusammen generieren diese Materialien 75% der Treibhausgasemissionen. Im Kapitel 2 «CO<sub>2</sub>-optimierter Holzbau» wird auf das Potential eines reinen Holzbaus hingewiesen. Das Metall wird unter anderem für die Stahlstützen des Laubengangs benötigt. Hier fallen insgesamt 75.9 Tonnen an Stahlprofilen an. In den Holzbaumodulen sind zur Aussteifung und zur Erleichterung von Transport und Montage mit dem Pneukan weitere 13.8 Tonnen Baustahl verbaut.

Bei Haus D fallen die tiefen Werte der Fenster auf. Sie sind deutlich tiefer als bei Haus C und Haus E. Grund hierfür ist, dass rund 30% der Fenster aus Re-Use stammen, die rund 50% weniger Treibhausgasemissionen als ein neues Fenster verursachen.

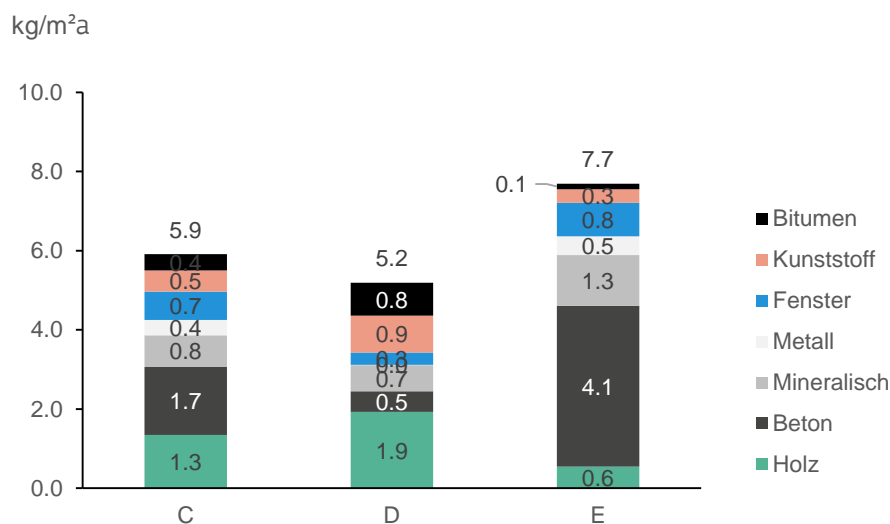


Abbildung 47: Treibhausgasemissionen der Baumaterialien pro Materialgruppe

#### 6.4.4 Optimierungspotenzial - Interviews mit Architekten

Nach einer Analysephase der Erstellungsemissionen mit Fokus Re-Use und Holzbau hat Lemon Consult mit den beteiligten Architekten Gespräche geführt, um mögliche Optimierungen für die Zukunft abzuleiten.

Im Themenbereich Holzbau wurde festgehalten, dass die Nähe der ausführenden Firma ein grosser Vorteil war und verschiedene Anstrengungen unternommen wurden, um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Diese Schritte sind im klassischen Massivbau jedoch weniger anspruchsvoll als im Holzbau. Eine Herausforderung im Holzbau sind die Brandschutzvorschriften, welche beispielsweise verhindern, dass die Innenwände aus rohem Holz gefertigt werden können. Zudem musste der Laubengang ebenfalls aus Brandschutzgründen in Stahl/Beton erstellt werden. Ebenso bestanden im Haus C aufgrund der Gewerbenutzungen entsprechende Vorgaben an diese Geschosse, die aus statischen und finanziellen Gründen dazu geführt haben, dass diese Geschosse im Massivbau erstellt wurden.

In den Gesprächen war eine Erkenntnis, dass der Holzbauer frühzeitig im Projekt integriert sein muss, um Fehlplanungen zu vermeiden. Die Holzbauer sind meist an ihre Systeme gebunden und die Architektur sollte darauf abgestimmt werden. Die Projektierung soll in iterativen Schritten erfolgen. Seitens Lemon Consult wird ergänzt, dass grundsätzlich bei Projekten mit hohen Nachhaltigkeitszielen, die entsprechenden Fachplanenden frühzeitig eingebunden werden müssen. Eine klare Bestellung zu



Projektbeginn wird von allen beteiligten als essenziell wahrgenommen. Dabei müssen auch die Nachhaltigkeitsziele definiert werden.

Weiter haben sich Pauschalangebote als Hindernis für Optimierungen im Prozess erwiesen, da der Holzbauer aufgrund des Pauschalangebots nicht auf teurere Lösungen, die jedoch eine Emissionsreduktion bewirkt hätten, umschwingen möchte. Wichtig ist es zudem, die Optimierungslösungen auch mit entsprechenden Kosten zu hinterlegen, so dass die finanziellen Mittel wirkungsvoll zur Reduktion der Treibhausgasemissionen eingesetzt werden.

Im Themenbereich Re-Use wurde festgehalten, dass im Holzbau gut auf Re-Use Bauteile reagiert werden kann. Wichtig ist jedoch, dass diese Bauteile frühzeitig vorliegen. Diese Verzögerungen haben im vorliegenden Projekt mitunter zu einem eher tiefen Anteil an Re-Use Bauteilen geführt. Sobald klar ist, welche Re-Use Bauteile vorliegen und was noch an Aufwertungen notwendig ist, ist der Umgang mit Re-Use Bauteilen grundsätzlich problemlos. Die teilweise notwendigen Aufwertungen der Bauteile wurden im Projekt unterschätzt.

Gesamthaft wird festgehalten, dass die Ausgangslage im Projekt bereits gut war und darauf aufbauend noch Optimierungen getätigt wurden, welche eine hohe Komplexität aufweisen und entsprechende Fachplanende benötigen. Die richtige Objektwahl und das richtige Design kann demnach bereits einen Grossteil der Emissionsreduktion mit sich bringen. Daraus lässt sich auch ableiten, dass verbindliche Anforderungen an die Treibhausgasemissionen für die Erstellung eingeführt werden sollen. Im Betrieb sind nahezu null Treibhausgasemissionen mit heutigen Mitteln verhältnismässig einfach umzusetzen während in der Erstellung noch eine weitere signifikante Reduktion der Treibhausgasemissionen erreicht und daher entsprechende Anreizsysteme geschaffen werden müssen.



## 6.5 Lebenszykluskosten

### 6.5.1 Ausgangslage

Gemäss Abschnitt 6.3 lautet die Fragestellung in Bezug auf die Kosten der Re-Use-Bauteile:

*Berechnen der Mehrkosten von wiederverwendeten Bauteilen unter Berücksichtigung der Restlebensdauer dieser Bauteile (AP2)*

Unter Berücksichtigung, dass unter diesen Voraussetzungen nur das Gebäude D mit Re-Use Bauteilen betrachtet wird und zusätzlich im Kapitel 3.7 ein Investitionskostenvergleich vorliegt, greift dieser Vergleich als Forschungsfrage zu kurz und soll daher erweitert werden. Zusätzlich sind die Anforderungen an die Re-Use-Bauteile so definiert, dass diese die gültigen Normen einhalten müssen, um im Neubau eingesetzt werden dürfen. Somit sind auch die gängigen Abschätzungen der entsprechenden Lebensdauer der einzelnen Re-Use Bauteile analog von Neubauteilen. Abweichende Behauptungen müssten zuerst bewiesen werden.

Unter der Prämisse, dass auf dem Areal drei Gebäude mit unterschiedlichen Massnahmen zur Einsparung von Treibhausgasemissionen realisiert werden, ist es daher relevant, dass alle Massnahmen mittels eines Kostenvergleichs berücksichtigt und verglichen werden. Im Endeffekt hängt auch die Skalierbarkeit der Massnahmen vom Kosten-Nutzen-Verhältnis ab.

Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

- Weichen die Lebenszykluskosten der drei unterschiedlichen Herangehensweisen zur Einsparung von Treibhausgasemissionen in der Erstellung signifikant voneinander ab?
- Wie ist das Verhältnis der Lebenszykluskosten im Vergleich zu den Einsparungen der Treibhausgasemissionen Erstellung?

Dazu wird neben der Lebenszykluskostenberechnung noch eine Korrektur anhand der Kompaktheit des Gebäudes durchgeführt. Dies soll dazu beitragen, dass die drei sehr unterschiedlichen Gebäude normiert werden und so auf Ebene der unterschiedlichen Massnahmen vergleichbar werden.

### 6.5.2 Vergleich Lebenszykluskosten

Zur Berechnung der Lebenszykluskosten wird das Tool der International Facility Management Association (IFMA) verwendet. Dafür werden die Baukosten von BKP nach eBKP-h umgerechnet.

Anmerkungen zur Umrechnung der Kosten BKP zu eBKP-h

- Kosten Re-Use auf Wandbekleidung, Fenster und Innentüren verteilt.
- "214 Montagebau in Holz" zu 2/3 auf Kostenposition "C" und zu 1/3 auf Kostenposition "E2 Äussere Wandbekleidung" aufgeteilt.
- Kosten "272 Metallbauarbeiten" auf G5.4 Geländer abgebildet.
- "288 Überschuss aus Abrechnungen" und "289 Reserve aus Vergaben" in Nebenleistungen - diese fliessen aber nicht ins IFMA-Tool ein.
- Planungskosten nicht aufgeteilt. Alle unter "Diverse".
- "240 Heizungsinstallationen" hälftig auf "D5.2 Wärmeerzeugung" (Lebensdauer 20 Jahre) und "D5.3 / D5.4 Wärmeverteilung" (Lebensdauer 56 Jahre) aufgeteilt.
- "244 Lüftungstechnische Anlagen" hälftig auf "D7.2 Luftaufbereitung" (Lebensdauer 15 Jahre) und D7.3 [...] Luftverteilung" (Lebensdauer 56 Jahre) aufgeteilt.
- Investitionen Umgebung entsprechend den Geschossflächen auf die Gebäude aufgeteilt.
- Annahme einer Kompaktfassade in Haus E.





#### Annahmen zur Berechnung der Lebenszykluskosten

- Folgende Zinsfaktoren wurden gewählt:

|                                                             |       |
|-------------------------------------------------------------|-------|
| Preissteigerung (p) Bau (nominal)                           | 0.6 % |
| Preissteigerung (p) Verwaltung und Dienstleistung (nominal) | 0.8 % |
| Preissteigerung (p) Ver- und Entsorgung (nominal)           | 2.0 % |
| Kalkulationsszinssatz (nominal)                             | 1.5 % |

- Betrachtungszeitraum 30 Jahre,
- Mehrwertsteuer-Satz von 8.00 %
- Abschätzung Bewohnerzahlen pro Haus entsprechend folgender Tabelle:

|        | Zimmer | Nutzer | Bemerkung                                                                                 |
|--------|--------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Haus C | 102    | 84     | Nutzer pro Wohnung = Zimmer - 0.5                                                         |
| Haus D | 66     | 52     | 1-Zimmer-Wohnung 1 Bewohner / 2-Zimmer-Wohnung 1.5 Bewohner / 3-Zimmer-Wohnung 2 Bewohner |
| Haus E | 144    | 128    | Nutzer pro Wohnung = Zimmer - 0.5                                                         |

- Energiebezugsflächen identisch mit den Grundlagen Ökobilanz
- Flächen pro Nutzung gemäss Tabelle



Tabelle 15 Flächenanteile der Raumnutzungen pro Haus

|               |                            | Wohnen               | Sanitär           | Abstell            | Büro               | Verkauf            | Flur               | Funktion           |
|---------------|----------------------------|----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Haus C</b> | <b>3'770 m<sup>2</sup></b> | 2'456 m <sup>2</sup> | 63 m <sup>2</sup> | 360 m <sup>2</sup> | 409 m <sup>2</sup> | 271 m <sup>2</sup> | 95 m <sup>2</sup>  | 116 m <sup>2</sup> |
|               | UG                         |                      |                   | 291 m <sup>2</sup> |                    |                    | 95 m <sup>2</sup>  | 116 m <sup>2</sup> |
|               | EG                         |                      | 63 m <sup>2</sup> | 69 m <sup>2</sup>  |                    | 271 m <sup>2</sup> |                    |                    |
|               | 1. OG                      |                      |                   |                    | 409 m <sup>2</sup> |                    |                    |                    |
|               | 2. OG                      | 409 m <sup>2</sup>   |                   |                    |                    |                    |                    |                    |
|               | 3. OG                      | 409 m <sup>2</sup>   |                   |                    |                    |                    |                    |                    |
|               | 4. OG                      | 409 m <sup>2</sup>   |                   |                    |                    |                    |                    |                    |
|               | 5. OG                      | 409 m <sup>2</sup>   |                   |                    |                    |                    |                    |                    |
|               | 6. OG                      | 409 m <sup>2</sup>   |                   |                    |                    |                    |                    |                    |
|               | 7. OG                      | 409 m <sup>2</sup>   |                   |                    |                    |                    |                    |                    |
| <b>Haus D</b> | <b>1'928 m<sup>2</sup></b> | 1'487 m <sup>2</sup> | 18 m <sup>2</sup> | 137 m <sup>2</sup> | 199 m <sup>2</sup> | 0 m <sup>2</sup>   | 56 m <sup>2</sup>  | 31 m <sup>2</sup>  |
|               | EG                         | 167 m <sup>2</sup>   | 18 m <sup>2</sup> | 89 m <sup>2</sup>  | 199 m <sup>2</sup> |                    | 20 m <sup>2</sup>  | 15 m <sup>2</sup>  |
|               | 1. OG                      | 440 m <sup>2</sup>   |                   | 16 m <sup>2</sup>  |                    |                    | 12 m <sup>2</sup>  | 5 m <sup>2</sup>   |
|               | 2. OG                      | 440 m <sup>2</sup>   |                   | 16 m <sup>2</sup>  |                    |                    | 12 m <sup>2</sup>  | 5 m <sup>2</sup>   |
|               | 3. OG                      | 440 m <sup>2</sup>   |                   | 16 m <sup>2</sup>  |                    |                    | 12 m <sup>2</sup>  | 5 m <sup>2</sup>   |
| <b>Haus E</b> | <b>4'223 m<sup>2</sup></b> | 3'137 m <sup>2</sup> | 52 m <sup>2</sup> | 418 m <sup>2</sup> | 0 m <sup>2</sup>   | 0 m <sup>2</sup>   | 448 m <sup>2</sup> | 168 m <sup>2</sup> |
|               | UG                         |                      |                   | 280 m <sup>2</sup> |                    |                    | 62 m <sup>2</sup>  | 113 m <sup>2</sup> |
|               | EG                         | 200 m <sup>2</sup>   | 52 m <sup>2</sup> | 52 m <sup>2</sup>  |                    |                    | 93 m <sup>2</sup>  | 7 m <sup>2</sup>   |
|               | 1. OG                      | 366 m <sup>2</sup>   |                   | 12 m <sup>2</sup>  |                    |                    | 38 m <sup>2</sup>  | 6 m <sup>2</sup>   |
|               | 2. OG                      | 366 m <sup>2</sup>   |                   | 12 m <sup>2</sup>  |                    |                    | 38 m <sup>2</sup>  | 6 m <sup>2</sup>   |
|               | 3. OG                      | 366 m <sup>2</sup>   |                   | 12 m <sup>2</sup>  |                    |                    | 38 m <sup>2</sup>  | 6 m <sup>2</sup>   |
|               | 4. OG                      | 366 m <sup>2</sup>   |                   | 12 m <sup>2</sup>  |                    |                    | 38 m <sup>2</sup>  | 6 m <sup>2</sup>   |
|               | 5. OG                      | 366 m <sup>2</sup>   |                   | 12 m <sup>2</sup>  |                    |                    | 38 m <sup>2</sup>  | 6 m <sup>2</sup>   |
|               | 6. OG                      | 366 m <sup>2</sup>   |                   | 12 m <sup>2</sup>  |                    |                    | 38 m <sup>2</sup>  | 6 m <sup>2</sup>   |
|               | 7. OG                      | 369 m <sup>2</sup>   |                   | 8 m <sup>2</sup>   |                    |                    | 32 m <sup>2</sup>  | 6 m <sup>2</sup>   |
|               | 8. OG                      | 369 m <sup>2</sup>   |                   | 8 m <sup>2</sup>   |                    |                    | 32 m <sup>2</sup>  | 6 m <sup>2</sup>   |

Kommentare Flächenzuordnung / Nutzung Gewerbe:

- Generelle Kommentare
  - Kellerabteile sind als NNF 7.3 klassifiziert (Abstell)
  - Gemeinschaftsräume sind als Wohnen klassifiziert
  - WCs / Bäder zählen als Teil der jeweiligen HNF
  - Aufzüge sind als Verkehrsfläche (Flure) klassifiziert.
  - Umgebungsflächen (in Gebäudeinformationen) sind nicht ausgefüllt. Dies hat einen Einfluss auf die Wartungskosten Umgebung. Die Umgebung gilt als generell geteilt.
- Haus C
  - Aussenliegende Lifte sind nicht berücksichtigt
  - Gewerbe Erdgeschoss "Verkaufsräume"
  - Gewerbe 1. Obergeschoss "Bürräume und Besprechungsräume"

Haus D

- Gewerbe Erdgeschoss "Bürräume und Besprechungsräume". Inkl. Ateliers von Ateli-erwohnungen
- Treppenhaus und Lift sind nicht berücksichtigt (aussenliegend)
- Haus E
  - keine spezifischen Annahmen



### 6.5.3 Berechnungsverfahren

#### Statische oder dynamische Verfahren

Grundsätzlich werden zwei Gruppen an Methoden unterschieden: die statischen und die dynamischen Verfahren (<https://www.ibau.de/akademie/glossar/lebenszykluskosten/>). Bei statischen Verfahren werden die einzelnen Kosten beziehungsweise Erträge ohne Berücksichtigung ihres Entstehungszeitpunktes aufsummiert. Das macht sie besonders einfach in der Anwendung, aber auch sehr ungenau, weshalb sie selten genutzt werden. Bei dynamischen Verfahren hingegen werden Kosten, die zu einem späteren Zeitpunkt anfallen, über eine Preissteigerungsrate auf den Wert des jeweiligen Zeitpunktes hochgerechnet. Anschließend werden diese Kostenwerte über einen Diskontierungszinssatz auf den Gegenwartswert, den sogenannten Barwert, heruntergerechnet.

#### Kapitalwertmethode oder Barwertmethode

Die Kapitalwertmethode ist die häufigste Methode zur Berechnung der Lebenszykluskosten. Dabei werden die Barwerte aller Kosten summiert. Fällt der Kapitalwert positiv aus, ist die Investition grundsätzlich wirtschaftlich sinnvoll. Wie hoch der Zinssatz zur Ermittlung der Barwerte angesetzt wird, muss unabhängig von der Investitionsrechnung beziehungsweise der Wirtschaftlichkeitsrechnung festgelegt werden. Meist wird mit Wunschinssätzen oder Vergleichszinssätzen gearbeitet. Das Investitionsrisiko ist im gewählten Zinssatz normalerweise mit eingerechnet. Die Methode eignet sich besonders zum Vergleich der Lebenszykluskosten verschiedener Varianten oder Gebäude.

### 6.5.4 Ergebnisse

Es werden sowohl die Resultate der dynamischen als auch der statischen Berechnung miteinander verglichen. Bezugsfläche ist die GF nach SIA 416. Nachfolgend sind sowohl die direkten Resultate aus der Lebenszykluskostenberechnung, als auch die auf eine Kompaktheit der Gebäudehüllfläche A zur Energiebezugsfläche  $A_E$  normierten Ergebnisse aufgeführt.

Tabelle 16 Unkorrigierte Resultate

| Haus | Geschossfläche<br>m <sup>2</sup> | Kompaktheit<br>A/A <sub>E</sub> | LCC statisch<br>CHF / m <sup>2</sup> .a | LCC dynamisch<br>CHF / m <sup>2</sup> .a | Erstellung<br>CHF / m <sup>2</sup> |
|------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
| C    | 4'412                            | 1.0                             | 241                                     | 233                                      | 2'783                              |
| D    | 2'337                            | 1.2                             | 270                                     | 255                                      | 3'242                              |
| E    | 4'850                            | 0.8                             | 195                                     | 174                                      | 2'194                              |

Tabelle 17 Normierte Resultate mit Kompaktheit A/A<sub>E</sub>=1.0

| Haus | Geschossfläche<br>m <sup>2</sup> | Kompaktheit<br>A/A <sub>E</sub> | LCC statisch<br>CHF / m <sup>2</sup> .a | LCC dynamisch<br>CHF / m <sup>2</sup> .a | Erstellung<br>CHF / m <sup>2</sup> |
|------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
| C    | 4'412                            | 1.0                             | 241                                     | 233                                      | 2'783                              |
| D    | 2'337                            | 1.0                             | 225                                     | 213                                      | 2'701                              |
| E    | 4'850                            | 1.0                             | 244                                     | 218                                      | 2'743                              |



Die Korrektur der Resultate zeigt auf, dass sowohl die Erstellungskosten als auch die Lebenszykluskosten für alle Massnahmen sich bei einem geometrisch vergleichbaren Gebäude kaum unterscheiden. Somit sind die Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen auf Basis der bisherigen Berechnungen in Sachen Kosten sehr nahe beieinander. Eine abschliessende Validierung erfolgt mit Vorliegen der Betriebskosten im nächsten Zwischenbericht. Die Lebenszyklus- und Erstellungskosten hängen stärker von der geometrischen Form, bzw. der Kompaktheit des Gebäudes ab, als von den ergriffenen Massnahmen auf Bauteilebene oder Apparateebene zur Reduktion der Treibhausgasemissionen.

#### Erstellungskosten über den Projektverlauf

Die Erstellungskosten wurden über die Zeit jeweils entsprechend dem Projektstand erhoben. Dabei stammen die Referenzkosten aus dem ursprünglichen Projekt, bevor die Planungsänderungen mit den Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen eingepreist wurden.

Tabelle 18 Entwicklung der Erstellungskosten über den Projektverlauf

|               | KS VP (± 15%)<br>Okt 2020 | KV Original<br>31.10.2021 | KV revidiert<br>30.11.2022 | Abschlussprognose<br>18.08.2023 | Abweichung<br>zur KS 2020 |
|---------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| <b>Gesamt</b> | <b>33'650'000</b>         | <b>32'915'000</b>         | <b>33'654'000</b>          | <b>33'825'000</b>               | <b>0.5 %</b>              |
| Haus C        | 13'645'000                | 12'860'000                | 13'181'000                 | 13'234'000                      | -3.0 %                    |
| Haus D        | 7'965'000                 | 8'045'000                 | 8'351'000                  | 8'395'000                       | 5.4 %                     |
| Haus E        | 12'040'000                | 12'010'000                | 12'122'000                 | 12'196'000                      | 1.3 %                     |

Die Erstellungskosten blieben gemäss obiger Aufstellung somit über das gesamte Projekt mehrheitlich konstant. Die prognostizierten Schlusskosten weichen maximal 5.4 % von der Kostenschätzung aus dem Vorprojekt ab und sind somit innerhalb der Genauigkeit der Kostenschätzung. Zu berücksichtigen ist auch die Teuerung mit einer Steigerung des Baupreisindexes vom Oktober 2020 bis Oktober 23 um über 10 %



## 6.6 Bewertung der Ergebnisse

Dieses Arbeitspaket befindet sich zurzeit noch in der Bearbeitungsphase. Die im vorangehenden Kapitel beispielhaft gezeigten, vorläufigen Resultate, lassen noch keine abschliessende Bewertung zu.

## 6.7 Weiteres Vorgehen

Die Berechnung der vollständigen Treibhausgasbilanzen der Massnahmen der Arbeitspakete AP1 bis AP4 ist erst nach Bauabschluss inkl. Mängelbereinigung, voraussichtlich ab Ende 2024 möglich. Die Berechnung und kombinierte Auswertung der Lebenszykluskosten erfolgt, sobald die definitive Bauabrechnung der entsprechenden Bauteile und Arbeiten vorliegt.



## 7 AP6: Kommunikation und Dissemination

### 7.1 Kommunikationskonzept

Die Projektergebnisse werden sowohl direkt auf dem Hobelwerk Areal (mittels Führungen), über Fachveranstaltungen, Print- und Onlinemedien (via Fachzeitschriften, Newsletter) vermittelt. Von Seiten mehr als wohnen aus wird über einen Newsletter mit fast 4'000 Adressaten periodisch auf die Ergebnisse aufmerksam gemacht. Zudem finden auf dem Hunziker Areal regelmässig Führungen mit etwa 1'000 Besuchenden pro Jahr statt. Die Resultate werden darüber hinaus an verschiedenen Tagungen, unter anderem der hauseigenen Innovationsversammlung, präsentiert und bei einschlägigen Fachzeitschriften (z.B. TEC21, Wohnen) platziert.

Eine weitere Option wäre, analog zum Ausstellungsraum auf dem Hunziker Areal, eine fixe Ausstellung auf dem Hobelwerk zu entwickeln oder aber die Ausstellung vom Hunziker Areal weiter zu entwickeln. Solide und gut aufbereitete Ergebnisse zur Treibhausgas reduzierten Erstellung sowie zum energieeffizienten Betrieb könnten so einem breiten Publikum bekannt gemacht werden.

### 7.2 Veranstaltungen und Publikationen

Die Ergebnisse werden an Tagungen einem breiteren Publikum präsentiert. Gleichzeitig werden an Führungen auf dem Hunziker Areal sowie im Hobelwerk die Inhalte und Ergebnisse vermittelt.

