

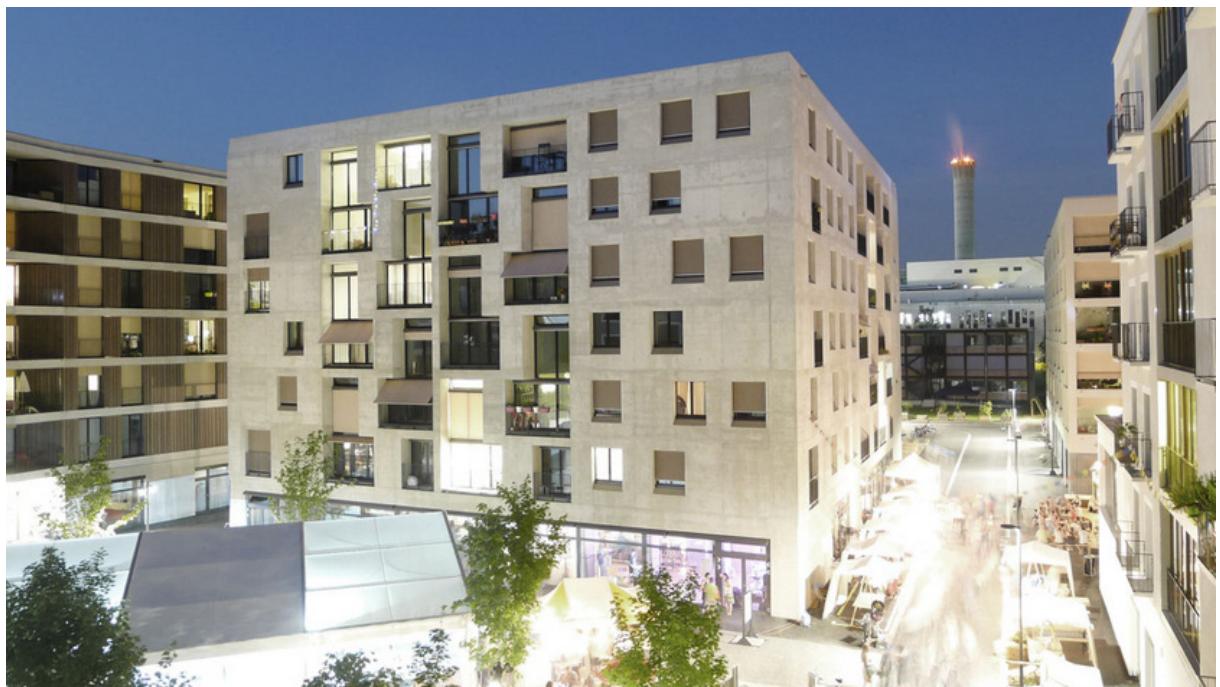


Schlussbericht, 11. April 2018

---

## 2000-Watt-Leuchtturm-Areal mehr als wohnen

---



© Rahel Emry, 2015



**Datum:** 11.04.2018

**Ort:** Bern

Subventionsgeberin:

Schweizerische Eidgenossenschaft, handelnd durch das  
Bundesamt für Energie BFE

Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprogramm  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

Subventionsempfänger:

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

Lemon Consult AG

Sumatrastrasse 10, CH-8006/Zürich  
[www.lemonconsult.ch](http://www.lemonconsult.ch)

networkers5 AG

Route André-Piller 33c  
1762 Givisiez

Amt für Hochbauten der Stadt Zürich

[www.stadt-zuerich.ch/ahb](http://www.stadt-zuerich.ch/ahb)

Autoren:

Martin Mühlbach, Lemon Consult AG, [muehlebach@lemonconsult.ch](mailto:muehlebach@lemonconsult.ch)

Martin Ménard, Lemon Consult AG, [ménard@lemonconsult.ch](mailto:ménard@lemonconsult.ch)

Lara Carisch, Lemon Consult AG, [carisch@lemonconsult.ch](mailto:carisch@lemonconsult.ch)

Andreas Hofer, mehr als wohnen, [andreas.hofer@mehralswohnen.ch](mailto:andreas.hofer@mehralswohnen.ch)

**BFE-Programmleitung:** Yasmine Calisesi, [yasmine.calisesi@bfe.admin.ch](mailto:yasmine.calisesi@bfe.admin.ch)

**BFE-Projektbegleitung:** Marc Köhli, [koehli@enerconom.ch](mailto:koehli@enerconom.ch)

BFE-Vertragsnummer: SI/501215-01

**Bundesamt für Energie BFE**

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · [contact@bfe.admin.ch](mailto:contact@bfe.admin.ch) · [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

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



## Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht wurde im Rahmen des BFE Leuchtturmprogramms erarbeitet und beschäftigt sich mit der Erfassung und Optimierung des Energieverbrauchs des Hunziker Areals. Dabei wird unter anderem der Heizenergieverbrauch durch eine vorausschauende dynamische Anpassung der Heizkurve minimiert, wobei die einzelnen Steuerungskomponenten untersucht werden. Des Weiteren sollen ein kontinuierliches Monitoring und die Optimierung des Gesamtenergieverbrauchs auf dem Areal im Vordergrund stehen. Der gemessene Gesamtenergiebedarf (Wärme und Strom) soll mit den Anforderungen 2000-Watt-Areal-Labels von Energiestadt verglichen werden. Ein weiterer Schwerpunkt wird beim Vergleich der unterschiedlichen Lüftungssysteme bezüglich Energieeffizienz, Luftqualität und Behaglichkeit gelegt.

### Datengrundlage

Es wurde bereits bei der Planung des Hunziker-Areals darauf geachtet, dass im Haustechnikbereich diverse Wärme- und Stromzähler installiert wurden. Auch wurde bei jeder Nutzeinheit auf dem Areal ein Smart Meter installiert. Um die benötigten Messdaten auswerten zu dürfen, wurde mit der Genossenschaft eine Datenschutzvereinbarung unterzeichnet. Nach Absprache mit dem Datenschutzbeauftragten der Stadt Zürich konnten die vorhanden Messdaten für das Forschungsprojekt in aggregierter und anonymisierter Form verwendet werden. Um das Areal gesamtheitlich erfassen zu können wurde ein detailliertes Messkonzept ausgearbeitet. Es umfasst die Haustechniksysteme Heizung, Warmwasser, Lüftung und Strom aller Häuser. Das Verwalten und Auswerten der Messdaten war ein grosse Herausforderung und zeigt, dass höher aufgelöste Messdaten ohne die richtige Verarbeitung und Analyse nicht unbedingt zu mehr Aussagen führen werden.

### Heizung und Warmwasser

Die Regelung der Heizung der dreizehn Häuser basiert auf einer Systemlösung welche prädiktiv und selbstoptimierend funktioniert. Dazu werden Temperatur und relative Feuchte aller Nutzeinheiten auf dem Areal gemessen und online an einen Server übermittelt. Pro Haus können dann die Temperatur- und Feuchtigkeitsdaten visualisiert werden. Ein grosser Vorteil ist die Messung der Raumtemperaturen in den Wohnungen. Mit Hilfe dieser Angaben konnten die Probleme bei der Einregulierung systematischer angegangen und behoben werden. Das zusätzliche Optimierungssystem war gerade in diesem Bereich sehr hilfreich, um die Heizkurve im Betrieb optimal einzustellen. Die Aktivierung der prädiktiven Regelung und der Selbstoptimierung, sollte hingegen erst nach Abschluss der hydraulischen Einregulierung der Heizungsanlage in der ersten Heizperiode erfolgen.

Der durchschnittliche Wärmeverbrauch für Warmwasser liegt mit 16 kWh/m<sup>2</sup> pro Jahr rund 20 % unter den Planungswerten. Andere Wohnsiedlungen in der Stadt Zürich bzw. in der Schweiz weisen vergleichbare oder höhere Werte auf. Die Effizienz der eingebauten Frischwasserstationen, der sparsame Warmwasserverbrauch der Bewohnenden sowie die Abwärmenutzung aus der gewerblichen Kälte sind Gründe für den, im Vergleich zu den SIA Standardwerten, eher tiefen Wärmeverbrauch für Warmwasser.

### Lüftung

Auf dem Hunziker-Areal sind vier Gebäude mit Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung (Komfortlüftung) und neun Gebäude mit Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen (ohne Vorwärmung der Aussenluft) und ohne Wärmerückgewinnung ausgerüstet. Dank der Nutzung der hochwertigen Abwärmequelle des angrenzenden städtischen Rechenzentrums, erhielt die Baugenossenschaft eine Ausnahmegenehmigung und durfte bei den Abluftanlagen auf eine Wärmerückgewinnung verzichten. Pro Lüftungssystem wurde ein Gebäude ausgewählt und in jeweils fünf Wohnungen CO<sub>2</sub>-, Temperatur- und relative Feuchtigkeits-Messgeräte installiert. Ebenso wurde, wo möglich, eine Messung der Zu- und Abluftvolumenströme an den Lüftungsauslässen vorgenommen. Die



Raumluftqualität ist in den ausgewählten Wohnzimmern weitgehend sehr gut. Anders in den Schlafzimmern, dort war die Luftqualität bei mehreren Messungen über den Grenzwerten. Trotz teilweise schlechter Luftqualität in den Schlafzimmern zeigten sich 85 % der Bewohnenden bei einer gross angelegten Komfortumfrage im Dezember 2016 zufrieden mit dem Raumklima. Die Raumlufttemperatur war in den meisten der ausgewählten Wohnungen sehr gut.

Eine überraschende Erkenntnis betrifft die vier Häuser des Areals, welche mit einer Komfortlüftung ausgerüstet sind. Bei ihnen liegt der Heizwärmeverbrauch markant über den Planungswerten. Die Erwartung, dass die Häuser mit Komfortlüftung gegenüber den Häusern mit Abluftanlagen 50 % oder noch weniger Heizwärme verbrauchen würden, hat sich nicht bestätigt. Die Häuser mit Komfortlüftung verbrauchen aber immerhin 20% weniger Heizwärme, als jene mit Abluftanlagen. Obwohl der Aussenluftanteil in den Häusern gegenüber den Normwerten reduziert wurde, weisen die vier mit einer Komfortlüftung ausgestatteten Häuser einen relativ hohen Stromverbrauch für die Lüftung auf. Ein Grund für die zu hohen Stromwerte der Häuser mit zentraler Komfortlüftung kann eine mangelhafte Steuerung und Inbetriebnahme sein. Die Gebäude mit Abluftanlagen schneiden bei den Auswertungen bezüglich Energieverbrauch der Lüftung sehr gut ab, allerdings gaben knapp 40% der befragten Bewohner an, immer oder häufig Zugluft in der Wohnung wahrzunehmen. In keinem der Häuser wurde das Prinzip der Kaskadenlüftung umgesetzt. Mit Ausnahme der Wohnungslüftungsgeräte in Haus B sind alle Lüftungsanlagen einstufig und permanent im Betrieb.

### **Stromverbrauch und -produktion**

Neben dem Wärmebedarf ist vor allem der Elektrizitätsverbrauch der Bewohner und Nutzer für die Optimierung des Gesamtenergieverbrauchs des Areals entscheidend. Die lokal ansässigen Gewerbebetriebe machen ein Drittel des Gesamtarealverbrauchs aus. Effiziente Küchengeräte, zentrale Tiefkühlanlagen und Waschküchen, sowie suffiziente Bewohner tragen zum sparsamen Stromverbrauch auf dem Areal bei. Wenn der durchschnittliche Allgemeinstromverbrauch (7.6 kWh/m<sup>2</sup>) und der durchschnittliche Wohnstrom (12.1 kWh/m<sup>2</sup>) summiert werden, entsteht ein spezifischer Stromverbrauch von 19.7 kWh/m<sup>2</sup>. Vergleiche mit dem Schweizer Durchschnitt (SIA 380/4) von 27.0 kWh/m<sup>2</sup> und dem Gebäudepark Modell (Prognose Stromverbrauch für das Jahr 2050 von 23.4 kWh/m<sup>2</sup>), schneidet das Areal mit seinen gemischten Nutzungen also sehr gut ab.

Neben dem Stromverbrauch wurden auch die Produktionsdaten ausgewertet. Das Areal erreicht heute eine Deckungsgrad von 25 %. Das heisst ein Viertel des Stromverbrauchs kann direkt vor Ort produziert werden. Der Eigenverbrauchsanteil des gesamten Areals liegt bei 92 %. Sprich nur 8 % des produzierten Stroms wird in der Jahresbilanz in das Netz zurückgespiesen.

### **Fazit**

Die Projektbeteiligten wurden phasenweise mit Anfragen zu Heizung, Lüftung und Eigenverbrauch aus der ganzen Schweiz überhäuft. Dies zeigt, dass es das vorliegende Leuchtturmprojekt neben neuen fachlichen und technischen Erkenntnisse geschafft hat, diese Erkenntnisse einer breiten Öffentlichkeit zu vermitteln.

Wenn man die gewichtete Energiekennzahl nach Minergie betrachtet, so wird der intern gesetzte Arealzielwert von 30 kWh/m<sup>2</sup> im Durchschnitt über alle Häuser knapp eingehalten. Auch die Erkenntnisse nach zwei ausgewerteten Betriebsjahren sind sehr erfreulich und zeigen, dass die ambitionierten Planungswerte eingehalten werden. Die Genossenschaft mehr als wohnen befindet sich auf dem Zielpfad der 2000-Watt-Gesellschaft.



## Résumé

Ce rapport a été préparé dans le cadre du programme phare de l'OFEN et porte sur la l'analyse de données énergétiques relevées et l'optimisation de la consommation d'énergie du lotissement (Hunziker Areal) et de ses habitants. Entre autre, la consommation d'énergie de chauffage est minimisée par un ajustement dynamique à caractère prédictif de la courbe de chauffage, au travers duquel les composants individuels la régulation de chauffage sont examinés. En outre, un suivi continu et l'optimisation de la consommation totale d'énergie sur le site devraient passer au premier plan. La demande d'énergie totale mesurée (chaleur, électricité) doit être comparée aux exigences de la Société à 2000 watt du Label Cité de l'Energie. Un autre objectif sera de comparer les différents systèmes de ventilation en termes d'efficacité énergétique, de qualité de l'air et de confort.

### Bases de données

Dès lors des phases de planification de la zone Hunziker, il a été prévu que divers compteurs de chaleur et d'électricité soient installés dans le domaine de la technique du bâtiment. De plus, un compteur intelligent a été installé dans chaque unité d'habitation. Afin d'évaluer les données de mesure requises, un accord de protection des données a été signé avec la coopérative. Après consultation du responsable de la protection des données de la ville de Zurich, les données de mesure disponibles pour le projet de recherche pourraient être utilisées de manière agrégées et anonymes. Afin de pouvoir faire un état des lieux de la zone dans son ensemble, un concept de mesure détaillé a été développé. Il comprend les systèmes de chauffage, d'eau chaude sanitaire, de ventilation et électriques de toutes les bâtiments. La gestion et l'analyse des données de mesure ont constitué un défi majeur du projet, démontrant qu'une plus haute résolution des données de mesure ne conduit pas nécessairement à plus d'information sans un traitement préalable et une analyse appropriée de cette masse de données.

### Chauffage et eau chaude

La régulation du chauffage des treize bâtiments d'habitation est basée sur une solution système qui fonctionne de manière prédictive et sur le principe de l'auto-optimisation. A cet effet, la température et l'humidité relative de tous les logements sont mesurés sur le site et transmises en ligne à un serveur. Les données de température et d'humidité peuvent ensuite être visualisées pour chaque maison. Cette solution présente le grand avantage de fournir une mesure de la température ambiante dans les appartements. Cette information a permis de traiter et résoudre plus systématiquement les problèmes de régulation. Le système d'optimisation supplémentaire a été très utile dans ce cas pour ajuster de manière optimale la courbe de chauffage pendant le fonctionnement. L'activation des fonctions de contrôle prédictif et d'auto-optimisation, cependant, ne devraient s'effectuer qu'après l'achèvement de l'ajustement hydraulique du système de chauffage pendant la première saison de chauffage.

La consommation moyenne de chaleur pour l'eau chaude sanitaire de 16 kWh/m<sup>2</sup> par an est d'environ 20% inférieure aux valeurs de planification. Les autres lotissements de la ville de Zurich ou de Suisse ont des valeurs comparables ou supérieures. L'efficacité des stations d'eau douce intégrées, la faible consommation d'eau chaude des résidents ainsi que l'utilisation de la chaleur résiduelle du froid industriel expliquent la faible consommation de chaleur pour l'eau chaude sanitaire par rapport aux valeurs standard SIA.

### Ventilation

Sur le site de Hunziker Areal quatre bâtiments sont équipés d'une installation de ventilation double flux avec récupération de chaleur (ventilation de confort) et neuf bâtiments sont équipés d'une ventilation avec des grilles d'air frais extérieur (sans préchauffage de l'air extérieur). Un bâtiment a été sélectionné pour chaque système de ventilation, et des compteurs de CO<sub>2</sub>, de température et d'humidité relative ont été installés dans cinq appartements chacun. De même, si possible, une mesure des volumes d'air frais entrant et d'air extrait en sortie de ventilation a été faite. La qualité de



l'air intérieur est en grande partie très bonne dans les salons sélectionnés. Ce n'est pas le cas dans les chambres, où la qualité de l'air se trouvait à plusieurs reprises au-dessus des limites. Malgré une mauvaise qualité de l'air dans les chambres, 85% des résidents étaient satisfaits du climat intérieur lors d'une enquête de confort à grande échelle en décembre 2016. La température de l'air ambiant était très bonne dans la plupart des appartements sélectionnés.

Une découverte surprenante concerne les quatre maisons du lotissement, qui sont équipées d'une ventilation de confort. Pour ceux-ci, la consommation de chauffage est nettement supérieure aux valeurs de planification. L'attente selon laquelle les maisons ventilées par confort auraient besoin de 50% ou même moins d'énergie de chauffage par rapport aux bâtiments dotés de systèmes d'évacuation de l'air vicié n'a pas été confirmée. Les bâtiments équipés d'un système de ventilation de confort consomme tout de même toujours en règle générale 20% de moins que ceux équipés d'un système d'extraction d'air. Bien que l'apport d'air extérieur dans les bâtiments ait été réduit par rapport aux valeurs standards, les quatre bâtiments équipés d'un système de ventilation de confort ont une consommation d'énergie électrique relativement élevée pour la ventilation.. Les bâtiments dotés de systèmes d'évacuation d'air vicié obtiennent de très bons résultats dans les évaluations concernant la consommation dénergie dédiée à la ventilation, cependant environ 40% des résidents interrogés se sont plaints de courants d'air fréquents voire permanents dans l'appartement.

### **Consommation d'énergie électrique et production**

Au-delà de la demande de chaleur, c'est surtout la consommation d'électricité des habitants et des usagers qui est déterminante pour optimiser la consommation énergétique globale du quartier. Les entreprises locales représentent un tiers de la consommation totale du site. Des appareils de cuisine efficaces, des congélateurs centralisés et des salles de buanderie communes, ainsi qu'un nombre suffisant de résidents contribuent à l'utilisation économe de l'électricité à l'échelle du lotissement. Lorsque la consommation électrique moyenne des parties communes (7.6 kWh/m<sup>2</sup>) et la la consommation électrique moyenne des logements individuels (12.1 kWh/m<sup>2</sup>) sont additionnées, en découle une consommation d'énergie électrique spécifique de 19.7 kWh/m<sup>2</sup>. Les comparaisons avec la moyenne suisse (SIA 380/4) de 27.0 kWh/m<sup>2</sup> et le modèle statistique de parc immobilier de la Suisse (prévision de la consommation d'électricité pour l'année 2050 de 23.4 kWh/m<sup>2</sup>), démontrent les très bons résultats du site. En plus de la consommation d'électricité les données de production d'électricité du site ont également été évaluées. Le site atteint aujourd'hui un taux de couverture de 25%. Cela signifie qu'un quart de la consommation d'électricité peut être produite directement sur le site. La part de consommation propre de cette électricité produite sur le site est de 92 %. En d'autres termes, seulement 8% de l'électricité produite est réinjectée dans le réseau dans le bilan annuel.

### **Conclusion**

Les participants au projet ont été submergés par des vagues de questions venant de toute la Suisse sur le thème du chauffage, de la ventilation et de l'autoconsommation électrique. Cela montre que ce projet phare, en plus d'avoir permis de nouvelles découvertes techniques, a réussi à transmettre ses résultats à un très large public. Lorsque l'on considère l'indice d'énergie pondéré selon Minergie, l'objectif fixé pour le site de 30 kWh/m<sup>2</sup> en moyenne est presque atteint dans tous les bâtiments. Les résultats de deux années d'exploitation évaluées sont également très satisfaisants et montrent que les valeurs de planification ambitieuses ont été respectées. «mehr als wohnen» suit le chemin tracé par principes de la Société à 2000 watts.



# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Zusammenfassung.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>Résumé 5</b>  |           |
| <b>Inhaltsverzeichnis .....</b>                                      | <b>7</b>  |
| <b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>                                   | <b>9</b>  |
| <b>1      Ausgangslage und Zielsetzung .....</b>                     | <b>10</b> |
| 1.1    Das Hunziker-Areal.....                                       | 10        |
| 1.2    Forschungsrahmen .....  | 12        |
| 1.3    Projektziele.....   | 12        |
| 1.4    Projektstruktur.....  | 13        |
| <b>2      Datengrundlage.....</b>                                    | <b>14</b> |
| 2.1    Messkonzept.....  | 14        |
| 2.2    Datenschutzvereinbarung .....                                 | 16        |
| <b>3      Heizung .....</b>  | <b>17</b> |
| 3.1    Fragestellung .....   | 17        |
| 3.2    Heizsystem der Häuser A bis L.....                            | 17        |
| 3.3    Heizsystem Haus M .....                                       | 18        |
| 3.4    Heizungsregelung .....  | 20        |
| 3.5    Resultate .....   | 23        |
| 3.5.1    Erfahrungen mit der Heizungsregelung .....                  | 23        |
| 3.5.2    Heizwärmeverbrauch .....                                    | 25        |
| 3.5.3    Einfluss der Raumtemperatur auf den Heizwärmeverbrauch..... | 29        |
| 3.6    Diskussion und Empfehlungen .....                             | 34        |
| 3.6.1    Grundsätzliche Einordnung der Ergebnisse .....              | 34        |
| 3.6.2    Thesen zum Thema Heizungsregelung.....                      | 34        |
| 3.6.3    Vorschläge zur Weiterentwicklung von eGain .....            | 36        |
| <b>4      Warmwasser.....</b>  | <b>37</b> |
| 4.1    Fragestellung .....   | 37        |
| 4.2    Grundlagen und Messmethode.....                               | 37        |
| 4.3    Resultate .....   | 38        |
| 4.4    Diskussion und Fazit.....                                     | 40        |
| <b>5      Lüftung.....</b>   | <b>41</b> |
| 5.1    Fragestellungen .....   | 41        |
| 5.2    Messmethode.....  | 42        |
| 5.3    Resultate .....   | 43        |
| 5.3.1    Raumluftqualität.....                                       | 43        |



|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 5.3.2     | Thermischer Komfort im Winter 2015/16 .....                  | 48        |
| 5.3.3     | Raumluftkomfort Sommer 2016 .....                            | 48        |
| 5.3.4     | Vertiefungsstudie Lüftung .....                              | 51        |
| 5.4       | Diskussion und Empfehlungen .....                            | 55        |
| 5.4.1     | Thesen bezüglich der unterschiedlichen Lüftungssysteme ..... | 55        |
| 5.4.2     | Thesen zur Weiterentwicklung der Wohnungslüftung .....       | 56        |
| <b>6</b>  | <b>Gewichtete Energiekennzahl .....</b>                      | <b>57</b> |
| 6.1       | Berechnung .....   | 57        |
| 6.2       | Resultate .....  | 57        |
| <b>7</b>  | <b>Stromeffizienz .....</b>                                  | <b>59</b> |
| 7.1       | Fragestellungen .....  | 59        |
| 7.2       | Definitionen .....   | 59        |
| 7.3       | Resultate .....  | 60        |
| 7.3.1     | Stromverbrauch der ersten beiden Betriebsjahre .....         | 60        |
| 7.3.2     | Stromproduktion der ersten beiden Betriebsjahre .....        | 61        |
| 7.3.3     | ewz.solarsplit .....   | 63        |
| 7.3.4     | Eigenverbrauchsanteil .....                                  | 63        |
| 7.4       | Diskussion und Fazit .....                                   | 64        |
| <b>8</b>  | <b>Zertifizierung 2000-Watt-Areal .....</b>                  | <b>66</b> |
| 8.1       | Fragestellungen und Methodik .....                           | 66        |
| 8.2       | Resultate .....  | 67        |
| 8.3       | Diskussion und Fazit .....                                   | 69        |
| <b>9</b>  | <b>Kommunikation .....</b>                                   | <b>70</b> |
| 9.1       | Kommunikation intern .....                                   | 70        |
| 9.2       | Kommunikation extern .....                                   | 70        |
| <b>10</b> | <b>Würdigung und Fazit .....</b>                             | <b>71</b> |
| <b>11</b> | <b>Anhang .....</b>  | <b>72</b> |
| 11.1      | Vorlage Datenschutzvereinbarung mit der Stadt Zürich .....   | 72        |
| 11.2      | Messkonzept Haus M .....                                     | 75        |
| 11.3      | Resultate Komfortmessung (Okt 2015 – April 2016) .....       | 76        |



## Abkürzungsverzeichnis

|      |  |
|------|--|
| BFE  | Bundesamt für Energie  |
| EBF  | Energiebezugsfläche  |
| EnDK | Konferenz kantonaler EnergiedirektorenEV Eigenverbrauchsanteil |
| EWZ  | Elektrizitätswerk der Stadt Zürich                             |
| FWS  | Frischwasserstation  |
| KWh  | Kilowattstunden  |
| MAW  | Baugenossenschaft mehr als wohnen                              |
| MFH  | Mehrfamilienhaus   |
| OIZ  | Organisation und Informatik der Stadt Zürich                   |
| ÖV   | öffentlicher Verkehr   |
| PV   | Photovoltaik   |
| SIA  | Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein               |
| THGE | Treibhausgasemissionen   |
| WG   | Wohngemeinschaft   |
| WRG  | Wärmerückgewinnung   |



# 1 Ausgangslage und Zielsetzung

## 1.1 Das Hunziker-Areal

Die Baugenossenschaft mehr als wohnen wurde 2007 in Zürich durch rund 30 Wohnbaugenossenschaften gegründet. Als Innovations- und Lernplattform soll die Baugenossenschaft wegweisende Wohnprojekte realisieren und die Genossenschaftsidee unter allen ihren verschiedenen Gesichtspunkten für die Zukunft weiterentwickeln.

Auf dem rund 40'000 m<sup>2</sup> grossen Hunziker-Areal in Zürich-Nord ist eine Siedlung entstanden, welche die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft anstrebt und zugleich eine hohe und bezahlbare Wohnqualität schafft. Dabei entsteht ein ganzes Stadtquartier mit Wohn- und Arbeitsraum für 1'300 Personen. Dazu gehören nebst Familien-, Alters-, Einpersonen- und Wohngemeinschafts-Wohnungen auch neue Wohnformen (Satellitenwohnungen), eine Réception mit Serviceangebot (auf Nachbarschaftsleistungen basierend), ein Gästehaus, ein Restaurant, eine Mobilitätsstation und natürlich die üblichen Infrastrukturen einer grossen genossenschaftlichen Siedlung. Ein vielseitiges Angebot von Wohnen und Arbeiten sowie die Schaffung von Allmend- und Quartiernutzflächen fördern die Lebendigkeit und damit die Attraktivität des Quartiers. Auf dem Areal leben Personen mit über 60 verschiedenen Nationalitäten und unterschiedlichen Ansprüchen an Wohnraum. Ein Teil der Wohnungen ist als subventionierter Wohnraum reserviert. Angebote und Aussenraumgestaltung sollen von Bewohner/innen und Mitarbeitenden mitgestaltet und mitgetragen werden. Partizipative Prozesse wurden von der ersten Ideenfindung von Anfang an unterstützt und koordiniert. Das gemeinschaftliche, kulturelle und ökologische Engagement der Bewohner/innen wird durch eine eigens dafür eingerichtete Organisation, sowie genossenschaftliche Beiträge, gefördert. So wird das neue Quartier europaweit zu einem «Leuchtturm» des nachhaltigen Wohnens (siehe Abbildung 1).

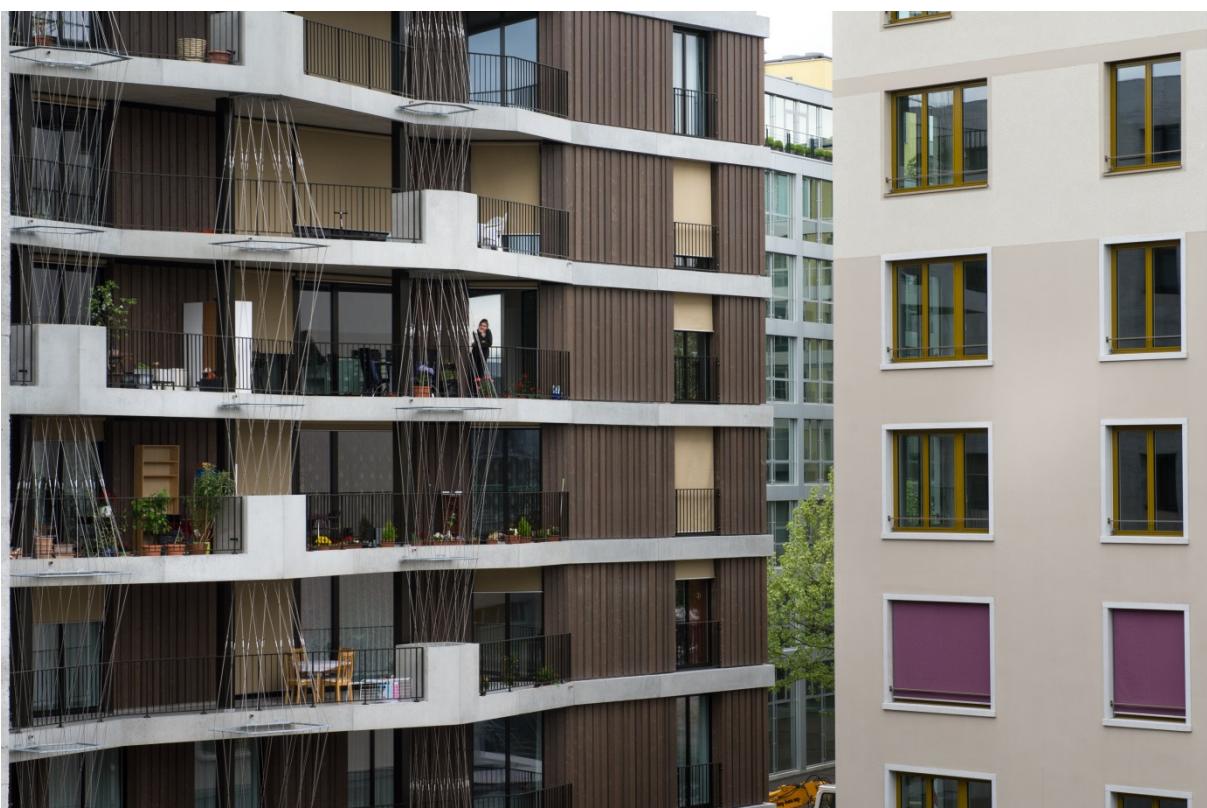


Abbildung 1: Impressionen aus dem Hunziker-Areal (© U. Meissner, 2015)

Das neu gestaltete Areal umfasst 13 Mehrfamilienhäuser. Der Wohnteil wird in Erdgeschossen mit Gewerberäumen, Restaurants, Schul- und Büroräumen ergänzt (siehe Tabelle 1). Die Gebäude sind in unterschiedlichen Konstruktionsweisen und Materialien erstellt, siehe Abbildung 2. Auch die Gebäudetechnik wurde in den einzelnen Häusern durch unterschiedliche Systeme umgesetzt. Zwölf Gebäude werden durch Abwärme des angrenzenden Rechenzentrums der Stadt Zürich (OIZ) beheizt. Haus M ist von der Wärmeversorgung autonom und produziert die Heiz- und Warmmasserwärme über eine Abluft-Wärmepumpe. Vier Gebäude (A, B, F, I) verfügen über klassische Komfortlüftungen in drei verschiedenen Ausführungen (zentral, dezentral und ein Verbundlüftungssystem mit Überströmern). Die übrigen Gebäude sind mit Abluftanlagen und Aussenluftdurchlässen ausgestattet.

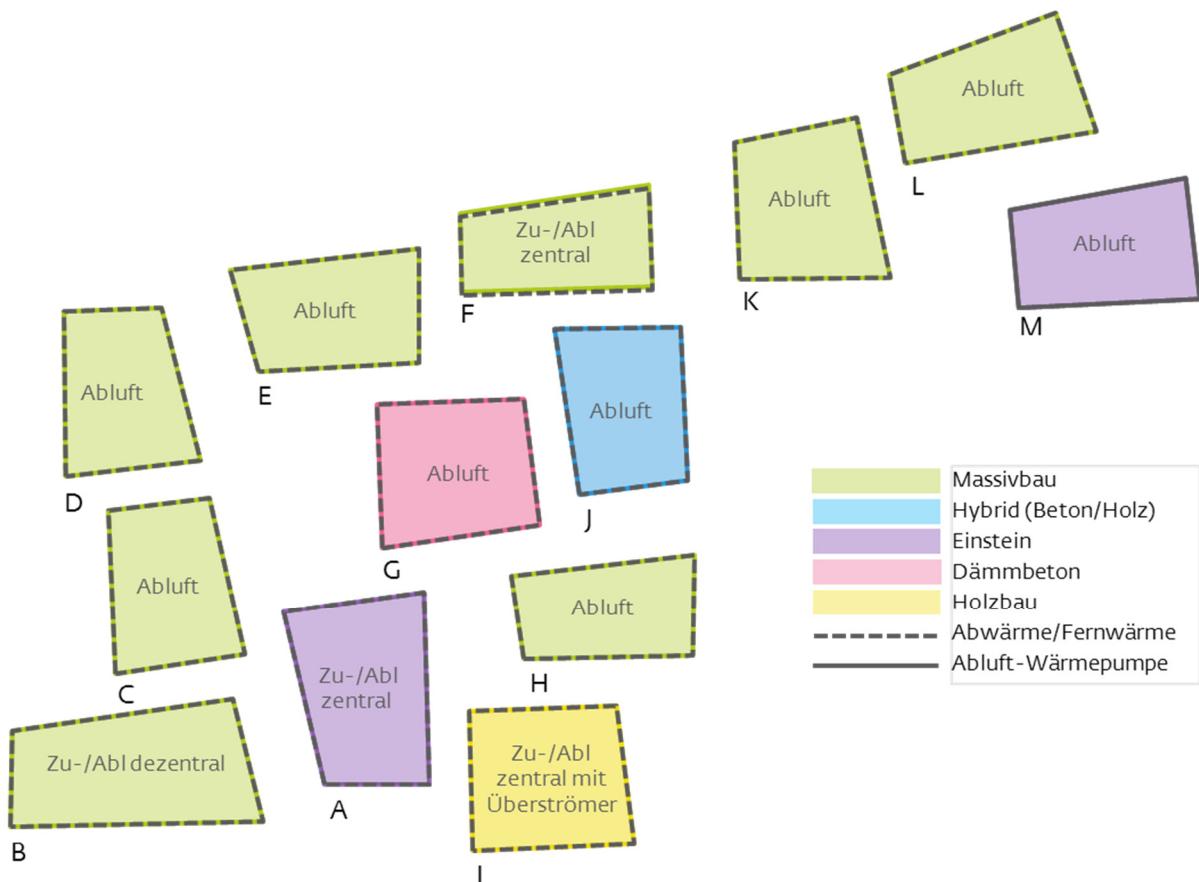


Abbildung 2: Konstruktionsarten, Heizungs- und Lüftungssysteme (Lemon Consult AG, 2016)



Tabelle 1: Bewohnerzahlen und gewerbliche Nutzungen pro Haus, Farben nach Wandaufbau, siehe Abbildung 2 (Lemon Consult AG, 2016)

| Haus | EBF (m <sup>2</sup> ) | Anzahl Wohnungen | Anzahl Bewohnernde | Personenfläche (m <sup>2</sup> /P) | Erdgeschossnutzung                     |
|------|-----------------------|------------------|--------------------|------------------------------------|--|
| A    | 5'666                 | 11               | 92                 | 57                                 | Atelierräume                           |
| B    | 5'048                 | 34               | 111                | 45                                 | Wohnungen                              |
| C    | 4'401                 | 34               | 59                 | 70                                 | Yogastudio, Nagelstudio, Allmend       |
| D    | 5'369                 | 38               | 105                | 45                                 | Gastronomie, Kultursalon, Büro         |
| E    | 5'720                 | 30               | 103                | 49                                 | Gastronomie, Büro, Hotel               |
| F    | 4'533                 | 29               | 88                 | 46                                 | Werkstatt, Yogastudio, Kosmetikschule, |
| G    | 6'622                 | 27               | 115                | 51                                 | Veloverleih, div. Gewerbe, Tonstudio,  |
| H    | 4'457                 | 30               | 85                 | 45                                 | Kindergarten, Gewerbe                  |
| I    | 4'404                 | 19               | 73                 | 58                                 | Musikräume                             |
| J    | 3'430                 | 24               | 80                 | 37                                 | Atelier, Büros, Kleingewerbe,          |
| K    | 5'340                 | 20               | 102                | 45                                 | Gastronomie, Fotostudio, Büro, Allmend |
| L    | 5'584                 | 45               | 101                | 49                                 | Büro, Gewerbe                          |
| M    | 5'357                 | 28               | 97                 | 45                                 | Kita, Schule                           |

## 1.2 Forschungsrahmen

Eine 2000-Watt- und 1-Tonne-CO<sub>2</sub>-Gesellschaft im Jahre 2100 sind äusserst ambitionierte Ziele, welche mit verschiedenen Massnahmen erreicht werden sollen, die auch einen Beitrag an die Umsetzung der Energiestrategie des Bundes leisten. Die BFE-Leuchtturmprojekte sind dabei als zentrale Massnahme der Energiestrategie zu verstehen. Sie entwickeln und demonstrieren innovative Energielösungen im Massstab 1:1 und sind im realen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Umfeld beispielgebend in technologischer, ökologischer und gesellschaftlicher Hinsicht. Konkret sollen diese "gläsernen Werkstätte" und "living labs" national und möglichst auch international grosse Ausstrahlung entfalten und die Energiezukunft der Schweiz im Alltag unmittelbar erlebbar machen.

## 1.3 Projektziele

Das BFE-Leuchtturmprojekt mehr als wohnen wird den Energieverbrauch der Siedlung und ihrer Bewohner detailliert erfassen, im Betrieb optimieren und den Anforderungen der 2000-Watt-Gesellschaft annähern. Dabei wird unter anderem der Heizenergieverbrauch durch eine vorausschauende, dynamische Anpassung der Heizkurve minimiert, wobei unterschiedliche Regelstrategien untersucht und verglichen werden. Des Weiteren sollen ein kontinuierliches Monitoring und die Optimierung des Gesamtenergieverbrauchs auf dem Areal im Vordergrund stehen. Der gemessene Gesamtenergiebedarf (Wärme, Strom) soll mit den Anforderungen des SIA-Effizienzpfads Energie beziehungsweise des 2000-Watt-Areal-Labels von Energiestadt, verglichen werden. Ein weiterer Schwerpunkt wird beim Vergleich der unterschiedlichen Lüftungssysteme bezüglich Energieeffizienz, Luftqualität und Behaglichkeit gelegt. Die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Projekt sollen für eine breite Öffentlichkeit, sowie für das Fachpublikum in verschiedenen medialen Formen aufbereitet werden.



## 1.4 Projektstruktur

Zur besseren Übersicht und Verwaltung dieses Projektes, wurde eine thematische Gliederung in fünf Teilprojekte vorgenommen. Jedes Teilprojekt benötigt eigene Methodiken zur Beantwortung der Forschungsfragen. Die Kapitel 3 bis 5 fokussieren sich auf die Erfassung und Optimierung der Systeme Heizung/Warmwasser, Lüftung und Strom. Teilprojekt 6 widmet sich der Pilotzertifizierung als 2000-Watt-Areal im Betrieb. Unter Teilprojekt 7 werden die Resultate aus den genannten Teilprojekten einem Fachpublikum und der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Die Methoden und Resultate aller Teilprojekte sind in Kapitel 2 detailliert beschrieben.



## 2 Datengrundlage

### 2.1 Messkonzept

Um das Areal gesamtheitlich erfassen zu können wurde ein Messkonzept (Abbildung 3) ausgearbeitet. Es umfasst die Haustechniksysteme Heizung, Warmwasser, Lüftung und Strom der zwölf Häuser A bis L. Haus M verfügt über ein separates Messkonzept (siehe Anhang), da es über eine separate Wärmeerzeugung verfügt.

Die Abgrenzung der Haustechniksysteme erfolgt auf verschiedenen Ebenen. Die Messpunkte werden auf der jeweiligen Ebene bilanziert und können in unterschiedlichen Zeitintervallen erfasst werden: Ebene Areal, Gebäude, Nutzeinheit und Bewohnende.

Auf der Ebene Gebäude werden folgende Messgrößen mit dem Messintervall 15-Minuten erfasst:

- Heizwärme- und Warmwasserverbrauch auf Primärseite des Wärmeverbundnetzes
- Allgemeinstromverbrauch
- Gebäudestromverbrauch total
- Photovoltaik Produktion
- Rücklieferung Photovoltaik Überschuss
- Eigenstromverbrauch
- Stromverbrauch Wärmepumpe Haus M
- Stromverbrauch der zentralen Lüftungsanlagen in Häusern A, I und J
- Stromverbrauch von drei dezentralen Lüftungsanlagen im Haus B

Die Heizwärme-, Warmwasser- und Stromverbräuche werden vom Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz) erfasst und aufbereitet. Lüftungsstromverbräuche werden durch eigens angeschaffte Messgeräte von Lemon Consult gemessen und ausgewertet.

Auf der Ebene der Nutzeinheit werden in allen Räumlichkeiten folgende Parameter erfasst:

- Stromverbrauch (Quartalsweise)
- Raumlufttemperatur (60 Min.)
- Relative Feuchte (60 Min.)
- CO<sub>2</sub>-Konzentration in 20 ausgewählten Wohnungen (60 Min.)

Der Stromverbrauch wird vom ewz erfasst und aufbereitet. Die Raumlufttemperatur- und Feuchtemessung wird vom Heizregelsystem der Firma eGain in allen 400 Nutzeinheiten (jeweils im Korridor) erfasst. Lemon Consult misst zudem in 20 ausgewählten Wohnungen der Häuser A, B, I und J die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Wohn- und Schlafzimmer.

Auf der Ebene der Bewohnenden werden in der Projektlaufzeit Umfragen zu Mobilitätsverhalten und Raumkomfort (Lüftung, Heizung) durchgeführt. Letztere soll eine qualitative Einordnung der Messdaten ermöglichen.

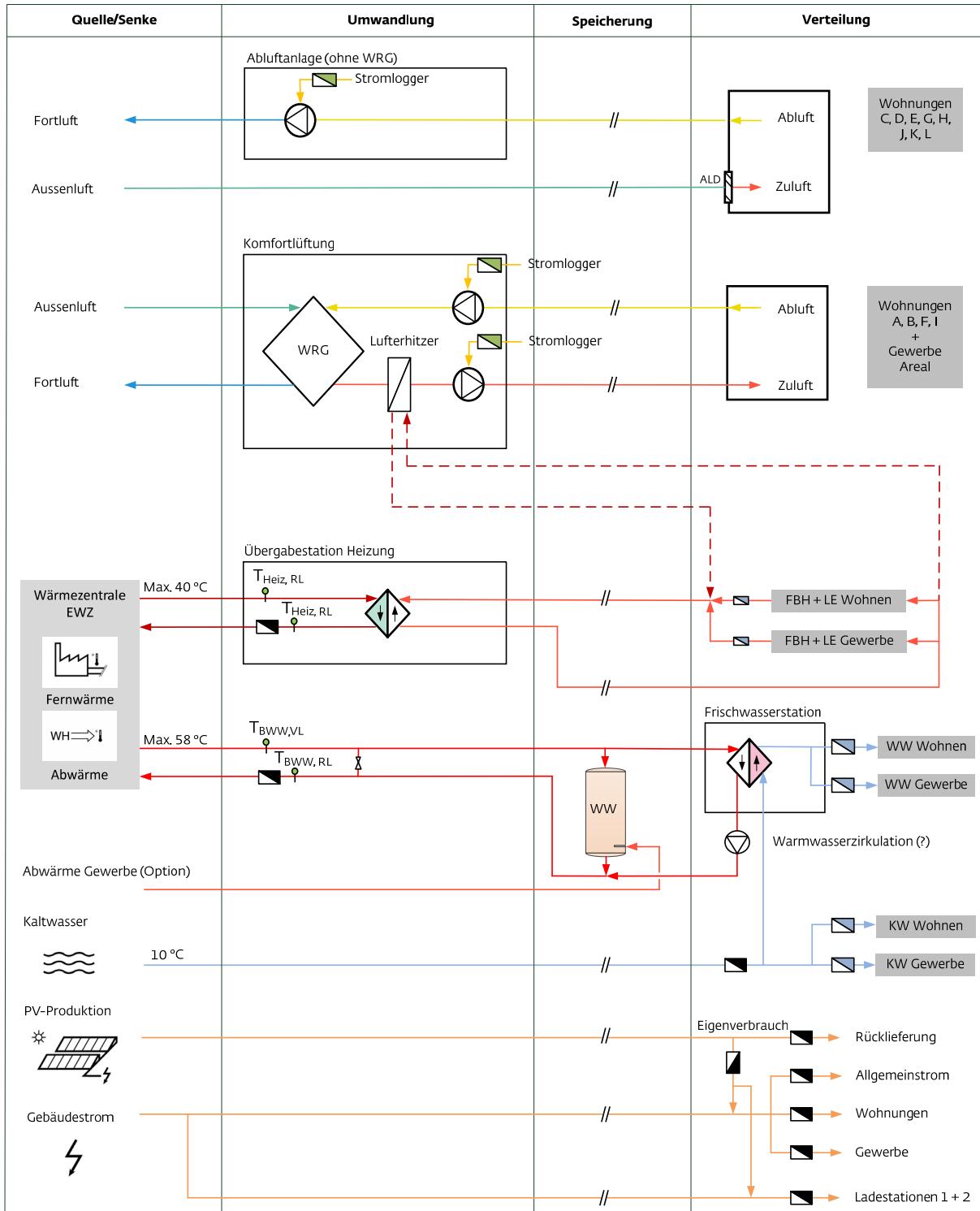


Abbildung 3: Messkonzept Häuser A – L (Lemon Consult AG, 2016); Luftheritzer sind nur in einzelnen Zu-/Abluftanalagen installiert. Elektrische Vorwärmer für den Vereisungsschutz sind keine vorhanden.



## 2.2 Datenschutzvereinbarung

Um die benötigten Messdaten auswerten zu dürfen, wurde mit der Genossenschaft mehr als wohnen eine Datenschutzvereinbarung unterzeichnet (siehe Anhang). Ebenfalls wurde eine offizielle Anfrage zum Erhalt der Daten an das ewz gestartet. Nach einem Gespräch sowie der Einreichung aller Projektdaten beim Datenschutzbeauftragten der Stadt Zürich, wurden alle Messdaten der Genossenschaft freigegeben. Bei den Stromverbräuchen der einzelnen Nutzeinheiten konnte nur der Quartalsverbrauch verwendet werden. Dies, obwohl die Genossenschafterinnen und Genossenschafter mit Unterzeichnung des Vermietungsreglements folgendem Abschnitt zustimmten: „Die Genossenschaft führt regelmässige Untersuchungen zum Verbrauch von Energie, Wärme, Wasser usw. durch. Die Bewohner/innen erklären sich bereit, für Befragungen und Auswertungen diese Verbrauchsdaten offen zu legen.“ Für höher aufgelöste Smart-Meter Daten (15-Minutenwerte) der einzelnen Nutzeinheiten musste das Einverständnis der Bewohnenden nochmals separat per Unterschrift eingeholt werden. Für einzelne Nutzeinheiten (v.a. Gewerbebetriebe) wurden diese Daten nachgefragt (siehe Kapitel 7).

Folgende Spezifikation der Daten wurde beim ewz angefragt:

| Tabelle: Nutzeinheit_Gebäude  |                                    | Tabelle: Wärmezentrale                  |  |
|---|------------------------------------|---|--|
| Code_Messpunkt  | Messpunktnummer des Zählers        | Zeitstempel                             | Datum und Zeit                           |
| Code_Wohnungseinheit  | Amtliche Wohnungsnummer            | Wärmelieferung                          | Wärmeabgabe an maw                       |
| Code_Gebäude  | Gebäudeadresse (Strasse und Nr.)   | Strom-WP                                | Verbrauch WP                             |
| Teilprojekt   | alle                               | Teilprojekt                             | selbstoptimierende Heizungsregelung      |
| Lieferung: ein Mal zu Beginn, 430 Nutzeinheiten (überwiegend Wohnungen) |                                    | Lieferung: quartalsweise, 1 Messpunkt   |  |
| Tabelle: Nutzeinheit  |                                    | Tabelle: Monatsbilanz_Wärmezentrale     |  |
| Code_Messpunkt  | Messpunkt des Zählers              | Monat                                   | Nummer des Monats                        |
| Stromverbrauch_HT   | HT-Verbrauch der NE (Quartalswert) | Anteil Fernwärme                        | Bezogene Fernwärme                       |
| Stromverbrauch_NT   | NT-Verbrauch der NE (Quartalswert) | Anteil AbwärmeOIZ                       | Genutzte Abwärme OIZ                     |
| Teilprojekt   | Stromeffizienzoptimierung          | Teilprojekt                             | selbstoptimierende Heizungsregelung      |
| Lieferung: quartalsweise, 430 Nutzeinheiten                             |                                    | Lieferung: quartalsweise, 1 Messpunkt   |  |
| Tabelle: Gebäude  |                                    | Tabelle: Gebäude_Stromqualität          |  |
| Code_Gebäude  | Gebäudeadresse (Strasse und Nr.)   | Code_Gebäude                            | Gebäudeadresse (Strasse und Nr.)         |
| Zeitstempel   | Datum und Zeit (Viertelstunde)     | Code_Stromprodukt                       | Bezeichnung des Stromprodukts            |
| Stromverbrauch_NE   | Verbrauch aller Nutzeinheiten      | Lieferung                               | Lieferungen an NE und Allgemeinzähler    |
| Stromverbrauch_Allg   | Verbrauch des Allgemeinzählers     | Teilprojekt                             | Zertifizierung 2000-Watt-Leuchtturmareal |
| Produktion_PV   | Produktion PV-Anlage auf Gebäude   | Lieferung: quartalsweise für 13 Gebäude |  |
| Teilprojekt   | PV Eigenverbrauchsoptimierung      |   |  |
| Lieferung: quartalsweise für 13 Gebäude                                 |                                    |   |  |

Abbildung 4: Spezifikation der Datentabellen für Datenlieferung (ewz, 2016)



## 3 Heizung

### 3.1 Fragestellung

Im Kapitel Heizung wird auf folgende Fragen Bezug genommen:

- Wie hoch ist der Heizwärmeverbrauch der 13 Häuser im Vergleich zu den Planungswerten?
- Gibt es systematische Abweichungen aufgrund der unterschiedlichen Konzeptionen (Lüftungssysteme und Dämmungen)?
- Wie bewährt sich das Heizsystem von Haus M mit einer Abluft-Erdregister-Wärmepumpe im Vergleich zu den übrigen, mit Nahwärme beheizten Häusern?
- Wie bewährt sich das eingesetzte prädiktive und selbstoptimierende Heizregelsystem im Betrieb?