Geplante Veranstaltungen und Publikationen mit Bezug zum Hobelwerk und dem P+D-Projekt:

- 28.11.2024 Innovationsversammlung mehr als wohnen, Arbeitstitel der geplanten Beiträge: «Bedarfsgeregelte Abluftanlagen», «Selbstlernende bivalente Heizungsregelung», demnächst hier: <https://www.mehralswohnen.ch/innovations-und-lernplattform/innovationsversammlung/>
- 21.11.2024 ecobau: zirkuläres Entwerfen und Realisieren, Kurs für Architekt:innen, Fachplanende, Bauleitende, Bauunternehmen, <https://ecobau-zirkulaeres-entwerfen.events.sia.ch/>
- 12.09.2024 Forum Energie Zürich, Energie vor Ort, Hobelwerk Winterthur: «Innovation und Nachhaltigkeit vereint», <https://forumenergie.ch/agenda/veranstaltungen-fez/alle-veranstaltungen-fez/alle-fez/fez-veranstaltungen/energie-vorort/837-hobelwerk-winterthur>

Durchgeführte Veranstaltungen und Publikationen mit Bezug zum Hobelwerk und dem P+D-Projekt:

- 21.06.2024 NZZ Format - Nachhaltiges Bauen – Materialien, die den Bausektor revolutionieren könnten - Play SRF, Dok-Film über innovative Rohstoffe im Bauwesen von Gustav Hofer, Interview mit Claudia Thiesen und Jasmin Amann zum Thema Re-Use auf dem Hobelwerk, ab Minute 21:15
- April 2024 Wohnen 4/2024, Liza Papazoglou: «Gebraute Teile, neues Leben», [https://www.zeitschrift-wohnen.ch/heft/beitrag/neubau/gebrauchte-teile-neues-leben.html?search\\_term=gebraucht](https://www.zeitschrift-wohnen.ch/heft/beitrag/neubau/gebrauchte-teile-neues-leben.html?search_term=gebraucht)
- 21.03.2024 Fachtagung Nachhaltiges Bauen 2024, <https://nnbs.ch/nnbs-veranstaltungen/fachtagung-nachhaltiges-bauen/>, mit dem Beitrag Hobelwerk von Dario Vittani und Nadine Koppe – wie Transformation gelingen kann



- 14.11.2023 Innovationsversammlung mehr als wohnen, Philipp Bernhard, Baltensperger: «Hobelwerk – CO<sub>2</sub>-optimierter Holzbau», Jules Petit, Lemon Consult: «Die Rolle der Holzprodukte in der Ökobilanzierung», <https://www.mehralswohnen.ch/innovations-und-lernplattform/innovationsversammlung/>
- 22.09.2023 Forum der Schweizer Wohnbaugenossenschaften 2023 zum Thema «Bauen neu denken: Knacknüsse Klima, Kreislauf, Kosten» mit einer Präsentation von Claudia Thiesen.
- August 2023 Ewz Whitepaper «Netto-Null für Immobilien», Best-Practice-Projekt Hobelwerk (S. 30) <https://www.ewz.ch/de/geschaeftskunden/immobilien/whitepaper/whitepaper-netto-null.html>
- 31.10.2022 Innovationsversammlung mehr als wohnen, Anna Haller, Claudia Thiesen: «Stand der zweiten Bauetappe im Hobelwerk», Dario Vittani: «Re-Use Architektur», <https://www.mehralswohnen.ch/innovations-und-lernplattform/innovationsversammlung>
- 03.03.2021 Forum Energie Zürich, Bauen mit minimalen CO<sub>2</sub>-Emissionen (online), Jules Petit, Lemon Consult, [https://forumenergie.ch/images/fez/anlaesse/fez/events/2021/pdf/01\\_FEZ\\_Fo-lien\\_Event4\\_Petit\\_20210302.pdf](https://forumenergie.ch/images/fez/anlaesse/fez/events/2021/pdf/01_FEZ_Fo-lien_Event4_Petit_20210302.pdf)
- 07.10.2021 Innovationsversammlung mehr als wohnen, Beni Rohrbach, «Ökobilanzierung als Methode für Nachhaltigkeit im Baubereich», treeze, Rolf Frischknecht, «Künstliche Intelligenz für nachhaltige Wohnimmobilien», Empa, Philipp Heer; <https://www.mehralswohnen.ch/innovations-und-lernplattform/innovationsversammlung/>
- 12.11.2021 10. Fachtagung des gemeinnützigen Wohnungsbaus, Stadt Zürich Amt für Hochbauten, mehr als wohnen und wbg Regionalverband Zürich: "Hobelwerk Winterthur: Blau-grün klimaoptimiert" <https://www.stadt-zuerich.ch/hbd/de/index/hochbau/bauen-fuer-2000-watt/veranstaltungen-fachartikel/veranstaltungen.html>
- 25.11.2021: Besichtigung Hobelwerk für alle Genossenschaften aus dem Regionalverband der gemeinnützigen Wohnbauträger Zentralschweiz
- 19.10.2020: Innovationsversammlung mehr als wohnen 2020 – «Hobelwerk Re-Use», baubüro insitu, Kerstin Müller: [https://www.mehralswohnen.ch/fileadmin/downloads/Innovation/2020\\_Hobelwerk\\_Re-Use.pdf](https://www.mehralswohnen.ch/fileadmin/downloads/Innovation/2020_Hobelwerk_Re-Use.pdf)

## 7.3 Website

Es ist zudem geplant, auf der Website des Projekts-Hobelwerks ([www.hobelwerk-winterthur.ch/de/lernen](http://www.hobelwerk-winterthur.ch/de/lernen)) einen separaten Bereich für die Präsentation des BFE P+D-Projekts mit thematisch gegliederten Inhalten zu den Arbeitspaketen und Verlinkung zu den Forschungsberichten sowie wissenschaftlichen Artikeln zu integrieren.



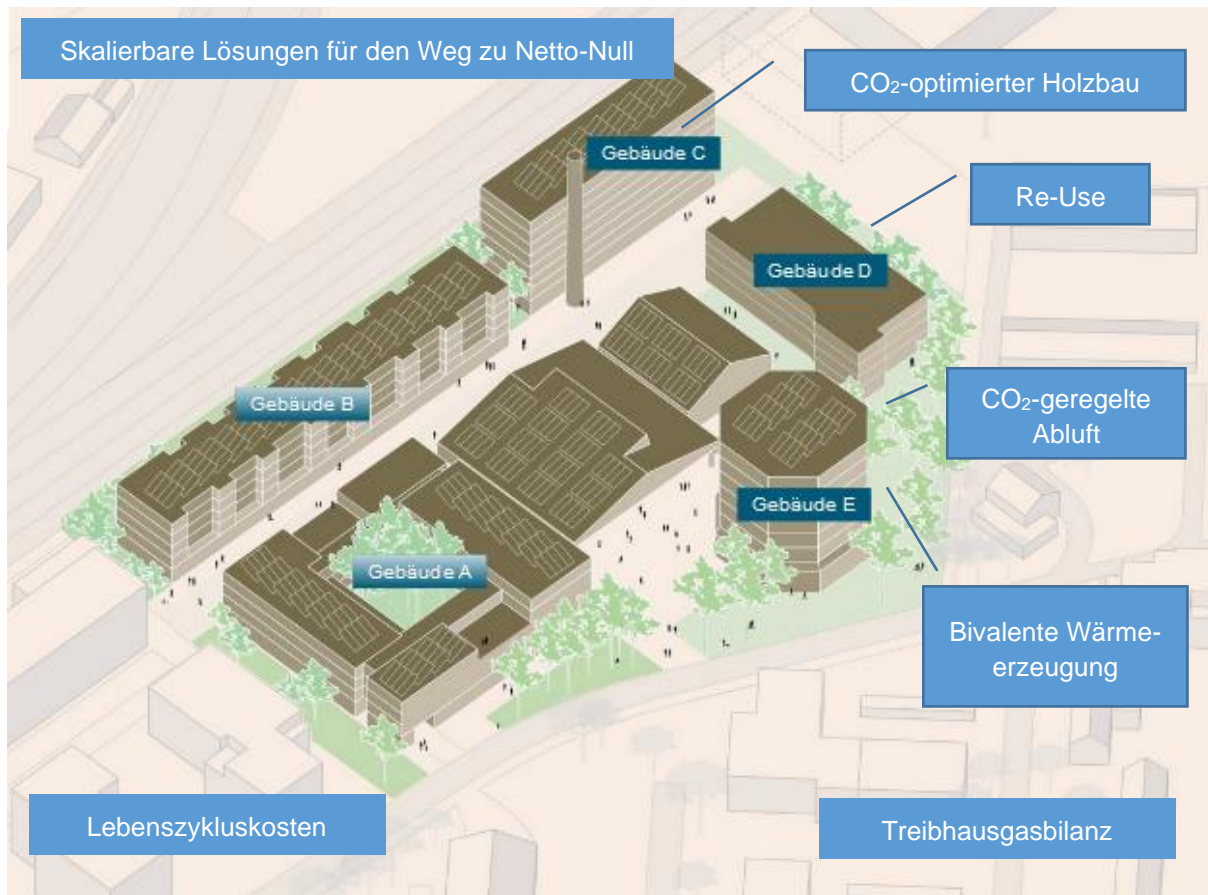


Abbildung 48 Konzeptidee für die Einstiegsseite zum P+D-Projekt

## 7.4 Nationale und internationale Zusammenarbeit

Das Interesse an der konkreten Umsetzung des Netto-Null-Ziels im Gebäudebereich nimmt rasch Fahrt auf. Bereits gab es Interessenbekunden an Erkenntnissen aus dem Hobelwerk von mehreren nationalen und internationalen Forschungsinstitutionen. Es ist daher vorgesehen, einzelne Präsentationen und Schlüsselpublikationen sowie Auszüge aus dem Forschungsbericht auf der Website sowohl auf Deutsch als auch in Englisch zu publizieren.



## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Synthese des NFP-70-Verbundprojekt «Energiearmer Beton», <https://nfp-energie.ch/de/dossiers/193/cards/317>
- [2] Priore, Y., Haber, G., Jusselme, T. (2023), Exploring the gap between carbon-budget-compatible buildings and existing solutions – A Swiss case study, *Energy & Buildings* 278 (2023) 112598, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778822007691>
- [3] Projekt Hortus Allschwil, Senn, <https://senn.com/projekt/hortus-allschwil/>
- [4] Freilager Zürich, dokumentiert in SIA D058 (2018), Dokumentation zu SIA 2040
- [5] Mühlebach, M. et al. (2018), 2000-Watt-Leuchtturm-Areal mehr als wohnen, im Auftrag des Bundesamts für Energie, BFE-Vertragsnummer SI/501215-01, Schlussbericht, 11. April 2018
- [6] SIA 382/1 (2014), Lüftungs- und Klimaanlage - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, Ziffer 2.2.6.5
- [7] SIA 2040 (2017), SIA-Effizienzpfad Energie
- [8] Leitkonzept für die 2000-Watt-Gesellschaft (2020), EnergieSchweiz für Gemeinden, [https://www.local-energy.swiss/dam/jcr:6717fce1-9586-44d7-9bc2-072308adaf9e/Leitkonzept\\_2000WG\\_vOkt2020\\_lang\\_de.pdf](https://www.local-energy.swiss/dam/jcr:6717fce1-9586-44d7-9bc2-072308adaf9e/Leitkonzept_2000WG_vOkt2020_lang_de.pdf)
- [9] KBOB (2022), Ökobilanzdaten im Baubereich, [https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten\\_baubereich.html](https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html)
- [10] SN EN 15804+A2 (2019), SIA 490.052+A2, Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte
- [11] BAFU (2007), CO<sub>2</sub>-Effekte der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft, [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wald-holz/uw-umwelt-wissen/co2-effekte\\_der\\_schweizerwald-undholzwirtschaft.pdf.download.pdf/co2-effekte\\_der\\_schweizerwald-undholzwirtschaft.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wald-holz/uw-umwelt-wissen/co2-effekte_der_schweizerwald-undholzwirtschaft.pdf.download.pdf/co2-effekte_der_schweizerwald-undholzwirtschaft.pdf)
- [12] Hafner et al. (2017), Treibhausgasbilanzierung von Holzgebäuden – Umsetzung neuer Anforderungen an Ökobilanzen und Ermittlung empirischer Substitutionsfaktoren (THG-Holzbau), [https://www.ruhr-uni-bochum.de/reb/mam/content/thg\\_bericht-final.pdf](https://www.ruhr-uni-bochum.de/reb/mam/content/thg_bericht-final.pdf)
- [13] Müller et al. (2015), Holzbau vs. Massivbau – Ein Umfassender Vergleich zweier Bauweisen im Zusammenhang mit dem SNBS Standard, [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wald-holz/fachinfo-daten/holzbau\\_vs\\_massivbaueinumfangendervergleichzweierbauweisenimzusa.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wald-holz/fachinfo-daten/holzbau_vs_massivbaueinumfangendervergleichzweierbauweisenimzusa.pdf)
- [14] Rüdisüli et al. (2019), Impacts of an Increased Substitution of Fossil Energy Carriers with Electricity-Based Technologies on the Swiss Electricity System, <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/12/2399>
- [15] Heeren, Hellweg (2018): Tracking Construction Material over Space and Time: Prospective and Geo-referenced Modeling of Building Stocks and Construction Material Flows. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jiec.12739>
- [16] Bauabfälle in der Schweiz - Hochbau Studie 2015. [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/abfall/externe-studien-berichte/bauabfaelle\\_in\\_derschweiz-hochbaustudie2015.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/abfall/externe-studien-berichte/bauabfaelle_in_derschweiz-hochbaustudie2015.pdf)
- [17] Forschungsprojekt, Reuse-Ökobilanz: Identifizierung des Potenzials zur Verringerung der Umweltauswirkungen der Wiederverwendung von Materialien bei Schweizer Gebäuden, HEIG-VD, in situ, Pfäffli Architects, 2021 – 2023, im Auftrag des Bundesamt für Energie (BFE)



- [20] Guerra, F., Kast, B., Hiltbrunner, D. (2015), Bauabfälle in der Schweiz, Hochbau Studie 2015, Wüest & Partner AG im Auftrag des Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern
- [21] Näf, P., Sacher, P., Dinkel, F., Stettler, C. (2021), Klimapositives Bauen, Ein Beitrag zum Pariser Absenkpfad, Nova Energie AG, Carbotech AG
- [22] Gugerli, H., Rubli, S., Schneider, M. (2009), Ressourcen Strategie «Bauwerk Stadt Zürich», Materialflüsse und Energiebedarf bis 2050, Stadt Zürich, Amt für Hochbauten
- [23] DGNB (2022), Im Fokus – Zirkuläres Bauen
- [24] The Danish Housing and Planning Authority (2021), National Strategy for Sustainable Construction, Ministry of the Interior and Housing - Dänemark
- [25] Küpfer, C., Fivet, C. (2021), Selektiver Rückbau - Rückbaubare Konstruktion, Studie zur Förderung der Abfallreduktion und der Wiederverwendung in der Baubranche, EPFL
- [26] Stricker, E., et al. (2021), Bauteile wiederverwenden, Ein Kompendium zum zirkulären Bauen, Institut Konstruktives Entwerfen, ZHAW Departement Architektur, Gestaltung und Bauingenieurwesen
- [27] Abegg, A., Streiff, O. (2021), Die Wiederverwendung von Bauteilen, Ein Überblick aus rechtlicher Perspektive
- [28] Streiff, O., mit baubüro in situ, Wiederverwendung von Bauteilen: Rechtlicher Rahmen, mit Förderung von Innosuisse, laufendes Projekt
- [29] Halstenberg, M., Franßen, G. (2022), Regelwerke des Normungs- und technischen Zulassungswesens anhand des Themenkomplexes Recyclingverfahren und Weiter-/Wiederverwendung von Bauprodukten und Baustoffen, Franßen & Nusser Rechtsanwälte PartGmbH, Düsseldorf
- [30] Pfäffli, K. (2020), Graue Energie und Treibhausgasemissionen von wiederverwendeten Bauteilen, Methodik und Berechnung in Varianten am Fallbeispiel Gebäude K118 in Winterthur, Architekturbüro K. Pfäffli, im Auftrag der ZHAW, Institut für Konstruktives Entwerfen
- [31] Lasvaux, S., et al. (2023), Reuse-LCA, HEIG-VD, Büro K. Pfäffli, Zirkular GmbH, im Auftrag des Bundesamt für Energie, laufende Studie
- [32] Embodied Carbon in EU Construction
- [33] Empa NEST (2021), Unit Sprint, <https://www.empa.ch/de/web/nest/sprint> (28.02.2023), Dübendorf
- [34] Kakkos, E., Hischier, R. (2022), Paving the way towards circularity in the building sector, Empa's Sprint Unit as a beacon of swift and circular construction, St. Gallen
- [35] DomoHabitate, <http://domahabitate.ch> (28.02.2023), Ste. Croix 2019
- [36] Basel Pavilion (2022), "Loggia Baseliana" von Isla architects: Marta Colón de Carvajal, Juan Palencia, [https://architekturwochebasel.ch/formate/basel-pavillon/Architekturwoche Basel 2022](https://architekturwochebasel.ch/formate/basel-pavillon/Architekturwoche%20Basel%2022), <https://baselpavillon.store/>
- [37] Wettbewerb Recyclingzentrum Juch-Areal, Amt für Hochbauten Stadt Zürich, <https://juchareal.store/>
- [38] Wettbewerb Areal Walkeweg Nord Basel, Wohnüberbauung Baufelder C+D mit Bauteil-Wiederverwendung (Re-Use), Immobilien Basel-Stadt, <https://bauteile-ibs.ch/>
- [39] Wettbewerb Mehrfamilienhaus mit Kindergarten, "Pilotprojekt Schliengerweg Netto Null 2040", Immobilien Basel-Stadt, <https://bauteile-ibs.ch/>



- [40] Interreg FCRBE Projekt (2021), Leitung: Rotor Brüssel, Interreg FCRBE partnership: Bellastock (FR), the Belgian Building Research Institute / BBRI (BE) , Brussels Environment (BE), the Scientific and Technical Center of Building / CSTB (FR), Confederation of Construction (BE), Rotor (BE), Salvo (UK) and University of Brighton (UK), Belgien 2019-2021
- [41] Bigelow, H., Bärtschi, R., (2022), Re-Use: Wie-der-ver-wen-dung von Stahl-bau-tei-len, Statik – Oberflächenschutz – Qualitätssicherung, Stahlbau Zentrum Schweiz SZS, Zürich
- [42] FenSanReUse (2022), Sanierungsverfahren und ReUse von Fenstern – Materialpass und Wegleitung, Forschungsprojekt an der Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Nachhaltigkeit und Energie am Bau, Barbara Sintzel, MuttENZ ab 2022
- [43] Pöll, M. (2021), Wiederverwendung Fertigbetonelemente, Rückbau Personalhäuser Triemli, Analyse, Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle nachhaltiges Bauen, Zürich
- [44] Stenberg, E., et al. (2023), ReCreate, Deconstruction and reuse instead of demolition and waste, Germany, Finland, Netherlands, Sweden, 2022-2023.
- [45] Aebischer, Ch. (2022), Rückbau und Wiederverwendung von Holzbauten, Bundesamt für Umwelt BAFU, [https://www.pirminjung.ch/files/allgemein/220502\\_PJ\\_Rueckbau-Wiederverwendung-Holzbauten.pdf](https://www.pirminjung.ch/files/allgemein/220502_PJ_Rueckbau-Wiederverwendung-Holzbauten.pdf) (28.02.2023), Bern
- [49] MuKE (2014), Musterverordnung der Kantone im Energiebereich, EnDK, [https://www.endk.ch/de/ablage/grundhaltung-der-endk/MuKE2014\\_d-2018-04-20.pdf](https://www.endk.ch/de/ablage/grundhaltung-der-endk/MuKE2014_d-2018-04-20.pdf)
- [50] Huber, H., Settembrini, S., Primas, A., Zuber, S. (2022), Vergleich von Lüftungskonzepten für Wohnbauten, HSLU, EnergieSchweiz, Schlussbericht, 21. Februar 2022 (Rev. A; 28.12.2022)
- [51] Hoffmann, C., et al. (2021), FENLEG: Fensterlüfter in der etappierten Gebäudesanierung – ist der Einsatz erfolgreich?, FHNW, HSLU, im Auftrag des Bundesamts für Energie, BFE-Vertragsnummer: SI/501630-01, Schlussbericht Januar 2021
- [52] Huber, H., Primas, A., Hauri, C., Näf, M. (2018), Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie, Untersuchung an 10 Objekten bezüglich Hygiene und Luftmengen vor und nach Filterwartung und Reinigung, HSLU, im Auftrag von EnFK Regionalkonferenz Ostschweiz, Horw, 12. November 2018
- [53] Huber, H., Stünzi, Ch., Siebold, Ch., Kunz, D.-S. (2018), ABLEG - Abluftanlagen in der energetischen Gebäudeerneuerung, FHNW, im Auftrag des Bundesamts für Energie, BFE-Vertragsnummer: SI/500954-01, Schlussbericht vom 12.12.2018
- [54] Knecht, K., Sigrist, D. (2018), Vergleich der beiden Lüftungskonzepte der Siedlung Klee bezüglich Ökologie und Ökonomie, Sustainable System Solutions GmbH, im Auftrag der Baugenossenschaft Hagenbrünneli, Dübendorf, 23. November 2018



## 9 Anhang

### 9.1 Anhang zu AP1 – Ausschreibung CO<sub>2</sub>-optimierter Holzbau

# Teaser Ausschreibung Holzbauunternehmen – CO<sub>2</sub>-arme Erstellung und Bauökologie

Auf dem Baufeld C und D sollen neue Wege beschritten werden, CO<sub>2</sub> arm zu bauen. Die Bauherrin strebt an, den Ausstoss von Treibhausgasen in der Erstellung auf unter 5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> EBF zu reduzieren. Gleichzeitig sollen die Ansätze aber skalierbar und somit kostenneutral oder mindestens kostengünstig sein. Innovative Ansätze um dieses Ziel zu erreichen sind somit gefragt und sollen explizit hervorgehoben werden. Beispielsweise wenn durch einen konstruktiven bzw. planerischen Kniff Beton bzw. andere zementgebundene Materialien durch Holz ersetzt oder Hölzer mit geringem Leimanteil verwendet werden können. Oder auch wenn eine besonders CO<sub>2</sub> arme Lieferkette (lokale, CO<sub>2</sub>-arme Produktion, CO<sub>2</sub>-armer Transport) möglich ist. Gesucht werden Holzbauunternehmen, die gewillt und in der Lage sind, diese ambitionierten Ziele durch innovative Lösungen mitzutragen.

Die Lösungsvorschläge der Holzbauunternehmen werden mit Instrumenten wie KBOB Holzrechner (<https://treeze.ch/de/rechner>), „Lignumdata“ Datenbank und KBOB Ökobilanzdaten geprüft und entsprechend ihrer CO<sub>2</sub>-Bilanz beurteilt.

Für ein spezifisches Produkt besteht zudem die Möglichkeit, in Zusammenarbeit mit Lignum eine Environmental Product Declaration (EPD) anzufertigen. Dies im Sinne der Mithilfe zur Skalierung von klimafreundlichen Lösungen.

Die Bauherrschaft ist bestrebt und erfahren darin, die verwendeten Lösungen einer breiteren Öffentlichkeit zu präsentieren. Im Hunziker Areal finden beispielsweise laufend Führungen auch mit internationalen Besuchern statt. Somit ist und bleibt mehr als wohnen ein gutes Aushängeschild für erfolgreiche und vielversprechende Lösungen sowie für innovative Firmen.

Ferner gelten gemäss Gestaltungsplan und Anforderungen der Bauherrschaft die Zielwerte vom SIA-Effizienzpfad Energie (SIA 2040). Eine Zertifizierung als 2000W-Areal wird angestrebt. Die Gebäude auf dem Areal sollen zudem nach den Kriterien des Eco-Standards umgesetzt werden. Eine Zertifizierung wird aber nicht angestrebt. Konkret bedeutet dies:

- Für Holz- und Holzwerkstoffe gilt: ausschliessliche Verwendung von europäischem Holz.
- Keine Verwendung von Dämmstoffen mit ungünstigen ökologischen Eigenschaften
- Biozidfreie Fassaden, kein chemischer Wurzelschutz für Abdichtungen
- Möglichst Verzicht auf den Einsatz von Verbundmaterialien mit ungünstigen ökologischen Eigenschaften (z. B. Gipsfaserplatten, etc.)
- Verwendung von lösbaren, rein mechanische Befestigungen für Tragstruktur, Gebäudehülle und Ausbau), welche den späteren Austausch, die Verstärkung oder Wiederverwendung der Bauteile erlauben, ohne dass angrenzende Bauteile beschädigt oder erneuert werden (keine Montage- und Füllschäume).
- Die Innenraumbelastungen durch Schadstoffe sind durch eine geeignete Bauweise und Materialisierung zu minimieren (kein chemischer Holzschutz, keine Biozide, keine Formaldehyd- und Lösemittlemissionen aus Bau- und Hilfsstoffen, keine lungengängigen Mineralfasern).
- Für die Materialisierung sind Baustoffe der 1. Priorität der Eco-BKP-Merkblätter einzuplanen und umzusetzen. Die Notwendigkeit von Abweichungen ist bei der Bauherrschaft mit einem Nachweis zu beantragen.

Abbildung 49 «Teaser» zur Motivation und Information der Holzbauunternehmen bezüglich der spezifischen Bauaufgabe





## Vergleichskriterien NettoNull im Holzbau

Die Bauherrin strebt an, den Ausstoss von Treibhausgasen (CO<sub>2</sub>-eq./GWP) in der Erstellung (SN EN 15804: Herstellung, Bau und Entsorgung) auf **unter 5 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> EBF** zu reduzieren. Gleichzeitig sollen die Ansätze möglichst kostengünstig sein. Innovative Unternehmer-Ansätze zur Erreichung des Ziels sind gefragt!