### 3.2 Heizsystem der Häuser A bis L

Zwölf der dreizehn Häuser auf dem Hunziker-Areal werden mit Heizwärme von einem Nahwärmeverbund versorgt. Der Nahwärmeverbund, vom Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz) als Contracting-Anlage realisiert, nutzt Abwärme des nahegelegenen Rechenzentrums der Stadt Zürich. Die Abwärme wird durch zwei grosse Ammoniak-Wärmepumpen auf das Temperaturniveau für Heizwärme (max. 40°C) und Warmwasser (60°C) erhöht. Heizwärme und Warmwasser werden den Häusern durch zwei separate Wärmenetze zugeführt.

Da die Abwärme des Rechenzentrums nicht reicht, um den gesamten Wärmebedarf der Siedlung zu decken, wird ein Teil der Wärme aus dem Fernwärmennetz der KVA Hagenholz eingespeist. Gemäss Abrechnung des Betreibers der Contractinganlage deckt die Abwärme rund 70 % des Wärmebedarfs, der Rest wird durch Fernwärme gedeckt. Das Fernwärmennetz der Stadt Zürich nutzt neben Abwärme aus der Kehrichtverbrennung auch Holz (Holzkraftwerk Aubruck), Umweltwärme (Wärmepumpe Walche) und rund 20 % Erdgas zur Deckung der Spitzenlast im Winter.

Die zentral erzeugte Heizwärme wird über Plattenwärmetauscher an die zwölf Häuser übergeben. Geregelte Durchflussventile stellen primärseitig eine möglichst grosse Spreizung zwischen Vor- und Rücklauftemperatur sicher. Der Temperaturunterschied zwischen Primär- und Sekundärseite liegt bei rund 3 bis 4°C. Die verhältnismässig grosse Grädigkeit der Wärmetauscher könnte der Grund sein, weshalb in der Übergangszeit bzw. zu Beginn der Heizsaison der Betreiber der Contractinganlage mehrmals intervenieren und die Vorlauftemperatur primärseitig vorübergehend erhöhen musste.

Die Wärmeverteilung erfolgt in den meisten Häusern über zwei Heizgruppen, eine für die Gewerberäume und deren Lüftungsanlagen im Erdgeschoss und eine für die Wohnungen in den Obergeschossen. Ausnahmen sind die Häuser B, F und I, die nur über eine Heizgruppe verfügen.

Die Wärmeabgabe erfolgt in allen Wohnungen und Gewerberäumen über die Fußbodenheizung. In den Räumen sind keine Heizregler vorhanden, d.h. die Nutzer können die Raumtemperatur nicht individuell regeln<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> In Ausnahmefällen hat die Hauswartung durch Anpassung der Durchflussventile am Wohnungsheizverteiler die Heizleistung einzelner Heizkreise nachjustiert.

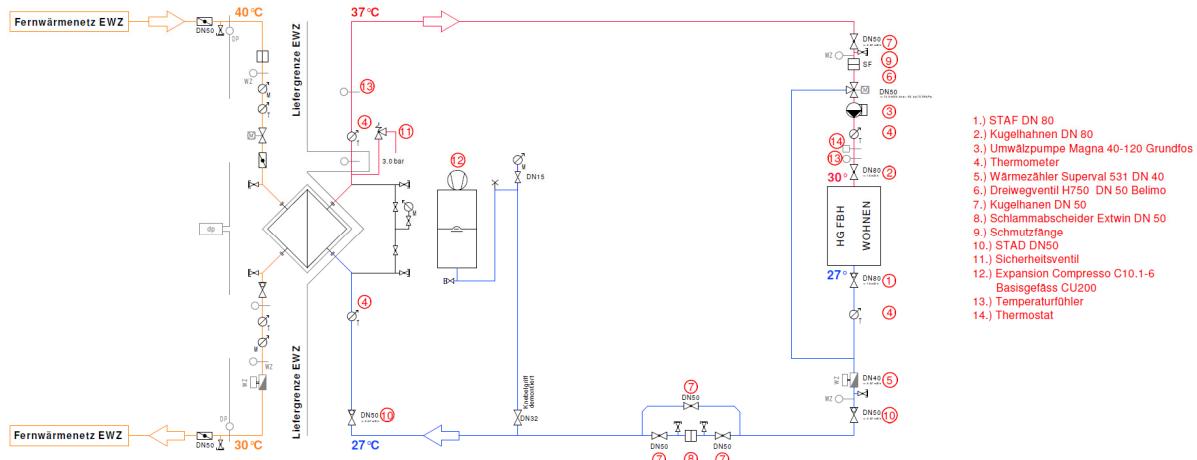


Abbildung 5: Prinzipschema Übergabestation und Heizgruppe von Haus B (Carnotech AG, 2013)

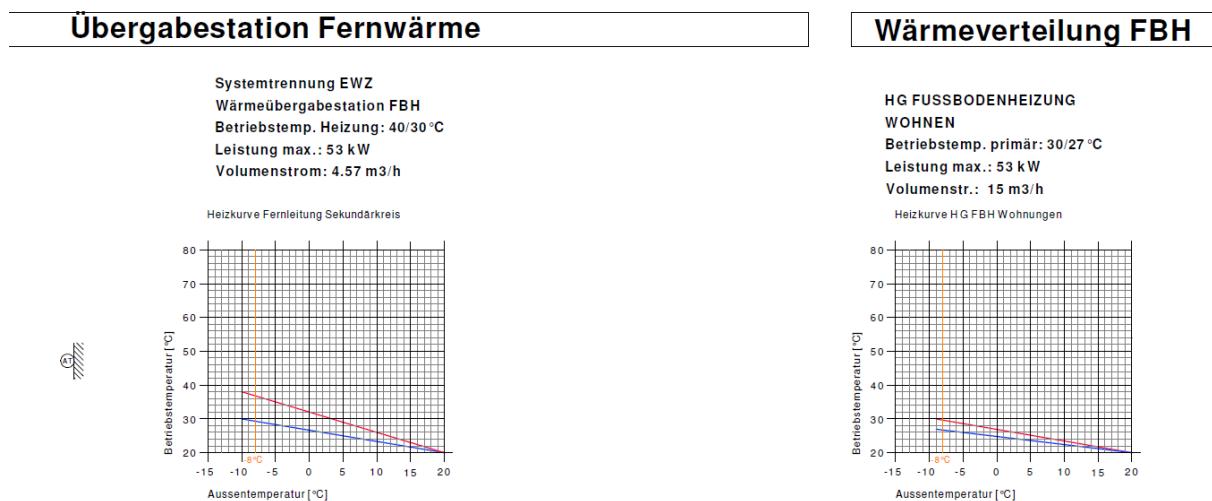


Abbildung 6: Planungswerte der Systemtemperaturen von Haus B (Carnotech AG, 2013)

### 3.3 Heizsystem Haus M

Erst während der Ausführung wurde beschlossen, Haus M mit einer autonomen Wärmeerzeugung auszurüsten. Gründe dafür waren die begrenzte Heizleistung des Nahwärmeverbunds sowie der Wunsch die unterschiedlichen Wärmeerzeugungssysteme im Betrieb vergleichen zu können.

Eine mehrstufige Wärmepumpenanlage nutzt primär Abluft als Wärmequelle. Im Winter wird zusätzlich ein Erdregister unter der Bodenplatte des Gebäudes genutzt. Das Erdregister wird durch eine thermische Solaranlage mit verglasten Flachkollektoren regeneriert. Zudem wird die Solarwärme zur Vorwärmung des Warmwassers genutzt.

Die Wärmeverteilung erfolgt über zwei Heizgruppen für Gewerbe und Wohnungen, wobei die Vorlauftemperatur beider Heizgruppen durch denselben Heizregler vorgegeben wird. Im Unterschied zu den übrigen zwölf Häusern kann in Haus M die Raumtemperatur über Raumregler individuell eingestellt werden. Damit die Raumregler bei Bedarf auch eine Erhöhung der Raumtemperatur zulassen, liegt die Vorlauftemperatur der Heizgruppen in Haus M rund 3 bis 4 °C höher als in allen anderen Häusern. Zudem werden, wie bei Wärmepumpen üblich, die Heizgruppen in Haus M auf die Rücklauftemperatur anstatt auf die Vorlauftemperatur geregelt. Dies ermöglicht einen konstanteren Betrieb der Wärmepumpe.

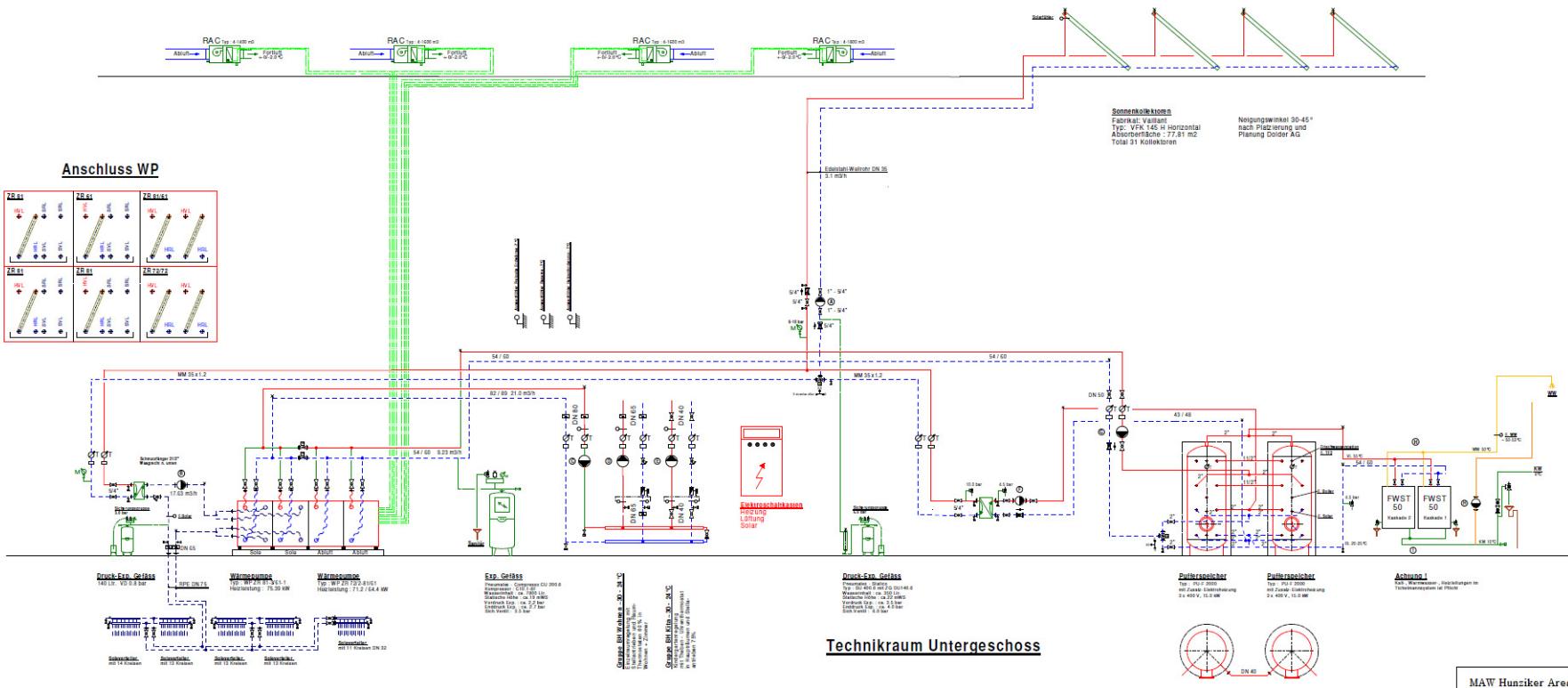


Abbildung 7: Prinzipschema Heizung, Lüftung und Warmwasser von Haus M (Dolder Wärmetechnik AG, 2014)



### 3.4 Heizungsregelung

Die Regelung der Heizung der dreizehn Häuser basiert auf einer Systemlösung welche prädiktiv und selbstoptimierend funktioniert. Dafür notwendig sind die von der Firma eGain verwendeten Module eGain sense™ und eGain forecast™.

Bei eGain sense™ werden die aktuellen Raumtemperaturen und die relative Luftfeuchtigkeit aller 370 Wohneinheiten alle fünf Minuten mittels batteriebetriebene Sensoren (siehe Abbildung 8) über Funk an Gateways im Treppenhaus und von dort aus über das Internet an den Server von eGain übermittelt.



Abbildung 8, links: Batteriebetriebener Sensor zur Messung von Temperatur und relativer Feuchte mit QR Code versehen, damit die Mieter ihr Innenraumklima ablesen können und rechts Aussentemperaturfühler auf dem Hunziker-Areal (eGain, 2015)

Pro Haus können dann auf der Online-Plattform von eGain die Temperatur- und Feuchtigkeitsdaten visualisiert werden. Abbildung 9 zeigt die aufgezeichneten Temperaturverläufe aller Nutzeinheiten eines Gebäudes in grau. Als orange Linie dargestellt, ist die durchschnittliche Raumtemperatur des Gebäudes. Sie entspricht dem Mittelwert aller aufgezeichneten Raumtemperaturen. In grün eingezeichnet ist das anzustrebende Komfortband. Der Sollwert der Vorlauftemperatur wird dann so gesteuert, dass die durchschnittliche Raumtemperatur aller Wohnungen im Haus möglichst im definierten Komfortband zu liegen kommt. Auf das gewählte Komfortband und die Streuung der Temperaturkurven der einzelnen Wohnungen wird in der Diskussion eingegangen.

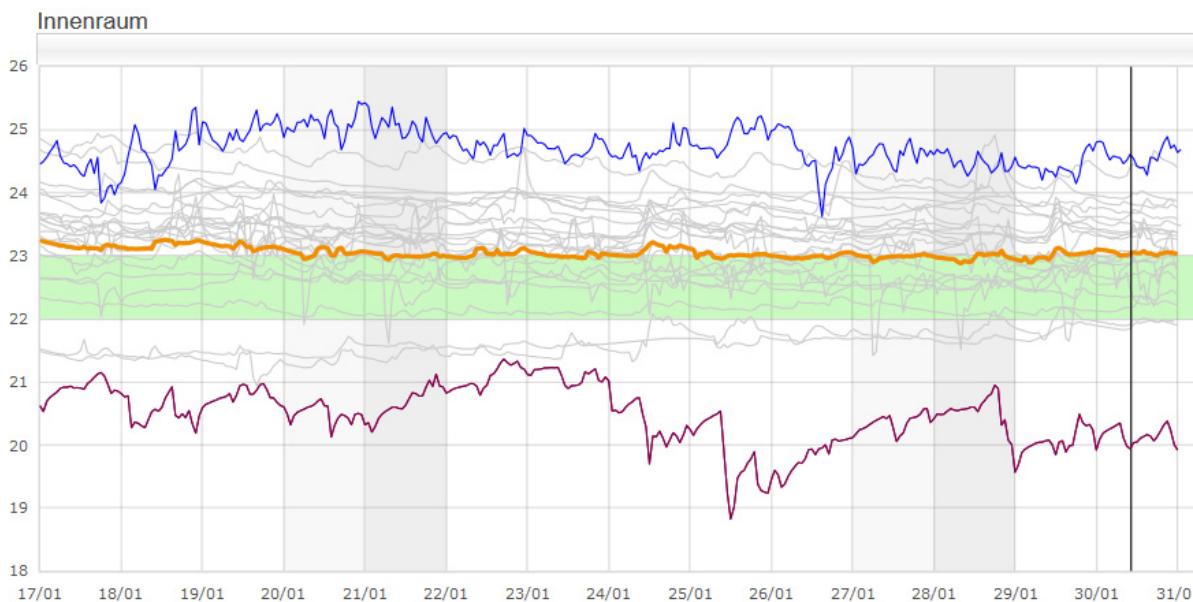


Abbildung 9: Gemessene Raumtemperaturen der Wohnungen eines Hauses (graue Linien), durchschnittliche Raumtemperatur aller Wohnungen (orange Linie) und angestrebtes Komfortband von 22 bis 23°C (grüne Fläche); auffallend ist die grosse Spreizung zwischen der wärmsten (blaue Linie) und der kältesten Wohnung (violette Linie), die in den meisten Häusern zwischen permanent 3 bis 4°C beträgt (eGain, 2017)

Als zweites zentrales Element der Heizungssteuerung dient eGain forecast™ welches eine Vorhersage der Außentemperatur ermöglicht. Täglich werden die Werte mit Wetterdaten von MeteoSchweiz (Station Zürich Kloten) aktualisiert. Die Prognose deckt jeweils die kommenden fünf Tage ab. Die Vorhersage der Außentemperatur wird mittels einer lokalen Temperaturmessung auf dem Hunziker-Areal präzisiert (siehe Abbildung 9). Der Algorithmus von eGain kann neben der Außentemperatur auch die Solarstrahlung, die Windgeschwindigkeit und die Niederschläge berücksichtigen (siehe Abbildung 11). Die Gebäudeeigenschaften wie Speichermasse, Gebäudehüllzahl, Glasanteil, Windexposition etc. werden mit konstanten Parametern berücksichtigt. Die 13 Häuser werden weitgehend mit den gleichen, für Neubauten typischen Gebäudeparametern abgebildet.

Aus den gemessenen Raumtemperaturen und den prognostizierten Wetterdaten berechnet das System eine Äquivalenztemperatur, welche dem Heizungsregler anstelle der tatsächlichen lokalen Außentemperatur als externer Regelinput dient. In Abbildung 10 sind die Temperaturverläufe zu Beginn der ersten Heizperiode dargestellt. Die Äquivalenztemperatur liegt in diesem Beispiel bis auf wenige Ausnahmen 3 bis 5°C über der gemessenen Temperatur.

Die beschriebene Regelung entspricht einem regelbasierten prädiktiven System (grey box rule based predictive control).



Abbildung 10: Äquivalenztemperatur (blau), gemessene Temperatur (grün) und prognostizierte Temperatur (rot) (eGain, 2015)

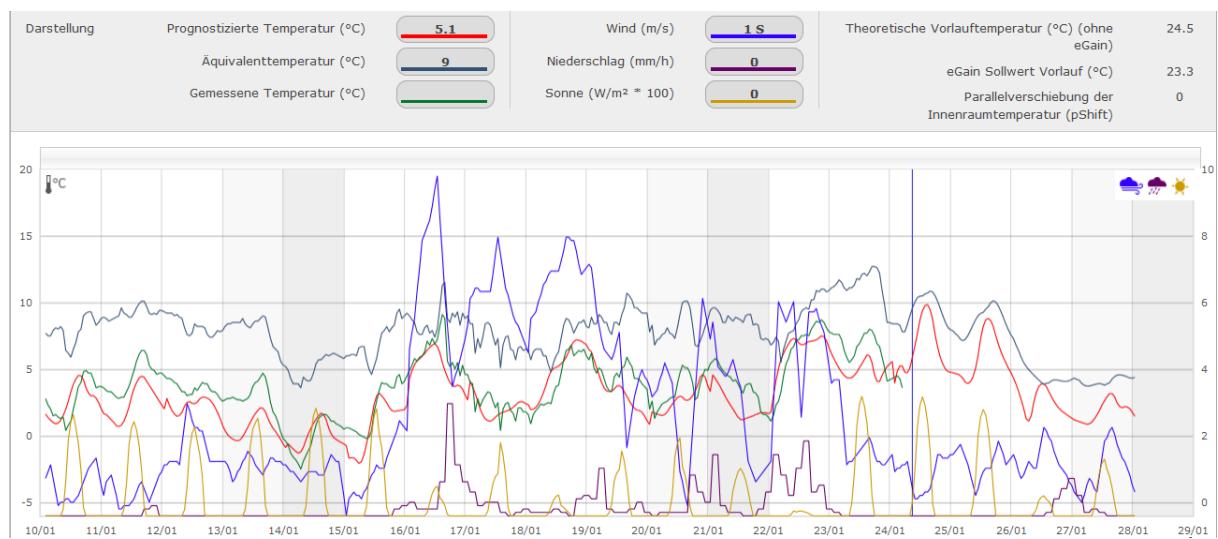


Abbildung 11: Darstellung der vollständigen von eGain berücksichtigten Klimadaten: Aussentemperatur, Wind, Niederschläge und Solarstrahlung (eGain, 2017)

Neben der prädiktiven Regelung verfügt eGain auch über eine Selbstoptimierungsfunktion, welche die Heizkurve selbstständig optimiert. In Abbildung 12 ist die aktuelle Einstellung der Heizkurve in blau und die vom System vorgeschlagene optimierte Heizkurve in orange dargestellt. In grün ist die anfänglich eingestellte Heizkurve eingetragen. Wie am Beispiel dieses Gebäudes ersichtlich ist, wurde die Heizkurve bei tiefen Aussentemperaturen am Heizungsregler leicht höher eingestellt. Der Optimierungsvorschlag (in orange) sieht bei höheren Aussentemperaturen eine Absenkung der Heizkurve vor.



Abbildung 12: Selbstlernende Optimierung der Heizkurve: die aufgrund der in der Vergangenheit gemessenen Raumtemperaturen optimierte Heizkurve ist in orange, die aktuell am physischen Heizungsregler eingestellte Heizkurve in blau, und die Anfangseinstellung in grün dargestellt (eGain, 2017)

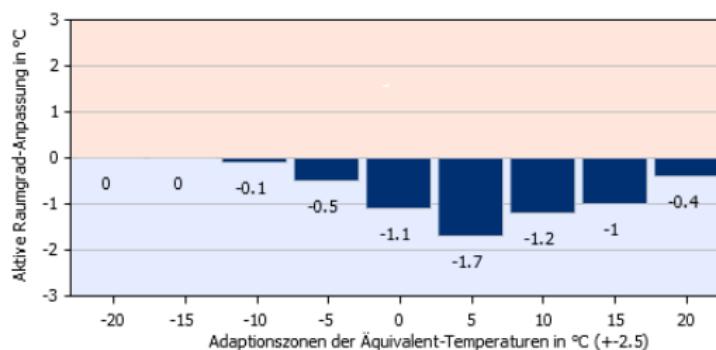


Abbildung 13: Berechnete Auswirkung der optimierten Heizkurve aus Abbildung 12 auf die Raumtemperaturen; Lesebeispiel: eine Reduktion der Vorlauftemperatur von 25 auf 18°C bewirkt bei einer Außentemperatur von 5°C eine Reduktion der Raumtemperatur um 1.7°C (eGain, 2017)

## 3.5 Resultate

### 3.5.1 Erfahrungen mit der Heizungsregelung

Die Erfahrungen mit dem Regelsystem sind insgesamt positiv. Einen grossen Mehrwert stellen die Temperatur- und Feuchtemessdaten in jeder einzelnen Wohneinheit dar. Bei auftretenden Problemen sind die Daten eine hilfreiche Grundlage um schneller zu den Ursachen und möglichen Lösungen vordringen zu können. Das ganze System auf einer Onlineplattform aufgeschaltet zu haben erleichtert die Bedienung und unterstützt die Feinjustierung der Heizkurven im Betrieb.

Bei der Installation von eGain sense™ wurde die Reichweite des Funk-Signals überschätzt. Durch die massiven Decken- und Wandstärken mussten zusätzliche Repeater im Flur installiert werden, damit das Signal der Fühler überhaupt auf den zentralen Server gelangen kann.



Der Start in die erste Heizperiode gestaltete sich ebenfalls schwierig. Es war ursprünglich geplant das Komfortband für die durchschnittliche Wohnungstemperatur pro Haus auf 20 bis 21°C zu setzen. Bereits im September 2015 gab es allerdings diverse Mieterreklamationen. Die Genossenschaft entschied, dass sich die durchschnittliche Raumtemperatur aller Häuser zwischen 22 und 23 °C Raumtemperatur einpendeln sollte. Das hoch eingestellte Komfortband ist auch bedingt durch die verhältnismässig grosse Temperaturspreizung zwischen der wärmsten und der kältesten Wohnung von permanent 3 bis 4 °C (siehe Abbildung 14) in den meisten Häusern. Bei einem Komfortband von 21 bis 22°C wird riskiert, dass die Raumtemperatur der kälteren Wohnungen zweitweise und 20°C fällt. Zudem besteht insbesondere in den Häusern mit Aussenluftdurchlässen in der Regel ein Temperaturgefälle von rund 0.5 bis 1 K, in Einzelfällen bis zu 3 K zwischen den Räumen an der Fassade und den innenliegenden Räumen. Der Sensor von eGain ist in innenliegen Räumen, z.B. im Korridor installiert, und misst daher im Winter eher höhere Raumtemperaturen, als tatsächlich in den Wohn- und Schlafzimmern an der Fassade herrschen.

Abbildung 14 zeigt den Zusammenhang zwischen Heizkurve und Raumtemperatur sowie den Einfluss der thermischen Trägheit des Gebäudes: am 20. November 2017 wurde die Heizkurve für Testzwecke bei +20°C Aussentemperatur um 1°C von 20 auf 21°C erhöht; dies bewirkte im Verlauf der darauffolgenden 14 Tage eine Erhöhung der durchschnittlichen Raumtemperatur aller Wohnungen um 1 °C.

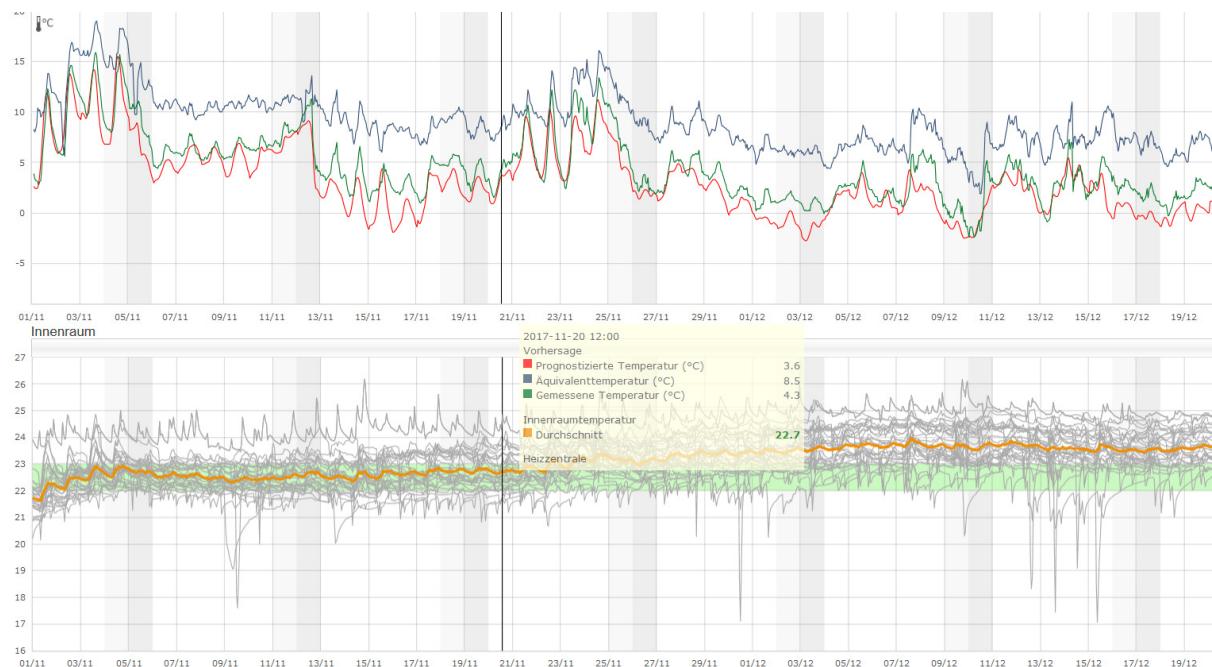


Abbildung 14, oben: Gemessene Aussenlufttemperatur (grün), prognostizierte Temperatur (rot), Äquivalenztemperatur (blau). Unten: Wohnungstemperaturen; nach Erhöhung der Heizkurve am Heizungsregler am 20.11.2017 um 1°C steigen die Raumtemperaturen über einen Zeitraum von 14 Tagen um rund 1°C (eGain, 2017)

### 3.5.2 Heizwärmeverbrauch

In Abbildung 15 sind die Heizwärmeverbräuche der ersten beiden Heizperioden der 13 Häuser dargestellt. Die Planungswerte gemäss SIA 380/1, unter Berücksichtigung des thermisch wirksamen Aussenluftvolumenstroms ( $Q_{h,eff}$ ), sind als schwarze Linien ersichtlich. Die Planungswerte beruhen auf den Angaben der Fachplaner zum Zeitpunkt der Erstellung der Energienachweise (2013). Die tatsächlich ausgeführten Lüftungsanlagen weichen teilweise von diesen Werten ab. Zudem wurde der geförderte Luftvolumenstrom in den meisten Häusern im Betrieb weiter abgesenkt (siehe Kapitel 5).

Der gemessene Heizwärmeverbrauch von zwölf Häusern liegt zwischen 20 und 30 kWh/m<sup>2</sup>. Mit Blick auf die Planungswerte ist bei den meisten Häusern eine eher geringe Abweichung zum gemessenen Heizwärmeverbrauch zu verzeichnen. Die Ausnahme bilden neben dem noch zu diskutierenden Haus M die Häuser A, B, F und I (alle mit Zu-/Abluftanlagen), welche den Planungswert des theoretischen thermischen Volumenstroms um rund 100 % überschreiten. Die unterschiedlich hohen Planungswerte bei den Häusern mit Abluftanlagen beruhen primär auf unterschiedlichen Annahmen der beauftragten Lüftungsplaner bezüglich der Infiltrationsverluste. Die angenommenen spezifischen thermisch wirksamen Aussenluftvolumenströme inkl. Infiltration liegen bei den Abluftanlagen im Bereich von 0.66 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>h) (Haus G) bis 1.29 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>h) (Häuser E und H). Der höhere Wert von 1.29 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>h) entspricht etwa den Vorgaben gemäss SIA 380/1:2016, Ziffer 3.5.5.2, die für einstufige ungeregelte Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen einen Korrekturfaktor für die Lüftungseffektivität von 0.8 vorsieht.

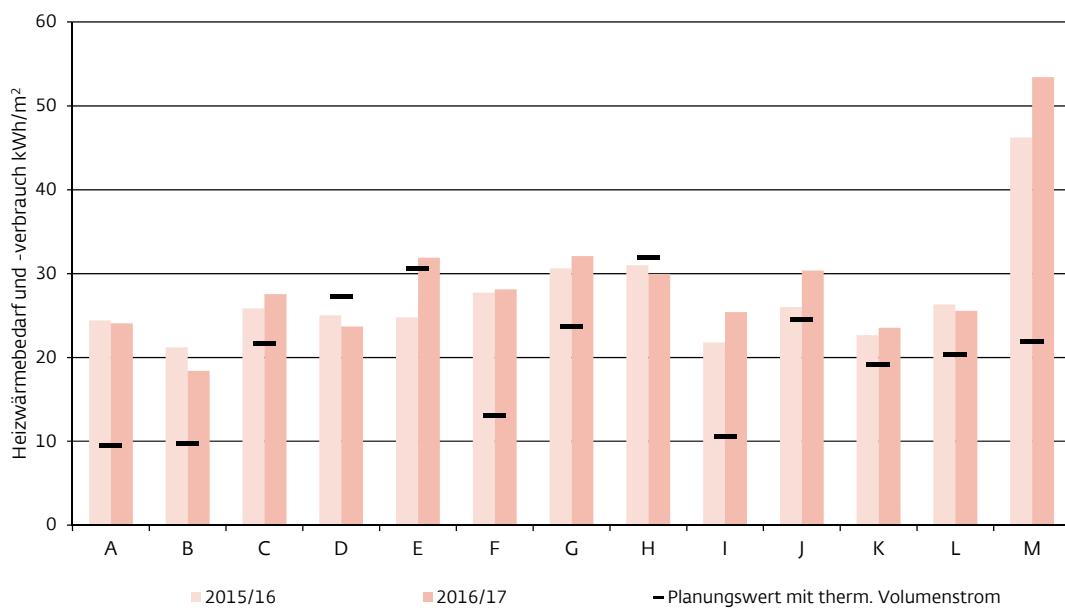


Abbildung 15: Heizwärmeverbrauch pro Heizperiode und Energiebezugsfläche (Lemon Consult AG, 2017); Planungswerte mit Standard-Raumlufttemperatur und theoretischen thermisch wirksamen Aussenluftvolumenstrom

In Abbildung 16 sind die Heizwärmeverbräuche auf der Grundlage der Heizgradtage pro Heizsaison klimakorrigiert dargestellt. Die korrigierten Werte liegen leicht höher als die Messwerte, da die Aussentemperaturen in den beiden ausgewerteten Heizperioden über dem langjährigen Mittel lagen (2015/16: +10 %, 2016/17: +4 %).

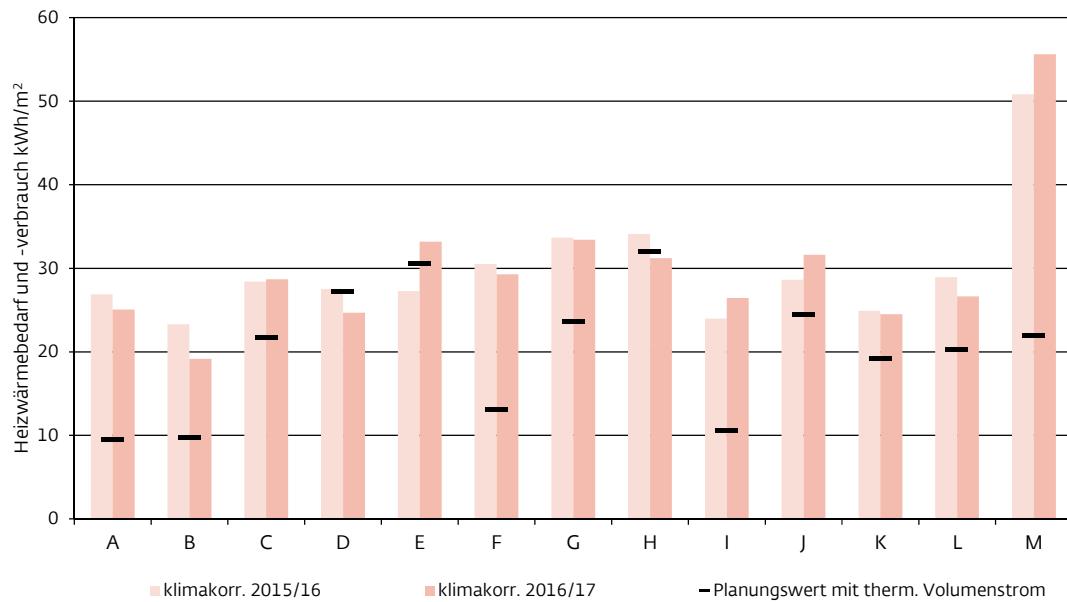


Abbildung 16: Klimakorrigierter Heizwärmeverbrauch pro Heizperiode und Energiebezugsfläche (Lemon Consult, 2017); Planungswerte mit Standard-Raumlufttemperatur und theoretischen thermisch wirksamen Außenluftvolumenstrom

### Einfluss der Konstruktionsweise

Der Einfluss der Fassadenkonstruktion auf den Heizwärmeverbrauch lässt sich aufgrund der geringen Anzahl Objekte und der zahlreichen weiteren Einflussfaktoren nicht statistisch auswerten. Dennoch lassen sich auf der Ebene von Einzelobjekten gewisse Tendenzen ablesen. So weist das Haus G mit einer Dämmbetonfassade, mit Ausnahme von Haus M (siehe unten), mit 33 kWh/m<sup>2</sup> den höchsten klimakorrigierten Heizwärmeverbrauch auf. Der Verbrauchswert liegt rund 8 kWh/m<sup>2</sup> über dem Planungswert ( $Q_h$ ) von 25 kWh/m<sup>2</sup>. Der Planungswert wurde mit einem statischen U-Wert der primären Misapor-Aussenwandkonstruktion (AW1) von 0.59 W/m<sup>2</sup>K gerechnet.

Die acht Häuser mit einer massiven Fassadenkonstruktion mit Aussendämmung (Haus B, C, D, E, F, H, K, L) liegen im Durchschnitt klimakorrigiert bei rund 27 kWh/m<sup>2</sup>. Die entsprechenden Planungswerte ( $Q_h$ ) liegen im Durchschnitt bei 20 kWh/m<sup>2</sup>.

Die zwei Häuser mit einer Holzmodulfassade (I, J) liegen im Durchschnitt klimakorrigiert ebenfalls bei rund 27 kWh/m<sup>2</sup>. Die entsprechenden Planungswerte ( $Q_h$ ) liegen im Durchschnitt bei 22 kWh/m<sup>2</sup>.

Zu den zwei Häusern mit einem Einstein-Mauerwerk (A, M) sind aufgrund der grossen Unterschiede keine vergleichenden Aussagen möglich. In Abbildung 17 sind nur die Werte von Haus A dargestellt.

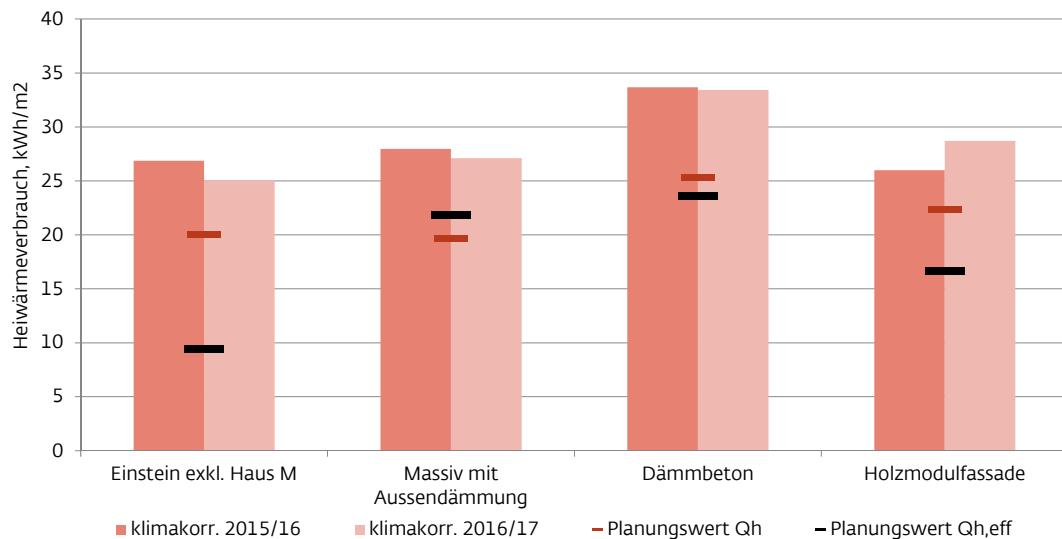


Abbildung 17: Klimakorrigierter Heizwärmeverbrauch pro Fassadenkonstruktionsweise, im Vergleich zu den Planungswerten; aufgrund der geringen Anzahl Objekte sind die Werte nicht verallgemeinerbar (Lemon Consult, 2017)

### Einfluss des Lüftungssystems

Die Art des Lüftungssystems hat einen geringeren Einfluss auf den gemessenen Heizwärmeverbrauch als aufgrund der Planungswerte zu erwarten wäre. Auffallend ist, dass die klimakorrigierten Verbrauchswerte der vier Häuser mit Zu-/Abluftanlagen (A, B, F, I) im Durchschnitt mit rund 15 kWh/m<sup>2</sup> deutlich über den mit dem thermisch wirksamen Außenluftvolumenstrom berechneten Planungswerten ( $Q_{h,eff}$ ) liegen. Bei den übrigen Häusern mit reinen Abluftanlagen und Außenluftdurchlässen liegt der klimakorrigierte Heizwärmeverbrauch mit Ausnahme von Haus M im Durchschnitt rund 4 kWh/m<sup>2</sup> über dem entsprechenden Planungswert.

Immerhin verbrauchen die Häuser mit Zu-/Abluftanlagen in Durchschnitt rund 4 kWh/m<sup>2</sup> weniger Heizwärme als die Häuser mit Abluftanlagen. Haus B fällt mit dem niedrigsten Verbrauch auf. Das Haus verfügt als einziges über dezentrale Wohnungslüftungsgeräte, die mehrstufig betrieben werden können, während in allen anderen Häusern zentrale Lüftungsanlagen mit konstanten Volumenstrom installiert sind.

Weitergehende Untersuchungen bezüglich der unterschiedlichen Lüftungssysteme wurden im Rahmen eines Zusatzprojekts mit Unterstützung des AHB erarbeitet und sind als separater Forschungsbericht (siehe Kapitel 5.3.4) publiziert.

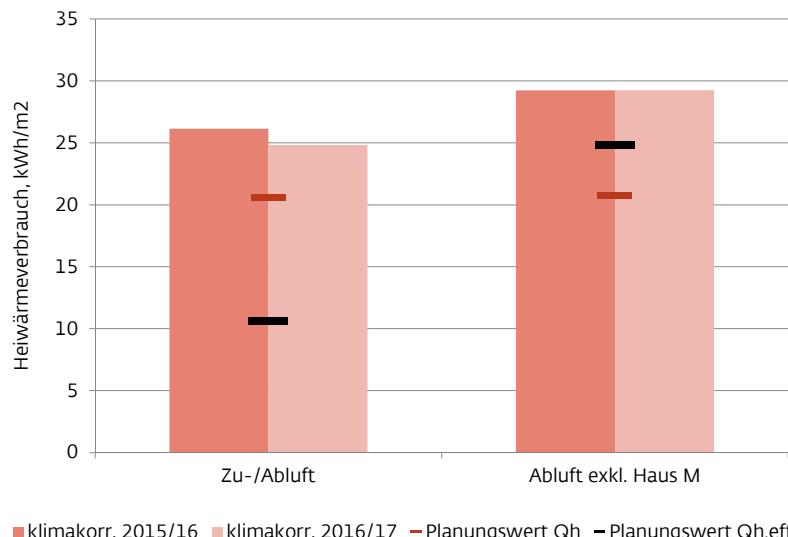


Abbildung 18: Klimakorrigierter Heizwärmeverbrauch pro Lüftungssystem im Vergleich zu den Planungswerten; aufgrund der geringen Anzahl Objekt sind die Werte mit Vorsicht zu interpretieren (Lemon Consult, 2017)

#### Einfluss des Heizsystems von Haus M

Völlig aus der Reihe fällt Haus M mit einem durchschnittlichen Heizwärmeverbrauch von 53 kWh/m<sup>2</sup> im Durchschnitt über die zwei ersten Heizperioden. Im Unterschied zu den anderen Häusern kann in Haus M die Raumtemperatur über Raumthermostaten individuell geregelt werden. Die Vorlauftemperaturen sind aufgrund der Vorgaben des Heizungsunternehmers rund 3°C höher eingestellt, als in den anderen Häusern. Die durchschnittliche Raumtemperatur aller Wohnungen liegt gemäss Auswertung der eGain Messdaten mit 23.6 °C auch deutlich über dem Durchschnitt aller Häuser von 22.9 °C. Im Erdgeschoss von Haus M befindet sich ein Kindergarten, der im Vergleich zu Wohnräumen einen deutlichen erhöhten Außenluftanteil aufweist.

Im Gegensatz zu allen anderen Häusern verfügt Haus M über eine eigene Wärmeerzeugung mit einer Kombination von Abluft- und Erdregisterwärmepumpen. Um die Leistung der Abluftwärmepumpen nicht zu beeinträchtigen, konnte der Abluftvolumenstrom in Haus M kaum reduziert werden. In allen anderen Häusern mit Abluft wurde der Volumenstrom zu Beginn der ersten Heizperiode auf 75 % bzw. 85 % (Haus J) des Nennwerts reduziert. Zudem wird die Bodenplatte von Haus M über ein Erdregister als Wärmequelle genutzt. Das Untergeschoss in Haus M ist daher im Winter spürbar kühler als in den anderen Häusern, was zu höheren Wärmeverlusten im Erdgeschoss führt.

Der fast doppelt so hohe Heizwärmeverbrauch von Haus M lässt sich auch mit einer Kumulation der oben genannten Einflussfaktoren nicht abschliessend erklären.

### 3.5.3 Einfluss der Raumtemperatur auf den Heizwärmeverbrauch

Die umfangreichen Messdaten, die das System von eGain zu Raumtemperaturen und zur relativen Luftfeuchtigkeit der 370 Wohnungen erfasst, erlauben eine Auswertung der Korrelation zwischen der durchschnittlichen Raumtemperatur und dem Heizwärmeverbrauch pro Haus.

Die durchschnittlichen Raumtemperaturen aller Wohnungen pro Haus je Heizperiode sind in Abbildung 19 dargestellt. Die Durchschnittswerte liegen zwischen 22.2 und 23.7°C. Auffällig ist, dass in einigen Häusern, die in der ersten Heizperiode eher warm waren, die durchschnittliche Raumtemperatur in der zweiten Heizperiode deutlich gesenkt wurde (Haus A, B, D, H und K), während in anderen Häusern eine gegenläufige Entwicklung stattfand (Haus E, F, G, I, L und M). Eine Erhöhung der durchschnittlichen Raumtemperatur wurde in vielen Fällen (z.B. in Häusern E, G, I und M) durch Reklamationen einzelner Bewohner bezüglich zu kalter Räume ausgelöst.

Trotz umfangreicher Bemühungen aller Beteiligten und der Unterstützung durch die Messdaten und den zusätzlichen Regelfunktionen von eGain ist es also nicht gelungen, die durchschnittliche Raumtemperatur aller Häuser auf einem ähnlichen Niveau einzupendeln.

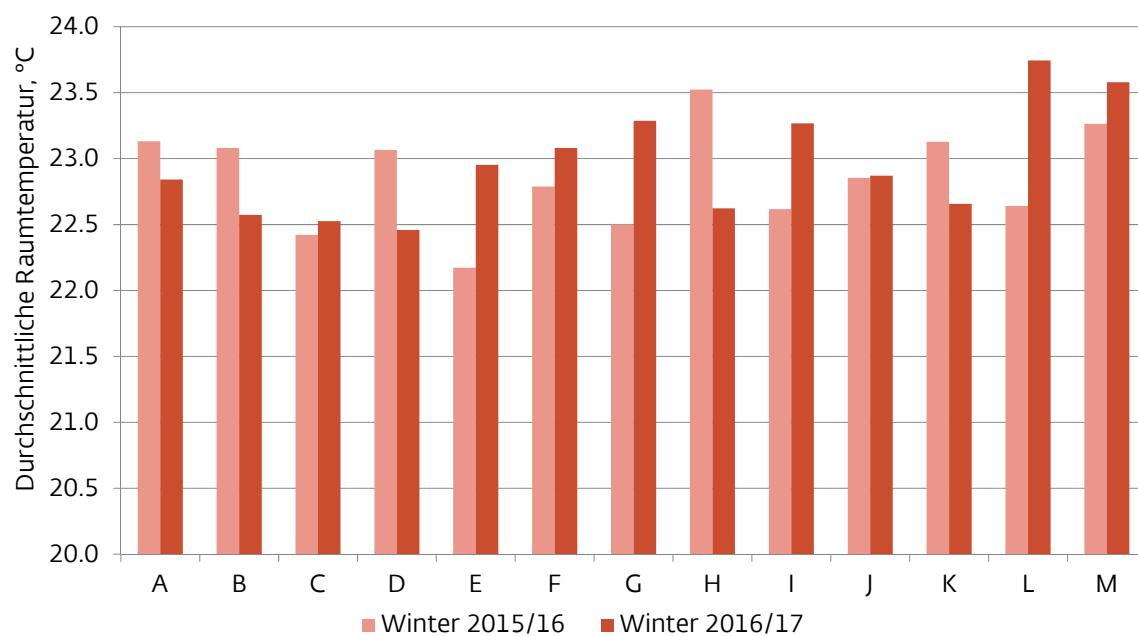


Abbildung 19: Durchschnittliche gemessene Raumtemperaturen in den Innenräumen aller Wohnungen pro Haus in den Heizperioden 2015/16 und 2016/17 (Lemon Consult, 2017)

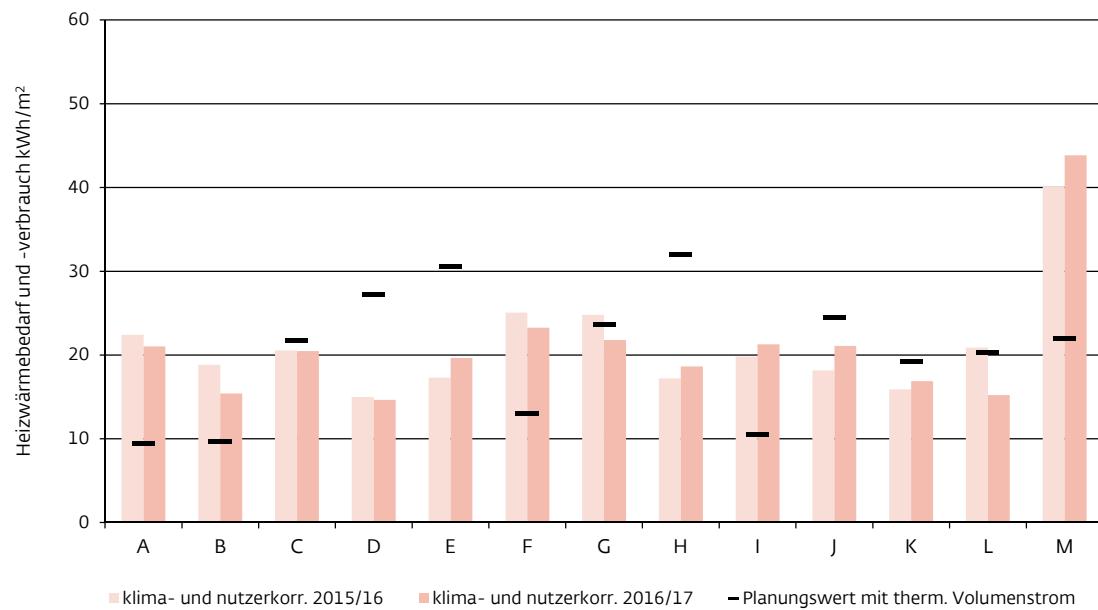


Abbildung 20: Klima- und Raumtemperatur-korrigierter und auf 20°C umgerechneter Heizwärmeverbrauch pro Heizperiode und Energiebezugsfläche (Lemon Consult, 2017)

Wie Abbildung 21 zeigt, ist die Korrelation zwischen der durchschnittlichen Raumtemperatur und dem spezifischen klimakorrigierten Heizwärmeverbrauch pro Haus nur sehr schwach, mit einem Regressionskoeffizienten von  $R^2 = 0.0925$  in der Heizperiode 2015/16 und  $R^2 = 0.269$  in der Heizperiode 2016/17. Wie zu erwarten war, sind neben der Raumtemperatur auch andere Einflussgrößen (z.B. Aussenluftvolumenstrom, solare Wärmeeinträge, Konstruktionsweise, Bauaustrocknung etc.) massgebend für den tatsächlichen Heizwärmeverbrauch.