Neben den Kosten sollen auch die Unterschiede im Bereich der Treibhausgasemissionen für **das Haus C** nach Eingang der Offerten verglichen werden können - einmal je nach Unternehmer-Angebot, aber auch nach Variante:

**"netto-null" (Pos. R 211.001) versus "Unternehmervariante" (Pos. R 211.003)**

Die Lösungsvorschläge der Holzbauunternehmen können mit Hilfe der Tabelle "Vergleichskennzahlen Holzbau Hobelwerk" (Basis KBOB Ökobilanzdaten), "Holzrechners", sowie der „Lignumdata“ Datenbank entsprechend ihrer CO<sub>2</sub>-Bilanz charakterisiert und verglichen werden. Für eine einfache Erfassung haben wir die Tabelle "Vergleichskennzahlen Holzbau Hobelwerk" entwickelt. Die notwendigen Angaben können aber auch auf anderem Weg beschafft werden, z.B. mittels spezifischer Tools und/oder produktespezifischen Ökobilanzen. Wichtig ist, dass diese Konform zur SIA2032 und vom Detailgrad vergleichbar mit der mitgelieferten Tabelle "Vergleichskennzahlen Holzbau Hobelwerk" sind. Für einen Vergleich der eingereichten Offerten, sind folgende Angaben zwingend:

- Berechnung der Treibhausgas-Emissionen (kg CO<sub>2</sub>-eq. pro m<sup>3</sup> Material) von Massivholz und Holzwerkstoffen, unter Berücksichtigung der Distanz und Transportmittel Holzherkunft Rundholz, Transport zum Sägewerk und Transport zum Holzwerk mit dem beigelegten «Holzrechner»
- Schätzen der m<sup>3</sup> der verwendeten Baustoffe wie Leimholz (Brettschichtholz, Sperrholz, Dreischicht- und/oder Spanplatten) sowie Massivholz, Dämmstoffe und Massivbaustoffe etc.

Des Weiteren als Freitexte bitte folgende Infos mitliefern:

- Schätzung Anteil (in %) an nachweislich nachhaltig produziertem Holz wie z. B. mit dem Label Schweizer Holz, PEFC oder FSC (mit Berücksichtigung vom FSC-Anteil beim Label FSC-Mix)
- Nennen von innovativen Ansätze zur Treibhausgasreduktion des Projekts, z. B. mittels treibhausgas-armen Alternativen zu Zement- oder Anhydrit-Unterlagsböden (Vorgabe: Fussbodenheizung!)
- Angaben zu:
  - Rückbaubarkeit
  - Wiederverwendbarkeit
  - Rezyklierbarkeit, bzw. Energiegewinnung aus rückgebauten Stoffen





BALTENSBERGER AG  
HOCHBAU TIEFBAU HOLZBAU  
Albert-Einstein-Str. 17, CH-8404 Winterthur



## Vergleichskennzahlen Modulbau mit Holzfassade

| Kennzahlen CO2 "netto-null" Haus C Pos. R 211.001 mit Holzfassade                                                                                                                                                                                                                                              |                                 |                                                     |       |                             |                                  |                             |                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------|-------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|
| BAUMATERIALIEN                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Rohdichte/<br>Flächen-<br>masse | tatsächliche<br>Rohdichte gem.<br>Herstellerangaben | Bezug | Treibhaus-<br>gasemissionen | Menge<br>verwendetes<br>Material | Treibhaus-<br>gasemissionen | Total<br><br>kg Material von<br>Unternehmer auf Baustelle |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                 |                                                     |       | Total                       | Total                            | Total                       |                                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                 |                                                     |       | kg CO2-eq pro kg/m3         | m3                               | kg CO2-eq total             |                                                           |
| <b>Hinweis:</b> herstellereinspezifischen und<br>herstelleregionenspezifischen Daten in blau markiert. Weitere<br>Materialien mit herstellereinspezifischen Angaben können<br>durch weitere Zeilen ergänzt werden. Analog können<br>verschiedene Lieferanten von Holz und Holzwerkstoffen<br>eingefügt werden. |                                 |                                                     |       |                             |                                  |                             |                                                           |
| <b>Holz und Holzwerkstoffe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                 |                                                     |       |                             |                                  |                             |                                                           |
| Holz-Platten                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | kg/m³                           | kg/m³                                               | m3    | 428                         | 261                              | 170'782                     | 509'968.46                                                |
| Brettschichtholz                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 470                             | 470                                                 | m3    | 53.0                        | 44.6                             | 111'836                     | 157'232                                                   |
| Vollholzdecke                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 440                             | 440                                                 | m3    | 47.0                        | 414                              | 2'364                       | 20'962                                                    |
| Kalksplittschüttung                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1'400                           | 1'400                                               | m3    |                             | 34.9                             | 19'458                      | 182'160                                                   |
| CLT-Platte                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 470                             | 470                                                 | m3    | 414                         | 55.4                             | 22'936                      | 48'866                                                    |
| 3-Schichtplatte                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 470                             | 470                                                 | m3    | 227                         | 1.50                             | 341                         | 26'938                                                    |
| DUO nsi                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 470                             | 470                                                 | m3    | 53.0                        | 89.9                             | 4'765                       | 705                                                       |
| Holzschalung                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 470                             | 470                                                 | m3    | 39.0                        | 26.7                             | 1'042                       | 42'253                                                    |
| Kerto Q                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 500                             | 500                                                 | m3    | 437                         | 18.4                             | 8'041                       | 12'558                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                 |                                                     |       |                             |                                  | 9'200                       | 9'200                                                     |
| <b>Wärmedämmstoffe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                 |                                                     |       |                             |                                  |                             |                                                           |
| Blattperl                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 65-140                          | hier kg/m3 eintragen                                | kg    | 1.010                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Blattvermiculit                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 65-140                          | hier kg/m3 eintragen                                | kg    | 0.437                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Flachfasern                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 30                              | 30                                                  | kg    | 0.990                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Flachfasern, feuerfest                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 30                              | 30                                                  | kg    | 1.420                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Flachfasern, feuerfest, MAGRIPOOL, Premium+                                                                                                                                                                                                                                                                    | 30                              | 30                                                  | kg    | 1.390                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Flachfasern, MAGRIPOOL, Premium                                                                                                                                                                                                                                                                                | 30                              | 30                                                  | kg    | 0.962                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Glaswolle                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 20-100                          | 20.000                                              | kg    | 1.130                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Glaswolle, Isover                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 20-100                          | 24.000                                              | kg    | 0.795                       | 500                              | 9541.908                    | 12'002.40                                                 |
| Glaswolle, Isover, Phenolharz                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 20-100                          | hier kg/m3 eintragen                                | kg    | 0.966                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Glaswolle, Isover, planzliches Bindemittel                                                                                                                                                                                                                                                                     | 20-100                          | hier kg/m3 eintragen                                | kg    | 0.822                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Glaswolle, SUPAFIL                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 35                              | 35.0                                                | kg    | 1.168                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Korkplatte                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 120                             | 120                                                 | kg    | 1.340                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Phenolharz (PF)                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 40                              | 40                                                  | kg    | 8.230                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Polystyrol expandiert (EPS)                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 15-40                           | hier kg/m3 eintragen                                | kg    | 7.640                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Polystyrol expandiert, 100% Recyclinganteil, SwissporEPS R 100%                                                                                                                                                                                                                                                | 27                              | 27                                                  | kg    | 3.350                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Polystyrol expandiert, 44% Recyclinganteil, SwissporEPS Roof Eco                                                                                                                                                                                                                                               | 26                              | 26                                                  | kg    | 5.430                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Polystyrol expandiert, SwissporEPS                                                                                                                                                                                                                                                                             | 16.8                            | 16.8                                                | kg    | 7.040                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Polystyrol extrudiert (XPS)                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 30-35                           | hier kg/m3 eintragen                                | kg    | 14.500                      | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Polystyrol extrudiert, SwissporXPS                                                                                                                                                                                                                                                                             | 34.3                            | 34.3                                                | kg    | 7.080                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Polyurethan (PUR/PIR)                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 30                              | 30                                                  | kg    | 7.520                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Polyurethan, SwissporPUR                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 30                              | 30                                                  | kg    | 7.280                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Schaumglas                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 100-165                         | hier kg/m3 eintragen                                | kg    | 1.170                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Schaumglas, GLAPOR                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 120                             | 120                                                 | kg    | 0.764                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Schaumglasschotter                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 125-150                         | hier kg/m3 eintragen                                | kg    | 0.155                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Schaumglasschotter, Misapor                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 125-150                         | hier kg/m3 eintragen                                | kg    | 0.127                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Steinwolle (Knauf)                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 32-160                          | 52.000                                              | kg    | 1.130                       | 93.6                             | 5495.936                    | 4'867.20                                                  |
| Steinwolle (Knauf Dico)                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 32-160                          | 150.000                                             | kg    | 1.130                       | 3.90                             | 661.05                      | 585.00                                                    |
| Steinwolle, Flumroc                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 32-160                          | hier kg/m3 eintragen                                | kg    | 1.060                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Strohballenwand                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 215                             | 215                                                 | kg    | 0.090                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Weichfaserplatte                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 148                             | 50                                                  | kg    | 0.665                       | 230                              | 7631                        | 11'475.00                                                 |
| Weichfaserplatte, Pavatex                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 140                             | 140                                                 | kg    | 0.445                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Zellulosefasern                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 35-60                           | hier kg/m3 eintragen                                | kg    | 0.257                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Zellulosefasern, Isocroc                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 35-60                           | hier kg/m3 eintragen                                | kg    | 0.203                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| <b>Andere Massivbaustoffe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                 |                                                     |       |                             |                                  |                             |                                                           |
| Faserzementplatte gross                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1'800                           | 1'800                                               | kg    | 1.09                        |                                  | 30'115                      | 0.00                                                      |
| Faserzement-Wellplatte                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1'800                           | 1'800                                               | kg    | 0.678                       |                                  | 0                           | 0.00                                                      |
| Gipsfaserplatte                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1'200                           | 1'200                                               | kg    | 0.537                       | 6.50                             | 4'189                       | 7'800.00                                                  |
| Gipskartonplatte Rduro                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 850                             | 850                                                 | kg    | 0.537                       | 20.0                             | 9'147                       | 17'034.00                                                 |
| Gipskartonplatte (Duo Tech RB / Habito)                                                                                                                                                                                                                                                                        | 850                             | 850                                                 | kg    | 0.293                       | 24.2                             | 6'027                       | 20'570.00                                                 |
| Gips-Wandbauplatte / Vollgipsplatte                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1'000                           | 1'000                                               | kg    | 0.307                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Aluminiumprofil, blank                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2'690                           | 2'690                                               | kg    | 5.71                        | 0.595                            | 9'139                       | 1'600.55                                                  |
| Aluminiumprofil, blank, 80% Recyclinganteil, WICONA                                                                                                                                                                                                                                                            | 2'690                           | 2'690                                               | kg    | 2.640                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Stahlprofil, blank                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 7'650                           | 7'650                                               | kg    | 0.734                       | 0.283                            | 1'613                       | 2'198.00                                                  |
| Unterlagsboden Anhydrit, 60 mm                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 2'000                           | 2'000                                               | kg    | 0.087                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| Unterlagsboden Zement, 85 mm                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1'650                           | 1'650                                               | kg    | 0.125                       | hier m3 eintragen                | #WERT!                      |                                                           |
| <b>Summe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                 |                                                     |       |                             |                                  | 224'231                     |                                                           |
| Quelle: KBOB-Ökobilanzdaten                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                 |                                                     |       |                             |                                  |                             |                                                           |

Abbildung 51 Abschätzung der Treibhausgasemissionen, Unternehmerlösung Baltensperger, Variante Holzfassade



## Vergleichskennzahlen Modulbau mit Eternitfassade

| Kennzahlen CO2 "netto-null" Haus C Pos. R 211.001 mit Eternitfassade                                                                                                                                                                                                             |                                 |                                                     |                |                                              |                                  |                              |                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------|
| BAUMATERIALIEN                                                                                                                                                                                                                                                                   | Rohdichte/<br>Flächen-<br>masse | tatsächliche<br>Rohdichte gem.<br>Herstellerangaben | Bezug          | Treibhaus-<br>gasemissionen                  | Menge<br>verwendetes<br>Material | Treibhaus-<br>gasemissionen  |                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                 |                                                     |                | Total                                        | Total                            | Total                        | Total                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                 |                                                     |                | kg CO <sub>2</sub> -eq pro kg/m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup>                   | kg CO <sub>2</sub> -eq total | kg Material von<br>Unternehmer auf Baustelle |
| <b>Hinweis:</b> herstellereigenen und herstellereigenen spezifischen Daten in blau markiert. Weitere Materialien mit herstellereigenen Angaben können durch weitere Zeilen ergänzt werden. Analog können verschiedene Lieferanten von Holz und Holzwerkstoffen eingefügt werden. |                                 |                                                     |                |                                              |                                  |                              |                                              |
| <b>Holz und Holzwerkstoffe</b>                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>kg/m<sup>3</sup></b>         | <b>kg/m<sup>3</sup></b>                             |                |                                              |                                  | <b>169'787</b>               | <b>497'507</b>                               |
| Massivholz                                                                                                                                                                                                                                                                       | 465                             | 465                                                 | m <sup>3</sup> | 47.0                                         | 1.00                             | 47.0                         | 465                                          |
| esb-Platten                                                                                                                                                                                                                                                                      | 640                             | 640                                                 | m <sup>3</sup> | 428                                          | 261                              | 111'836                      | 167'232                                      |
| Brettschichtholz                                                                                                                                                                                                                                                                 | 470                             | 470                                                 | m <sup>3</sup> | 53.0                                         | 44.6                             | 2'364                        | 20'962                                       |
| Vollholzdecke                                                                                                                                                                                                                                                                    | 440                             | 440                                                 | m <sup>3</sup> | 47.0                                         | 414                              | 19'458                       | 182'160                                      |
| Kalkspaltschüttung                                                                                                                                                                                                                                                               | 1'400                           | 1'400                                               | m <sup>3</sup> |                                              | 34.9                             |                              | 48'860                                       |
| CLT-Platte                                                                                                                                                                                                                                                                       | 470                             | 470                                                 | m <sup>3</sup> | 414                                          | 55.4                             | 22'936                       | 26'938                                       |
| 3-Schichtplatte                                                                                                                                                                                                                                                                  | 470                             | 470                                                 | m <sup>3</sup> | 227                                          | 1.60                             | 341                          | 705                                          |
| DUO nsi                                                                                                                                                                                                                                                                          | 470                             | 470                                                 | m <sup>3</sup> | 63.0                                         | 89.9                             | 4'765                        | 42'253                                       |
| Kerit Q                                                                                                                                                                                                                                                                          | 460                             | 460                                                 | m <sup>3</sup> | 437                                          | 18.4                             | 8'041                        | 8'832                                        |
| <b>Wärmedämmstoffe</b>                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>kg/m<sup>3</sup></b>         |                                                     |                |                                              |                                  | <b>23'356</b>                |                                              |
| Bläherit                                                                                                                                                                                                                                                                         | 65-140                          | hier kg/m <sup>3</sup> eintragen                    | kg             | 1.010                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | #WERT!                                       |
| Blähervermiculit                                                                                                                                                                                                                                                                 | 65-140                          | hier kg/m <sup>3</sup> eintragen                    | kg             | 0.437                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | #WERT!                                       |
| Flachfasern                                                                                                                                                                                                                                                                      | 30                              | 30                                                  | kg             | 0.990                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 29.7                                         |
| Flachfasern, feuerfest                                                                                                                                                                                                                                                           | 30                              | 30                                                  | kg             | 1.420                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 42.6                                         |
| Flachfasern, feuerfest, MAGRIPOL, Premium+                                                                                                                                                                                                                                       | 30                              | 30                                                  | kg             | 1.390                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 41.7                                         |
| Flachfasern, MAGRIPOL, Premium                                                                                                                                                                                                                                                   | 30                              | 30                                                  | kg             | 0.962                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 28.86                                        |
| Glaswolle                                                                                                                                                                                                                                                                        | 20-100                          | 20.000                                              | kg             | 1.130                                        | 1.00                             | 22.6                         | 22.6                                         |
| Glaswolle, Isover                                                                                                                                                                                                                                                                | 20-100                          | 24.000                                              | kg             | 0.795                                        | 500                              | 9541.968                     | 18.08                                        |
| Glaswolle, Isover, Phenolharz                                                                                                                                                                                                                                                    | 20-100                          | hier kg/m <sup>3</sup> eintragen                    | kg             | 0.966                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | #WERT!                                       |
| Glaswolle, Isover, planisches Bindemittel                                                                                                                                                                                                                                        | 20-100                          | hier kg/m <sup>3</sup> eintragen                    | kg             | 0.822                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | #WERT!                                       |
| Glaswolle, SUPAFIL                                                                                                                                                                                                                                                               | 35                              | 35.0                                                | kg             | 1.168                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 40.8895                                      |
| Korkplatte                                                                                                                                                                                                                                                                       | 120                             | 120                                                 | kg             | 1.340                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 160.8                                        |
| Phenolharz (PF)                                                                                                                                                                                                                                                                  | 40                              | 40                                                  | kg             | 6.230                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 249.2                                        |
| Polystyrol expandiert (EPS)                                                                                                                                                                                                                                                      | 15-40                           | hier kg/m <sup>3</sup> eintragen                    | kg             | 7.640                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | #WERT!                                       |
| Polystyrol expandiert, 100% Recyclinganteil, SwissporEPS R 100%                                                                                                                                                                                                                  | 27                              | 27                                                  | kg             | 3.350                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 90.45                                        |
| Polystyrol expandiert, 44% Recyclinganteil, SwissporEPS Roof Eco                                                                                                                                                                                                                 | 25                              | 26                                                  | kg             | 5.430                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 141.18                                       |
| Polystyrol expandiert, SwissporEPS                                                                                                                                                                                                                                               | 16.8                            | 16.8                                                | kg             | 7.040                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 118.272                                      |
| Polystyrol extrudiert (XPS)                                                                                                                                                                                                                                                      | 30-35                           | hier kg/m <sup>3</sup> eintragen                    | kg             | 14.500                                       | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | #WERT!                                       |
| Polystyrol extrudiert, SwissporXPS                                                                                                                                                                                                                                               | 34.3                            | 34.3                                                | kg             | 7.080                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 242.844                                      |
| Polyurethan (PUR/PIR)                                                                                                                                                                                                                                                            | 30                              | 30                                                  | kg             | 7.520                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 225.6                                        |
| Polyurethan, SwissporPUR                                                                                                                                                                                                                                                         | 30                              | 30                                                  | kg             | 7.280                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 218.4                                        |
| Schaumglas                                                                                                                                                                                                                                                                       | 100-165                         | hier kg/m <sup>3</sup> eintragen                    | kg             | 1.170                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | #WERT!                                       |
| Schaumglas, GLAPOR                                                                                                                                                                                                                                                               | 120                             | 120                                                 | kg             | 0.784                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 94.0788                                      |
| Schaumglasschotter                                                                                                                                                                                                                                                               | 125-150                         | hier kg/m <sup>3</sup> eintragen                    | kg             | 0.155                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | #WERT!                                       |
| Schaumglasschotter, Misapor                                                                                                                                                                                                                                                      | 125-150                         | hier kg/m <sup>3</sup> eintragen                    | kg             | 0.127                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | #WERT!                                       |
| Steinwolle (Knauf)                                                                                                                                                                                                                                                               | 32-160                          | 62.000                                              | kg             | 1.130                                        | 93.6                             | 5499.036                     | 58.76                                        |
| Steinwolle (Knauf Dico)                                                                                                                                                                                                                                                          | 32-160                          | 160.000                                             | kg             | 1.130                                        | 3.90                             | 661.05                       | 169.5                                        |
| Steinwolle, Flumroc                                                                                                                                                                                                                                                              | 32-160                          | hier kg/m <sup>3</sup> eintragen                    | kg             | 1.060                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | #WERT!                                       |
| Strohballenwand                                                                                                                                                                                                                                                                  | 215                             | 215                                                 | kg             | 0.090                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 19.35                                        |
| Weichfaserplatte                                                                                                                                                                                                                                                                 | 148                             | 50                                                  | kg             | 0.665                                        | 230                              | 7631                         | 33.25                                        |
| Weichfaserplatte, Pavatex                                                                                                                                                                                                                                                        | 140                             | 140                                                 | kg             | 0.445                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 62.3                                         |
| Zellulosefasern                                                                                                                                                                                                                                                                  | 35-60                           | hier kg/m <sup>3</sup> eintragen                    | kg             | 0.257                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | #WERT!                                       |
| Zellulosefasern, Isocroc                                                                                                                                                                                                                                                         | 35-60                           | hier kg/m <sup>3</sup> eintragen                    | kg             | 0.203                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | #WERT!                                       |
| <b>Andere Massivbaustoffe</b>                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>kg/m<sup>3</sup></b>         |                                                     |                |                                              |                                  | <b>36'555</b>                | <b>0</b>                                     |
| Faserzementplatte gross                                                                                                                                                                                                                                                          | 1'800                           | 1'800                                               | kg             | 1.09                                         | 4.30                             | 8'437                        | 1962                                         |
| Faserzement-Wellplatte                                                                                                                                                                                                                                                           | 1'800                           | 1'800                                               | kg             | 0.676                                        | 6.30                             | 7'680                        | 1220.4                                       |
| Gipsfaserplatte                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1'200                           | 1'200                                               | kg             | 0.537                                        | 6.90                             | 4'189                        | 644.4                                        |
| Gipskartonplatte (Duo Tech RB / Habito)                                                                                                                                                                                                                                          | 850                             | 850                                                 | kg             | 0.293                                        | 24.2                             | 5'027                        | 249.05                                       |
| Gips-Wandauplatte / Vollgipsplatte                                                                                                                                                                                                                                               | 1'000                           | 1'000                                               | kg             | 0.307                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 307                                          |
| Aluminiumprofil, blank                                                                                                                                                                                                                                                           | 2'690                           | 2'690                                               | kg             | 5.71                                         | 0.665                            | 10'214                       | 15359.9                                      |
| Aluminiumprofil, blank, 80% Recyclinganteil, WICONA                                                                                                                                                                                                                              | 2'690                           | 2'690                                               | kg             | 2.940                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 7908.6                                       |
| Stahlprofil, blank                                                                                                                                                                                                                                                               | 7'850                           | 7'850                                               | kg             | 0.734                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 5761.9                                       |
| Unterlagsboden Anhydrit, 60 mm                                                                                                                                                                                                                                                   | 2'000                           | 2'000                                               | kg             | 0.087                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 173.4                                        |
| Unterlagsboden Zement, 85 mm                                                                                                                                                                                                                                                     | 1'850                           | 1'850                                               | kg             | 0.125                                        | hier m <sup>3</sup> eintragen    | #WERT!                       | 231.25                                       |
| <b>Summe</b>                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                 |                                                     |                |                                              |                                  | <b>229'698</b>               |                                              |
| Quelle: KBOB-Ökobilanzdaten                                                                                                                                                                                                                                                      |                                 |                                                     |                |                                              |                                  |                              |                                              |

Abbildung 52 Abschätzung der Treibhausgasemissionen, Unternehmerlösung Baltensperger, Variante Etenitfassade



## 9.2 Anhang zu AP2 – Bauteilmonitoring, Stand 03. März 2023

### BAUTEILMONITORING HOBELWERK WINTERTHUR

**VORABZUG 03.03.2023**

schwarz: ausgebaut und eingelagert

grün: gefunden

rot: nicht weiter gesucht

#### BAUFELD A + B, POOL ARCHITEKTEN

| Bauteilkategorie                                                                                             | Menge<br>gesucht | Menge<br>gefunden          | Fortschritt                | Quellobjekt   | Freigabe | Datum<br>Ausbau | Lagerort   | Datum<br>Einlager. | Ansprech-<br>person |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|---------------|----------|-----------------|------------|--------------------|---------------------|
| <b>A5 Aussenbodenbeläge</b><br>Aussenbodenbeläge Dach<br>ZK005(A) Granitplatten                              | 80 m2            | 80 m2<br>80 m2             | <div><div>100%</div></div> | ZKB Dübendorf | ja       | bis 16.11.21    | Hobelwerk  | 17.11.21           | dav                 |
| <b>Küchen Allmendräume</b><br>Teeküche Baubüro Haus B<br>TA001 Teeküche Talacker<br>EA018 Gemeinschaftsküche | 2 Stk.           | 2 Stk.<br>1 Stk.<br>1 Stk. | <div><div>100%</div></div> | Europaallee   | ja<br>ja | 08.10.21        | Emil Egger | 08.10.21           | dav                 |