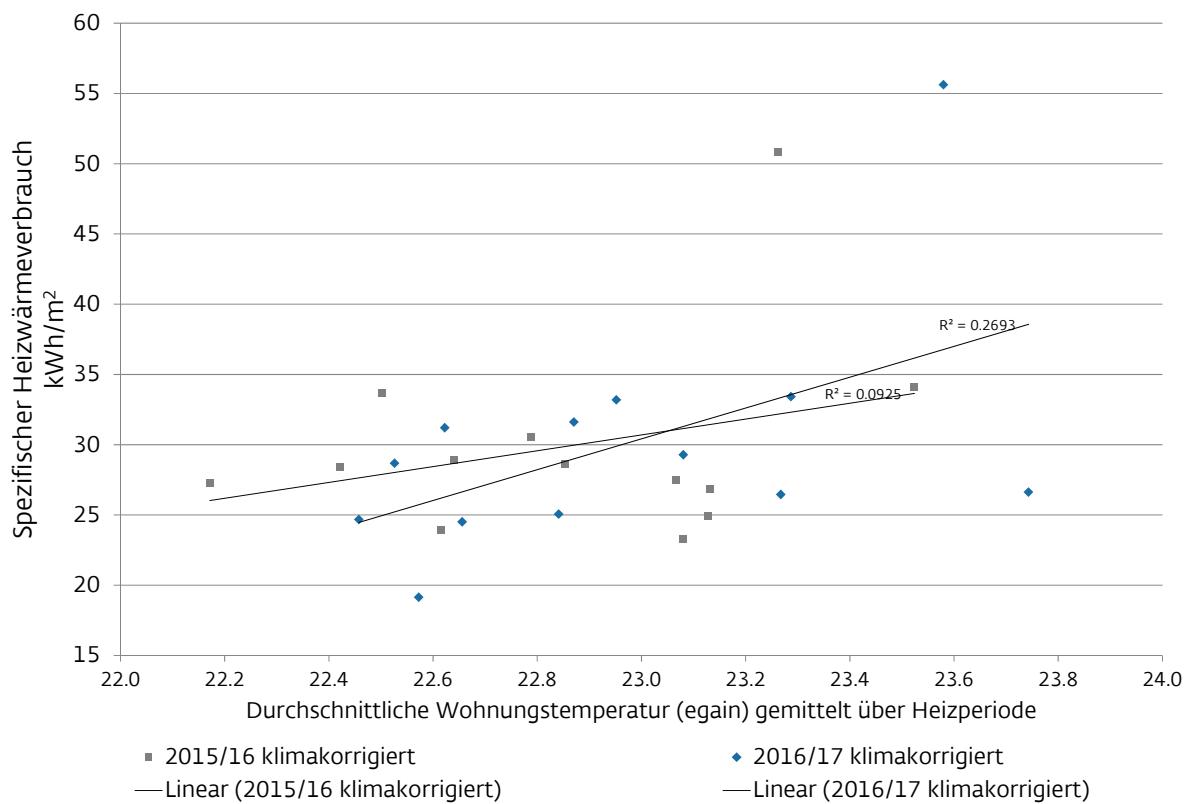


Abbildung 21: Die Korrelation zwischen der durchschnittlichen Raumtemperatur und dem Heizwärmeverbrauch ist sehr schwach (Lemon Consult, 2017)



Die Werte der durchschnittlichen Raumtemperatur und des spezifischen Heizwärmeverbrauchs ohne und mit Klimakorrektur sind in Tabelle 2 und 3 wiedergegeben. Bei einzelnen Häusern scheint ein Zusammenhang zwischen der Veränderung der durchschnittlichen Raumtemperatur und des spezifischen Heizwärmeverbrauchs zwischen der ersten und der zweiten Heizperiode zu bestehen.

So wurde z.B. in den Häusern A, B, D und H die durchschnittliche Raumtemperatur zwischen der ersten und der zweiten Heizperiode um 0.3 bis 0.9 °C reduziert. Der spezifische Heizwärmeverbrauch ist im gleichen Zeitraum um 7 bis 18 % gesunken. Bei den Häusern E, I und M ist die durchschnittliche Raumtemperatur um 0.3 bis 0.8 °C gestiegen und der spezifische Heizwärmeverbrauch hat um 9 bis 22 % zugenommen. Bei den übrigen Häusern lässt sich kein linearer Zusammenhang zwischen der Veränderung der durchschnittlichen Raumtemperatur und dem spezifischen Heizwärmeverbrauch ablesen. Dies schlägt sich auch in den geringen Regressionskoeffizienten in Abbildung 21 nieder.

Interessant sind in Tabelle 2 und Tabelle 3 auch die durchschnittlichen Werte der relativen Raumluftfeuchtigkeit. Zwischen der ersten und der zweiten Heizperiode gibt es nur kleine Änderungen, obwohl im Verlaufe der ersten Heizperiode in den meisten Häusern der mechanisch geförderte Aussenluftvolumenstrom um 20 bis 30 % gesenkt wurde. Die oft diskutierte Bauaustrocknung, die zumindest im ersten Betriebsjahr erhöhte Luftfeuchtigkeitswerte erwartet liess, macht sich offensichtlich auch nur geringfügig bemerkbar.

Auffällig sind die Häuser A, I und M, deren relative Luftfeuchtigkeitswerte zumindest in der zweiten Heizperiode rund 5 % unter dem Durchschnitt liegen. Dies lässt auf einen erhöhten spezifischen Aussenluftvolumenstrom in diesen Häusern schliessen, was sich wiederum auf einen gegenüber dem Planungswert erhöhten Heizwärmeverbrauch auszuwirken scheint.

Tabelle 2: Durchschnittliche in den Innenräumen gemessene Raumtemperatur und relative Luftfeuchtigkeit im Vergleich zum Heizwärmeverbrauch ohne und mit Klimakorrektur, Heizperiode 2015/16 (Lemon Consult AG, 2017)

| HEIZPERIODE 2015 - 2016 | eGain  |  |                |             |                             | ewz                         |                     |
|-------------------------|--|--|----------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|
|                         | GEMESSEN   |  |                |             |                             | 1. GEMESSEN                 | 2. Klimakorrektiert |
| Haus                    | Temperatur-Mittelwert<br>15.Okt 2015 - 15.April 2016 | rF-Mittelwert<br>15.Okt 2015 - 15.April 2016 | StDev<br>Temp. | StDev<br>RF | Spez.<br>Heizwärmeverbrauch | Spez.<br>Heizwärmeverbrauch |                     |
| A                       | 23.1   | 34.3   | 0.7            | 1.3         | 24.4                        | 26.9                        |                     |
| B                       | 23.1   | 42.5   | 0.8            | 3.3         | 21.2                        | 23.3                        |                     |
| C                       | 22.4   | 40.1   | 0.7            | 3.2         | 25.8                        | 28.4                        |                     |
| D                       | 23.1   | 39.4   | 0.5            | 3.7         | 25.0                        | 27.5                        |                     |
| E                       | 22.2   | 38.6   | 0.8            | 3.1         | 24.8                        | 27.2                        |                     |
| F                       | 22.8   | 39.2   | 0.7            | 2.3         | 27.7                        | 30.5                        |                     |
| G                       | 22.5   | 37.4   | 0.7            | 3.7         | 30.6                        | 33.7                        |                     |
| H                       | 23.5   | 40.0   | 0.6            | 2.1         | 31.0                        | 34.1                        |                     |
| I                       | 22.6   | 38.6   | 0.5            | 2.6         | 21.8                        | 24.0                        |                     |
| J                       | 22.9   | 41.1   | 1.0            | 3.8         | 26.0                        | 28.6                        |                     |
| K                       | 23.1   | 41.7   | 0.5            | 3.7         | 22.6                        | 24.9                        |                     |
| L                       | 22.6   | 42.6   | 0.7            | 3.3         | 26.3                        | 28.9                        |                     |
| M                       | 23.3   | 38.7   | 0.6            | 2.7         | 46.2                        | 50.8                        |                     |



Tabelle 3: Durchschnittliche in den Innenräumen gemessene Raumtemperatur und relative Luftfeuchtigkeit im Vergleich zum Heizwärmeverbrauch ohne und mit Klimakorrektur, Heizperiode 2016/17 (Lemon Consult AG, 2017)

| HEIZPERIODE 2016 - 2017 | eGain  |   |                |             |                             | ewz                         |                    |
|-------------------------|--|---|----------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|
|                         | GEMESSEN   |   |                |             |                             | 1. GEMESSEN                 | 2. Klimakorrigiert |
| Haus                    | Temperatur-Mittelwert<br>15.Okt 2016 - 15.April 2017 | RF-Mittelwert<br>15.Okt 2016 - 15.April<br>2017 | StDev<br>Temp. | StDev<br>RF | Spez.<br>Heizwärmeverbrauch | Spez.<br>Heizwärmeverbrauch |                    |
| A                       | 22.8   | 34.3  | 0.5            | 0.8         | 24.1                        | 25.1                        |                    |
| B                       | 22.6   | 43.4  | 0.8            | 3.5         | 18.4                        | 19.1                        |                    |
| C                       | 22.5   | 39.0  | 0.5            | 3.9         | 27.5                        | 28.7                        |                    |
| D                       | 22.5   | 39.9  | 0.6            | 3.8         | 23.7                        | 24.7                        |                    |
| E                       | 23.0   | 40.4  | 0.8            | 2.6         | 31.9                        | 33.2                        |                    |
| F                       | 23.1   | 39.9  | 0.8            | 4.4         | 28.1                        | 29.3                        |                    |
| G                       | 23.3   | 40.0  | 0.7            | 4.7         | 32.1                        | 33.4                        |                    |
| H                       | 22.6   | 43.8  | 0.7            | 2.2         | 30.0                        | 31.2                        |                    |
| I                       | 23.3   | 35.5  | 0.5            | 3.2         | 25.4                        | 26.5                        |                    |
| J                       | 22.9   | 41.5  | 1.2            | 3.2         | 30.4                        | 31.6                        |                    |
| K                       | 22.7   | 41.5  | 0.5            | 5.8         | 23.5                        | 24.5                        |                    |
| L                       | 23.7   | 38.5  | 0.0            | 0.0         | 25.6                        | 26.6                        |                    |
| M                       | 23.6   | 33.8  | 0.8            | 2.8         | 53.4                        | 55.6                        |                    |



## 3.6 Diskussion und Empfehlungen

### 3.6.1 Grundsätzliche Einordnung der Ergebnisse

Insgesamt kann für die ersten beiden Betriebsjahre trotz zahlreicher Mieterreklamationen zu Beginn der ersten Heizperiode eine positive Bilanz gezogen werden. Die klimakorrigierten Heizwärmeverbräuche liegen zwar im Durchschnitt über den Planungswerten (Durchschnitt aller Häuser über zwei Heizperioden: 30 kWh/m<sup>2</sup>; durchschnittlicher Planungswert ( $Q_{h,eff}$ ): 20.3 kWh/m<sup>2</sup>) sind aber im Vergleich zu ähnlichen Neubau-Wohnsiedlungen in der Stadt Zürich mit typischen Heizwärmeverbräuchen von 35 bis 50 kWh/m<sup>2</sup> tiefer.

Dank den flächendeckenden Temperaturmessungen von eGain sind geeignete Grundlagen für eine Analyse und Optimierung der Heizkurven vorhanden. Die Autoren gehen davon aus, dass ohne die zusätzlichen Überwachungs- und Regelfunktionen von eGain der Heizwärmeverbrauch des Areals rund 20 bis maximal 30 % höher liegen würde.

Im Betrieb hat sich allerdings gezeigt, dass die Einregulierung der Heizung trotz dieser zusätzlichen Informationen eine anspruchsvolle Aufgabe bleibt. Die Übersteuerung der realen Aussentemperatur mit einer berechneten Äquivalenztemperatur stellt eine zusätzliche Hürde bei der gezielten Suche nach hydraulischen und regeltechnischen Problemen dar. Zudem werden die Zuständigkeiten bei der Mängelbehebung und Einregulierung der Heizungsanlage bei eingeschalteter Selbsoptimierung komplexer und intransparenter. Für eine völlig selbständige Optimierung der Heizungsregelung, ohne laufende Überwachung und punktuelle Interventionen durch den Betreiber, müsste das System, zumindest für die Anwendung bei Niedrigenergiegebäuden, weiterentwickelt werden (siehe Kap. 3.6.3).

### 3.6.2 Thesen zum Thema Heizungsregelung

Aufgrund der vielen Einflussfaktoren und der geringen Anzahl von Objekten lassen sich viele Aussagen zum Einfluss der Heizungsregelung auf den Heizwärmeverbrauch nicht analytisch eindeutig belegen. Die folgenden Aussagen sind daher als Thesen der Autoren formuliert:

- Bei Neubauten führt eine Erhöhung der durchschnittlichen Raumtemperatur um 1°C zu einer Zunahme des Heizwärmeverbrauchs von rund 10 bis 20 %. Darauf deuten die Messungen auf dem Hunziker-Areal hin, wenn auch mit grossen Unterschieden zwischen den einzelnen Objekten. Berechnungen nach SIA 380/1 ergeben für die Häuser auf dem Hunziker-Areal eine Zunahme des Heizwärmeverbrauchs von 13 bis 18 % pro °C Raumtemperatur. Wenn die Raumtemperaturen so hoch steigen, dass die Nutzer im Winter vermehrt die Fenster öffnen, ist mit einer noch stärkeren Zunahme des Heizwärmeverbrauchs zu rechnen.
- Das einzige Haus in dem die Bewohner die Raumtemperatur individuell über Raumthermostaten einstellen können (Haus M) weist deutlich höhere durchschnittliche Raumtemperaturen auf, als die übrigen 12 Häuser ohne Raumthermostaten. Dass eine individuelle Raumtemperature Regelung zu einer Reduktion des Heizwärmeverbrauchs führen würde, muss daher zumindest unter den gegebenen Rahmenbedingungen bezweifelt werden.
- Um heutige Komforterwartungen der Mehrheit der Bewohnenden zu erfüllen, sind im Winter Raumtemperaturen von mindestens 22°C anzustreben.
- In Schlafzimmern werden von vielen tiefere Raumtemperaturen toleriert bzw. als angenehm empfunden. In den Häusern mit Aussenluftdurchlässen sind die Temperaturen in den Schlafzimmern im Winter systembedingt etwas tiefer.



- Ohne Monitoring der Raumtemperaturen in der Mehrheit der Wohnungen eines Mehrfamilienhauses ist es kaum möglich, die Heizkurve im Betrieb optimal einzustellen.
- Die Raumtemperaturen der wärmsten und der kältesten Wohnung in einem Mehrfamilienhaus weichen typischerweise im Durchschnitt über die Heizperiode um 3 bis 4°C ab. Ohne zusätzliche Regelventile, die eine Nachjustierung der Heizwassermenge pro Wohnung im Betrieb zulassen, kann diese Temperaturdifferenz kaum reduziert werden. Eine optimale Einstellung der Heizkurve wird dadurch verunmöglicht, dass die kältesten Wohnungen ein weiteres Absenken der Heizkurve limitieren.
- In den kompakten Neubauten auf dem Hunziker-Areal reichen, je nach Haus, Vorlauftemperaturen von 28 bis 32°C bei einer Aussentemperatur von -8°C aus. Kleine Änderungen der Vorlauftemperatur wirken sich zwar langsam aber spürbar auf die Raumtemperaturen aus. Z.B. hat die Erhöhung der Heizkurve beim Eckpunkt von 20°C Aussentemperatur von 20 auf 21°C in den Häusern A, E, G, H, I und M zu einer Erhöhung der Raumtemperaturen von 1°C geführt.
- Aufgrund der grossen thermischen Trägheit der Gebäude dauert es 10 bis 14 Tage bis sich die Raumtemperaturen nach einer Anpassung der Heizkurve um +/- 1°C wieder eingependelt haben.
- Auch wenn, wie in Haus M, Raumregler die maximale Raumtemperatur begrenzen, führt eine Erhöhung der Vorlauftemperatur zu einer höheren durchschnittlichen Raumtemperatur des gesamten Gebäudes.
- Die Einsparungen durch die prädiktive Regelung, sprich durch die Berücksichtigung von Wetterprognosen durch eGain forecast, lassen sich anhand der Differenz zwischen der Äquivalenztemperatur und der gemessenen Aussentemperatur abschätzen. Diese Differenz entspricht bei den meisten Häusern 2 bis 4°C, was am Heizungsregler eine Reduktion der Heizkurve um rund 1°C bewirkt. Dies führt zu geschätzten Einsparungen von 15 % an Heizwärme, was jährlichen Einsparungen von 280 MWh und rund 20'000 CHF entspricht.
- Wir gehen davon aus, dass die Heizkurven auf dem Hunziker-Areal dank eGain sense™, sprich dank Kenntnis der Raumtemperaturen in allen Wohnungen, zusätzlich rund 1 °C tiefer eingestellt sind, als in vergleichbaren Neubausiedlungen. Dies führt zu weiteren geschätzten Einsparungen von 15 % an Heizwärme und 20'000 CHF an jährlichen Heizkosten.
- Insgesamt gehen wir davon aus, dass dank eGain maximal rund 30 % bzw. 40'000 CHF an jährlichen Heizkosten gegenüber konventionell betriebenen Heizungsanlagen eingespart werden können.
- Die Gesamtkosten für die Installation von eGain inkl. IT-Verkabelung betragen auf dem Hunziker-Areal 250'000 CHF. Zusätzlich fallen jährliche Gebühren von rund 30'000 CHF an. Die eingesparten Heizkosten decken als zumindest die laufenden Kosten. Die zusätzlichen Investitionskosten können über die Lebensdauer aber nicht amortisiert werden.
- Mit einem optimierten hydraulischen Abgleich lassen sich schätzungsweise die Temperaturunterschiede zwischen der wärmsten und der kältesten Wohnung pro Haus von 3 bis 4 auf 1 bis 2°C reduzieren. Dadurch könnte die durchschnittliche Raumtemperatur aller Häuser um weitere 0.5 °C gesenkt werden. Damit könnten zusätzliche Einsparungen von 6 % an Heizwärme und 12'000 CHF an jährlichen Heizkosten erzielt werden. Zudem würde der Komfort verbessert, da weniger Wohnungen durchschnittliche Raumtemperaturen unter 22°C aufweisen würden.



### 3.6.3 Vorschläge zur Weiterentwicklung von eGain

- Die Selbstlernfunktion von eGain verformt die Heizkurve, wenn die durchschnittliche Raumtemperatur ausserhalb des definierten Sollwertbandes liegt. Je länger die Raumtemperatur bei einer bestimmten Aussentemperatur vom Sollwert abweicht, desto stärker wird die Heizkurve bei der betreffenden Aussentemperatur verformt. Dies führt dazu, dass die Heizkurve bei tiefen, selten auftretenden Aussentemperaturen kaum, bei häufig auftretenden Aussentemperaturen von 5 bis 10°C dagegen sehr stark angepasst wird. Dies wiederum führt zum Risiko, dass die Wohnungen bei gemässigten Aussentemperaturen, insbesondere zu Beginn und am Ende der Heizperiode eher zu kühl sind, an sehr kalten Tagen dagegen eher zu warm. Der Selbstlern-Algorithmus zur Anpassung der Heizkurve sollte daher anstelle einer sequenziellen (nichtlinearen) Verformung der Heizkurve eine Parallelverschiebung und/oder eine Anpassung der Steilheit der Heizkurve vornehmen.
- Bei Neubauten und Gesamterneuerungen sollte die Aktivierung der Funktionen von eGain erst nach Abschluss der Einregulierung der Heizungsanlage in der ersten Heizperiode oder, je nach Umfang der aufgetretenen Mängel, erst nach Abschluss der Mängelbehebung erfolgen.
- Alternativ könnte eGain bei Neubauten zusammen mit dem Heizungsregler angeboten werden. Dadurch lassen sich zusätzliche Schnittstellen vermeiden und es könnten die üblichen Messgrössen eines Heizungsreglers (Istwert und Sollwert der Vorlauf- und/oder der Rücklauftemperatur, Temperatur am Ausgang des Wärmeerzeugers und Stellung des Mischventils) online angezeigt, überwacht und optimiert werden.

## 4 Warmwasser

### 4.1 Fragestellung

Folgende Fragestellungen werden im Kapitel Warmwasser untersucht:

- Wie hoch ist der Wärmeverbrauch für Warmwasser (Wärme zur Erzeugung des Warmwassers, inkl. Speicher- und Verteilverluste) der 13 Häuser im Vergleich zu den Planungswerten?
- Wie hoch ist der Nutzwarmwasserverbrauch (gezapfte Warmwassermenge) der 13 Häuser im Vergleich zu den Planungswerten?
- Wie gross ist der Einfluss der Abwärmenutzung aus der gewerblichen Kälte in den betroffenen Häusern
- Wie gross ist der Einfluss der Joulia Duschwannen (direkte Wärmerückgewinnung aus dem Duschwasser) in den betroffenen Häusern

### 4.2 Grundlagen und Messmethode

Für die Warmwasseraufbereitung sind in sämtlichen Häusern Frischwasserstationen (FWS) eingebaut. Die Funktionsweise ist einem Durchlauferhitzer ähnlich. Jedes Haus besitzt zwei oder drei Pufferspeicher à 2'000 Liter Inhalt. Mit der Nahwärme aus dem ewz Contracting werden die Pufferspeicher periodisch geladen (siehe Abbildung 3, Kapitel 2.1). Die drei Speicher sind seriell geschaltet um eine Schichtung zu erreichen. Bei Warmwasserbedarf fliesst Frischwasser (in grün, Abbildung 22) durch die FWS. Mittels Plattenwärmetauscher wird das Frischwasser mit Wärme aus dem Pufferspeicher auf 50 bis 53 °C aufgewärmt. Der Vorteil dieses Systems: Die Speicherung von warmen Trinkwasser entfällt, wodurch die Gefahr einer Vermehrung von Legionellen-Bakterien im Trinkwarmwasser stark vermindert wird.

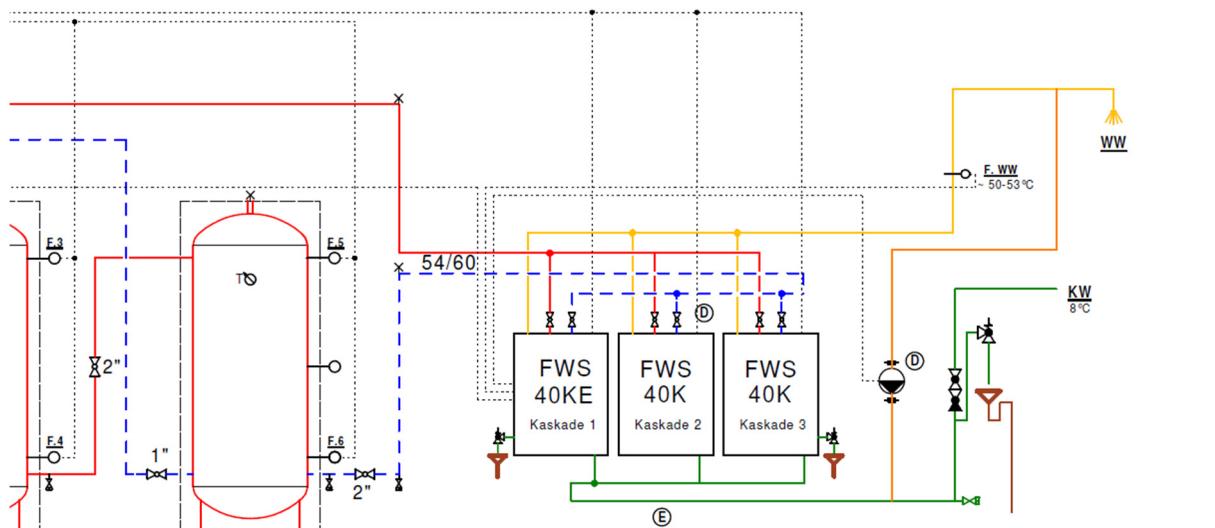


Abbildung 22: Prinzipschema der Warmwassererzeugung mit Frischwasserstationen (Dolder Wärmetechnik AG, 2017)



In den Häusern B, G und K werden in 31 der insgesamt 81 Wohnungen Joulia-Duschwannen eingesetzt. Diese besitzen integrierte Wärmetauscher im Boden der Duschwanne, welche das Duschwasser mit dem abfliessenden Abwasser aus der Dusche vorwärmen. Die Häuser D, E, G und K verfügen über eine Abwärmevernutzung aus der gewerblichen Kälte. In Haus E wurde die Abwärmevernutzung allerdings erst im Frühling 2017 in Betrieb genommen. Die Abwärmevernutzung aus der gewerblichen Kälte wird nicht separat gemessen und ist in den angegebenen Wärmeverbräuchen zur Bereitstellung des Warmwassers pro Haus nicht enthalten.

### 4.3 Resultate

Der Wärmeverbrauch zur Bereitstellung des Warmwassers auf der Primärseite wird anhand von Messdaten des ewz berechnet. Hier sind pro Haus viertelstündliche Verbräuche für zwei komplette Betriebsjahre verfügbar. Da das Haus M keine Nahwärme bezieht, liegen für dieses Haus keine primärseitigen Wärmeverbrauchsmessungen vor. Der Warmwasserverbrauch in den Wohnungen wird von NeoVac-Zählern erfasst und ist für das zweite Betriebsjahr von Juli 2016 bis Juni 2017 ausgewertet.

Abbildung 23 zeigt den primärseitigen Wärmeverbrauch für Warmwasser für die beiden Betriebsjahre Juni 2015 – Mai 2017. Die meisten Häuser weisen im Vergleich zu den Planungswerten sehr tiefe Verbräuche auf. Haus E mit einem grösseren Gastronomiebetrieb und einem Gästehaus mit 20 Zimmern kommt dem Planungswert nahe. Haus K, ebenfalls mit Gastronomie, zeigt hingegen tiefe Werte.

Der Wärmebedarf für Warmwasser liegt gemäss SIA 380/1 für Mehrfamilienhäuser bei 20.8 kWh/m<sup>2</sup>. Dieser Wert wird als Standardwert in Energienachweisen verwendet. Da die meisten Häuser im Erdgeschoss Gewerbenutzungen aufweisen (siehe Tabelle 1), weichen die Planungswerte Warmwasser von Haus zu Haus leicht vom oben genannten Standardwert ab (siehe Abbildung 23).

Haus J überschreitet als einziges Haus den Planungswert deutlich, weist jedoch ähnliche pro Kopf Verbräuche auf (siehe Abbildung 24) wie Haus I und L, welche die Planungswerte nicht überschreiten. Als Ursache liegt hier die höhere Belegungsdichte nahe. Haus J hat mit 37 m<sup>2</sup> pro Bewohner, bezogen auf die Energiebezugsfläche Wohnen, die tiefste Personenfläche des Areals. Der Einfluss der Joulia-Duschwannen auf den Nutzwarmwasserverbrauch lässt sich anhand der Messdaten von Haus B, G und K nicht direkt ableiten.

Der Nutzwarmwasserbedarf (Planungswert) pro Person liegt nach SIA 385/2 für Mehrfamilienhäuser (allgemeiner Wohnungsbau) bei 35 Liter pro Tag (60°C warmes Wasser). Da in den Häusern aufgrund der Frischwasserstationen das Warmwasser nur mit rund 50°C gezapft wird, würde dies einem Nutzwarmwasserbedarf von 44 Liter pro Tag entsprechen. Nur Haus I und L überschreiten den auf 50°C umgerechneten SIA-Standartwert leicht. Die restlichen 11 Häuser unterschreiten den Wert um bis zu 25 %.

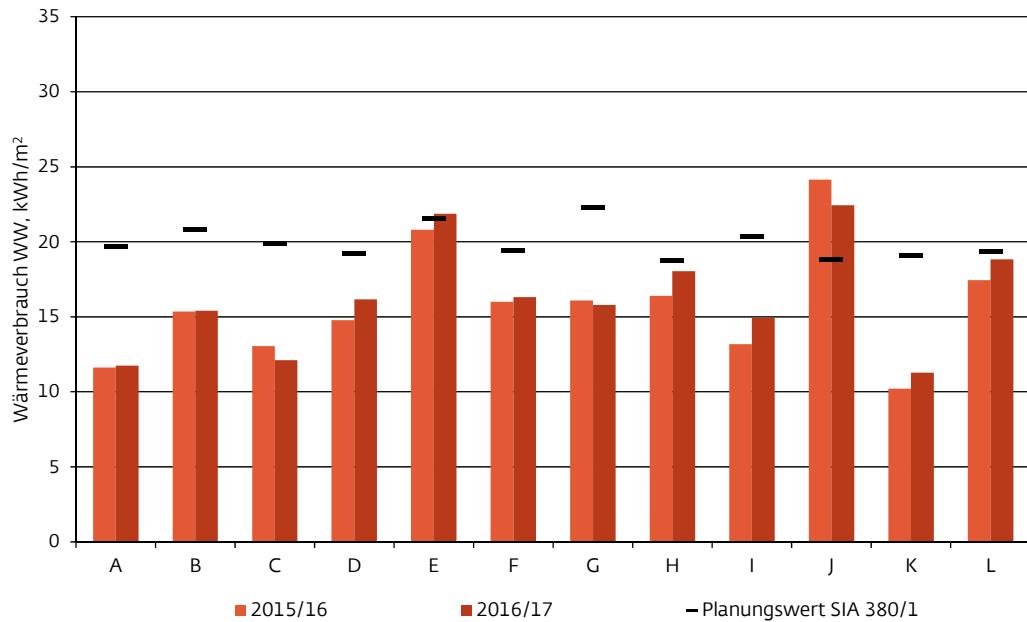


Abbildung 23: Wärmebedarf für Warmwasser von Juli 2015 bis Juni 2017 bezogen auf die Energiebezugsfläche (Lemon Consult AG, 2017)

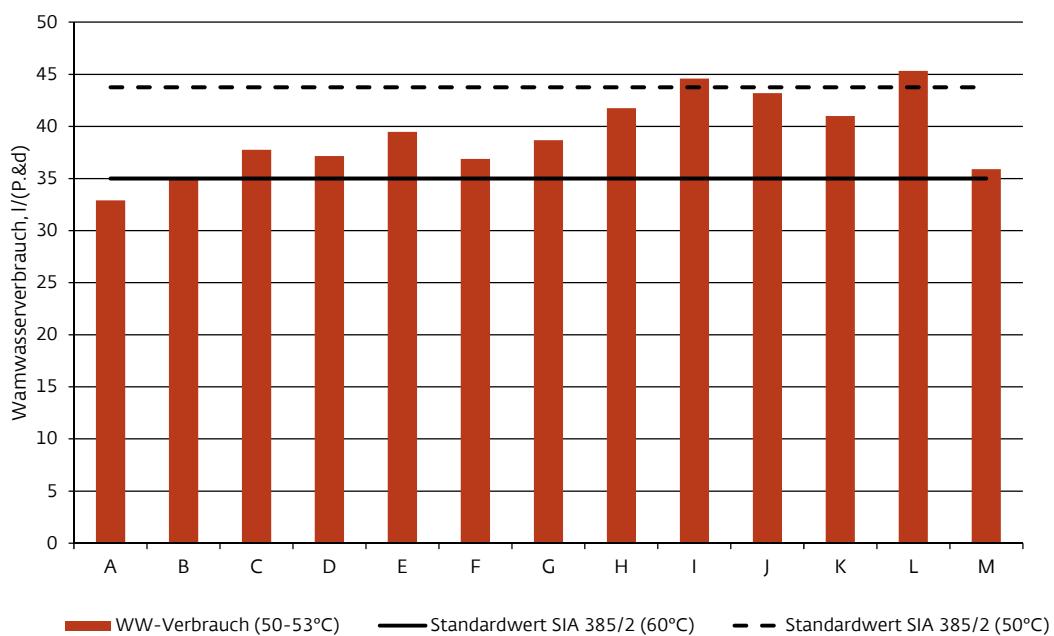


Abbildung 24: Warmwasserverbrauch pro Person und Tag (Lemon Consult AG, 2017)



## 4.4 Diskussion und Fazit

Der durchschnittliche Wärmeverbrauch für Warmwasser liegt mit 16 kWh/m<sup>2</sup> pro Jahr rund 20 % unter den Planungswerten. Andere Wohnsiedlungen in der Stadt Zürich bzw. in der Schweiz weisen vergleichbare oder höhere Werte auf. Anhand der verfügbaren Messdaten können auch die Speicher- und Verteilverluste abgeschätzt werden: Diese betragen im Durchschnitt über die Häuser A bis L 25 % des gesamten Wärmeverbrauchs für Warmwasser. Der Grenzwert für die Wärmeverluste der Warmwasser-Speicherung und -verteilung, bezogen auf den gesamten Wärmebedarf für Warmwasser liegt gemäss SIA 385/2, Ziffer 3.3 bei 33 %, der Zielwert bei 29 %.

Die Effizienz der Frischwasserstationen, der sparsame Warmwasserverbrauch der Bewohnenden sowie die Abwärmenutzung aus der gewerblichen Kälte sind Gründe für den, im Vergleich zu den SIA Standardwerten, eher tiefen Wärmebedarf für Warmwasser.

Der Einfluss der Joulia-Duschwannen auf den Nutzwarmwasserbedarf der betroffenen Häuser (B, G, K) lässt sich aus den Messdaten nicht ablesen. Dies kann auch damit zusammen hängen, dass nur 31 der insgesamt 80 Wohnungen dieser drei Häuser über eine Joulia-Duschwanne verfügen und die Häuser G und K zusätzlich relevante Warmwasserverbräuche durch Allmendnutzungen (Gemeinschaftsküche, Sauna) bzw. durch einen Gastrobetrieb aufweisen.



## 5 Lüftung

### 5.1 Fragestellungen

Auf dem Hunziker-Areal sind vier Gebäude mit Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung (Komfortlüftung) ausgerüstet. Die Häuser A und F verfügen über zentrale Zu-/Abluftanlagen, Haus B über dezentrale Wohnungslüftungsgeräte und Haus I über zentrale Zu-/Abluftanlagen mit dezentralen Verbundlüftern, die in den Wohnungen für eine gute Luftverteilung zwischen den Räumen sorgen. Neun Gebäude haben Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen (ohne Vorwärmung der Aussenluft) eingebaut.

Ziel dieses Teilprojekts ist es, anhand der Messungen der Raumluftqualität in einzelnen Wohnungen den Betrieb der Lüftungsanlagen zu optimieren und die Auswirkungen der unterschiedlichen Lüftungssysteme auf den Heizwärme- und Stromverbrauch sowie deren Ursachen messtechnisch zu ermitteln.

Folgende Fragestellungen werden in diesem Teilprojekt bearbeitet:

- Wie wirken sich die Zu-/Abluftanlagen bzw. die Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen auf die Raumluftqualität (CO<sub>2</sub>-Konzentration) aus?
- Wie wirken sich die Zu-/Abluftanlagen bzw. die Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen auf den thermischen Komfort (Raumlufttemperatur, relative Feuchtigkeit) aus?
- Wie gross ist die elektrische Leistungsaufnahme der Lüftungsanlagen?

Die Frage nach dem Einfluss der unterschiedlichen Lüftungssystem auf den Heizwärmebedarf wurde bereits in Kap. 3.5.2 diskutiert.

Im Rahmen der Vertiefungsstudie „Evaluation Lüftung – mehr als wohnen, AHB 2018“ wurden weitergehende Fragen bez. der unterschiedlichen Lüftungssysteme mit Unterstützung des Amts für Hochbauten der Stadt Zürich untersucht:

- Komfortempfinden der Bewohnenden anhand einer Befragung
- Anteil offener Fenster bei tiefen Aussentemperaturen anhand von Wärmebildaufnahmen der Fassaden bei Nacht
- Langzeitmessung des Stromverbrauchs von ausgewählten Lüftungsanlagen



## 5.2 Messmethode

Pro Lüftungssystem wurde ein Haus ausgewählt und in jeweils fünf Wohnungen CO<sub>2</sub>-, Temperatur- und relative Feuchtigkeits-Messgeräte installiert. Zeitgleich zur Installation der Messgeräte wurde ein kurzer Fragebogen zum Lüftungsverhalten der Bewohnenden ausgefüllt. Ebenso wurde, wo möglich, eine Messung der Zu- und Abluftvolumenströme an den Luftauslässen mittels Messtrichter (Genauigkeit ca. 20 %) vorgenommen. Die Messung der Raumluftqualität startete gestaffelt. Ab Oktober 2015 waren alle Messungeinrichtungen in Betrieb.

Die eingesetzten Messgeräte zeichnen die Raumlufttemperatur, die relative Feuchte und die CO<sub>2</sub>-Konzentration in 17 Wohnungen auf. Die Datenübertragung erfolgt über das WLAN der jeweiligen Bewohnenden zum Server. Somit ist ein online-monitoring der Raumluftqualität möglich. In drei Wohnungen war eine WLAN-Übertragung unerwünscht. Hier wurden Messgeräte mit internem Speicher eingesetzt. Diese Messgeräte wurden periodisch ausgelesen. Die Messgenauigkeiten können Tabelle 4 entnommen werden. Das Messintervall beträgt bei allen Messgeräten eine Stunde.

Für die Resultate wurden Messwerte während der ersten Heizperiode, also vom 15. Oktober 2015 – 15. April 2016 ausgewertet. Für die Auswertung der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in den Schlafzimmern wurden nur Messwerte zwischen 23 Uhr abends und 7 Uhr morgens verwendet. Für die Wohnzimmer wurden alle Messwerte ausgewertet.

Tabelle 4: Spezifikationen Luftmessgeräte (Herstellerangaben)

| Messgerät | Messgrösse                     | Messbereich     | Auflösung | Genauigkeit |
|-----------|--------------------------------|-----------------|-----------|-------------|
| Netatmo   | Temperatur                     | 0°C bis 50°C    | 0.1 °C    | ± 0.3 °C    |
| Netatmo   | Luftfeuchtigkeit               | 0 bis 100 %     | 1 %       | ± 3 %       |
| Netatmo   | CO <sub>2</sub> -Konzentration | 0 bis 5000 ppm  | 1 ppm     | ± 5 %       |
| Wöhler    | Temperatur                     | -10°C bis +60°C | 0.1 °C    | ± 0.6 °C    |
| Wöhler    | Luftfeuchtigkeit               | 5 bis 95 %      | 0.1 %     | ± 3 %       |
| Wöhler    | CO <sub>2</sub> -Konzentration | 0 bis 2000 ppm  | 1 ppm     | ± 5 %       |

Zusätzlich zur Luftqualitätsmessung wurde am 6. Februar 2017 eine Einladung zur Teilnahme an einer Komfortumfrage an alle Bewohnenden verschickt. Der Fragebogen war online auszufüllen und wurde zusammen mit dem Amt für Hochbauten der Stadt Zürich (AHB) und der Genossenschaft mehr als wohnen entwickelt (siehe Kapitel 5.3.4).

Um die Stromeffizienz der verschiedenen Lüftungsanlagen vergleichen zu können, wurden im Februar 2016 in den Häusern A, I und J an den Lüftungsgeräten HOBO H22 Energy Data Logger der Marke Onset installiert. Mit Stromwandlern von bis zu 20 A wurden die Stromverbräuche der Lüftungsanlagen erfasst. Das Messintervall beträgt 15 Min. Für die Bestimmung der Leistungsfaktoren wurde eine punktuelle Strom- und Leistungsmessung an der Lüftungsanlage in Haus A durchgeführt. Der ermittelte Leistungsfaktor ( $\cos \varphi$ ) beträgt 0.80. Die Messgenauigkeit der Strommessung setzt sich zusammen aus der Genauigkeit des Loggers (±0.3 % des Messwerts) plus der Genauigkeit der Stromwandler (± 10 % des Bemessungsstroms pro gemessene Phase).



## 5.3 Resultate

### 5.3.1 Raumluftqualität

Die Raumluftqualität ist in den ausgewählten Wohnzimmern weitgehend sehr gut (siehe Abbildung 25 und Abbildung 26). Die Mediane liegen mit Ausnahme von einer Wohnung (Whg1) in Haus B unter 1000 ppm (RAL 2). In Haus B, wo jede Wohnung ein eigenes Lüftungsgerät mit zum Teil unterschiedlichen Lüftungseinstellungen (Luftvolumenströme, Zeitschaltprogramme) verfügt, variiert die Luftqualität etwas stärker als in Wohnungen mit zentraler Lüftung. Die gemessenen Wohnungen in Haus B weisen auch die höchste mittlere CO<sub>2</sub>-Konzentration auf. Die tiefen Zuluftvolumenströme in Haus B könnten eine Erklärung für die schlechtere Luftqualität sein. Die Luftvolumenströme, welche zu Beginn der Messung erfasst wurden, sind Tabelle 5 zu entnehmen. Die gemessenen Luftvolumenströme haben allerdings nur eine Messgenauigkeit von ca. ± 20 %.

Die Wohnungen 4 und 5 in Haus B weisen tiefere CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf. Die Wohnungen 1 bis 3 sind Familienwohnungen für zwei oder mehr Kindern pro Haushalt. Die höhere Belegungsdichte könnte hier neben den Lüftungseinstellungen mit ein Grund für die schlechtere Luftqualität sein.

Die Häuser A und I mit zentraler Zu-/Abluftanlage weisen die tiefsten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf. Die Messwerte liegen mit Ausnahme von Wohnung 4 in Haus I relativ nahe beieinander. Es ist anzumerken, dass Haus A mit seinen grossräumigen Clusterwohnungen und eher tiefen Belegungsdichten und Haus I mit den Verbundlüftern keine typischen Wohnformen und Anlagentypen darstellen.

In Häusern mit Abluftanlagen, haben Mieter laut eigenen Angaben die Aussenluftdurchlässe wegen des kalten Luftzugs abgeklebt. Speziell in Räumen mit zwei oder mehr Lüftungsschlitzten waren die Raumtemperaturen spürbar (ca. 0.5 bis 1 K) kühler.

Tabelle 5: Punktuell gemessene Luftvolumenströme in Wohn- und Schlafzimmern (Lemon Consult AG, 2017)

| Lüftungstyp          | Produkt                        | Wohnung | Wohnungs-<br>grösse | ZUL<br>Schlafzimmer<br>[m <sup>3</sup> /h] | ZUL<br>Wohnzimmer<br>[m <sup>3</sup> /h] | ABL<br>Bad & WC<br>[m <sup>3</sup> /h] | ABL<br>Küche<br>[m <sup>3</sup> /h] | Nennvolumen-<br>strom/Whg<br>[m <sup>3</sup> /h] |
|----------------------|--------------------------------|---------|---------------------|--|--|--|-------------------------------------|--|
| Abluft mit ALD       | RAC (Dolder)                   | J_Whg5  | 3.5                 | 16   | 23                                       | 57                                     |                                     | 90   |
|                      |                                | J_Whg4  | 3.5                 | 8  | 20                                       | k.M.                                   |                                     | 90   |
|                      |                                | J_Whg3  | 4.5                 | 10 - 15                                    | 13                                       | 36                                     |                                     | 140  |
|                      |                                | J_Whg2  | 4.5                 | 10 - 40                                    | 12                                       | 40 - 47                                |                                     | 140  |
|                      |                                | J_Whg1  | 4.5                 | 12   | 14                                       | 50                                     | 50                                  | 140  |
| Verbundlüfter        | Zehnder<br>ComfoAir<br>XL 1500 | I_Whg5  | 3.5                 |  | 100                                      | 61                                     | 50                                  | 90   |
|                      |                                | I_Whg4  | 3.5                 |  | 70                                       | k.M.                                   | k.M.                                | 90   |
|                      |                                | I_Whg3  | 4.5                 | k.M.                                       | 110                                      | 50                                     | 47                                  | 120  |
|                      |                                | I_Whg2  | 3.5                 |  | k.M.                                     | 49                                     | k.M.                                | 90   |
|                      |                                | I_Whg1  | 9.5                 |  | 162                                      | 67                                     | 44 - 47                             | 300  |
| ZUL/ABL<br>dezentral | Zehnder<br>ComfoAir<br>200     | B_Whg5  | 4.5                 | 11   | 12                                       | 21 - 25                                |                                     | 120  |
|                      |                                | B_Whg4  | 3.5                 | 6  |  | 28                                     |                                     | 90   |
|                      |                                | B_Whg3  | 5.5                 | 6 - 11                                     |  | k.M.                                   |                                     | 150  |
|                      |                                | B_Whg2  | 5.5                 | 24 - 47                                    |  | 45 - 48                                |                                     | 150  |
|                      |                                | B_Whg1  | 5.5                 | 21 - 26                                    |  | 29 - 42                                |                                     | 150  |
| ZUL/ABL<br>zentral   | Wolf<br>CKL-1300               | A_Whg5  | 10.5                | 35   | 250                                      | 22                                     | 27                                  | 40 ZUL/ABL                                       |
|                      |                                | A_Whg4  | 12.5                |  | 283                                      | 20 - 25                                | k.M.                                | Cluster  |
|                      |                                | A_Whg3  | 12.5                | k.M.                                       | 237                                      | 19                                     | 50                                  | 240 ZUL Wohnen                                   |
|                      |                                | A_Whg2  | 12.5                |  | k.M.                                     | k.M.                                   | k.M.                                | 150-180 ABL                                      |
|                      |                                | A_Whg1  | 10.5                | 25   | 243                                      | 17                                     | k.M.                                | Küche  |

k.M. = keine Messung

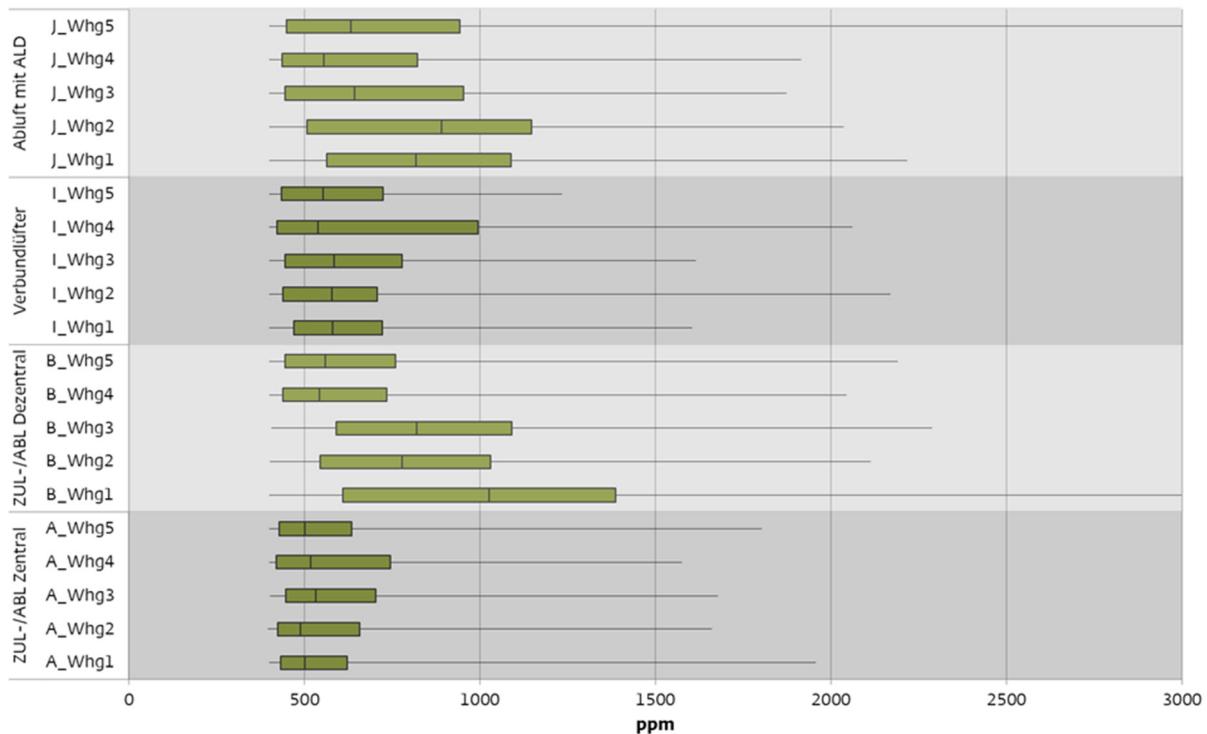


Abbildung 25: CO<sub>2</sub>-Konzentration im Wohnzimmer mit Min./10 %-Perzentil/Median/90 %-Perzentil/Max; Messperiode: 15.10.2015 bis 15.04.2016 (Lemon Consult AG, 2016)

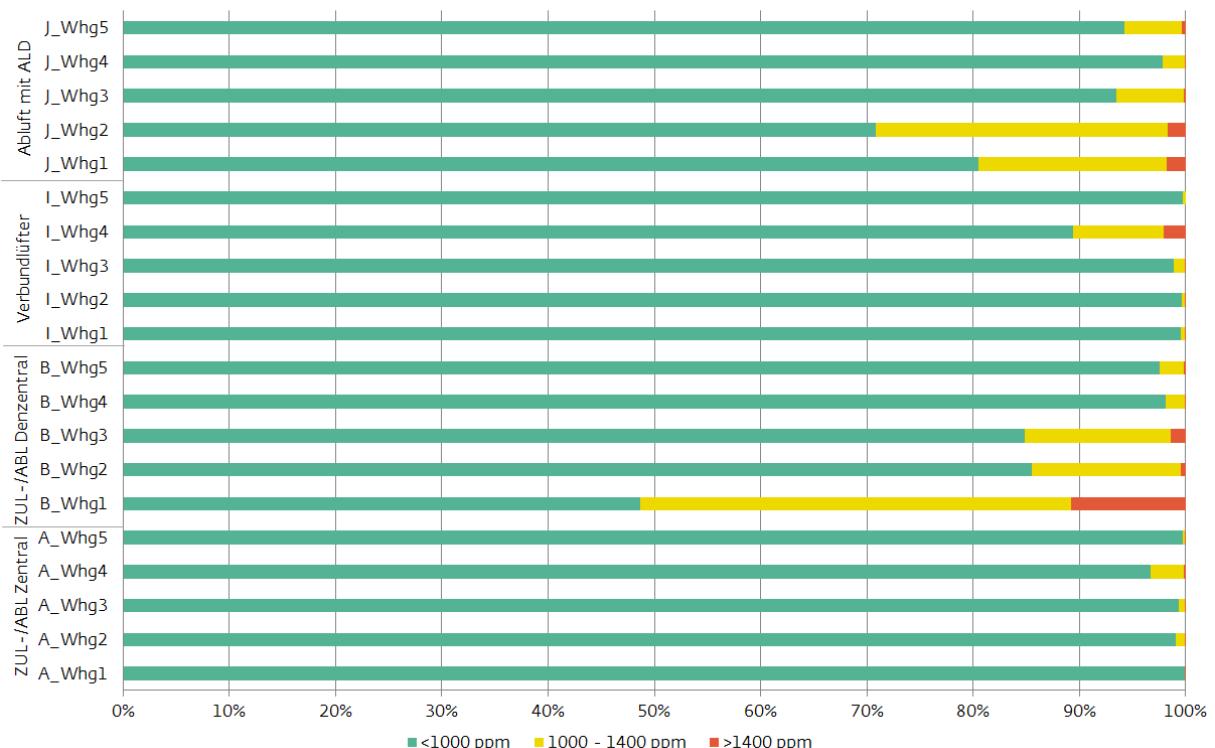


Abbildung 26: Häufigkeitsverteilung der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Wohnzimmer; Messperiode: 15.10.2015 bis 15.04.2016 (Lemon Consult AG, 2016)