# BAUTEILMONITORING HOBELWERK WINTERTHUR

VORABZUG 03.03.2023

schwarz: ausgebaut und eingelagert

grün: gefunden

rot: nicht weiter gesucht

## HAUS D, PASCAL FLAMMER ARCHITEKTEN

| Bauteilkategorie                                                                       | Menge<br>gesucht | Menge<br>gefunden | Fortschritt | Quellobjekt    | Freigabe | Datum<br>Ausbau | Lagerort              | Datum<br>Einlager. | Ansprech-<br>person |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------|-------------|----------------|----------|-----------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| <b>A1 Fassadenverkleidung nicht brennbar</b>                                           | <b>155 m2</b>    | <b>155 m2</b>     | <b>100%</b> |                |          |                 |                       |                    |                     |
| <b>A1.1 Fassadenverkleidung in Metall</b><br>GR001 Aluminium Wellblech Grüze           | 155 m2           | 155 m2<br>155 m2  |             | Coop Grüze     | nein     | 06.10.21        | Baltensperger Ohrbühl | 17.11.21           | Baltensperger       |
| <b>A1 Fassadenverkleidung brennbar</b>                                                 | <b>940 m2</b>    | <b>0 m2</b>       | <b>0%</b>   |                |          |                 |                       |                    |                     |
| <b>A1.2 Fassadenverkleidung in Holz</b><br>wird nicht weiter gesucht<br>ELSA-Paletten? | 940 m2           | 0 m2              |             |                |          |                 |                       |                    |                     |
| <b>A2 Fenster</b>                                                                      | <b>96 Stk.</b>   | <b>62 Stk.</b>    | <b>65%</b>  |                |          |                 |                       |                    |                     |
| EB003 Balkonfenster Eisenbahnergen.                                                    |                  | 12 Stk.           |             | Eisenb. Basel  | ja       | 18.06.21        | Baltensperger         | 18.06.21           | dav                 |
| EB004 Zimmerfenster Eisenbahnergen.                                                    |                  | 48 Stk.           |             | Eisenb. Basel  | ja       | 18.06.21        | Baltensperger         | 18.06.21           | dav                 |
| MA001 Fenster Schulhaus Manegg                                                         |                  | 2 Stk.            |             | Schule Manegg  | ja       | 14.06.21        | Emil Egger            | 14.06.21           | dav                 |
| <b>A3 Aussentüren</b>                                                                  | <b>22 Stk.</b>   | <b>0 Stk.</b>     | <b>0%</b>   |                |          |                 |                       |                    |                     |
| <b>A3.A Holztüren mit Holzverkleidung / Verglasung</b>                                 | <b>16 Stk.</b>   |                   |             |                |          |                 |                       |                    |                     |
| <b>A3.B Metalltüren mit Verglasung</b><br>ZB003 Eingangstüren Zwischenbächen           | 6 Stk.<br>22     |                   |             | Zwischenbächen | nein     |                 |                       |                    |                     |



| Bauteilkategorie                                     | Menge<br>gesucht | Menge<br>gefunden | Fortschritt | Quellobjekt               | Freigabe        | Datum<br>Ausbau | Lagerort      | Datum<br>Einlager. | Ansprech-<br>person |
|------------------------------------------------------|------------------|-------------------|-------------|---------------------------|-----------------|-----------------|---------------|--------------------|---------------------|
| <b>Z.A. 6 Sonnenschutz</b>                           | <b>55 Stk.</b>   | <b>55 Stk.</b>    | <b>100%</b> | <b>Zusatz</b>             |                 |                 |               |                    |                     |
| <b>Z.A.6 Fensterläden zu Fenster F1</b>              |                  |                   |             |                           |                 |                 |               |                    |                     |
| EB005 Fensterläden Eisenbahnergen.                   | 53 Stk.          | 53 Stk.           |             | Eisenb. Basel             | ja              | 18.06.21        | Baltensperger |                    | dav                 |
| MA002 Storen zu Fenster MA001                        | 2 Stk.           | 2 Stk.            |             | Schule Manegg             | ja              | 14.06.21        | Emil Egger    | 22.06.21           | dav                 |
| <b>I1 Boden- und Wandbeläge</b>                      | <b>553 m2</b>    | <b>446 m2</b>     | <b>81%</b>  |                           |                 |                 |               |                    |                     |
| <b>I1.A Parkettböden</b>                             |                  |                   |             |                           |                 |                 |               |                    |                     |
| wird nicht weiter gesucht                            |                  |                   |             |                           |                 |                 |               |                    |                     |
| <b>I1.B Plattenbeläge in Nasszellen</b>              | <b>553 m2</b>    |                   |             |                           |                 |                 |               |                    |                     |
| PG001 Restposten Platten Ganz                        |                  | 446 m2            |             | Restposten                | ja              |                 | Emil Egger    | 30.06.22           | reb                 |
| <b>I2 Innentüren</b>                                 | <b>72 Stk.</b>   | <b>63 Stk.</b>    | <b>88%</b>  |                           |                 |                 |               |                    |                     |
| <b>I2.A Innentüren ohne Brandschutzanforderungen</b> | <b>64 Stk.</b>   |                   |             |                           |                 |                 |               |                    |                     |
| ZK001 Türblätter ZKB Dübendorf                       |                  | 63 Stk.           |             | ZKB Dübendorf             | ja              | 18.05.21        | Emil Egger    | 18.05.21           | dav                 |
| <b>I2.B Innentüren mit Brandschutzanforderungen</b>  | <b>8 Stk.</b>    |                   |             |                           |                 |                 |               |                    |                     |
| <del>EA002 Türblätter Zimmertüre Europaallee</del>   |                  | <del>Stk.</del>   |             |                           | <del>nein</del> |                 |               |                    |                     |
| <b>I3 Bäder</b>                                      | <b>73 Stk.</b>   | <b>41 Stk.</b>    | <b>56%</b>  |                           |                 |                 |               |                    |                     |
| <b>I.3.A Waschtische</b>                             | <b>36 Stk.</b>   |                   |             |                           |                 |                 |               |                    |                     |
| EA003 Waschtisch                                     |                  | 10 Stk.           |             | Europaallee G             | ja              | 08.10.21        | Emil Egger    | 08.10.21           | dav                 |
| <del>ZB010 Waschtisch</del>                          |                  | <del>Stk.</del>   |             | <del>Zwischenbächen</del> | <del>nein</del> |                 |               |                    |                     |
| <b>I.3.B Spiegelschränke</b>                         | <b>35 Stk.</b>   |                   |             |                           |                 |                 |               |                    |                     |
| EA004 Spiegelschrank                                 |                  | 15 Stk.           |             | Europaallee G             | ja              | 08.10.21        | Emil Egger    | 08.10.21           | dav                 |
| <del>ZB009 Spiegelschrank</del>                      |                  | <del>Stk.</del>   |             | <del>Zwischenbächen</del> | <del>nein</del> |                 |               |                    |                     |
| KSW 005 Spiegelschrank                               |                  | 14 Stk.           |             | Kantonsspital             | ja              | offen           |               |                    |                     |
| <b>I.3.C WC</b>                                      | <b>1 Stk.</b>    |                   |             |                           |                 |                 |               |                    |                     |
| EA009 DuschWC mit AP Spülkasten                      |                  | 1 Stk.            |             |                           | ja              | 08.10.21        | Emil Egger    | 08.10.21           | dav                 |
| <del>EA010 WC</del>                                  |                  | <del>Stk.</del>   |             | <del>Europaallee G</del>  | <del>ja</del>   |                 |               |                    |                     |
| <b>I.3.D Badewannen / Duschtassen</b>                |                  |                   |             |                           |                 |                 |               |                    |                     |
| wird nicht gesucht                                   |                  |                   |             |                           |                 |                 |               |                    |                     |
| <b>I.3.E Spültrog Waschküche</b>                     | <b>1 Stk.</b>    |                   |             |                           |                 |                 |               |                    |                     |



| Bauteilkategorie                                         | Menge<br>gesucht | Menge<br>gefunden | Fortschritt | Quellobjekt           | Freigabe    | Datum<br>Ausbau | Lagerort                           | Datum<br>Einlager.   | Ansprech-<br>person |
|----------------------------------------------------------|------------------|-------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------|------------------------------------|----------------------|---------------------|
| EA025 Ausguss und Armatur<br><b>I.3.F Garnituren</b>     |                  | 1 Stk.            |             | Europaallee G         | ja          | 08.10.21        | Emil Egger                         | 08.10.21             | dav                 |
| EA005 Haltegriff WC klappbar                             |                  | 1 Stk.            |             | Europaallee G         | ja          | 08.10.21        | Emil Egger                         | 08.10.21             | dav                 |
| EA006 Haltegriff WC klein                                |                  | 1 Stk.            |             | Europaallee G         | ja          | 08.10.21        | Emil Egger                         | 08.10.21             | dav                 |
| EA007 Handtuchhalter                                     |                  | 11 Stk.           |             | Europaallee G         | ja          | 08.10.21        | Emil Egger                         | 08.10.21             | dav                 |
| BH011 Handtuchstangen                                    |                  | 23 Stk.           |             | Buchholz              | ja          |                 | Emil Egger                         | 26.10.22             | dav                 |
| <b>I4 Küchen</b>                                         | <b>8 Stk.</b>    | <b>0 Stk.</b>     | <b>0%</b>   |                       |             |                 |                                    |                      |                     |
| <b>I.4.A Teeküchen</b>                                   | <b>8 Stk.</b>    |                   |             |                       |             |                 |                                    |                      |                     |
| <u>ZB006</u> <u>Forsterküchen</u>                        |                  |                   |             | <u>Zwischenbächen</u> | <u>nein</u> |                 |                                    |                      |                     |
| <b>I5 Wandbekleidungen aus Holz</b>                      | <b>2247 m2</b>   | <b>m2</b>         | <b>0%</b>   |                       |             |                 |                                    |                      |                     |
| wird nicht weiter gesucht                                |                  |                   |             |                       |             |                 |                                    |                      |                     |
| <b>Z.I.6 Schiebetüren</b>                                | <b>37 Stk.</b>   | <b>16 m2</b>      | <b>43%</b>  | <b>Zusatz</b>         |             |                 |                                    |                      |                     |
| <b>Z.I.6. Schiebetüren ohne Brandschutzanforderungen</b> |                  |                   |             |                       |             |                 |                                    |                      |                     |
| EA001 Schiebetüren Europaallee                           |                  | 16 Stk.           |             | Europaallee G         | ja          | 08.10.21        | 15 Stk. Emil E.<br>1 Stk. Baltens. | 08.10.21<br>08.10.21 | dav<br>dav          |
| <b>XX. Fundstücke</b>                                    |                  |                   |             |                       |             |                 |                                    |                      |                     |
| <b>XX.A. Briefkästen</b>                                 | <b>4 Stk.</b>    | <b>4 Stk.</b>     | <b>100%</b> |                       |             |                 |                                    |                      |                     |
| SB001 Briefkästen Seebach 6er                            |                  | 4 Stk.            |             | MFH Seebach           | ja          | Ende Okt.       | Emil Egger                         | Nov 21               | dav                 |
| <b>XX.B. Gitterrost Schmutzschleuse</b>                  | <b>2 Stk.</b>    | <b>2 Stk.</b>     | <b>100%</b> |                       |             |                 |                                    |                      |                     |
| SW011 Gitterrost Swica                                   |                  | 2 Stk.            |             | Swica Winterthur      | nein        | 19.08.21        | HOB                                | 19.08.21             | dav                 |





## BAUTEILMONITORING HOBELWERK WINTERTHUR

VORABZUG 03.03.2023

schwarz: ausgebaut und eingelagert

grün: gefunden

rot: nicht weiter gesucht

### BAUFELD G, ALTES HOBELWERK, BAUBÜRO IN SITU

| Bauteilkategorie                                                          | Menge<br>gesucht | Menge<br>gefunden  | Fortschritt | Quellobjekt                   | Freigabe | Datum<br>Ausbau | Lagerort      | Datum<br>Einlager. | Ansprech-<br>person |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------|-------------|-------------------------------|----------|-----------------|---------------|--------------------|---------------------|
| <b>Fassade</b>                                                            |                  |                    |             |                               |          |                 |               |                    |                     |
| Brüstungselemente aus ReUse Klinker<br>HO001 Brüstungselemente Anbau Nord | 7 m2             | 7 m2<br>7 Stk.     | 100%        | Hobelwerk                     | ja       | 09.06.21        | Hobelwerk     | 09.06.21           | dav/rom             |
| Reparatursteine für Ausbesserungsarbeiten<br>HO002 Backsteine aus Abbruch | 120 Stk.         | 120 m2<br>120 Stk. | 100%        | Hobelwerk                     | ja       | 11.06.21        | Hobelwerk     | 11.06.21           | dav/rom             |
| <b>Fenster</b>                                                            |                  |                    |             |                               |          |                 |               |                    |                     |
| Fenster Nordfassade<br>LI001                                              | 28 m2<br>28 m2   | 28 m2<br>28 m2     | 100%        | Liestal                       | ja       | 05.08.22        | Baltensperger | 05.08.22           | dav/rom             |
| <b>Aussentüren</b><br>wird nicht weiter gesucht                           | 3 Stk.           | 0 Stk.             | 0%          |                               |          |                 |               |                    |                     |
| <b>Teeküche / Bar</b>                                                     | 1 Stk.           | 0 Stk.             | 0%          |                               |          |                 |               |                    |                     |
| <b>Holzwerkstoffe</b>                                                     |                  |                    |             |                               |          |                 |               |                    |                     |
| Furnierschichtplatten<br>Furnierschichtplatten BHF Winterthur             | 140 m2<br>140 m2 | 140 m2<br>140 m2   | 100%        | BHF Winterthur                | ja       | ?               | Strabag       | ?                  | rom                 |
| <b>Innentüren</b>                                                         |                  |                    |             |                               |          |                 |               |                    |                     |
| Innentüren zu Toiletten<br>GG020                                          | 3 Stk.<br>3 Stk. | 3 Stk.<br>3 Stk.   | 100%        | Gemeindezentrum<br>Geroldswil | ja       | 19.10.22        | Wolf Basel    | 19.10.22           | ald                 |
| <b>Sanitärapparate</b><br>noch offen                                      | 0 Stk.           | 0 Stk.             | #DIV/0!     |                               |          |                 |               |                    |                     |





PROVISORISCHE KOSTENBILANZ  
HOBELWERK WINTERTHUR

VORABZUG 03.03.2023

alle Preise inkl. 7.7% MwSt.

HAUS D, PASCAL FLAMMER ARCHITEKTEN

| Bauteilkategorie                                                                                                                                                                                                                                           | Menge                                                                   | Menge             | Fortschritt |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                            | gesucht                                                                 | gefunden          |             |
| <b>A1 Fassadenverkleidung nicht brennbar</b>                                                                                                                                                                                                               | 155 m2                                                                  | 155 m2            | 100%        |
| A1.1 Fassadenverkleidung in Metall<br>GR001 Aluminium Wellblech Gröze                                                                                                                                                                                      | 155 m2                                                                  | 155 m2            |             |
| <b>A1 Fassadenverkleidung brennbar</b>                                                                                                                                                                                                                     | 940 m2                                                                  | 0 m2              | 0%          |
| A1.2 Fassadenverkleidung in Holz<br>wird nicht weiter gesucht<br>ELSA-Plattensatz                                                                                                                                                                          | 940 m2                                                                  | 0 m2              |             |
| <b>A2 Fenster</b>                                                                                                                                                                                                                                          | 96 Stk.                                                                 | 62 Stk.           | 65%         |
| EB003 Balkonfenster Eisenbahnergen.<br>EB004 Zimmerfenster Eisenbahnergen.<br>MA001 Fenster Schulhaus Manegg<br>allg. Arbeiten                                                                                                                             | 12 Stk.<br>48 Stk.<br>2 Stk.                                            |                   |             |
| <b>A3 Aussentüren</b>                                                                                                                                                                                                                                      | 22 Stk.                                                                 | 0 Stk.            | 0%          |
| A3.A Holztüren mit Holzverkleidung / Verglasung<br>A3.B Metalltüren mit Verglasung<br>ZB001 Fliegengittertüren Zischewitz                                                                                                                                  | 16 Stk.<br>6 Stk.<br>22                                                 |                   |             |
| <b>A4 Balkonbrüstungen</b>                                                                                                                                                                                                                                 | 150 m2                                                                  | 17 m2             | 11%         |
| B7006 Gitterroste Bionignum Basel<br>PZ_J_004 Gitterroste Propag                                                                                                                                                                                           | 22 m2<br>17 m2                                                          |                   |             |
| <b>A5 Aussenbodenbeläge</b>                                                                                                                                                                                                                                | 280 m2                                                                  | 280 m2            | 100%        |
| A.5 Belagsplatten Umgebung<br>ZK005(D) Granitplatten<br>A.5 Holzrost Balkone<br>IPE001 IPE Terrassendielen                                                                                                                                                 | 30 m2<br>250 m2                                                         | 30 m2<br>250 m2   |             |
| <b>Z.A. 6 Sonnenschutz</b>                                                                                                                                                                                                                                 | 55 Stk.                                                                 | 55 Stk.           | 100%        |
| Z.A.6 Fensterläden zu Fenster F1<br>EB005 Fensterläden Eisenbahnergen.<br>MA002 Storen zu Fenster MA001                                                                                                                                                    | 53 Stk.<br>2 Stk.                                                       | 53 Stk.<br>2 Stk. |             |
| <b>I1 Boden- und Wandbeläge</b>                                                                                                                                                                                                                            | 553 m2                                                                  | 446 m2            | 81%         |
| I1.A Parkettböden<br>wird nicht weiter gesucht<br>I1.B Plattenbeläge in Nasszellen<br>PG001 Restposten Platten Ganz                                                                                                                                        | 553 m2                                                                  | 446 m2            |             |
| <b>I2 Innentüren</b>                                                                                                                                                                                                                                       | 72 Stk.                                                                 | 64 Stk.           | 89%         |
| I2.A Innentüren ohne Brandschutzanforderungen<br>ZK001 Türblätter ZKB Dübendorf<br>I2.B Innentüren mit Brandschutzanforderungen<br>S.A000 Türblätter-Immerline Europasafe                                                                                  | 64 Stk.<br>8 Stk.                                                       | 64 Stk.<br>Stk.   |             |
| <b>I3 Bäder</b>                                                                                                                                                                                                                                            | 73 Stk.                                                                 | 41 Stk.           | 56%         |
| I.3.A Waschtische<br>EA003 Waschtisch<br>ZB010 Waschtisch<br>I.3.B Spiegelschränke<br>EA004 Spiegelschrank<br>ZB000 Spiegelschrank<br>KSW 005 Spiegelschrank<br>I.3.C WC<br>EA009 DuschWC mit AP Spülkasten<br>S.A010 WC<br>I.3.D Badewannen / Duschkassen | 36 Stk.<br>10 Stk.<br>35 Stk.<br>15 Stk.<br>14 Stk.<br>1 Stk.<br>1 Stk. |                   |             |

| Vergleichskosten neu |            | Materialbeschaffungskosten |                                                      |                   |       | Honorarkosten              | Aufbereitung | Einbaukosten                                 |                                                  |                   |       |
|----------------------|------------|----------------------------|------------------------------------------------------|-------------------|-------|----------------------------|--------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|-------|
| Materialkosten       |            | gem. Erwerbsantrag         |                                                      | gem. Abrechnung   |       | Bauteilsuche               |              | gem. KV / Offerte Holzbau                    |                                                  | gem. Abrechnung   |       |
| pro Bezugseinheit    | Total      | pro Bezugseinheit          | Total                                                | pro Bezugseinheit | Total | anteilmässig pro Kategorie | Total        | pro Bezugseinheit                            | Total                                            | pro Bezugseinheit | Total |
|                      |            |                            |                                                      |                   |       | 11'970 CHF                 |              |                                              |                                                  |                   |       |
| 59 CHF/m2            | 9'218 CHF  | 47 CHF/m2                  | 7'325 CHF                                            |                   |       |                            |              | 257 CHF/m2                                   | 39'809 CHF                                       |                   |       |
|                      |            |                            |                                                      |                   |       |                            |              |                                              |                                                  |                   |       |
|                      |            |                            |                                                      |                   |       | 19'350 CHF                 |              | 978 CHF/Stk.<br>640 CHF/Stk.<br>393 CHF/Stk. | 11'735 CHF<br>30'720 CHF<br>786 CHF<br>3'992 CHF |                   |       |
|                      |            |                            |                                                      |                   |       | 6'000 CHF                  |              |                                              |                                                  |                   |       |
|                      |            |                            |                                                      |                   |       | 6'524 CHF                  |              | - -                                          | - -                                              |                   |       |
| 110 CHF/m2           | 1'925 CHF  | 122 CHF/m2                 | 2'140 CHF                                            |                   |       | 3'375 CHF                  |              | - -                                          | - -                                              |                   |       |
| 40 CHF/m2            | 1'200 CHF  | 69 CHF/m2                  | 2'070 CHF                                            |                   |       |                            |              |                                              |                                                  |                   |       |
| 59 CHF/m2            | 17'688 CHF | 17 CHF/m2                  | 5'200 CHF                                            |                   |       |                            |              | 175 CHF/m2                                   | 43'750 CHF                                       |                   |       |
|                      |            |                            |                                                      |                   |       | 1'630 CHF                  | 25'951 CHF   |                                              |                                                  |                   |       |
| 453 CHF/Stk.         | 21'733 CHF | 257 CHF/Stk.               | 12'330 CHF<br>In Erwerbsantrag MA001 enthalten       |                   |       | 5'400 CHF                  |              |                                              |                                                  |                   |       |
|                      |            |                            |                                                      |                   |       |                            |              |                                              |                                                  |                   |       |
| 34 CHF/m2            | 16'320 CHF | 18 CHF/m2                  | 10'006 CHF                                           |                   |       |                            |              | - -                                          | - -                                              |                   |       |
|                      |            |                            |                                                      |                   |       | 4'980 CHF                  |              |                                              |                                                  |                   |       |
| 404 CHF/Stk.         | 25'800 CHF | 189 CHF/Stk.               | 12'080 CHF                                           |                   |       |                            |              | 681 CHF/Stk.                                 | 43'600 CHF                                       |                   |       |
|                      |            |                            |                                                      |                   |       |                            |              |                                              |                                                  |                   |       |
|                      |            |                            |                                                      |                   |       | 10'497 CHF                 |              |                                              |                                                  |                   |       |
| 306 CHF/Stk.         | 3'065 CHF  | EA pauschal                | 22'000 CHF<br>In Erwerbsantrag EA pauschal enthalten |                   |       |                            |              | - -                                          | - -                                              |                   |       |
| 451 CHF/Stk.         | 6'761 CHF  |                            | In Erwerbsantrag EA pauschal enthalten               |                   |       |                            |              |                                              |                                                  |                   |       |
| 451 CHF/Stk.         | 6'310 CHF  | 177 CHF/Stk.               | 2472 CHF                                             |                   |       |                            |              |                                              |                                                  |                   |       |
| - -                  | - -        |                            | In Erwerbsantrag EA pauschal enthalten               |                   |       |                            |              |                                              |                                                  |                   |       |



## HAUS D, PASCAL FLAMMER ARCHITEKTEN

| Bauteilkategorie                                         | Menge<br>gesucht | Menge<br>gefunden | Fortschritt |
|----------------------------------------------------------|------------------|-------------------|-------------|
| <b>wird nicht gesucht</b>                                |                  |                   |             |
| <b>I.3.E Spültrog Waschküche</b>                         | <b>1 Stk.</b>    |                   |             |
| EA025 Ausguss und Armatur                                |                  | 1 Stk.            |             |
| <b>I.3.F Garnituren</b>                                  |                  |                   |             |
| EA005 Haltegriff WC klappbar                             |                  | 1 Stk.            |             |
| EA006 Haltegriff WC klein                                |                  | 1 Stk.            |             |
| EA007 Handtuchstangen                                    |                  | 11 Stk.           |             |
| BH011 Handtuchstangen                                    |                  | 23 Stk.           |             |
| <b>I4 Küchen</b>                                         | <b>8 Stk.</b>    | <b>0 Stk.</b>     | <b>0%</b>   |
| <b>I.4.A Teeküchen</b>                                   | <b>8 Stk.</b>    |                   |             |
| <del>250006</del> <del>Teeküchen</del>                   |                  |                   |             |
| <b>I5 Wandbekleidungen aus Holz</b>                      | <b>2247 m2</b>   | <b>m2</b>         | <b>0%</b>   |
| <b>wird nicht weiter gesucht</b>                         |                  |                   |             |
| <b>Z.I.6 Schiebetüren</b>                                | <b>37 Stk.</b>   | <b>16 m2</b>      | <b>43%</b>  |
| <b>Z.I.6. Schiebetüren ohne Brandschutzanforderungen</b> |                  |                   |             |
| EA001 Schiebetüren Europaallee                           |                  | 16 Stk.           |             |
| <b>XX. Fundstücke</b>                                    |                  |                   |             |
| <b>XX.A. Briefkästen</b>                                 | <b>4 Stk.</b>    | <b>4 Stk.</b>     | <b>100%</b> |
| SB001 Briefkästen Seebach 6er                            |                  | 4 Stk.            |             |
| <b>XX.B. Gitterrost Schmutzschleuse</b>                  | <b>2 Stk.</b>    | <b>2 Stk.</b>     | <b>100%</b> |
| SW011 Gitterrost Swica                                   |                  | 2 Stk.            |             |

| Vergleichskosten neu |           | Materialbeschaffungskosten             |           |                   |       | Honorarkosten              | Aufbereitung | Einbaukosten              |            |                   |       |
|----------------------|-----------|----------------------------------------|-----------|-------------------|-------|----------------------------|--------------|---------------------------|------------|-------------------|-------|
| Materialkosten       |           | gem. Erwerbsantrag                     |           | gem. Abrechnung   |       | Baustellbeuche             |              | gem. KV / Offerte Holzbau |            | gem. Abrechnung   |       |
| pro Bezugseinheit    | Total     | pro Bezugseinheit                      | Total     | pro Bezugseinheit | Total | anteilmässig pro Kategorie | Total        | pro Bezugseinheit         | Total      | pro Bezugseinheit | Total |
| 185 CHF/Stk.         | 185 CHF   | In Erwerbsantrag EA pauschal enthalten |           |                   |       |                            |              |                           |            |                   |       |
| 606 CHF/Stk.         | 606 CHF   | In Erwerbsantrag EA pauschal enthalten |           |                   |       |                            |              |                           |            |                   |       |
| - -                  | - -       | In Erwerbsantrag EA pauschal enthalten |           |                   |       |                            |              |                           |            |                   |       |
| 31 CHF/Stk.          | 336 CHF   | In Erwerbsantrag EA pauschal enthalten |           |                   |       |                            |              |                           |            |                   |       |
| 31 CHF/Stk.          | 702 CHF   | In Erwerbsantrag EA pauschal enthalten |           |                   |       |                            |              |                           |            |                   |       |
|                      |           | 50 CHF/Stk.                            | 1'090 CHF |                   |       |                            |              |                           |            |                   |       |
|                      |           |                                        |           |                   |       | 3'600 CHF                  |              |                           |            |                   |       |
|                      |           |                                        |           |                   |       | 8'000 CHF                  |              |                           |            |                   |       |
|                      |           |                                        |           |                   |       | 1'320 CHF                  |              |                           |            |                   |       |
| 523 CHF/Stk.         | 8'368 CHF | In Erwerbsantrag EA pauschal enthalten |           |                   |       |                            |              | 1'056 CHF/Stk.            | 16'902 CHF |                   |       |
| 550 CHF/Stk.         | 2'200 CHF | 458 CHF/Stk.                           | 1'830 CHF |                   |       | 2'250 CHF                  |              |                           |            |                   |       |
|                      |           | - -                                    | - -       |                   |       |                            |              |                           |            |                   |       |



## 9.3 Anhang zu AP2 – Interviews mit Fachspezialistinnen Haus D

### 9.3.1 Fragen an die Architektur

#### Zusammenfassung

Zirkuläres Bauen bedeutet für Architekt:innen und Fachplanende ein Umdenken im Entwurfs-, Planungs- und Realisierungsprozess. Das Haus D auf dem Areal Hobelwerk von Pascal Flammer Architektur wurde im Sinne der Wiederverwendung konzipiert und ist somit eines der ersten Gebäude, bei denen Wiederverwendung ohne Sonderstatus angewendet wurde.