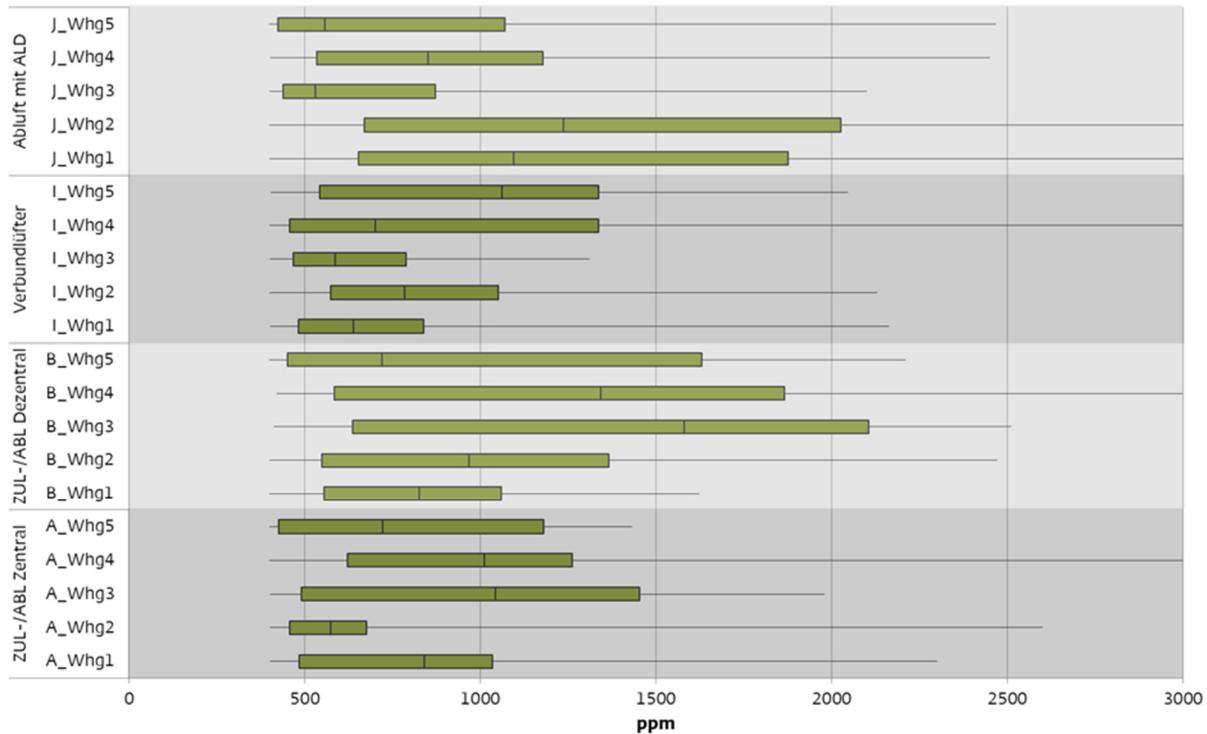


Abbildung 27: CO<sub>2</sub>-Konzentration im Schlafzimmer mit Min./10%-Perzentil/Median/90 %-Perzentil/Max; Messperiode: 15.10.2015 bis 15.04.2016 (Lemon Consult AG, 2016)



Abbildung 28: Häufigkeitsverteilung der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Schlafzimmer; Messperiode: 15.10.2015 bis 15.04.2016 (Lemon Consult AG, 2016)



Für die Messungen im Schlafzimmer (siehe Abbildung 27 und Abbildung 28) zeigt sich ein kritisches Bild. Hier wurden während den Nachtstunden zum Teil deutlich höhere CO<sub>2</sub>-Konzentrationen gemessen. Die Streuung der Messwerte ist grösser als in den Wohnzimmern. In sieben Schlafzimmern wurden Mediane über 1000 ppm gemessen. Die 90 % Perzentile liegen in fünf von 20 Wohnungen über 1500 ppm, in zwei sogar über 2000 ppm. Haus B schneidet bezüglich Luftqualität am schlechtesten ab, gefolgt von Haus J mit Abluftanlage. Haus A mit zentraler Zu-/Abluftanlage und Haus I mit aktiven Überströmern schneiden am besten ab. Die Ursache für die erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen wird, wie schon bei den Wohnzimmern, in den teilweise zu tiefen Luftvolumenströmen vermutet, vgl. Tabelle 5. Die gemessenen Zuluftvolumenströme liegen zwischen 6 und 47 m<sup>3</sup>/h (Messgenauigkeit ca. 20 %), was in einigen Schlafzimmern offensichtlich zu wenig ist und teilweise stark von den Normwerten (30 m<sup>3</sup>/h) abweicht. Tiefe Zuluftmengen wurden insbesondere in Haus B gemessen, wo die Bewohner den Volumenstrom der Wohnungslüftungsgeräte über ein Zeitprogramm individuell einstellen können.

Im Schlafzimmer schlafen normalerweise ein bis zwei Personen. Anhand der Beobachtungen geht aber nicht hervor, dass 2-Personen-Schlafzimmer im Durchschnitt eine schlechtere Luftqualität aufweisen. J\_Whg\_3 und I\_Whg\_3 gaben als einzige an, auch im Winter mit offenem Fenster zu schlafen. Die Mediane liegen in diesen beiden Wohnungen tatsächlich in einem tiefen Bereich. Generell kann aber kein eindeutiger Zusammenhang zur Fensteröffnung hergestellt werden. Auch ob die Zimmertüre gemäss Angabe der Bewohnenden nachts geschlossen wird, hatte keinen eindeutigen Zusammenhang zu den Luftqualitäten.

Der Einfluss einer Veränderung der Luftmenge auf die CO<sub>2</sub>-Konzentration kann anhand der Messdaten von Haus A analysiert werden. In Abbildung 29 sind die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Oktober – Dezember 2016 in vier ausgewählten Wohnungen dargestellt. Die Mediane liegen generell um 500 ppm, was beinahe Aussenluftkonditionen entspricht (Aussenluft: ca. 400 ppm). Der Luftvolumenstrom war während der Messperiode auf 75 % des Nennvolumenstroms eingestellt. Nach einer Reduktion des Volumenstroms auf 50 % Anfang Februar 2017 stiegen die Mediane nur unwesentlich, die oberen 90 %-Perzentile jedoch liegen rund um rund 200-300 ppm höher. Nach einer erneuten Erhöhung des Luftvolumenstroms Anfang April 2017 auf 75 % des Nennluftvolumenstroms sinken die ppm Konzentrationen dann auch wieder auf die Ausgangswerte zurück.

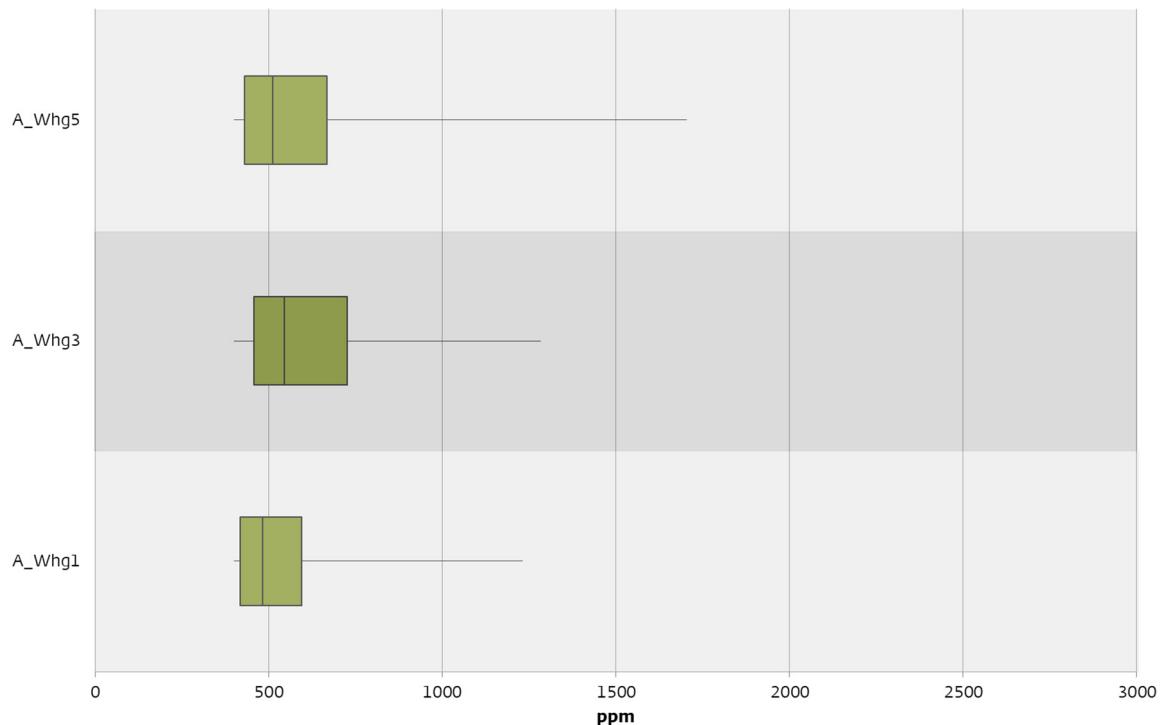


Abbildung 29: Raumluftqualität in Haus A (Zu-/Abluft zentral) im Okt - Dez 2016 (Lemon Consult AG)

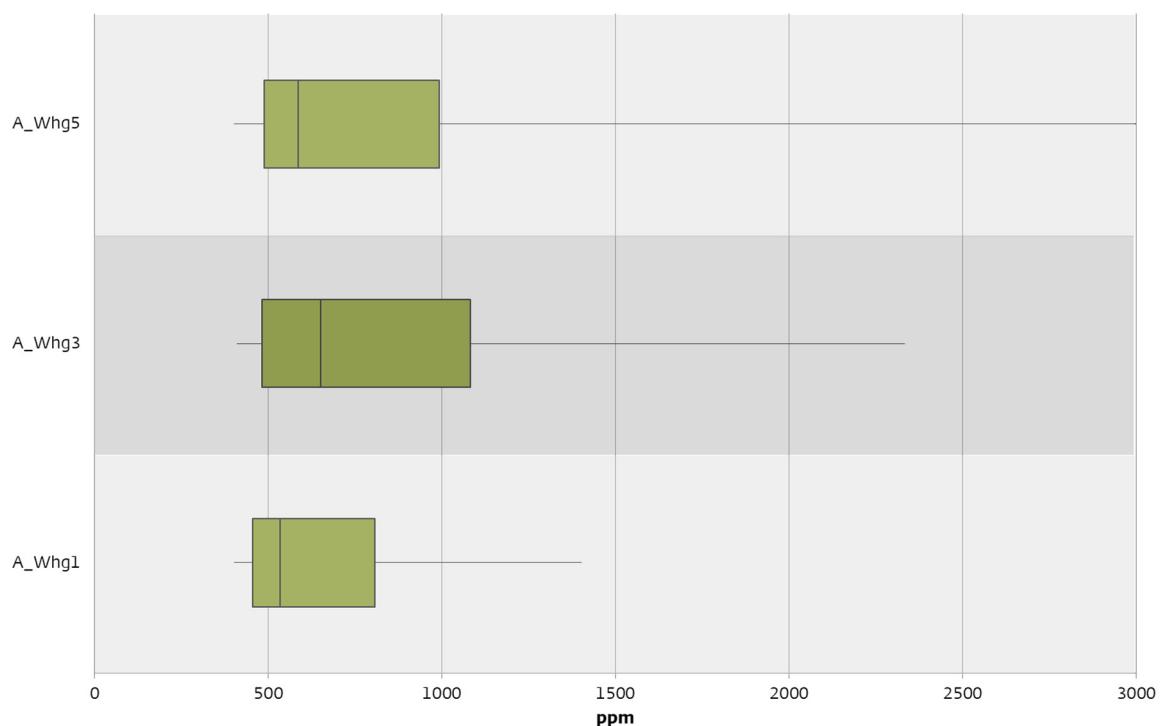


Abbildung 30: Raumluftqualität in Haus A (Zu-/Abluft zentral) im Feb 2017, nach Reduktion der Luftmenge von 75 auf 50 % (Lemon Consult AG)



### 5.3.2 Thermischer Komfort im Winter 2015/16

Der thermische Komfort war in der Heizperiode 2015/16 weitgehend angemessen (siehe Abbildung 31 und Anhang 11.3). Die Mediane der Raumtemperatur schwanken allerding stark von Wohnung zu Wohnung, zwischen 20.9 und 24.7 °C. Bei zwei Schlafzimmern in Haus J liegen die Mediane sogar unter 19°C. In einer davon (J\_Whg3) gaben die Bewohnenden an, im Winter mit offenem Fenster zu schlafen. Zu Beginn der Heizperiode 2015/16 wurden auch von zahlreichen Bewohnern zu tiefe Raumtemperaturen beanstandet. Eine Steigerung des Heiz-Sollwertbandes (siehe Kapitel 3) von 20 bis 21 °C auf 22 bis 23 °C führte dann in der Folge zu einer höherer Zufriedenheit und zu weniger Kälteklagen.

Die relative Luftfeuchtigkeit ist in den Häusern I und A etwas tiefer als in den beiden anderen Häusern (siehe Anhang 11.3). Die Aussenluftrate ist in I und A auch leicht höher und die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen sind entsprechend tiefer. Der Median der relativen Luftfeuchtigkeit lag aber in allen untersuchten Räumen im Winter 2015/16 über 30%.

### 5.3.3 Raumluftkomfort Sommer 2016

Die sommerlichen Raumtemperaturen sind mit Ausnahmen einzelner Wohnungen deutlich unter 26°C. Die Wohnungen, wo diese Grenze überschritten wird, befinden sich alle auf der Südseite (Haus J, Whg. 1 und 2, Haus I Whg. 1) oder zusätzlich im obersten Stock (Haus B Whg. 5). In wie weit die besonders hohen Raumtemperaturen in zwei Wohnzimmern in Haus J auf die Holzbauweise oder den zusätzlichen Wärmeeintrag über die Aussenluftdurchlässe zurückzuführen ist, lässt sich nicht abschliessend beantworten.

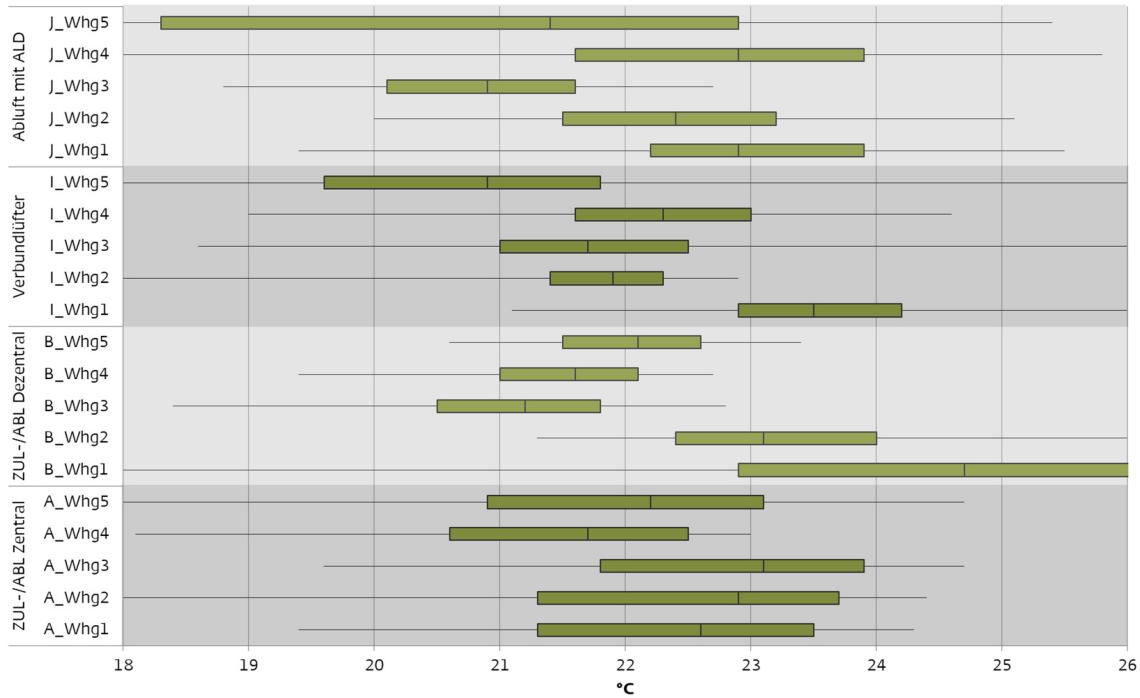


Abbildung 31: Raumlufttemperatur im Wohnzimmer, Min./10 %-Perzentil/Median/90 %-Perzentil/Max, Heizperiode 2015/16 (Lemon Consult AG, 2016)

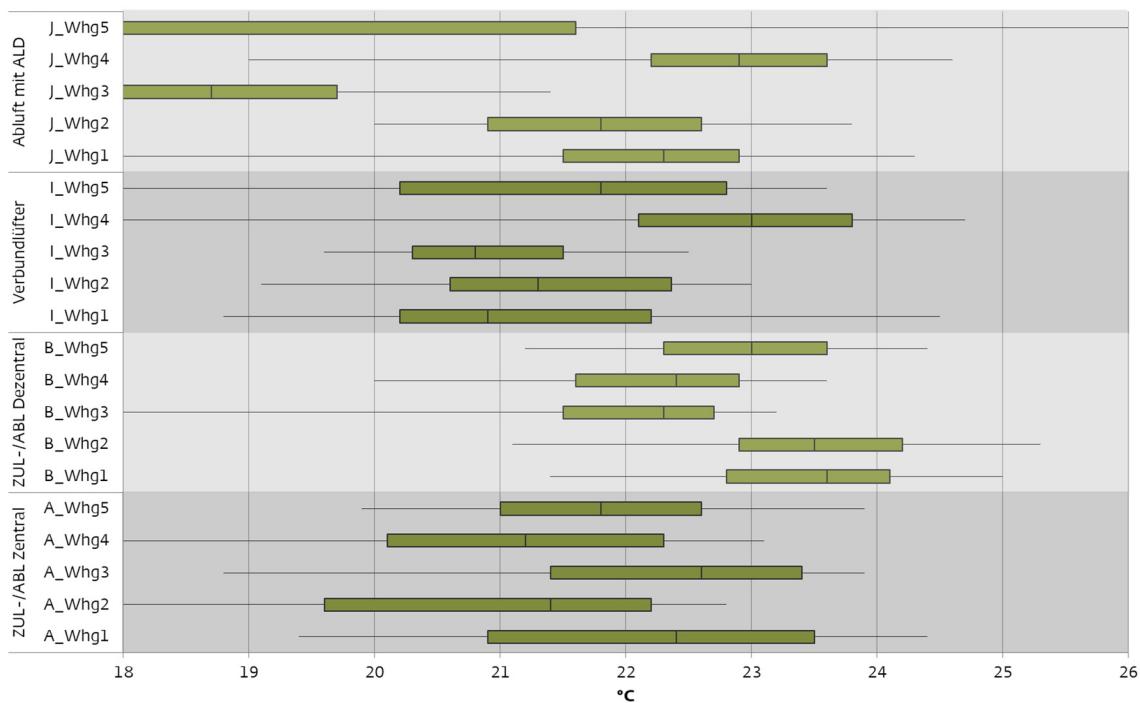


Abbildung 32: Raumlufttemperatur Schlafzimmer zwischen 23 und 7 Uhr, Min./10 %-Perzentil/Median/90 %-Perzentil/Max, Heizperiode 2015/16 (Lemon Consult AG, 2016)

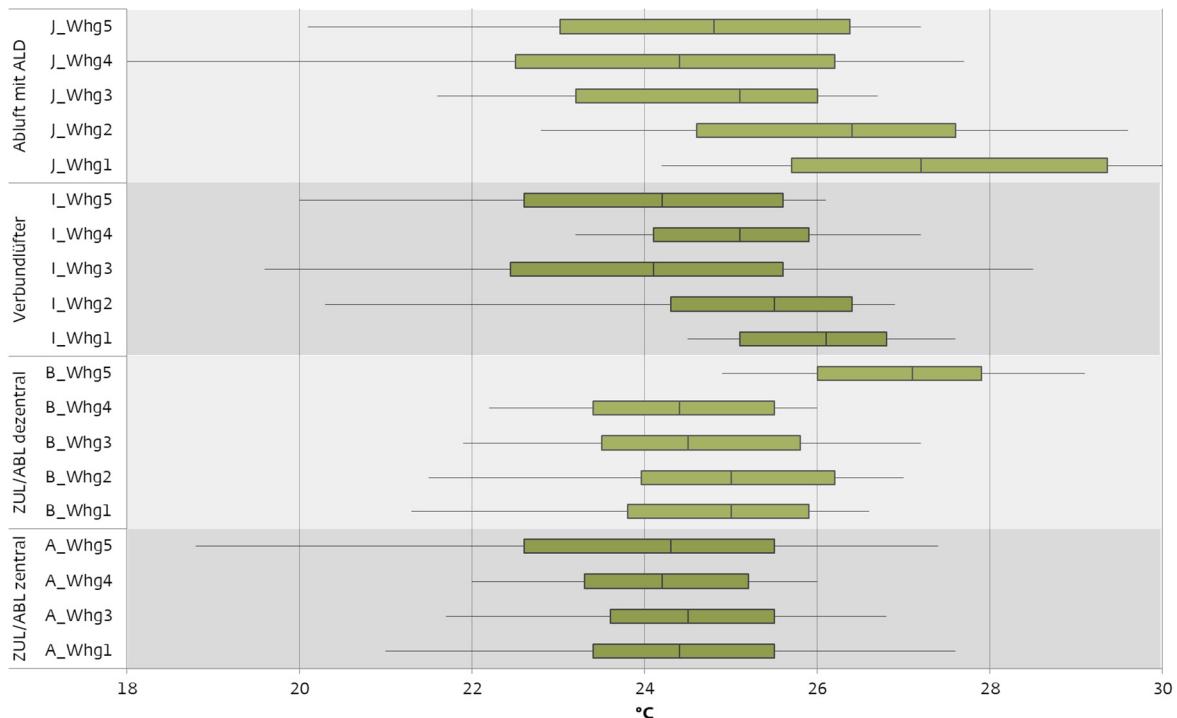


Abbildung 33: Raumlufttemperatur im Wohnzimmer, Juli-Aug 2016 (Lemon Consult AG)

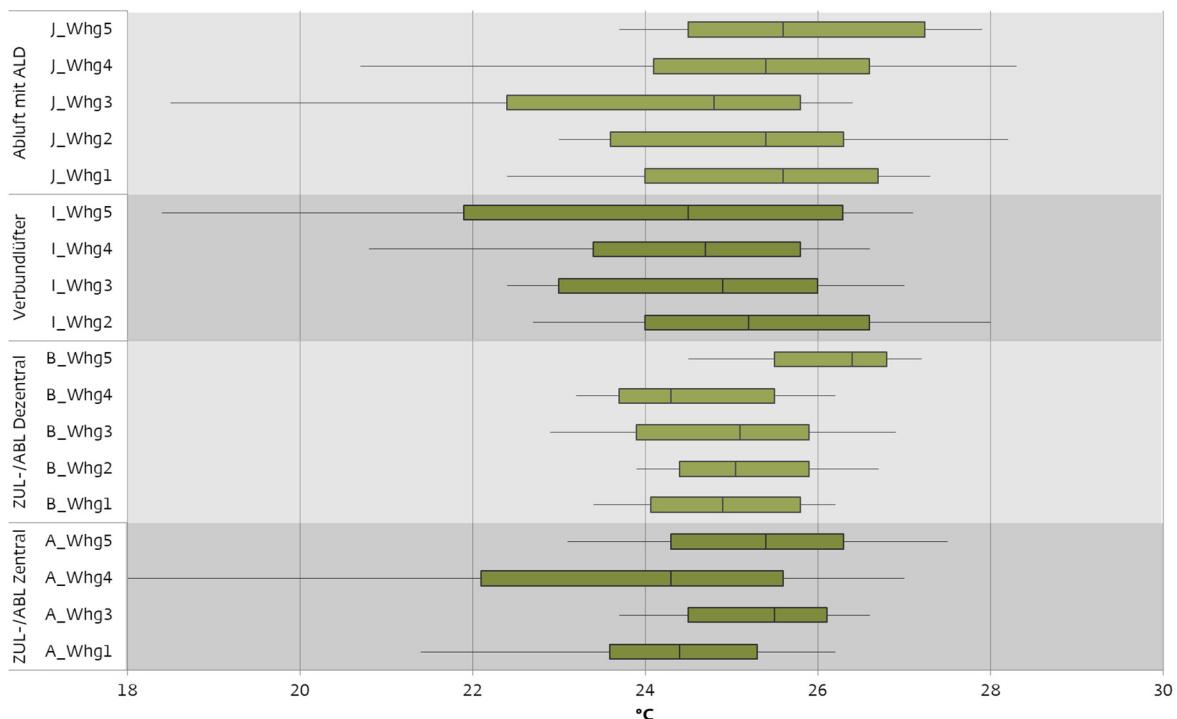


Abbildung 34: Raumlufttemperatur im Schlafzimmer (nur nachts zwischen 23 – 7 Uhr), Juli-Aug 2016 (Lemon Consult AG)

### 5.3.4 Vertiefungsstudie Lüftung

Die Ergebnisse der Vertiefungsstudie zum Komfortempfinden der Bewohnenden, zum Anteil offener Fenster in der Heizperiode sowie zum Stromverbrauch ausgewählter Lüftungsanlagen sind in einem separaten Bericht: „Evaluation Lüftung – mehr als wohnen, AHB 2018“ durch die Stadt Zürich veröffentlicht. Die wichtigsten Resultate werden im vorliegenden Bericht zusammengefasst:

#### Komfortumfrage

Von 605 Angeschriebenen nahmen 272 Personen an der Komfortumfrage teil. Aufgrund der kleinen Anzahl Rückmeldungen bei den dezentralen und Verbund-Lüftungsanlagen sind Auswertungen bei diesen beiden Systemen allerdings mit Vorsicht zu interpretieren.

Trotz teilweise schlechter Luftqualität in den Schlafzimmern zeigten sich insgesamt 85 % der Bewohnenden zufrieden mit der Raumluftqualität (siehe Abbildung 35). Obwohl die eingestellten Luftmengen unter den Vorgaben der SIA-Normen liegen, gab es viele Rückmeldungen über Zugerscheinungen. Die Frage nach der Häufigkeit von spürbaren Zugerscheinungen beantworteten 40 % der Nutzenden von Wohnungen mit Abluftanlagen mit „immer“ oder „häufig“ (siehe Abbildung 36). 27 von 160 befragten Personen, welche in einem Haus mit Ablufanlagen leben, klagten in den Kommentaren explizit und teilweise in emotionalem Tonfall über Zugluft, eine zu kalte Wohnung oder über Lärm von den Lüftungsschlitzten. Die übrigen 28 Kommentare waren neutral bis positiv und attestierten ein gutes Raumklima. Bei den zentralen Zu-/Abluftanlagen gaben 10 % der Befragten an, Zugluft in der Wohnung zu verspüren.