*Ein Fokus beim Bau lag darauf, möglichst wenig CO<sub>2</sub>-Emissionen zu produzieren. Welche Massnahmen wurden dafür getroffen?*

Das Gebäude ist nicht unterkellert und als Holzbau-Struktur gebaut. Die Abluft in den Nasszellen wird über CO<sub>2</sub>-Sensoren gesteuert und die Zuluft über Aussenluftdurchlässe. Eine weitere CO<sub>2</sub>-Einsparung konnte durch den Einsatz von ReUse-Bauteilen erzielt werden.

*War beim Haus D von vorneherein klar, dass es mit ReUse-Bauteilen erstellt werden soll oder hat sich diese Entscheidung im Planungsprozess entwickelt?*

Die Entscheidung wurde während des Planungsprozesses getroffen.

*Auf der Webseite wird das Haus D als «Wiederverwendung ohne Sonderstatus (ReUse)» beschrieben. Was bedeutet das?*

Es sollte gezeigt werden, wie wiederverwendete Bauteile in einen regulären Bauprozess eingebunden werden können: ohne Einbussen beim Komfort, ohne zusätzliche Kosten und ohne zusätzlichen Unterhalt und Betriebsaufwand.

*Wer hat die Vorgabe an den Entwurf und Bau gestellt?*

Er entstand aus der Zusammenarbeit zwischen der Baugenossenschaft mehr als wohnen (Auftraggeberin) und dem Bundesamt für Energie (Förderung).

*Welche Vor- bzw. Nachteile entstehen durch diese Vorgabe «Wiederverwendung ohne Sonderstatus»?*

Ohne Kompromisse beim Komfort und Kosten zu machen (bzw. Re-Use ohne Sonderstatus einzusetzen) wird die Auswahl der wiederverwendeten Bauteile stark eingegrenzt, insbesondere beim Schallschutz und den thermischen Anforderungen.

*Konnten die Ziele der Wiederverwendung ohne Sonderstatut eingehalten werden?*

Ob mehr Unterhalt nötig ist, wird in den nächsten Jahren evaluiert. Die Kosten sind fast bei jedem Bauteil leicht überschritten worden (ausser bei den Fensterläden). Die Anforderungen für Komfort, Schallschutz und thermische Eigenschaften wurden eingehalten.



*Wo sind Sie dabei an Ihre Grenzen gestossen? Bzw. gab es auch Rückschläge oder Hürden, die nicht gelöst werden konnten? Wenn ja, welche alternativen Strategien wurden dafür eingesetzt?*

Es gab einige Positionen, bei denen keine passenden Bauteile im Zeitrahmen gefunden werden konnten. Dies war durch die relativ spät getroffene Entscheidung ReUse-Bauteile einzusetzen, fast vorprogrammiert. Denn die Gebäudedimensionen durften sich nicht mehr ändern (gemäss bewilligtem Bauprojekt). Das schränkte das Zeitfenster für die Suche ziemlich ein. Zudem waren die Anforderungen an die Bauteile sehr hoch (z.B. U-Wert bei Fenster), was die Suche weiter verkomplizierte.

*Wie hat das Bauen mit wiederverwendeten Bauteilen Ihre Art zu Arbeiten und den Entwurf beeinflusst?*

Wir haben versucht, die Bauteile nicht als eine Kollage zu behandeln, sondern gleichwertig wie alle anderen Elemente und sie möglichst nahtlos zu integrieren. Gestalterisch war dies teilweise eine Herausforderung. Im fertiggestellten Gebäude ist erst beim zweiten vertieften Blick möglich zu erkennen, welche Bauteile wiederverwendet sind und welche nicht.

*Was hat sich dadurch im Planungs- und Realisationsprozess geändert?*

Es gab deutlich mehr Anpassungsbedarf, die neuen Bauteile mussten die Toleranzen des Re-Use aufnehmen. Der Planungsprozess ist dadurch deutlich aufwendiger geworden. Viele Bauteile, die im Detail geprüft und ins Projekt eingeplant wurden, sind zum Zeitpunkt als sie eingebaut werden sollten aus verschiedenen Gründen nicht mehr verfügbar gewesen. Das hat zu höherem Aufwand geführt.

*Was sind die Erkenntnisse im Bereich der Fachplanung Re-Use, die Sie aus dem Projekt mitnehmen?*

Es braucht politische Entscheidungen bzw. Förderinitiativen, um Re-Use-Bauteile finanziell attraktiv zu machen. Nur dann kann es wirklich verbreitet und 'normalisiert' werden, sonst wird es höchstwahrscheinlich ein Nischenthema bleiben. Auf der anderen Seite sollte Re-Use nicht als Lösung missbraucht werden, um damit einen Abbruch zu legitimieren.

*Was würden Sie anderen Architekturbüros für den Prozess beim Bauen mit wiederverwendeten Bauteilen raten?*

Möglichst früh die wiederverwendeten Bauteile suchen, damit sie in den Planungsprozess einfließen können.

Interviewpartnerin

Marija Urbaite, Projektleiterin Hobelwerk Haus D, Pascal Flammer Architekten AG



### 9.3.2 Fragen an die Bauherrenvertretung

#### Zusammenfassung

Im Interview mit Nadine Koppa von Topik Partner über das Hobelwerk und Haus D spricht sie über neue Prozesse beim Bauen mit wiederverwendeten Baumaterialien, partizipative Formate oder kostengünstiges Wohnen. Haus D war das erste Projekt mit Re-Use-Elementen für Topik Partner, wobei die Beschaffung und Anpassung der wiederverwendeten Bauteile eine Herausforderung darstellte. Erkenntnisse aus dem Projekt betonen die Wichtigkeit einer frühzeitigen Entscheidung für Re-Use-Elemente, klare Verantwortlichkeiten, ausreichend Zeit und die Zusammenarbeit mit erfahrenen Fachplanenden, um zukünftige Projekte effizienter zu gestalten.

#### *Wie sind Topik Partner und mehr als wohnen für das Projekt Hobelwerk zusammengekommen?*

Der Eigentümer hat nach dem Erwerb des Areals 2014 zusammen mit Topik mit der Projektentwicklung gestartet. Nach Testplanung, Gestaltungsplanverfahren und Studienauftrag mit sechs eingeladenen Büros der 2. Etappe, wurde 2018 das Baugesuch für die erste Etappe eingereicht. Nun startete der Eigentümer den Verkauf von Stockwerkeigentum in Haus B und suchte einen Käufer für das Atriumhaus A. mehr als wohnen interessierte sich für das gesamte Areal und erhielt schlussendlich den Zuschlag. Die Umplanung der ersten Etappe wurde sofort in die Wege geleitet, das Vorprojekt der drei Neubauten und des alten Hobelwerks wurden im Sommer 2019 gestartet.

#### *Welche Aufgaben und Herausforderungen zeichneten das Projekt Hobelwerk besonders aus für Topik Partner?*

Neben den üblichen Aufgaben in der Projektentwicklung und der Bauherrenvertretung kamen mit der neuen Bauherrschaft mehr als wohnen auch neue Prozesse ins Spiel. Partizipation in Form von Echoräumen luden Nachbarschaft, zukünftige Bewohnende, Forschende und das Planungsteam zum Austausch mit mehr als wohnen ein. Themen wie «kostengünstiges Wohnen», «neue Wohnformen», «Schwammstadt» und die Suche nach «skalierbaren Lösungen für netto-null» wurden ins Projekt aufgenommen – teilweise im fortgeschrittenen Projektverlauf. Die Änderung des Wohnungsmixes im Hinblick auf «Clusterwohnungen» und «Micro-Co-Living» für die 2. Etappe nach dem Studienauftrag sowie insbesondere die Bestelländerung von konventionellen Bauten zu Holzbauten mit Re-Use-Elementen stellte neben den Planenden auch die Bauherrenvertretung vor grosse Herausforderungen. Viele Themen, viele Planungspartner, viele Meinungen – das alles unter einen Hut zu bringen, war eine spannende, aber auch anstrengende Aufgabe.

#### *Ist das Haus D das erste Projekt im Bereich Bauen mit wiederverwendeten Bauteilen für Topik Partner?*

Ja, Haus D von Pascal Flammer war das erste Projekt mit Re-Use-Elementen. Bauherrschaft wie Architekt waren sehr froh um die Unterstützung durch das Fachplanungsbüro Zirkular, die ihre Erfahrung im Planen und Bauen mit wiederverwendeten Bauteilen eingebracht und den Prozess der Bauteilbeschaffung begleitet haben.

#### *Wann hat man sich im Prozess für das Bauen mit wiederverwendeten Bauteilen entschieden und warum?*

Erst nach dem Abschluss des Vorprojekts im Frühjahr 2020 hat man sich für das Bauen mit wiederverwendeten Bauteilen entschieden. Dem Entscheid ging auf Seiten der Bauherrschaft ein Prozess voraus, der nach dem Kauf des Areals gestartet und von der mehr als wohnen internen Fachgruppe



«Forschung & Innovation» begleitet wurde. Es wurden in einem BFE-Projekt mit Partnern aus Wissenschaft und Forschung skalierbare Lösungen für netto-null gesucht.

*Wie hat sich der Planungs- und Realisationsprozess verändert im Vergleich zu «herkömmlichen» Projekten?*

Der Planungs- und Realisierungsprozess hat sich stark verändert gegenüber konventionellen Projekten wie auch gegenüber den anderen Baufeldern. Einerseits wurde die Planung durch die städtebauliche Idee, die Volumetrie und Nutzung (Clusterwohnungen) bestimmt, andererseits aber auch durch die Re-Use-Bauteile selbst. Anfänglich wurden 10 Bauteilgruppen bestimmt, deren Material möglichst durch Re-Use-Bauteile ersetzt werden sollte. Nicht alle Bauteile konnten einfach gefunden werden. Andere wurden gefunden, konnten aber nach Abklärung durch die Architekten nicht verwendet werden. Manche Bauteile waren nach Abklärung nicht mehr verfügbar – so musste die Planung durch die Architekten immer wieder den Gegebenheiten angepasst werden. Auch die Bauherrschaft musste sich immer wieder auf neue architektonische Eindrücke einlassen und speditiv Entscheide über Bauteilkäufe und Materialänderungen treffen.

*Welche Aufgaben und Herausforderungen zeichneten das Projekt Haus D aus?*

Die Aufgaben und Herausforderungen für uns als Bauherrenvertretung habe ich bereits unter Punkt 2 beschrieben. Die Herausforderung für die Architekten lag im stetigen Umplanungsprozess. Da es das erste Re-Use-Projekt des Architekturbüros Pascal Flammer war, musste auch der Architekt seine Ansprüche an die Gestaltung neu definieren, was ihm nicht immer leichtfiel, aber gut gelungen ist. Auch für das Baumanagement war die Aufgabe neu, für ein Gebäude mit wiederverwendeten Bauteilen die Kosten zu schätzen, die Leistungen mit Re-Use-Elementen auszuschreiben und schlussendlich auf der Baustelle deren Einbau zu koordinieren. Die Planung und Realisierung mit wiederverwendeten Bauteilen verlangt von allen Beteiligten von der Bauherrschaft über die Architekten, Fachplaner und Bauleitung bis hin zum Nutzer eine Menge Flexibilität, ein grosses Durchhaltevermögen und hohe Akzeptanz.

*Wie sind Sie damit umgegangen? Bzw. wie haben Sie die entstandenen Fragen und Probleme gelöst? Können Sie das an einem konkreten Beispiel darstellen?*

Die Baukommission hat in den Sitzungen über die Grundsätze der Gestaltung entschieden. Wenn es um den definitiven Kauf von Bauteilen ging, konnte dies oftmals nicht bis zur Baukommissionssitzung warten und der Kaufentscheid wurde durch die Präsidentin der Baukommission und mich als Bauherrenvertreterin getroffen – vorausgesetzt, es wurden die mit der Bauko definierten Gestaltungsmerkmale nicht grundlegend geändert.

*Wo sind Sie an die Grenzen gestossen?*

An Grenzen sind wir dann gestossen, wenn Bauteile wirklich nicht mehr verfügbar waren, die bereits eingeplant waren – da war nichts mehr zu machen.

Irgendwann war auch auf der Terminschiene der Zeitpunkt gekommen, um die Bauteilsuche einzustellen und die Elemente durch neue Bauteile zu ersetzen, da ansonsten die Fertigstellungstermine nicht hätten eingehalten werden können. Sich mit dem zufrieden zu geben, was man bis dahin gefunden hat, war nicht einfach.

Auch beim Einbau einiger Bauteile gab es Probleme, weil die beteiligten Unternehmer die Prozesse mit wiederverwendeten Bauteilen noch nicht ausreichend kennen. Hier fehlt es noch an Erfahrung. Beispielsweise konnten hochwertige Türen aus einem Bankgebäude ausgebaut werden, allerdings ohne Zargen. Diese wurden neu hinzugekauft. Die leicht unterschiedlichen Abmessungen der Türen



wurden vom Unternehmer nicht berücksichtigt und so mussten nach dem Einbau der «Standard-Stahlzargen» viele Türen in ihrer Dimension angepasst werden; dies hätte durch sorgfältiges Messen vermieden werden können. Aufregung auf der Baustelle und vor allem eine Kostenübersteigung von 100% bei den Innentüren hätten so vermieden werden können.

*Was sind die Erkenntnisse im Bereich der Bauherrenvertretung, die Sie aus dem Prozess mitnehmen? Positiv wie negativ.*

Durch den späten Entscheid für eine Bauweise aus Holz mit Re-Use-Elementen entstand ein Druck auf Planende und Bauherrenvertretung. Dieser hätte durch eine Bestellung vor Projektbeginn minimiert werden können. Auch war das Hobelwerk-Areal voll mit Bestandsbauten, die man bei einer früheren Planung Richtung Re-Use hätte mitberücksichtigen können. Man hätte Lagerkosten einsparen können, wenn die Etappierungsplanung die Re-Use-Bauweise hätte einbeziehen können. Auch wenn die Architekten die Re-Use-Aufgabe professionell angenommen haben, wäre eine Bestellung bereits im Studienauftrag vorteilhaft gewesen.

Positiv fand ich den Willen aller Beteiligten, dranzubleiben, auch wenn es ab und an schwierig war.

*Was würden Sie anderen Firmen im Bereich der Bauherrenvertretung für das Bauen mit wiederverwendeten Bauteilen raten?*

Ohne die Überzeugung der Bauherrschaft und des Planungsteams sollte man ein Re-Use-Projekt nicht beginnen.

Man sollte das Bauen mit wiederverwendeten Bauteilen frühzeitig in die Bestellung und das Projektpflichtenheft aufnehmen und die Verantwortlichkeiten und Schnittstellen im Projekthandbuch ausreichend beschreiben und definieren.

Bei der Teamzusammenstellung sollte man die Erfahrung im Bauen mit Re-Use-Elementen berücksichtigen, d. h. mit erfahrenen Planern und Fachplanerinnen zusammenarbeiten und/oder ihnen einen Re-Use-Experten sowie Bauteiljäger zur Seite stellen.

*Was gilt es insbesondere auf Auftraggebendenseite zu beachten?*

Es ist ausreichend Zeit für den Prozess einzukalkulieren.

Das Bauen mit Re-Use ist noch nicht ganz kostenneutral oder günstiger als das Verwenden von Neubauteilen, da die Lagerkosten sowie das Bauteiljäger-Honorar zu Buche schlagen. Eine gute schweizweite Bauteilbörse resp. Plattform würde helfen, diese Kosten zu senken und den Austausch von Materialien vereinfachen. Hier sind gerade Harmonisierungen der Datenbanken im Gange – ein wichtiger Schritt Richtung breitere Re-Use-Nutzung.

Die Grundleistungen im üblichen Planervertrag nach SIA 102 sollten um eine Vereinbarung ergänzt werden, wenn sämtliche Leistungen der Bauteilsuche, Überprüfung, Überwachung des Einbaus etc. zum Leistungsspektrum gehören. Bei Beizug von Re-Use-Fachplanern und -Experten sind die Schnittstellen klar zu definieren.

Bauteilkäufe sind rechtlich zu regeln, damit die Verantwortlichkeiten geklärt sind und die Bauteile auch wirklich zur Realisierung zur Verfügung stehen.

Interviewpartnerin

Nadine Koppa, Bauherrenvertreterin, Topik Partner





### 9.3.3 Fragen an die Bauherrschaft

#### Zusammenfassung

Das Interview mit Claudia Thiessen von der Wohngenossenschaft Mehr als Wohnen beleuchtet den Planungs- und Bauprozess des Hobelwerks Winterthur Haus D, mit einem Fokus auf dem Einsatz wiederverwendeter Bauteile. Die Entscheidung, wiederverwendete Bauteile zu verwenden, entstand im Rahmen des Ziels, Netto-Null zu erreichen und Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Mehr als Wohnen entschied sich für eine Zusammenarbeit mit baubüro in situ und Zirkular aufgrund ihres Erfahrungsschatzes im Bereich Re-Use. Fragen, welche Bauteile sich besonders für das Bauen mit wiederverwendeten Bauteilen eignen, aber auch die nötige Flexibilität im Prozess und der Planung und worauf BestellerInnen im Re-Use-Prozess achten müssen, werden erörtert.

*Wann und warum ist im Planungsprozess der Wunsch entstanden, das Bauen mit wiederverwendeten Bauteilen für das Hobelwerk zu verfolgen?*

Im Rahmen der übergeordneten Zielsetzungen wollten wir Lösungsansätze für Netto-Null bzw. zur Verringerung der Treibhausgasemissionen finden und deren Skalierbarkeit klären. Konkret ging es darum nicht nur die 2000-Watt-Areal-Ziele im Sinne des SIA-Effizienzpfads Energie zu erreichen, sondern darüber hinaus noch mehr Treibhausgasemissionen einsparen. Dazu haben wir verschiedene Lösungsansätze verfolgt, Re-Use war einer davon.

Was vielleicht noch wichtig ist zum Verständnis: Die Baugenossenschaft mehr als wohnen wurde bei der Gründung bewusst als Innovations- und Lernplattform für den gemeinnützigen genossenschaftlichen Wohnungsbau angelegt. Die Genossenschaft hat den statutarisch festgelegten Auftrag, mit mindestens 1% der Mieteinnahmen Innovationen zu fördern und die daraus entstehenden Erkenntnisse zu verbreiten. Aus dem ersten Projekt Hunziker Areal hatten wir unter anderem die Erkenntnis, dass es sehr schwierig ist, den Richtwert Erstellung zu erreichen, im Gegensatz zu den Richtwerten Betrieb und Mobilität. Daher haben wir im Hobelwerk hier besondere Anstrengungen unternommen, besser zu werden.

*Wie fiel der Entscheid auf Haus D und welche Rolle spielte dabei das Architekturbüro Pascal Flammer?*

Einerseits aus Risikoüberlegungen: Das Haus D ist das kleinste Gebäude. Zudem eignete es sich gut, einen Holzbau umzusetzen. Andererseits hatten wir im Haus D zwei innovative Wohnformen vorgesehen (Clusterwohnen und Atelierwohnen), das Gebäude hatte demnach bereits einen experimentellen Charakter und in unserer Vorstellung wären die zukünftigen Bewohner:innen offen(er) für diese bauliche Umsetzung. Pascal Flammer hat beim Entscheid keine allzu grosse Rolle gespielt, war aber sehr einverstanden, sich mit diesem Thema auseinanderzusetzen.

*Wie entstand die Zusammenarbeit mit dem Team von baubüro in situ und Zirkular?*

Wir kennen das baubüro in situ schon länger aus anderen Projekten. Für uns als Auftraggeberin war klar, dass wir hier professionelle Unterstützung benötigen. Die Zusammenarbeit wurde vorgängig intern zwischen mir, der Bauherrenvertretung und der Vertretung Forschung & Innovation besprochen. So kamen baubüro in situ und Zirkular ins Projekt.

*Gab es grundlegende Entscheide, die von Beginn an festgelegt werden mussten?*

Wir haben das Projekt in einem sehr engen Kostenrahmen und unter hohem Termindruck entwickelt. Deswegen war es sehr wichtig, zu Beginn die Risiken einzugrenzen. Wir haben zusammen mit in situ und Zirkular festgelegt, auf welche Bauteile wir uns beschränken wollen (es gab eine Top-Ten-Liste,



Grundlage hierfür waren Erfahrung und Empfehlung in situ/Zirkular und natürlich das vorliegende Projekt – es war Stand Vorprojekt), mit dem Baumanagement Wild den Budgetrahmen festgelegt auf der Grundlage des Kostenvoranschlags und den dort angegebenen Neubaupreisen. Ausserdem haben wir den Prozess der Bauteilbeschaffung festgelegt.

*Inwiefern gestalteten sich Ihre internen Prozesse anders als bei konventionellen Bauten?*

Es braucht mehr Flexibilität in der Planung und der Realisierung, das beeinflusst natürlich auch die Entscheide der Baukommission. Wir mussten einen Prozess implementieren, der es uns ermöglicht, nach Prüfung der Bauteile und auf Grundlage eines Erwerbsantrags von in situ/Zirkular möglichst rasch einen Entscheid dafür oder dagegen zu fällen, da es dann jeweils schnell gehen muss mit dem Ausbau. Wir haben die internen Kompetenzen entsprechend angepasst. Zudem gestaltet sich die Risikoanalyse im Projekt etwas anders.

*Was waren die grössten Erkenntnisse im Bauen mit wiederverwendeten Bauteilen?*

Zum einen, wie viel tatsächlich abgebrochen und entsorgt wird und dass es in der Immobilienbranche kaum Wertschätzung für Bauteile oder Materialien von Abbruchobjekten gibt. Als ich beispielsweise gesehene habe, was im Projekt Gustav (exklusiver Wohnraum für Menschen im besten Alter) in der Europaallee nach sechs Jahren Leerstand alles ungebraucht wieder rausgerissen wurde, hat mit schon auch das Herz geblutet, weil ja nicht nur Material, sondern auch viel sorgfältige Arbeit von Planer:innen und Handwerker:innen in so einem Innenausbau steckt.

Was ich auch gelernt habe, ist, dass es nicht nur einen materiellen Wert gibt. Sondern dass mit Bauteilen auch Geschichte und Geschichten transportiert werden, also auch immaterielle Werte in Gebäuden mit wiederverwendeten Bauteilen stecken oft im Verborgenen, manchmal kommen sie auch an die Oberfläche.

Auch eine wichtige Erkenntnis war, dass die grossen Hebel woanders liegen. Zum Beispiel im Flächenverbrauch oder unter der Oberfläche im Tiefbau. Und dass trotz Re-Use in der Planung die Wiederverwendung der neu eingesetzten Bauteile und Materialien (Stichwort: Design for Disassembly) nicht automatisch im Fokus stehen.

*Gab es auch Rückschläge oder Hürden, die nicht gelöst werden konnten? Wenn ja, welche alternativen Strategien wurden dafür eingesetzt?*

Was wir nicht ändern konnten, war die nicht sehr ideale Ausgangslage für die Erprobung der oben genannten Lösungsansätze, da wir ein Areal mit einem bereits entwickelten Projekt übernommen haben. Wir haben das Land zu Marktpreisen gekauft und mussten gleichzeitig relativ günstige Mietzinse erreichen und die Anlagekostenlimite des BWO (Bundesamt für Wohnungswesen) einhalten für die Finanzierung. Hinzu kamen Anforderungen des Forschungsprojekts «Skalierbare Lösungen auf dem Weg zu Netto-Null» mit dem BFE, die gleichzeitig zur Planung ausgehandelt wurden. Wir haben deswegen versucht, uns auf wesentliche Punkte zu beschränken und auf eins von fünf Gebäuden beim Thema Re-Use zu fokussieren.

*Welche ökologischen Ziele von Mehr als Wohnen konnten mit dem Bau erreicht werden?*

Wir haben den Zielwert der SIA 2040 erfüllt und viele neue Erkenntnisse gewonnen. Wir konnten aber bei den Bilanzwerten der Erstellung unsere Zielsetzungen nicht ganz erreichen. Das lag vor allem auch daran, dass wir aufgrund von Auflagen (Schutzräume, Brandschutz, Lärm) und Kostendruck insgesamt einen immer noch hohen Anteil an grauer Energie verbaut haben (Beton, Stahl).



*Wie stellt sich der Bau in der ökonomischen Bilanz dar?*

Die Zielwerte bei den Baukosten und demnach den Mietzinsen haben wir erreicht. Die ökonomische Bilanz ist insgesamt positiv. Im Vergleich der drei Neubauten der 2. Etappe schneidet der 30 m hohe Turm Haus E als Massivbau am besten ab. Dies liegt aber zu einem grossen Teil im Gebäudevolumen und der einfachen Erschliessung begründet. Das Haus D ist nach Kennwerten etwas günstiger als Haus C, besitzt aber auch kein Untergeschoss und ebenfalls eine sehr effiziente Erschliessung.

*Sind Sie mit dem Ergebnis zufrieden?*

Ja ☺

*Würden Sie es wieder tun? Unter welchen Anpassungen/Bedingungen?*

Ja unbedingt. Als ein Baustein einer umfassenden Netto-Null-Strategie. In der Regel beginnen wir ja vor der Projektierung mit der Projektdefinition, dort könnten wir von Beginn an die Schwerpunkte definieren, massgeschneidert das Planungsteam zusammenstellen und die Projektorganisation entsprechend aufgleisen.

*Was würden Sie anderen Besteller:innen für den Planungsprozess eines Wiederverwendungsprojekts raten?*

Von Beginn an (spätestens vor dem Vorprojekt, besser vor einem Konkurrenzverfahren, wenn es denn eins gibt) die Ziele, Schwerpunkte, Rahmenbedingungen, Anforderungen und Prozesse festlegen, das Planungsteam entsprechend zusammensetzen.

*Welche Rückmeldungen von extern erhalten Sie zu diesem Projekt bzw. zum Thema ReUse?*

Positive. Wenigen fällt überhaupt auf, dass Bauteile wiederverwendet sind, wenn sie die Information nicht haben. Ich sehe immer wieder überraschte Gesichter bei Begehungen (im positiven Sinn).

*Welche Änderungen gibt es im Unterhalt bei Gebäuden mit Re-Use-Materialien im Gegensatz zu Komplettn Neubauten?*

Das wissen wir noch nicht. Aber natürlich müssen wir die Lebensdauertabellen der wiederverwendeten Materialien anpassen und den Unterhalt entsprechend aufgleisen. Die umfassende Dokumentation der verwendeten Bauteile ist ebenfalls wichtig.

Interviewpartnerin

Claudia Thiessen, Leitung Baukommisison, mehr als wohnen



### 9.3.4 Fragen an den Holzbauunternehmer

#### Zusammenfassung:

Welche Herausforderungen kommen auf Unternehmen beim Bauen mit wiederverwendeten Bauteilen zu? Wir haben uns mit Philipp Bernhard von der Baltensperger AG (Holzbau) über Herausforderungen und Chancen im Re-Use-Bauprozess unterhalten. Dabei wurde klar, dass die Einschätzung des planerischen Aufwands und deren Preisdefinition aufgrund fehlender Erfahrung eine besondere Herausforderung darstellt. Aber auch die Koordination der Lager- und Bearbeitungsflächen, sowie die Adaption der Bauteile an ihren neuen Einsatzort müssen im neuen Prozess mitgedacht werden. Die Anpassung an das Bauen mit wiederverwendeten Bauteilen erfordert Flexibilität und eine frühzeitige Beteiligung aller am Bau Beteiligten in der Planung.

*Welche ReUse-Teile wurden von der Holzbauunternehmung im Haus D eingebaut?*

Klappläden, Fenster, Terrassenboden, Blechfassade

*Ist erkennbar, dass die Fenster Re-Use sind?*

Ja, sie weisen Gebrauchsspuren auf. Durch die neue Farbbehandlung sind die Oberflächen der architektonischen Farbgestaltung angepasst worden.

*Waren die geforderten Leistungen in der Submission klar ersichtlich?*

Die geforderten Leistungen waren klar definiert. Die Herausforderung bestand darin, den Preis zu definieren, aufgrund fehlender Erfahrung. Den Stundenaufwand für die Verarbeitung der Produkte haben wir abgeschätzt.

*Welche Herausforderungen entstanden beim Wiedereinbau der Bauteile?*

Die genauen Massaufnahmen der Re-Use-Bauteile, der Zuschnitt alter Blechfassaden und das genaue Montieren verformter Bauteile. Während der Montage haben wir bei den Bauteilen eine Sortierung vorgenommen. Bauteile, die nicht verwendet werden konnten, haben wir aussortiert. Es waren genügend Bauteile vorhanden, dass eine Selektion stattfinden konnte.

Beim Terrassenboden die Einteilung der Bretter für die Optimierung des Verschnitts und Erscheinungsbilds. Die Einteilung wurde von unseren Monteuren vor Ort ausgeführt. Die Dielen mussten verschiedene Längen aufweisen. Die Sortierung der vorhandenen Bauteile war anspruchsvoll und zeitintensiv, um das bestmögliche Resultat mit den vorhandenen Bauteilen zu erreichen. Ein Verlegungsplan hätte bedingt, dass jedes Brett masslich hätte aufgenommen und nummeriert werden müssen. Die Beurteilung der Bretter kann am besten durch einen Monteur mit der notwendigen Erfahrung selbst durchgeführt werden.

*Was waren die Herausforderungen bei der Zwischenlagerung der Bauteile?*

Es waren grosse Lagerflächen notwendig und ein Umschlagplatz für das Sortieren und die Vermessung der Bauteile. Die Lagerung der Bauteile war gemäss Ausschreibung unsere Aufgabe. Die vorhandenen Kapazitäten in unseren eigenen Räumlichkeiten hat uns ermöglicht, für die Massaufnahmen z. B. der Fenster jederzeit den Zugang zu den Produkten zu haben und auch die Logistik selbst zu organisieren, sodass die Produkte just in time an den Verwendungsort geliefert werden konnten.



*Welche Vorarbeiten waren vor der Montage der jeweiligen Bauteile nötig?*

Fenster / Blechfassade / Klappläden: Massaufnahmen der vorhandenen Bauteile und Planung.

Blech: Viel Platz für den Zuschnitt, richtige Werkzeug.

Terrassenboden: Erstellen der Aluunterkonstruktion mit neuem Material.

Fenster: Genaue Massaufnahmen und Kontrolle und Flickarbeiten.

Da Platz auf der Baustelle in der heutigen Zeit immer Mangelware ist, mussten bestimmte Arbeiten mit der Bauleitung abgesprochen werden. Teilweise war auch die Bearbeitung der Materialien schwierig. Durch die Absprache mit Spezialisten zum Beispiel der Blechbearbeitung konnte schnell das richtige Werkzeug gefunden werden.

*Wie müssten sich Holzbauunternehmungen anpassen, um reibungslos mit Re-Use-Bauteilen arbeiten zu können?*

Es ist Flexibilität gefordert. Eine frühzeitige Beteiligung in der Planung und Bereitstellung der Re-Use-Bauteile ist eminent. Zirkular ist eine Firma, die viel Erfahrung mit dem Bauen im Bereich Re-Use hat. Die erstellten Listen der Bauteile waren vorhanden und wurden uns zu Verfügung gestellt. Die Absprache untereinander und mit dem Architektur-Team hat in regelmässigen Sitzungen stattgefunden und die Ausführung konnte so definiert und organisiert werden.

*Gibt es Mehraufwand in der Planung und Umsetzung von Holzelementfassaden mit Re-Use-Teilen?*

Ja. Massaufnahmen, Kontrollen und die spezifische Planung der jeweiligen Bauteile verursachen einen erheblichen Mehraufwand. Hinzu kommt die individuelle Einplanung in die Konstruktion und dass es sich eventuell nicht um Standardabmessungen handelt.

*Wie konnten Sie diesen Mehraufwand in Ihrer Offerte abbilden? Bedurfte es nachträglicher Absprachen, Nachträge?*

Die Mehraufwendungen mussten zu Beginn in die Preise eingerechnet werden und konnten nachträglich nicht geltend gemacht werden. Nur zusätzliche gewünschte Aufwendungen konnten als Nachträge geltend gemacht werden.

*Gibt es Mehraufwände im Bereich der Mängelbehebung oder bei ersten Garantiearbeiten?*

Bis jetzt sind keine Mängel bekannt bei den verbauten Re-Use-Bauteilen. Ich gehe auch davon aus, dass diese nicht zu vermehrten Problemen führen werden.

*Welche Schnittstellen entstanden mit den Teams von Pascal Flammer und Zirkular?*

Nach den Massaufnahmen der Bauteile konnten die Plangrundlagen dementsprechend angepasst und die Verwendung definiert werden. Diese Arbeiten waren vorgängig und mussten in die Ausführungsplanung integriert werden.

*Wie ist die Wahrnehmung im Nachhinein? Würde die Baltensperger wieder mit Re-Use-Materialien bauen?*

Es wird ein Teil des zukünftigen Bauens sein, dass vorhandene Baustoffe und Bauteile wieder verwendet werden. Die bestehenden Bauteile sollten im Originalzustand so weiter verwendet werden, wie



sie vorhanden sind. Dadurch können Ressourcen und Aufwand gespart werden. Es konnten einige Erfahrungen gesammelt werden, die bei einem nächsten Projekt angewendet werden können. Die Bedürfnisse, die Re-Use- Bauteile zu verbauen bestehen und wir werden dies bei anderen Projekten bestimmt wieder anwenden.

Interviewpartner

Philipp Bernhard, Baltensperger AG



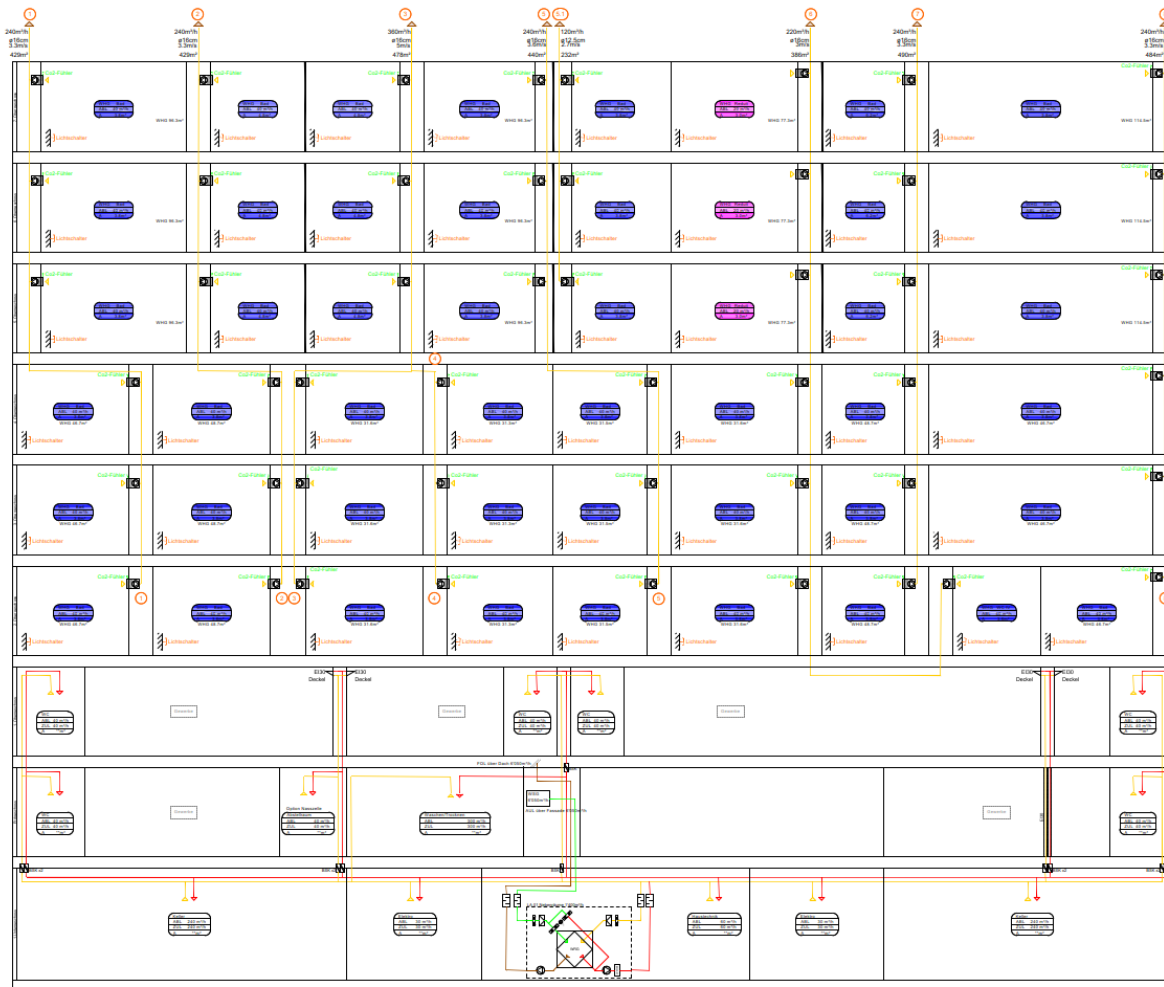
Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

**Bundesamt für Energie BFE**  
Sektion Energieforschung und Cleantech

## 9.4 Anhang zu AP3 – Strangschema Lüftung





|                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| Anzahl Abluftventilatoren     | 50 Stk                  |
| Total Abluft-Volumenstrom:    | 1'920 m <sup>3</sup> /h |
| Energiebezugsfläche Wohnen    | 2'841 m <sup>2</sup>    |
| Volumenstrom Zu-/Abluftanlage | 1'400 m <sup>3</sup> /h |

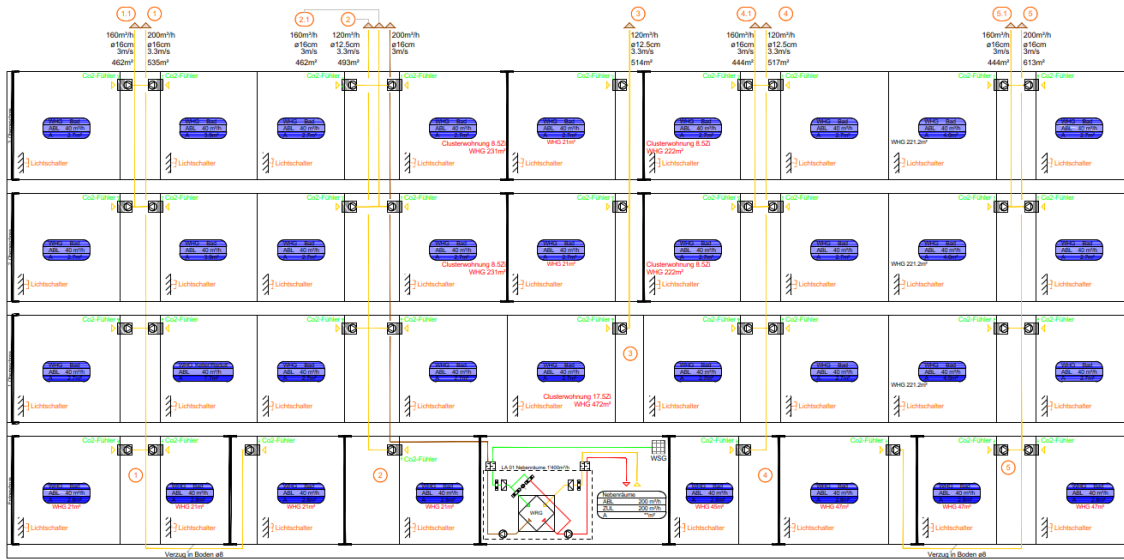
|                                                             |                          |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <b>SILENT ECO UEC F90</b>                                   |                          |
|                                                             | 20m <sup>3</sup> /h x 4  |
|                                                             | 40m <sup>3</sup> /h x 46 |
| + 2-teilig mit Filter und integrierter Filterwechselanzeige |                          |
| + 0 - 10V- bzw. PWM Steuerung                               |                          |

|                                |  |           |  |
|--------------------------------|--|-----------|--|
| <b>LEGENDE LÜFTUNG / KLIMA</b> |  |           |  |
| Geräte                         |  | Umluft    |  |
| Außenluft                      |  | Abluft    |  |
| Zuluft                         |  | Forluft   |  |
| Zuluft Minimalwert             |  | Mischluft |  |









**AUSFÜHRUNG**

| Index | Datum      | Geändert | Änderung         |
|-------|------------|----------|------------------|
| A     | 27.06.2022 | T.E.     | Start Ausführung |
| B     | -          | -        | -                |
| C     | -          | -        | -                |
| D     | -          | -        | -                |
| E     | -          | -        | -                |

|                                                                                                                      |                                       |  |                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------------|
| <br><small>Georg Fischer<br/>Produktion &amp; Vertrieb<br/>Klima- und Lüftungstechnik<br/>CH-8400 Winterthur</small> | Hobelwerkweg Winterthur Baufeld C D E |  | 5284   L 30   A   SS          |
|                                                                                                                      | Haus C                                |  | Gezeichnet: 27.06.2022 / T.E. |
|                                                                                                                      | Strangschemata Lüftung                |  | Gezeichnet: 27.06.2022 / T.E. |

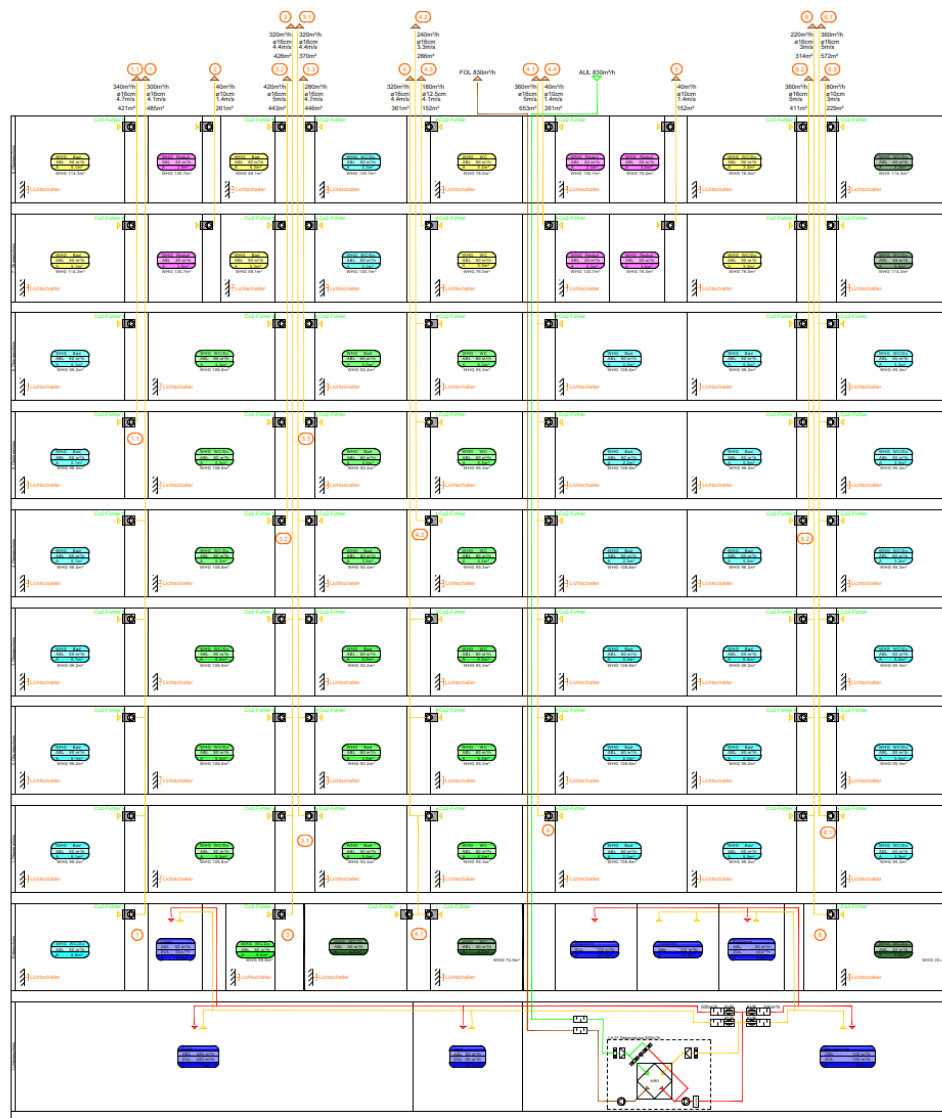


40m³/h x 35  
+ 2-teilig mit Filter und integrierter Filterwechselanzeige  
+ 0 - 10V- bzw. PWM Steuerung

| LEGENDE LÜFTUNG / KLIMA |                                                                                     |           |                                                                                     |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Geräte                  |  | Umluft    |  |
| Aussenluft              |  | Abluft    |  |
| Zuluft                  |  | Forluft   |  |
| Zuluft klimatisiert     |  | Mischluft |  |

| Index | Datum      | Geändert | Änderung         |
|-------|------------|----------|------------------|
| A     | 27.06.2022 | TJE      | Start Ausführung |
| B     | -          | -        | -                |
| C     | -          | -        | -                |
| D     | -          | -        | -                |
| E     | -          | -        | -                |

145/157



| SILENT ECO UEC F90                                          |             |
|-------------------------------------------------------------|-------------|
|                                                             | 20m³/h x 6  |
|                                                             | 40m³/h x 5  |
|                                                             | 60m³/h x 27 |
|                                                             | 80m³/h x 19 |
|                                                             | 90m³/h x 8  |
| + 2-teilig mit Filter und integrierter Filterwechselanzeige |             |
| + 0 - 10V- bzw. PWM Steuerung                               |             |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| Anzahl Abluftventilatoren     | 65 Stk     |
| Total Abluft-Volumenstrom:    | 4'180 m³/h |
| Energiebezugsfläche           | 4'400 m²   |
| Volumenstrom Zu-/Abluftanlage | 830 m³/h   |

| LEGENDE LÜFTUNG / KLIMA |        |
|-------------------------|--------|
| Geräte                  | 20m³/h |
| Aussenluft              | 40m³/h |
| Zuluft                  | 60m³/h |
| Zuluft Klimaflex        | 80m³/h |
| Umluft                  | 90m³/h |
| Abluft                  | 20m³/h |
| Forluft                 | 40m³/h |
| Mischluft               | 60m³/h |

#### AUSFÜHRUNG

| Index | Datum      | Geändert | Änderung         |
|-------|------------|----------|------------------|
| A     | 27.06.2022 | TJB      | Start Ausführung |
| B     | -          | -        | -                |
| C     | -          | -        | -                |
| D     | -          | -        | -                |
| E     | -          | -        | -                |

|  |                                       |                              |
|--|---------------------------------------|------------------------------|
|  | Hobelwerkweg Winterthur Baufeld C D E | 5264   L   50   A   SS       |
|  | Haus E                                | Gezeichnet: 27.06.2022 / TJB |
|  | Strangschemata Lüftung                | Modell: % Grösse: 41         |



## 9.5 Anhang zu AP4 – Messkonzept

Die nötigen Messungen zur Durchführung von AP4 werden grösstenteils über die Automationsebene des vorhandenen MSRL-Systems abgegriffen, resp. für die Betriebsoptimierung geschrieben.

### Haus A/B

Die Aufzeichnung zur Späteren Analyse und Reglersynthese wurde in der KW7 2023 gestartet. Seit dem werden die Messungen von Haus A und Haus B alle 2min in der SQL-Datenbank gespeichert. Für diese beiden Häuser stehen gesamthaft 991 Datenpunkte zur Verfügung, auf die im weiteren eingegangen wird.

Messung der thermischen und elektrischen Verbräuche pro Partei, sowie Gesamtverbrauch. Pro Partei 7 Messwerte. In Tabelle 19 sind exemplarisch die Datenpunkte der Wohnung «A.1317» gelistet.

Tabelle 19 Datenpunkte pro Wohnung für die thermische und elektrische Verteilung

| Name                                   | Beschrieb           | Bereich  | Einheit  |
|----------------------------------------|---------------------|----------|----------|
| WTW Wohnung A.1317 Bad/WC I-56 Volumen | BWW Bezugsvolumen   | 0..100   | 1/10m3/h |
| HZG Wohnung A.1317 I-57 Energie        | Thermische Energie  | 0..      | 1/10kWh  |
| HZG Wohnung A.1317 I-57 Volumen        | Volumenstrom        | 0..100   | 1/10m3/h |
| HZG Wohnung A.1317 I-57 Leistung       | Thermische Leistung | 0..300   | 1/10kW   |
| HZG Wohnung A.1317 I-57 VL-Temp        | Vorlauftemperatur   | -50..300 | 1/10°C   |
| HZG Wohnung A.1317 I-57 RL-Temp        | Rücklauftemperatur  | -50..300 | 1/10°C   |
| ELE Wohnung A.1317 II-26-33P4 Energie  | Elektrische Energie | tbv      | tbv      |

Punktuell stehen pro Nutzeinheit mehr oder weniger Messungen zur Verfügung, wenn z.B. an mehreren Stellen Warmwasser bezogen wird, oder eine Zusätzliche elektrische Messung nötig ist. Dies trifft vereinzelt bei den Gewerbeparteien zu.

### Messungen des jeweiligen Energie Hub

Ein Grossteil der Datenpunkte entfällt auf die Wärmeerzeugung (98 Datenpunkte pro Energie Hub)

Es werden Systemtemperaturen, Ventilstellungen, elektrische Verbräuche, sowie die Zustände der Wärmepumpen gemessen.

### Messungen pro Lüftungsanlage

Die vorhandenen Zu-/Abluft-Lüftungsanlagen im UG und für das Gewerbe im EG werden auf der thermischen Seite wie folgt gemessen. Als Beispiel wird die Gewerbelüftung in Haus A in der Tabelle 20 gelistet.



Tabelle 20 Datenpunkte pro Heizregister der Lüftungsanlage (Heizregister)

| Name                                                                   | Beschrieb           | Bereich  | Einheit  |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------|----------|
| Waermezaehler_Verbrauch_Heizwasser_LE_Gewerbe_Energie_53P1             | Thermische Energie  | 0..      | 1/10kWh  |
| Waermezaehler_Verbrauch_Heizwasser_LE_Gewerbe_Leistung_53P1            | Thermische Leistung | 0..300   | 1/10kW   |
| Waermezaehler_Verbrauch_Heizwasser_LE_Gewerbe_Vorlauftemperatur_53P1   | Vorlauftemperatur   | -50..300 | 1/10°C   |
| Waermezaehler_Verbrauch_Heizwasser_LE_Gewerbe_Ruecklauftemperatur_53P1 | Rücklauftemperatur  | -50..300 | 1/10°C   |
| Wärmezähler Verbrauch Heizwasser_LE Gewerbe Volumenstrom 53P1          | Volumenstrom        | 0..100   | 1/10m3/h |

### Messungen der Wetterstation

Es ist eine Wetterstation installiert, deren Datenpunkte ebenfalls zur Verfügung stehen.

Tabelle 21 Datenpunkte Wetterstation

| Name                                                     | Beschrieb             | Bereich | Einheit |
|----------------------------------------------------------|-----------------------|---------|---------|
| FB_BACnet_LGATE_952_1130.Lufttemperatur.fPresVal;        | Lufttemperatur        | tbv     | tbv     |
| FB_BACnet_LGATE_952_1130.Rel_Feuchte.fPresVal;           | Rel_Feuchte           | tbv     | tbv     |
| FB_BACnet_LGATE_952_1130.Abs_Feuchte.fPresVal;           | Abs_Feuchte           | tbv     | tbv     |
| FB_BACnet_LGATE_952_1130.Taupunkttemperatur.fPresVal;    | Taupunkttemperatur    | tbv     | tbv     |
| FB_BACnet_LGATE_952_1130.Windgeschwindigkeit.fPresVal;   | Windgeschwindigkeit   | tbv     | tbv     |
| FB_BACnet_LGATE_952_1130.Windrichtung.fPresVal;          | Windrichtung          | tbv     | tbv     |
| FB_BACnet_LGATE_952_1130.Niederschlagsstatus.fPresVal;   | Niederschlagsstatus   | tbv     | tbv     |
| FB_BACnet_LGATE_952_1130.Globalestrahlung.fPresVal;      | Globalestrahlung      | tbv     | tbv     |
| FB_BACnet_LGATE_952_1130.Sonnenstand_Elevation.fPresVal; | Sonnenstand_Elevation | tbv     | tbv     |
| FB_BACnet_LGATE_952_1130.Sonnenstand_Azimut.fPresVal;    | Sonnenstand_Azimut    | tbv     | tbv     |
| FB_BACnet_LGATE_952_1130.Hellikeit_Nord.fPresVal;        | Hellikeit_Nord        | tbv     | tbv     |
| FB_BACnet_LGATE_952_1130.Hellikeit_Ost.fPresVal;         | Hellikeit_Ost         | tbv     | tbv     |
| FB_BACnet_LGATE_952_1130.Hellikeit_Sued.fPresVal;        | Hellikeit_Sued        | tbv     | tbv     |
| FB_BACnet_LGATE_952_1130.Hellikeit_West.fPresVal;        | Hellikeit_West        | tbv     | tbv     |
| FB_BACnet_LGATE_952_1130.Daemmerung.fPresVal;            | Daemmerung            | tbv     | tbv     |

### Datenpunkte der Betriebsoptimierung

Ziel der Betriebsoptimierung ist es, das Bivalenzsystem der Anlage «Haus C/D/E» entsprechend ihrem CO-Fussabdruck und Kosten zu betreiben. Darüber hinaus können aber auch die monovalenten Systeme von Haus A und Haus B mit dem entwickelten Regleransatz betrieben werden.

Für die Betriebsoptimierung wurden folgende Datenpunkte festgelegt, mit denen das Anlageverhalten beeinflusst werden kann.

Tabelle 22 Datenpunkte Betriebsoptimierung Haus A

| Name                    | Beschrieb                        | Bereich | Einheit |
|-------------------------|----------------------------------|---------|---------|
| ErzHausBOffset_HW_K     | Offset zu Wärmeproduktion WP     | -5..5   | 1/10K   |
| ErzHausBOffset_HW_FWS_K | Offset zu Wärmeproduktion BWW WP | -5..10  | 1/10K   |



|                                       |                                                    |        |       |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------|--------|-------|
| ErzHausBLeistungsfreigabe_WP_LW_proz. | Vorgabe Modulation WP                              | 0..100 | %     |
| ErzHausBLeistungsfreigabe_WP_WW_proz  | Vorgabe Modulation BWW WP                          | 0..100 | %     |
| ErzHausBOffset_HW_FBH_Wohnungen_K     | Offset zu Heizkurve für Wohngruppe                 | -5..5  | 1/10K |
| ErzHausBOffset_HW_FBH_Gewerbe_K       | Offset zu Heizkurve für Gewerbegruppe              | -5..5  | 1/10K |
| ErzHausBFBH_Wohnungen_Heizen_Freigabe | Freigabe für Wohngruppe                            | 0/1    | bool  |
| ErzHausBFBH_Gewerbe_Heizen_Freigabe   | Freigabe für Gewerbegruppe                         | 0/1    | bool  |
| ToggleflagGLS                         | ToggleflagGLS zur Sicherstellung der Kommunikation | 0/1    | bool  |

Als Optimierungsziel wird eine Vorhersage des CO<sub>2</sub>-Abdrucks des Netzstromes verwendet (erstellt im Rahmen des BFE S-DSM Projekts ), sowie fixe Energie- und Betriebskosten der Anlagen.

### Haus C/D/E

Die Datenerfassung für die Häuser C/D/E wird über denselben Kommunikationsbus geschehen. Daher können verhältnismässig einfach Datenpunkte erweitert werden. Es wird erwartet, dass mit der Inbetriebnahme der Anlagen, auch die Speicherung der Daten in der SQL-Datenbank engineert wird, sodass vor Bezug Messdaten vorhanden sein werden. Die Projektdokumentation ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht so weit vorangeschritten, dass vollumfänglich alle Datenpunkte bekannt sind. Es wird der aktuelle Projektstand angegeben insofern bekannt. Messung der thermischen und elektrischen Verbräuche geschieht analog zum Beschrieb der Häuser A+B.

### Messungen des Energie Hub «Haus C/D/E»

Das System für Häuser C/D/E unterscheidet sich von jenen in Haus A und B. Es wird jedoch eine ähnliche Messdichte an Datenpunkte angestrebt.

### Messungen der Wetterstation

Es werden die Daten der Wetterstation «Haus A+B» verwendet

Tabelle 23 Datenpunkte Betriebsoptimierung Haus C/D/E

| Name                            | Beschrieb                       | Bereich | Einheit |
|---------------------------------|---------------------------------|---------|---------|
| Offset HW                       | Offset zu Wärmeproduktion WP    | -5..5   | 1/10 K  |
| Offset HW FBH Wohnungen, Haus E | Offset HW FBH Wohnungen, Haus E | -5..5   | 1/10 K  |
| Offset Ladung WW, Haus E        | Offset Ladung WW, Haus E        | -5..5   | 1/10 K  |
| Offset HW FBH Wohnungen, Haus D | Offset HW FBH Wohnungen, Haus D | -5..5   | 1/10 K  |
| Offset Ladung WW, Haus D        | Offset Ladung WW, Haus D        | -5..5   | 1/10 K  |
| Offset HW FBH Wohnungen, Haus C | Offset HW FBH Wohnungen, Haus C | -5..5   | 1/10 K  |
| Offset Ladung WW, Haus C        | Offset Ladung WW, Haus C        | -5..5   | 1/10 K  |
| Leistungsfreigabe Wärmepumpe    | Leistungsvorgabe Wärmepumpe     | 0..100  | %       |



|                                            |                                            |         |        |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------|---------|--------|
| Toggleflag (Kommunikationsüberwachung GLS) | Toggleflag (Kommunikationsüberwachung GLS) | 0/1     | toggle |
| Bodenheizung Freigabe, Haus E              | Bodenheizung Freigabe, Haus E              | 0/1     | bool   |
| Bodenheizung Freigabe, Haus D              | Bodenheizung Freigabe, Haus D              | 0/1     | bool   |
| Bodenheizung Freigabe, Haus C              | Bodenheizung Freigabe, Haus C              | 0/1     | Bool   |
| Max.Kesselleistung                         | Leistungsvorgabe Pelletofen                | 30..100 | 1/10%  |





Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

**Bundesamt für Energie BFE**  
Sektion Energieforschung und Cleantech

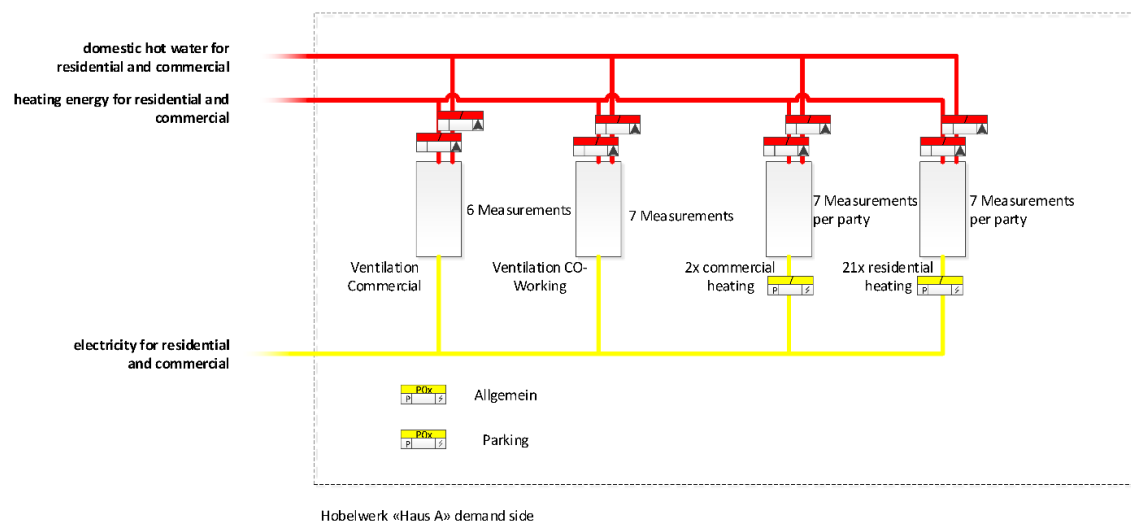
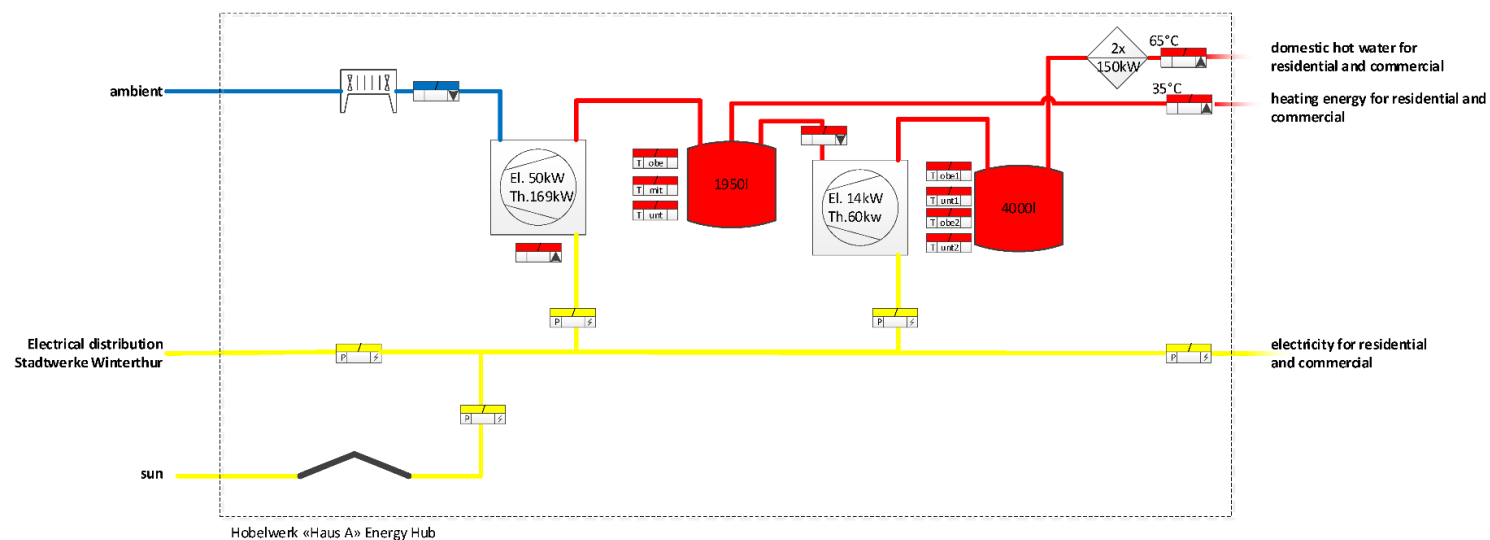


Abbildung 53 Übersicht Energie Hub und Verteilung Haus A

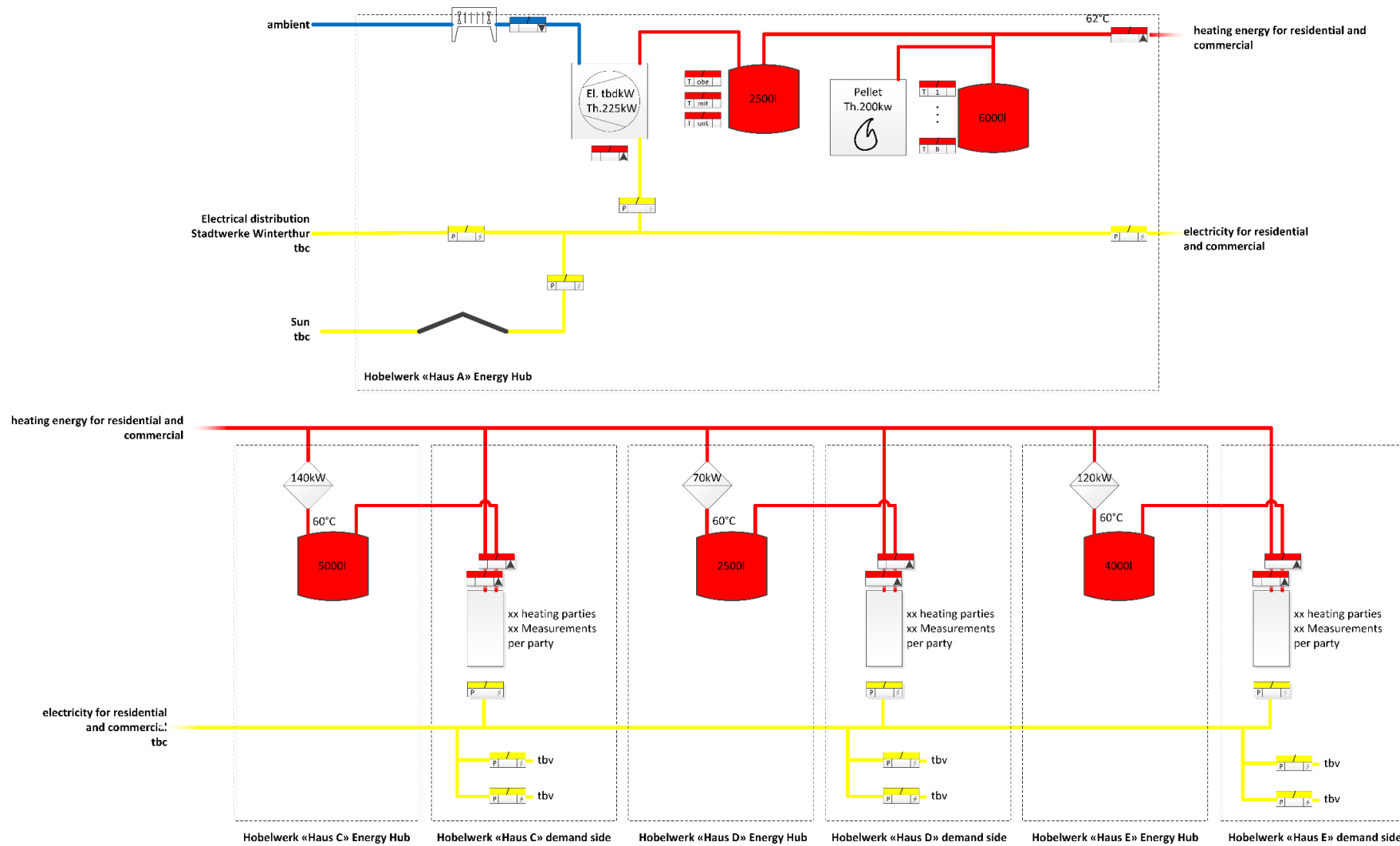


Abbildung 54 Übersicht Energie Hub und Verteilung Haus C/D/E



## 9.6 Anhang zu AP5 – SIA 2040 Nachweis, THGE Erstellung

| Rechenhilfe SIA 2040: Eingabeformular Bauprojekt |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          |                                |               |                         | Bauprojekt                        |           |                             |       |
|--------------------------------------------------|-------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|----------------------|----------|--------------------------------|---------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------------------------|-------|
| Kurzbeschreibung                                 |             | Gebäudekategorie<br>Neubau/Umbau | Energiebezugsfläche<br>m² | Zone 1                                                              | Zone 2           | Zone 3           | Zone 4               | Gebäude  | Legende                        |               |                         |                                   |           |                             |       |
|                                                  |             |                                  |                           | Wohnen<br>Neubau                                                    | Wohnen<br>Neubau | Wohnen<br>Neubau | Verwaltung<br>Neubau |          | Eingabefelder                  | Auswahlfelder | übernommene Werte       |                                   |           |                             |       |
|                                                  |             |                                  |                           | 2'777                                                               | 2'261            | 4'470            | 753                  | 10'261   |                                |               |                         |                                   |           |                             |       |
|                                                  |             |                                  |                           | 27%                                                                 | 22%              | 44%              | 7%                   | 100%     |                                |               |                         |                                   |           |                             |       |
| Erstellung                                       |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          |                                |               |                         |                                   |           |                             |       |
| Gebäude unter Terrain                            |             |                                  |                           | inklusive Tiefgarage und unbeheizte Räume                           |                  |                  |                      |          | Primärenergie nicht erneuerbar |               | Treibhausgas-emissionen |                                   |           |                             |       |
| Gebäude über Terrain                             |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          | KBOB 2014                      |               | KBOB 2014               |                                   |           |                             |       |
| Gebäudetechnik                                   |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          | PEF                            |               | THGEK                   |                                   |           |                             |       |
| Photovoltaikanlage                               |             |                                  |                           | auf Flachdach                                                       |                  |                  |                      |          | exklusiv Photovoltaikanlage    |               |                         |                                   |           |                             |       |
| Total Erstellung                                 |             |                                  |                           | maximale Leistung in kWp der Photovoltaik-Anlage                    |                  |                  |                      |          | KWP                            |               | 167                     |                                   |           |                             |       |
| Richtwert                                        |             |                                  |                           | mit einer detaillierten Berechnung gemäss SIA 2032 zu belegen       |                  |                  |                      |          | 154.24                         |               | 9.00                    |                                   |           |                             |       |
|                                                  |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          |                                | 35.4          |                         | 9.90                              |           |                             |       |
|                                                  |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          |                                | 0.0           |                         | 0.00                              |           |                             |       |
|                                                  |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          |                                | 0.0           |                         | 0.00                              |           |                             |       |
|                                                  |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          |                                | 4.0           |                         | 1.06                              |           |                             |       |
|                                                  |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          |                                | 39.4          |                         | 10.96                             |           |                             |       |
|                                                  |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          |                                | 30.7          |                         | 9.00                              |           |                             |       |
| Betrieb                                          |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          |                                |               |                         |                                   |           |                             |       |
|                                                  |             |                                  |                           | Zone 1                                                              | Zone 2           | Zone 3           | Zone 4               | Gebäude  | Nutzungsgrad<br>bzw. JAZ       | Endenergie    | KBOB 2014               | Primärenergie<br>nicht erneuerbar | KBOB 2014 | Treibhausgas-<br>emissionen |       |
|                                                  |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      | effektiv | η bwzLS                        | kWh/m²        | PEF                     | kWh/m²                            | THGEK     | kg/m²                       |       |
|                                                  |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      | default  | effektiv                       | Standard      |                         |                                   |           |                             |       |
| Raumwärme                                        | Nutzenergie | Heizwärmebedarf QH,eff           | kWh/m²                    | 16.2                                                                | 19.2             | 15.5             | 16.2                 | 17       | 31                             | 3.00          | 3.0                     | 5.5                               | 2.69      | 14.8                        | 0.76  |
|                                                  |             | Wärmepumpe (Luft/Wasser)         |                           | 100%                                                                | 100%             | 100%             | 100%                 | 100%     |                                | 0.7           | 0.0                     | 0.20                              | 0.0       | 0.035                       | 0.00  |
|                                                  |             | Pellets                          |                           | 0%                                                                  | 0%               | 0%               | 0%                   | 0%       |                                | 1.0           | 0.0                     | 0.00                              | 0.0       | 0.000                       | 0.00  |
|                                                  |             | Heizsystem:                      |                           | 0%                                                                  | 0%               | 0%               | 0%                   | 0%       |                                |               |                         |                                   |           |                             |       |
| Warmwasser                                       | Nutzenergie | Warmwasserbedarf Qw              | kWh/m²                    | 19                                                                  | 19               | 19               | 2                    | 18       | 15                             | 1.80          | 1.8                     | 9.9                               | 2.69      | 26.5                        | 1.37  |
|                                                  |             | Wärmepumpe (Luft/Wasser)         |                           | 100%                                                                | 100%             | 100%             | 100%                 | 100%     |                                | 0.5           | 0.0                     | 0.20                              | 0.0       | 0.035                       | 0.00  |
|                                                  |             | Pellets                          |                           | 0%                                                                  | 0%               | 0%               | 0%                   | 0%       |                                | 1.0           | 0.0                     | 0.00                              | 0.0       | 0.000                       | 0.00  |
|                                                  |             | Heizsystem:                      |                           | 0%                                                                  | 0%               | 0%               | 0%                   | 0%       |                                |               |                         |                                   |           |                             |       |
| Raumkälte                                        | Nutzenergie | Kältebedarf Qc                   | kWh/m²                    | 0                                                                   | 0                | 0                | 0                    | 0        | 1                              | 1.0           | 1.0                     | 0.0                               | 2.69      | 0.0                         | 0.00  |
|                                                  |             | Kühlung:                         |                           | 100%                                                                | 100%             | 100%             | 100%                 | 100%     |                                | 1.0           | 0.0                     | 2.69                              | 0.0       | 0.139                       | 0.00  |
|                                                  |             | Kühlung:                         |                           | 0%                                                                  | 0%               | 0%               | 0%                   | 0%       |                                |               |                         |                                   |           |                             |       |
| Hilfsenergien                                    |             | für Heizung und Warmwasser       | kWh/m²                    | 1                                                                   | 1                | 1                | 1                    | 1        | 1                              | 1.0           | 2.69                    | 2.7                               | 0.139     | 0.14                        |       |
| Lüftung                                          |             | Lüftungsanlage                   | kWh/m²                    | 0.09                                                                | 0.06             | 0.15             | 4                    | 0        | 3                              | 0.4           | 2.69                    | 1.1                               | 0.139     | 0.05                        |       |
| Beleuchtung                                      |             | effiziente Beleuchtung           | kWh/m²                    | 2                                                                   | 2                | 2                | 7                    | 2        | 2                              | 2.4           | 2.69                    | 6.4                               | 0.139     | 0.33                        |       |
| Geräte                                           |             | effiziente Geräte                | kWh/m²                    | 12                                                                  | 12               | 12               | 18                   | 12       | 12                             | 12.4          | 2.69                    | 33.5                              | 0.139     | 1.72                        |       |
|                                                  |             | Aufzugsanlagen                   | Stk                       | 2                                                                   | 1                | 1                | 0                    | 4        |                                | 0.4           | 2.69                    | 1.2                               | 0.139     | 0.06                        |       |
|                                                  |             | Fahrtreppen                      | Stk                       | 0                                                                   | 0                | 0                | 0                    | 0        |                                | 0.0           | 2.69                    | 0.0                               | 0.139     | 0.00                        |       |
| Elektrizität                                     |             | Bedarf total und pro Zone        | kWh                       | 96'495                                                              | 80'135           | 151'838          | 27'493               | 328'492  | 100%                           |               | 32.0                    |                                   |           |                             |       |
| Eigenproduktion vom Netz                         |             | Ertrag Photovoltaik-Anlage       | kWh                       | 41'884                                                              | 33'943           | 67'105           | 11'304               | 154'236  | 47%                            |               | -15.0                   | -2.69                             | -40.4     | -0.139                      | -2.08 |
|                                                  |             | CH-Verbrauchermix                | kWh                       | 54'611                                                              | 46'192           | 84'733           | 16'189               | 174'256  | 53%                            |               | 17.0                    | 2.69                              |           | 0.139                       |       |
| mit Liefervertrag                                |             | Qualität naturemade star         | kWh                       |                                                                     |                  |                  |                      | 0        | 0%                             |               | 0.0                     | 0.05                              | 0.0       | 0.017                       | 0.00  |
| Total Betrieb                                    |             |                                  |                           | mit einer detaillierten Berechnung gemäss SIA 380/1 etc. zu belegen |                  |                  |                      |          | 45.7                           |               | 2.35                    |                                   |           |                             |       |
| Richtwert                                        |             |                                  |                           | wo von default-Werten abgewichen wird, ist dies zu begründen.       |                  |                  |                      |          | 61.5                           |               | 3.07                    |                                   |           |                             |       |
| Mobilität                                        |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          |                                |               |                         |                                   |           |                             |       |
|                                                  |             |                                  |                           | Zone 1                                                              | Zone 2           | Zone 3           | Zone 4               | Gebäude  | KWh/m² a                       |               | kg/m² a                 |                                   |           |                             |       |
| Flotte 2050:                                     |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          |                                |               |                         |                                   |           |                             |       |
| Resultate gemäss                                 |             | Bewohner/Beschäftigte            | Ep,mean                   | 13.8                                                                | 13.8             |                  | 13.8                 | 13       | KWh/m²                         |               | 12.8                    |                                   |           |                             |       |
| Rechenhilfe SIA 2039                             |             | Besucher/Kunden                  | Ep,mean                   |                                                                     |                  |                  | 30.1                 | 2        | KWh/m²                         |               | 2.2                     |                                   |           |                             |       |
| oder Rechenhilfe SIA 2040                        |             | Bewohner/Beschäftigte            | THGE                      | 2.93                                                                | 2.93             | 2.93             |                      | 2.7      | kg/m²                          |               | 2.71                    |                                   |           |                             |       |
|                                                  |             | Besucher/Kunden                  | THGE                      |                                                                     |                  |                  | 5.93                 | 0.4      | kg/m²                          |               | 0.44                    |                                   |           |                             |       |
| Total Mobilität                                  |             |                                  |                           | mit einer detaillierten Berechnung gemäss SIA 2039 zu belegen       |                  |                  |                      |          | 15.0                           |               | 3.15                    |                                   |           |                             |       |
| Richtwert                                        |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          | 30.7                           |               | 4.22                    |                                   |           |                             |       |
| Gesamtbilanz                                     |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          |                                |               |                         |                                   |           |                             |       |
|                                                  |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          | KWh/m² a                       |               | kg/m² a                 |                                   |           |                             |       |
| Total Projektwert                                |             | Erstellung + Betrieb + Mobilität |                           | erfüllt                                                             |                  |                  |                      |          | 100                            |               | erfüllt                 |                                   |           |                             |       |
| Zielwert                                         |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          | 123                            |               | 16.3                    |                                   |           |                             |       |
| Total Projektwert                                |             | Erstellung + Betrieb             |                           | erfüllt                                                             |                  |                  |                      |          | 85                             |               | erfüllt                 |                                   |           |                             |       |
| Zusatzanforderung                                |             |                                  |                           |                                                                     |                  |                  |                      |          | 92                             |               | 12.1                    |                                   |           |                             |       |

Abbildung 55 SIA 2040 Berechnung für V1 – Referenz



## Rechenhilfe SIA 2040: Eingabeformular Bauprojekt

## Bauprojekt

| Kurzbeschreibung      | Gebäudekategorie<br>Neubau/Umbau<br>Energiebezugsfläche | m²                                                                              | Gebäude          |                  |                  |                      | Legende       |                                   |                   |                             |      |
|-----------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------|---------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------|------|
|                       |                                                         |                                                                                 | Zone 1           | Zone 2           | Zone 3           | Zone 4               | Eingabefelder | Auswahlfelder                     | übernommene Werte |                             |      |
|                       |                                                         |                                                                                 | Wohnen<br>Neubau | Wohnen<br>Neubau | Wohnen<br>Neubau | Verwaltung<br>Neubau |               |                                   |                   |                             |      |
|                       |                                                         |                                                                                 | 2'777            | 2'261            | 4'470            | 753                  | 10'261        |                                   |                   |                             |      |
|                       |                                                         |                                                                                 | 27%              | 22%              | 44%              | 7%                   | 100%          |                                   |                   |                             |      |
| Erstellung            |                                                         |                                                                                 |                  |                  |                  |                      | KBOB 2014     | Primärenergie<br>nicht erneuerbar | KBOB 2014         | Treibhausgas-<br>emissionen |      |
|                       |                                                         |                                                                                 |                  |                  |                  |                      | PEF           | kWh/m² a                          | THGEK             | kg/m² a                     |      |
| Gebäude unter Terrain |                                                         | inklusive Tiefgarage und unbeheizte Räume                                       |                  |                  |                  |                      |               | 35.4                              |                   | 9.22                        |      |
| Gebäude über Terrain  |                                                         |                                                                                 |                  |                  |                  |                      |               | 0.0                               |                   | 0.00                        |      |
| Gebäudetechnik        |                                                         |                                                                                 |                  |                  |                  |                      |               | 0.0                               |                   | 0.00                        |      |
| Photovoltaikanlage    | auf Flachdach                                           | exklusiv Photovoltaikanlage<br>maximale Leistung in kWp der Photovoltaik-Anlage |                  |                  |                  |                      | kWp           | 167                               | 154.24            | 4.0                         | 1.06 |
| Total Erstellung      |                                                         | mit einer detaillierten Berechnung gemäss SIA 2032 zu belegen                   |                  |                  |                  |                      |               | 39.4                              |                   | 10.28                       |      |
| Richtwert             |                                                         |                                                                                 |                  |                  |                  |                      |               | 30.7                              |                   | 9.00                        |      |

| Betrieb              | Nutzenergie | Heizwärmebedarf Q <sub>H,eff</sub><br>Wärmepumpe (Luft/Wasser)<br>Pellets<br>Heizsystem: | kWh/m <sup>2</sup> | Zone 1 | Zone 2 | Zone 3  | Zone 4 | Gebäude | Nutzungsgrad<br>bzw. JAZ | Endenergie<br>kWh/m <sup>2</sup> | KBOB 2014<br>PEF | Primärenergie<br>nicht erneuerbar<br>KBOB 2014<br>THGEK | Treibhausgas-<br>emissionen<br>kg/m <sup>2</sup> a |
|----------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------|--------|---------|--------|---------|--------------------------|----------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                      |             |                                                                                          |                    | 16.2   | 19.2   | 15.5    | 16.2   | 17      |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
|                      |             |                                                                                          |                    | 90%    | 90%    | 90%     | 90%    | 90%     |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
| Raumwärme            |             |                                                                                          |                    | 10%    | 10%    | 10%     | 10%    | 10%     |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
|                      |             |                                                                                          |                    | 0%     | 0%     | 0%      | 0%     | 0%      |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
| Warmwasser           |             |                                                                                          |                    | 19     | 19     | 19      | 2      | 18      |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
|                      |             |                                                                                          |                    | 90%    | 90%    | 90%     | 90%    | 90%     |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
|                      |             |                                                                                          |                    | 10%    | 10%    | 10%     | 10%    | 10%     |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
|                      |             |                                                                                          |                    | 0%     | 0%     | 0%      | 0%     | 0%      |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
| Raumkälte            |             |                                                                                          |                    | 0      | 0      | 0       | 0      | 0       |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
|                      |             |                                                                                          |                    | 100%   | 100%   | 100%    | 100%   | 100%    |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
|                      |             |                                                                                          |                    | 0%     | 0%     | 0%      | 0%     | 0%      |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
| Hilfsenergien        |             |                                                                                          |                    | 1      | 1      | 1       | 1      | 1       |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
| Lüftung              |             |                                                                                          |                    | 0.09   | 0.06   | 0.15    | 4      | 0       |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
| Beleuchtung          |             |                                                                                          |                    | 2      | 2      | 2       | 7      | 2       |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
| Geräte               |             |                                                                                          |                    | 12     | 12     | 12      | 18     | 12      |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
|                      |             |                                                                                          |                    | 2      | 1      | 1       | 0      | 4       |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
|                      |             |                                                                                          |                    | 0      | 0      | 0       | 0      | 0       |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
| Elektrizität         |             |                                                                                          |                    | 77'980 | 64'326 | 122'376 | 25'782 | 262'996 |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
| Eigenproduktion      |             |                                                                                          |                    | 41'884 | 33'943 | 67'105  | 11'304 | 154'236 |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
| vom Netz             |             |                                                                                          |                    | 36'096 | 30'383 | 55'271  | 14'478 | 108'760 |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
| mit Liefervertrag    |             |                                                                                          |                    |        |        |         |        |         |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
| <b>Total Betrieb</b> |             |                                                                                          |                    |        |        |         |        |         |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |
| Richtwert            |             |                                                                                          |                    |        |        |         |        |         |                          |                                  |                  |                                                         |                                                    |

| Mobilität              | Flotte 2050: | Resultate gemäss<br>Rechenhilfe SIA 2039<br>oder Rechenhilfe SIA 2040 | Bewohner/Beschäftigte<br>Besucher/Kunden<br>Bewohner/Beschäftigte<br>Besucher/Kunden | E <sub>p,mean</sub><br>E <sub>p,mean</sub><br>THGE<br>THGE | Zone 1 | Zone 2 | Zone 3 | Zone 4 | Gebäude               | kWh/m <sup>2</sup> a | kg/m <sup>2</sup> a |
|------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-----------------------|----------------------|---------------------|
|                        |              |                                                                       |                                                                                      |                                                            | 13.8   | 13.8   | 13.8   |        | 13 kWh/m <sup>2</sup> |                      |                     |
|                        |              |                                                                       |                                                                                      |                                                            |        |        |        | 30.1   | 2 kWh/m <sup>2</sup>  |                      |                     |
|                        |              |                                                                       |                                                                                      |                                                            | 2.93   | 2.93   | 2.93   |        | 2.7 kg/m <sup>2</sup> |                      | 2.71                |
|                        |              |                                                                       |                                                                                      |                                                            |        |        |        | 5.93   | 0.4 kg/m <sup>2</sup> |                      | 0.44                |
| <b>Total Mobilität</b> |              |                                                                       |                                                                                      |                                                            |        |        |        |        |                       |                      |                     |
| Richtwert              |              |                                                                       |                                                                                      |                                                            |        |        |        |        |                       |                      |                     |

| Gesamtbilanz             |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | kWh/m <sup>2</sup> a | kg/m <sup>2</sup> a |
|--------------------------|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----------------------|---------------------|
| <b>Total Projektwert</b> | Erstellung + Betrieb + Mobilität |  |  |  |  |  |  |  |  |  | erfüllt              | 15.1                |
| Zielwert                 |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 12.3                 | 16.3                |
| <b>Total Projektwert</b> | Erstellung + Betrieb             |  |  |  |  |  |  |  |  |  | erfüllt              | 12.0                |
| Zusatzanforderung        |                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 92                   | 12.1                |

Abbildung 56 SIA 2040 Berechnung für V2 - Ist-Zustand



| Materialien                                          | NRE [MJ/(m²Jahr)] | CED [MJ/(m²Jahr)] | GWP [kg CO2-eq/(m²Jahr)] | UBP [Pts/(m²Jahr)] | Menge (A) | Einheit |
|------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|--------------------|-----------|---------|
| 2-lagige bituminöse Abdichtung o.glw.                | 2.2               | 2.3               | 0.16                     | 130                | 5'293     | kg      |
| Aluminiumprofil, blank                               | 0.1               | 0.1               | 0.01                     | 6                  | 97        | kg      |
| Bauder EVA 35                                        | 1.0               | 1.0               | 0.07                     | 60                 | 2'057     | kg      |
| Beton armiert 1.5% Stahl (CEN)                       | 12.4              | 15.1              | 1.17                     | 2144               | 1'880'928 | kg      |
| Brettschichtholz, UF-gebunden, Trockenbereich        | 1.2               | 6.0               | 0.07                     | 151                | 32'268    | kg      |
| Drain- / Schutzschicht z.B. Sopradrain TP 10 o. glw. | 2.5               | 2.5               | 0.18                     | 144                | 5'876     | kg      |
| Extensive Begrünung o.glw. (Dicke variabel)          | 0.1               | 0.1               | 0.00                     | 7                  | 68'704    | kg      |
| Faserzementplatte                                    | 0.6               | 0.7               | 0.05                     | 57                 | 11'164    | kg      |
| FERMACELL Gipsfaserplatte                            | 0.9               | 1.0               | 0.06                     | 50                 | 18'430    | kg      |
| FERMACELL Wabenschüttung                             | 1.3               | 1.5               | 0.13                     | 146                | 98'757    | kg      |
| Flumroc-Dämmplatte 1                                 | 0.2               | 0.2               | 0.01                     | 11                 | 1'101     | kg      |
| Gipskarton                                           | 0.9               | 1.0               | 0.06                     | 60                 | 27'912    | kg      |
| Gipskartonplatte                                     | 0.7               | 0.7               | 0.04                     | 45                 | 15'406    | kg      |
| Gipsplatte CEN                                       | 0.6               | 0.7               | 0.04                     | 42                 | 14'119    | kg      |
| Hartbeton Einschichtig                               | 1.2               | 1.2               | 0.11                     | 125                | 40'854    | kg      |
| Hartbetonüberzug                                     | 2.9               | 3.0               | 0.27                     | 305                | 99'440    | kg      |
| Holz                                                 | 4.1               | 9.2               | 0.26                     | 431                | 211       | m²      |
| Holzlattung                                          | 0.3               | 3.7               | 0.02                     | 60                 | 18'413    | kg      |
| Kachelung Keramik                                    | 1.3               | 1.4               | 0.07                     | 228                | 9'867     | kg      |
| Klebeparkett                                         | 3.0               | 12.6              | 0.15                     | 307                | 15'156    | kg      |
| KP-035/HB Steinwolle Klemmplatte                     | 0.4               | 0.4               | 0.03                     | 28                 | 5'295     | kg      |
| Leichtbeton mit sand 800-2000 kg/m³                  | 0.2               | 0.2               | 0.02                     | 27                 | 86'660    | kg      |
| Luftschicht                                          | 0.0               | 0.0               | 0.00                     | 0                  | 154       | kg      |
| OSB Platte, PF-gebunden, Feuchtbereich               | 15.5              | 62.0              | 0.96                     | 1382               | 175'545   | kg      |
| PE Folie                                             | 0.2               | 0.2               | 0.01                     | 8                  | 457       | kg      |
| PE-Abdeckfolie                                       | 0.1               | 0.1               | 0.01                     | 6                  | 166       | kg      |
| Polystyren                                           | 1.0               | 1.0               | 0.07                     | 45                 | 1186.5    | kg      |
| Stahl CEN                                            | 1.8               | 1.9               | 0.12                     | 231                | 13'728    | kg      |
| Stahlprofil, blank                                   | 4.5               | 4.8               | 0.26                     | 357                | 75831     | kg      |
| StB. Stärke gem. Bauing.                             | 1.4               | 1.7               | 0.14                     | 228                | 249'504   | kg      |
| Steicoflex 038                                       | 2.1               | 6.2               | 0.11                     | 140                | 17'357    | kg      |
| Steinwollplatte_Coustone                             | 0.2               | 0.3               | 0.02                     | 17                 | 1'582     | kg      |
| swissporLAMBDA Roof                                  | 2.0               | 2.1               | 0.15                     | 98                 | 2'260     | kg      |
| swissporPIR Premium                                  | 1.7               | 1.7               | 0.12                     | 101                | 1'627     | kg      |
| swissporRoll EPS 20                                  | 0.3               | 0.3               | 0.02                     | 16                 | 361       | kg      |
| swissporRoll EPS 30                                  | 1.8               | 1.9               | 0.14                     | 88                 | 2'034     | kg      |
| Trittschalldämmung Isover PS81 o.glw.                | 0.1               | 0.2               | 0.01                     | 9                  | 723       | kg      |
| Trittschalldämmung z.B. Isover Isocalor              | 0.2               | 0.2               | 0.01                     | 9                  | 217       | kg      |
| Typische Bauholz CEN                                 | 2.8               | 33.3              | 0.16                     | 534                | 287'594   | kg      |
| UNIFIT TI 135 U Glaswolle Zwischensparren-Dämmrolle  | 0.8               | 1.0               | 0.03                     | 48                 | 6'069     | kg      |
| Unterlagsboden Anhydrit gem. Arch.                   | 2.1               | 2.2               | 0.11                     | 187                | 135'600   | kg      |
| Vitrage particulier                                  | 6.9               | 7.4               | 0.46                     | 490                | 627       | m²      |
| Windpapier                                           | 0.0               | 0.0               | 0.00                     | 0.1                | 6         | kg      |
| Zementunterlagsboden                                 | 1.3               | 1.4               | 0.16                     | 175                | 133'644   | kg      |
| Abzug - CH Holz                                      |                   |                   | -0.12                    |                    |           |         |
| Total                                                | 85                | 194               | 5.91                     | 8733               |           |         |

Abbildung 57 Haus C - Auszug der verwendeten Baumaterialien



| Materialien                                         | NRE [MJ/(m²Jahr)] | CED [MJ/(m²Jahr)] | GWP [kg CO2-eq/(m²Jahr)] | UBP [Pts/(m²Jahr)] | Menge (A) | Einheit |
|-----------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|--------------------|-----------|---------|
| Anhydritunterlagsboden                              | 1.5               | 1.5               | 0.08                     | 129.0              | 59'780    | kg      |
| PE-Abdeckfolie                                      | 0.6               | 0.6               | 0.03                     | 23.0               | 430       | kg      |
| TPE Steinwolle Trittschall-Dämmplatte               | 0.4               | 0.4               | 0.03                     | 26.0               | 1'563     | kg      |
| swissporPIR Premium                                 | 3.5               | 3.6               | 0.24                     | 211.0              | 2'164     | kg      |
| 2-lagige bituminöse Abdichtung o.glw.               | 5.9               | 6.0               | 0.42                     | 340.0              | 9'438     | kg      |
| Beton armiert 1.5% Stahl (CEN)                      | 5.3               | 6.3               | 0.50                     | 912.0              | 513'769   | kg      |
| Leichtbeton mit sand 800-2000 kg/m³                 | 0.2               | 0.2               | 0.02                     | 20.0               | 41'860    | kg      |
| Zementunterlagsboden                                | 0.5               | 0.5               | 0.06                     | 62.0               | 30'266    | kg      |
| Magerbeton                                          | 0.0               | 0.0               | 0.00                     | 4.0                | 7'840     | kg      |
| Kachelung Keramik                                   | 1.0               | 1.0               | 0.05                     | 172.0              | 4'761     | kg      |
| Brettschichtholz, UF-gebunden, Trockenbereich       | 15.6              | 76.3              | 0.87                     | 1925.0             | 256'648   | kg      |
| PE Folie                                            | 0.2               | 0.2               | 0.01                     | 8.0                | 319       | kg      |
| KP-035/HB Steinwolle Klemmplatte                    | 0.4               | 0.5               | 0.03                     | 30.0               | 3'607     | kg      |
| OSB Platte, PF-gebunden, Feuchtbereich              | 18.9              | 75.5              | 1.17                     | 1684.0             | 138'360   | kg      |
| swissporRoll EPS 30                                 | 2.2               | 2.3               | 0.16                     | 106.0              | 1'561     | kg      |
| Trittschall z.B. Isover PS 81 o. glw.               | 0.7               | 1.1               | 0.03                     | 53.0               | 2'774     | kg      |
| Unterlagsboden Anhydrit gem. Arch.                  | 5.7               | 6.0               | 0.30                     | 502.0              | 232'120   | kg      |
| Holzlattung                                         | 1.0               | 11.9              | 0.06                     | 190.0              | 50'210    | kg      |
| Bauzeitabdichtung/Dampfsperre bituminös             | 1.3               | 1.4               | 0.11                     | 87.0               | 2'598     | kg      |
| swissporLAMBDA Roof                                 | 4.9               | 5.0               | 0.36                     | 234.0              | 3'455     | kg      |
| Dichtungsbahn bituminös                             | 4.0               | 4.1               | 0.29                     | 234.0              | 6'081     | kg      |
| FLAGON GEO P 120                                    | 1.1               | 1.1               | 0.07                     | 58.0               | 883       | kg      |
| Drain- und Filtervlies o.glw.                       | 1.0               | 1.0               | 0.06                     | 37.0               | 691       | kg      |
| Rundkies                                            | 0.2               | 0.2               | 0.01                     | 22.0               | 138'200   | kg      |
| UNIFIT TI 135 U Glaswolle Zwischensparren-Dämmrolle | 1.5               | 1.9               | 0.06                     | 90.0               | 5'861     | kg      |
| FERMACELL Gipsfaserplatte                           | 1.6               | 1.7               | 0.10                     | 88.0               | 21'131    | kg      |
| Windpapier z.B. Ampack Tyvek o. glw                 | 0.0               | 0.1               | 0.00                     | 4.0                | 116       | kg      |
| Luftschicht                                         | 0.0               | 0.0               | 0.00                     | 0.0                | 118       | kg      |
| Holz-Metall                                         | 3.3               | 5.7               | 0.21                     | 303.0              | 64        | m²      |
| 3 IV                                                | 3.4               | 3.6               | 0.22                     | 236.0              | 193       | kg      |
| Aluminium                                           | 1.4               | 1.7               | 0.08                     | 100.0              | 1'004     | kg      |
| DAMPFBREMSE KRAFTPAPIER (bis 31.12.2020)            | 0.0               | 0.0               | 0.00                     | 1.0                | 22        | kg      |
| FERMACELL Wabenschüttung                            | 1.1               | 1.1               | 0.10                     | 115.0              | 49'459    | kg      |
| Flumroc-Dämmplatte 1                                | 1.8               | 1.9               | 0.13                     | 129.0              | 8'434     | kg      |
| Gipsplatte CEN                                      | 0.5               | 0.6               | 0.03                     | 33.0               | 7'234     | kg      |
| Abzug CH Holz                                       |                   |                   | -0.15                    |                    |           |         |
| Abzug Re-Use - Exterior Wall                        |                   |                   | -0.03                    |                    |           |         |
| Abzug Re-Use - Gitter                               |                   |                   | -0.04                    |                    |           |         |
| Abzug Re-Use - Fenster                              |                   |                   | -0.12                    |                    |           |         |
| Abzug Re-Use - Floor                                |                   |                   | -0.01                    |                    |           |         |
| Abzug Re-Use - Floor                                |                   |                   | -0.01                    |                    |           |         |
| Abzug Re-Use - Doors                                |                   |                   | -0.09                    |                    |           |         |
| Abzug Re-Use - Sonnenschutz shutter                 |                   |                   | -0.13                    |                    |           |         |
| Abzug Re-Use - Sonnenschutz blinds                  |                   |                   | -0.01                    |                    |           |         |
| Abzug Re-Use - Innenbauteile                        |                   |                   | -0.09                    |                    |           |         |
| Total                                               | 90                | 225               | 5.20                     | 8168               |           |         |

Abbildung 58 Haus D - Auszug der verwendeten Baumaterialien, ohne Berücksichtigung der Re-Use-Bauteile



| Materialien                                 | NRE [MJ/(m²Jahr)] | CED [MJ/(m²Jahr)] | GWP [kg CO2-eq/(m²Jahr)] | UBP [Pts/(m²Jahr)] | Menge (A) | Einheit |
|---------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|--------------------|-----------|---------|
| 2-lagige Abdichtung bituminös o. glw.       | 0.3               | 0.3               | 0.02                     | 17.0               | 347       | kg      |
| Abdichtung bit. gem. Bauingenieur (SIA 272) | 0.7               | 0.8               | 0.05                     | 43.0               | 2'184     | kg      |
| Aluminiumprofil, blank                      | 8.2               | 9.7               | 0.48                     | 580.0              | 11'132    | kg      |
| Aussenputz gemäss Architekt                 | 0.6               | 0.7               | 0.06                     | 58.0               | 30'564    | kg      |
| Beton armiert 1.5% Stahl (CEN)              | 41.9              | 48.9              | 3.98                     | 7282.0             | 5'767'840 | kg      |
| Dampfbremse / bituminöse Abdichtung         | 0.9               | 0.9               | 0.07                     | 53.0               | 2'723     | kg      |
| Flumroc-Dämmplatte 1                        | 1.6               | 1.7               | 0.12                     | 115.0              | 14'787    | kg      |
| Flumroc-Dämmplatte COMPACT PRO 2020         | 2.9               | 3.2               | 0.22                     | 211.0              | 27'168    | kg      |
| Gipskartonplatte                            | 3.5               | 3.7               | 0.21                     | 228.0              | 97'644    | kg      |
| Hartbeton Einschichtig                      | 0.7               | 0.7               | 0.06                     | 69.0               | 28'446    | kg      |
| Kalkmörtel                                  | 0.6               | 0.6               | 0.03                     | 33.0               | 30'564    | kg      |
| Klebeparkett                                | 10.9              | 46.4              | 0.55                     | 1131.0             | 70'308    | kg      |
| Leichtbeton mit sand 800-2000 kg/m³         | 0.1               | 0.1               | 0.01                     | 15.0               | 60'340    | kg      |
| Luftschicht                                 | 0.0               | 0.0               | 0.00                     | 0.0                | 30        | kg      |
| Mauerwerk Backstein                         | 0.2               | 0.2               | 0.02                     | 16.0               | 8'828     | kg      |
| PE Folie                                    | 0.0               | 0.0               | 0.00                     | 1.0                | 46        | kg      |
| PE-Abdeckfolie                              | 0.5               | 0.5               | 0.03                     | 19.0               | 719       | kg      |
| PVC                                         | 9.0               | 9.4               | 0.47                     | 736.0              | 219       | m²      |
| swissporEPS 150 Boden                       | 0.3               | 0.3               | 0.02                     | 15.0               | 440       | kg      |
| swissporLAMBDA Roof                         | 1.8               | 1.8               | 0.13                     | 85.0               | 2'475     | kg      |
| swissporRoll EPS 20                         | 1.1               | 1.2               | 0.08                     | 54.0               | 1'562     | kg      |
| swissporXPS Premium 300 SF                  | 0.3               | 0.3               | 0.02                     | 13.0               | 357       | kg      |
| Tektalan A2-SD Deckschicht                  | 0.0               | 0.1               | 0.00                     | 3.0                | 896       | kg      |
| Tektalan A2-SD Kern Steinwolle              | 0.1               | 0.1               | 0.01                     | 5.0                | 717       | kg      |
| Trittschalldämmung z.B. Isover Isocalor     | 0.8               | 0.8               | 0.06                     | 36.0               | 1'056     | kg      |
| Vitrage particulier                         | 5.8               | 6.2               | 0.38                     | 409.0              | 659       | m²      |
| Wärmedämmung z.B. Isover Thermo Plus        | 0.4               | 0.6               | 0.02                     | 29.0               | 3'017     | kg      |
| Zementunterlagsboden                        | 4.9               | 5.4               | 0.60                     | 667.0              | 642'191   | kg      |
| Total                                       | 98                | 145               | 7.69                     | 11923              |           |         |

Abbildung 59 Haus D - Auszug der verwendeten Baumaterialien, ohne Berücksichtigung der Re-Use-Bauteile