Q15: Wie empfinden Sie generell die Luftqualität in Ihrer Wohnung?

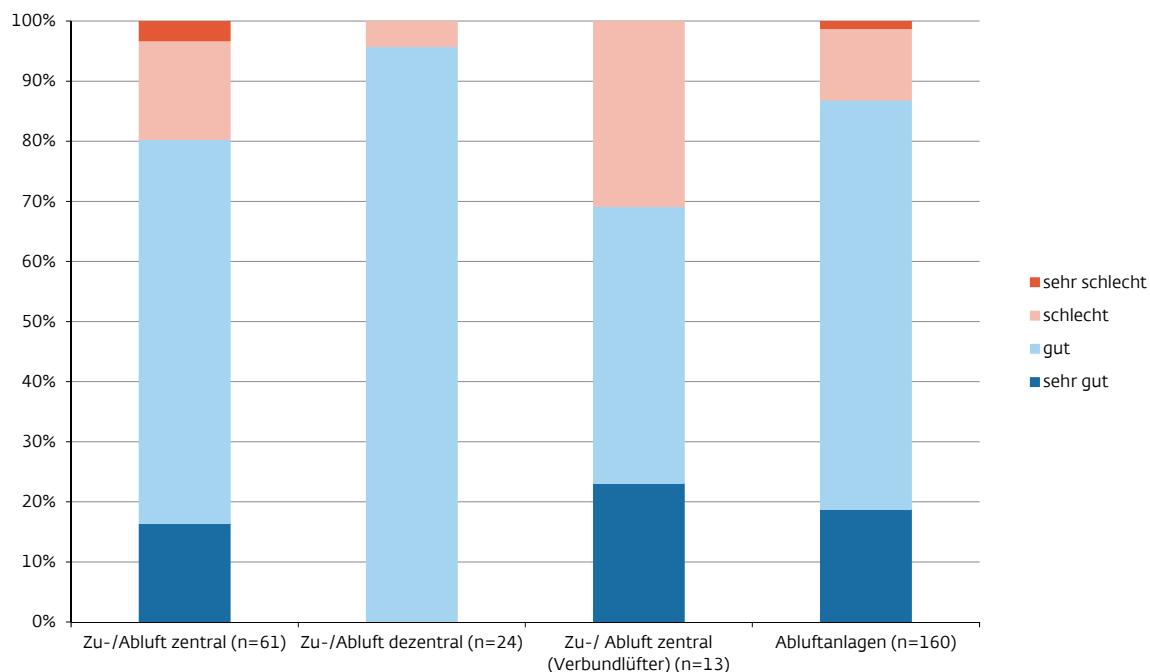


Abbildung 35: Angaben zur Luftqualität nach Lüftungssystem (Lemon Consult AG)



Q25: Nehmen Sie Zugluft bei geschlossenen Türen und Fenstern in Ihrer Wohnung wahr?

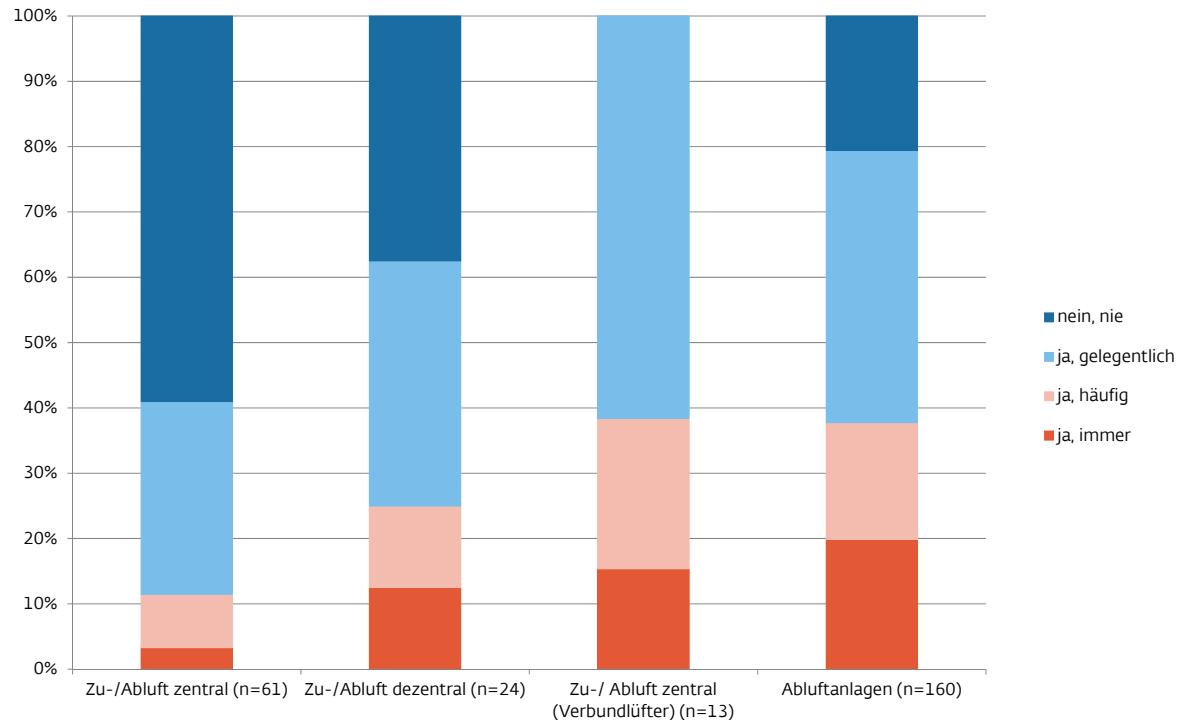


Abbildung 36: Häufigkeit der Wahrnehmung von Zugluft nach Lüftungssystem (Lemon Consult AG)

### Thermographieaufnahmen

Die Resultate zur Thermographieaufnahme zeigen, dass die Nutzenden sehr diszipliniert mit der Fensterlüftung umgehen. Die feststellbaren offenen Fenster liegen tiefer, als die in der Literatur gefundenen Werte. In der Komfortumfrage gaben allerdings mehr Personen an, bei offenem Fenster zu schlafen, als dies in den Thermographieaufnahmen festgestellt werden konnte. Ebenfalls stellen die Autoren fest, dass die Häuser A und F mit zentralen Komfortlüftungen eine doppelt so hohe Rate an offenen Fenstern gegenüber den neun Häusern mit Abluftanlagen aufweisen. Bei durchschnittlich fünf Wohnungen ist in Haus F in der Nacht jeweils mindestens ein Fenster geöffnet, dies entspricht bei total 29 Wohnungen 17%. Dies kann eine Erklärung für die Normabweichung sein.

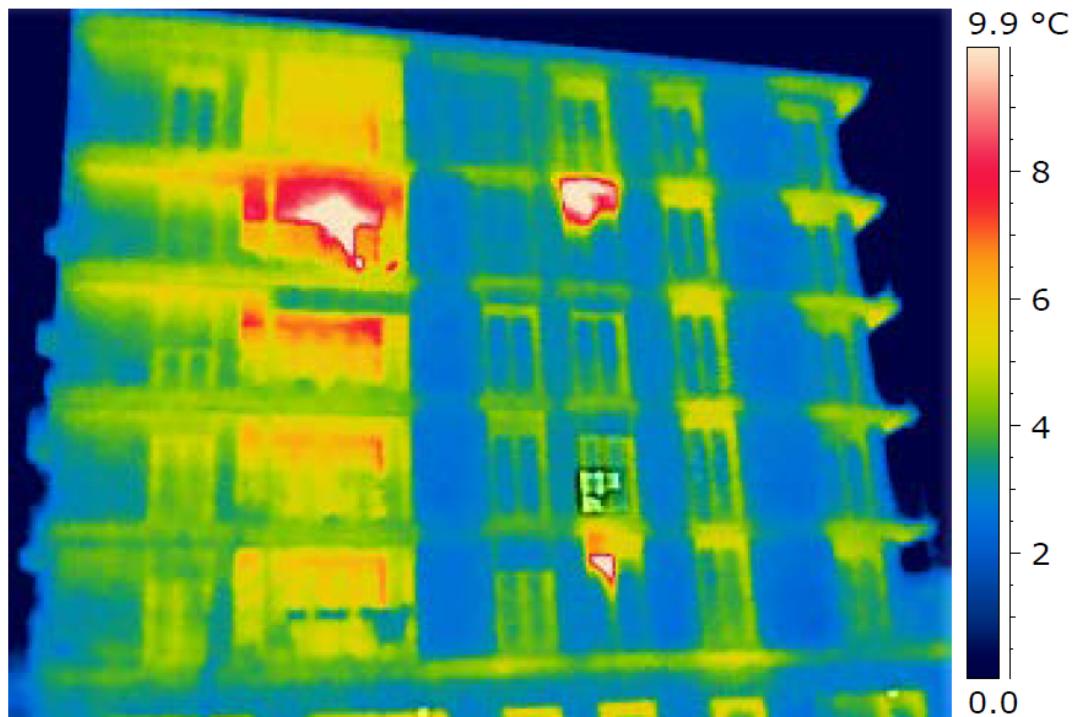


Abbildung 37: Westfassade, drei offene Fenster, Aufnahme am 17.02.2017 (Lemon Consult AG)

%-offene Fenster

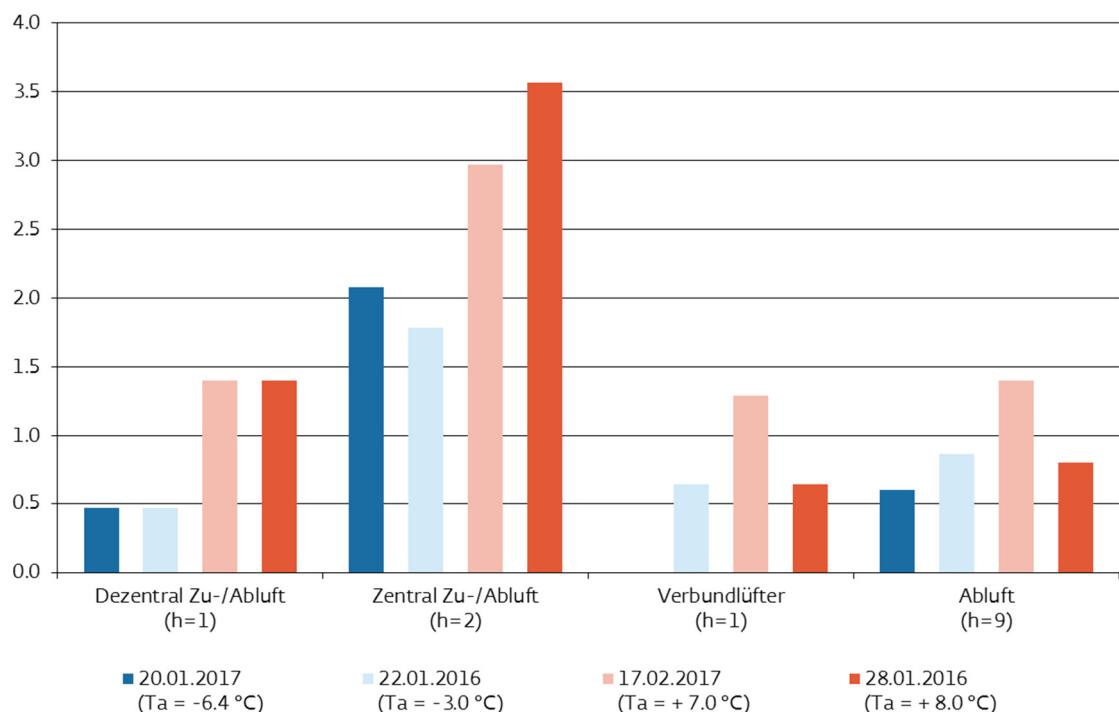


Abbildung 38: Anteil offene Fenster nach Lüftungssystem, in Prozent (Lemon Consult AG)

### Stromverbrauch der Lüftungsanlagen

Bei den Komfortlüftungssystemen gibt es überraschend grosse Unterschiede. Die zentrale Zu-/Abluftanlage (Einflussnahme der Nutzer nicht möglich), liegt mit  $4.8 \text{ kWh/m}^2$  Stromverbrauch deutlich über der dezentralen Zu-/Abluft- und der Verbundlüftungsanlage. Die Strommessungen der zentralen Zu-/Abluftanlage beinhalten nur die Messwerte bis Dezember 2016, also nur die Periode vor der temporären Reduktion des Vordruckes der Monoblocs<sup>2</sup>. Der SIA-Grenzwert für einfache Lüftungsanlagen mit Lufterwärmung beträgt bei dem in Haus A im Betrieb eingestellten Luftvolumenstrom  $2.1 \text{ kWh/m}^2$ . Eine temporäre Reduktion des Vordrucks in den Lüftungsgeräten hat gezeigt, dass der SIA-Grenzwert wahrscheinlich eingehalten werden könnte. Die Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung weist mit  $0.8 \text{ kWh/m}^2$  den niedrigsten spezifischen Stromverbrauch auf und erfüllt als einzige den SIA-Grenzwert.

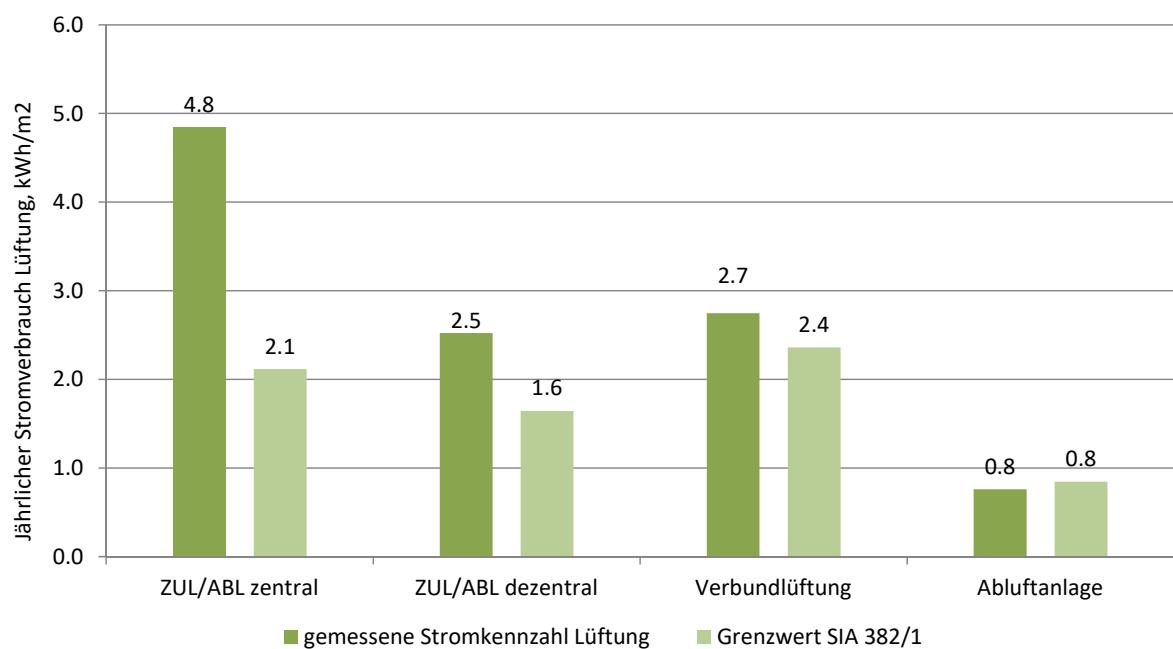


Abbildung 39: Jährlicher Stromverbrauch der untersuchten Lüftungssysteme pro Energiebezugsfläche der Wohnnutzung (Lemon Consult AG)

<sup>2</sup> siehe auch Evaluation Lüftung – mehr als wohnen, AHB 2018



## 5.4 Diskussion und Empfehlungen

Trotz teilweise schlechter Luftqualität in den Schlafzimmern zeigten sich der Grossteil der Bewohnenden in der Umfrage zufrieden mit der Luftqualität und der Raumtemperatur. Die hohen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen legen eine Überprüfung der Lüftungseinstellungen vor allem bei den dezentralen Lüftungsgeräten in Haus B nahe. Die Lüftungen funktionieren nach einigen Optimierungen und Reduktion der Luftwechsel sehr gut.

### 5.4.1 Thesen bezüglich der unterschiedlichen Lüftungssysteme

#### **Erhöhter Stromverbrauch der Komfortlüftung**

Die Gründe für den erhöhten Stromverbrauch der Zu-/Abluftanlagen sind aufgrund der verfügbaren Messdaten nicht abschliessend erklärbar. Die Autoren gehen davon aus, dass der Druckverlust der Luftverteilung insbesondere bei den zentralen Zu-/Abluftanlagen grösser ist, als in der Planung angenommen. Ebenso könnte eine suboptimale Regulierung und Inbetriebsetzung zu den zu hohen Verbräuchen führen. Im gemessenen Stromverbrauch sind zudem neben den Ventilatoren weitere Komponenten der Lüftungsanlagen wie Steuerung, Umwälzpumpe des Luftheritzers, Begleitbandheizung für den Frostschutz der Heizleitungen etc. enthalten. Dies kann zumindest teilweise die Abweichung zum SIA-Grenzwert erklären, der nur die spezifische Ventilatorleistung berücksichtigt.

#### **Heizwärmeverbrauch bei Häusern mit Komfortlüftung**

Der erhöhte Heizwärmeverbrauch verglichen mit den Planungswerten kann zum grossen Teil alleine durch die erhöhte Raumtemperatur erklärt werden (siehe Kapitel 3.5.3). Bei den Häuser A, B, F und I mit Zu-/Abluftanlagen bleibt aber auch nach dieser Korrektur immer noch eine relevante Abweichung zum Planungswert im Bereich von 6 bis 12 kWh/m<sup>2</sup>. Die Autoren sind der Ansicht, dass die erhöhte Rate an offenen Fenstern eine Ursache für den erhöhten Heizwärmeverbrauch sein kann. Durch die offenen Fenster wird der Luftwechsel erhöht. Zudem kann der Nutzungsgrad der Wärmerückgewinnung durch die zusätzliche Infiltration von Aussenluft in relevantem Ausmass beeinträchtigt werden (siehe: Roulet et. al., Real heat recovery with air handling units, Energy and Buildings 33 (2001) 495-502).

Bei Abluftanlagen führen offene Fenster vermutlich nicht im gleichen Ausmass zu einer höheren Aussenluftrate, da die Aussenluft statt über die Fassadendurchlässe durch die offenen Fenster nachströmt. Aufgrund der Aussenluftdurchlässe ist zumindest die wahrgenommene Raumtemperatur in den Schlaf- und Wohnzimmern etwas tiefer, als in Räumen ohne Aussenluftdurchlässe. Dies könnte auch ein Grund für den geringeren Anteil offener Fenster gegenüber den Häusern mit zentralen Zu-/Abluftanalgen liefern. Trotzdem verbrauchen die vier Häuser mit Zu-/Abluftanalgen mit Wärmerückgewinnung rund 20 % weniger Heizwärme als die Häuser mit Abluftanlagen.

#### **Dezentrale Wohnungslüftungsgeräte (Haus B)**

Haus B weist den tiefsten Heizwärmeverbrauch aller Häuser und den tiefsten Stromverbrauch der vier Häuser mit Zu-/Abluftanlagen auf. Zudem hat Haus B zusammen mit Haus C den tiefsten gewichteten Energieverbrauch für Heizung, Warmwasser und Lüftung (siehe Abbildung 41). Ein wesentlicher Grund für diese hohe Energieeffizienz dürfte bei den mehrstufigen, individuell einstellbaren Wohnungslüftungsgeräten liegen. Die Lüftungsanlagen der anderen 12 Häuser werden alle einstufig betrieben.

Gleichzeitig weist Haus B die höchsten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in den Schlafzimmern auf (Abbildung 27), weil die Lüftungsgeräte nachts zum Teil mit einem tiefen Volumenstrom betrieben werden.



Obwohl die Bewohnenden die Luftmenge und Betriebszeiten selber festlegen können, scheint die Qualität der Raumluft im Schlafzimmer nicht bei allen einen hohen Stellenwert einzunehmen.

#### **Zugluft bei Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen**

Die Resultate der Komfortumfrage haben gezeigt, dass die Abluftanlagen noch Mängel im Komfortbereich aufweisen. Die Zugluft von den Aussenluftdurchlässen ist für knapp 40% der Bewohnenden immer oder häufig wahrnehmbar. Manuell verschliessbare Aussenluftdurchlässe sind auf dem Markt erhältlich. Diese könnten das Problem der Zugluft teilweise entschärfen. Ebenfalls sollte bei der Planung darauf geachtet werden, dass pro Zimmer nur ein Auslass geingebaut wird. Gerade in Schlafzimmern sind zwei Auslässe wegen dem Kaltluftabfall problematisch. Die Lärmklagen dagegen können mit einem Konstruktionsfehler erklärt werden. Beim Einbau der Aussenluftdurchlässe wurden die Schalldämpfer in mehreren Häusern weggelassen.

#### **5.4.2 Thesen zur Weiterentwicklung der Wohnungslüftung**

- Die von SIA 382/1 und SIA 2023 (aktuell in Vernehmlassung) geforderten Aussenluftvolumenströme für Wohnräume sollten überdacht werden. Zumindest bei zentralen, einstufig betriebenen Lüftungsanlagen sollten reduzierte Luftmengen empfohlen werden. Auf eine zusätzlich um 30% erhöhte Aussenluftmenge bei Abluftanlagen mit Aussenluftdurchlässen sollte aus Komfort- und Energieeffizienzgründen dringend verzichtet werden.
- Die Erfahrungen auf dem Hunziker Areal legen den Schluss nahe, dass eine Reduktion des Aussenluftvolumenstroms auf rund 70% des SIA-Standardwerts (20 statt 30 m<sup>3</sup>/h pro Zimmer) bei den meisten Bewohnenden auf eine gute Akzeptanz stösst. Dadurch kann gleichzeitig der Heizwärmebedarf und der Stromverbrauch bei allen Lüftungssystemen deutlich reduziert werden.
- Die Qualitätssicherung und korrekte Inbetriebsetzung ist auch bei der Lüftung wichtig. Eine Erfolgskontrolle und Betriebsoptimierung lohnt sich bei grossen Lüftungsanlagen mit komplizierten Steuerungen in vielen Fällen auch ökonomisch.
- Die Kaskadenlüftung (Zuluft nur in Schlafzimmern und nicht im Wohn-/Esszimmer) sollte dringend bei den Planern besser etabliert werden. Dadurch kann gleichzeitig die Luftmenge reduziert und die Luftqualität im Schlafzimmer verbessert werden. Diese Forderung ist nicht neu und wird schon seit Jahren von SIA 2023 und Minergie propagiert. Trotzdem wurde in keinem Haus auf dem Hunziker Areal eine Kaskadenlüftung realisiert.
- Bei dezentralen Lüftungsgeräten mit individuell einstellbaren Luftmengen und Betriebszeiten sollten die Bewohner durch Anzeige der CO<sub>2</sub>-Konzentration an geeigneter Stelle unterstützt werden. Alternativ kommt auch eine automatische Regelung der Luftmenge über einen CO<sub>2</sub>-Sensor in Frage. Der CO<sub>2</sub>-Sensor sollte allerdings nicht in der Abluft sondern im Schlafzimmer mit der höchsten Belegung installiert werden. Dies stellt im Wohnungen mit mehr als einem als Schlafzimmer nutzbaren Raum eine Herausforderung dar.
- Bei Abluftanlagen sollten die Aussenluftdurchlässe eine Anpassung des Volumenstroms ermöglichen, um der individuellen Sensitivität bezüglich Zugluft Rechnung zu tragen. Damit bei geschlossenen Aussenluftdurchlässen trotzdem genügend Aussenluft nachströmen kann, ist je nach Fabrikat ein zusätzlicher Aussenluftdurchlass notwendig, z.B. hinter den Küchenschränken. Dieser Aussenluftdurchlass öffnet z.B. erst ab einem Unterdruck von > 4 pa.

## 6 Gewichtete Energiekennzahl

### 6.1 Berechnung

Die Energiekennzahl wird aus den Messdaten für Heizung, Warmwasser und Lüftung berechnet. Die Gewichtung der einzelnen Energieträger erfolgt gemäss den nationalen Energiegewichtungsfaktoren der EnDK: Strom 2.0 und Fernwärme 0.6. Der Anteil Fernwärme an der gesamten Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser der Häuser A bis L beträgt gemäss Abrechnung von ewz 30 %. Die Jahresarbeitszahlen der zentralen Contracting-Wärmepumpenanlage, die Abwärme des benachbarten Rechenzentrums als Wärmequelle nutzt, werden mangels genauerer Angaben mit 5.0 für die Raumheizung und 3.0 für die Warmwassererzeugung angenommen. Die gemessene Jahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage von Haus M liegt im Mischbetrieb (Heizung und Warmwasser) bei 3.4. Da nicht in allen Häusern der Stromverbrauch der Lüftungsanlagen gemessen wurde, dienen die Messdaten aus den Häusern A, B, I und J als Referenzwerte für die restlichen Häuser mit vergleichbaren Lüftungsanlagen. Für die Lüftungsanlagen der Gewerbebetriebe in den Erdgeschossen werden für den Stromverbrauch die Planungswerte eingesetzt.

### 6.2 Resultate

Insgesamt wird der als Zielwert für das ganze Areal angestrebte Wert von 30 kWh/m<sup>2</sup> im Durchschnitt über alle Häuser knapp eingehalten (siehe Abbildung 40).

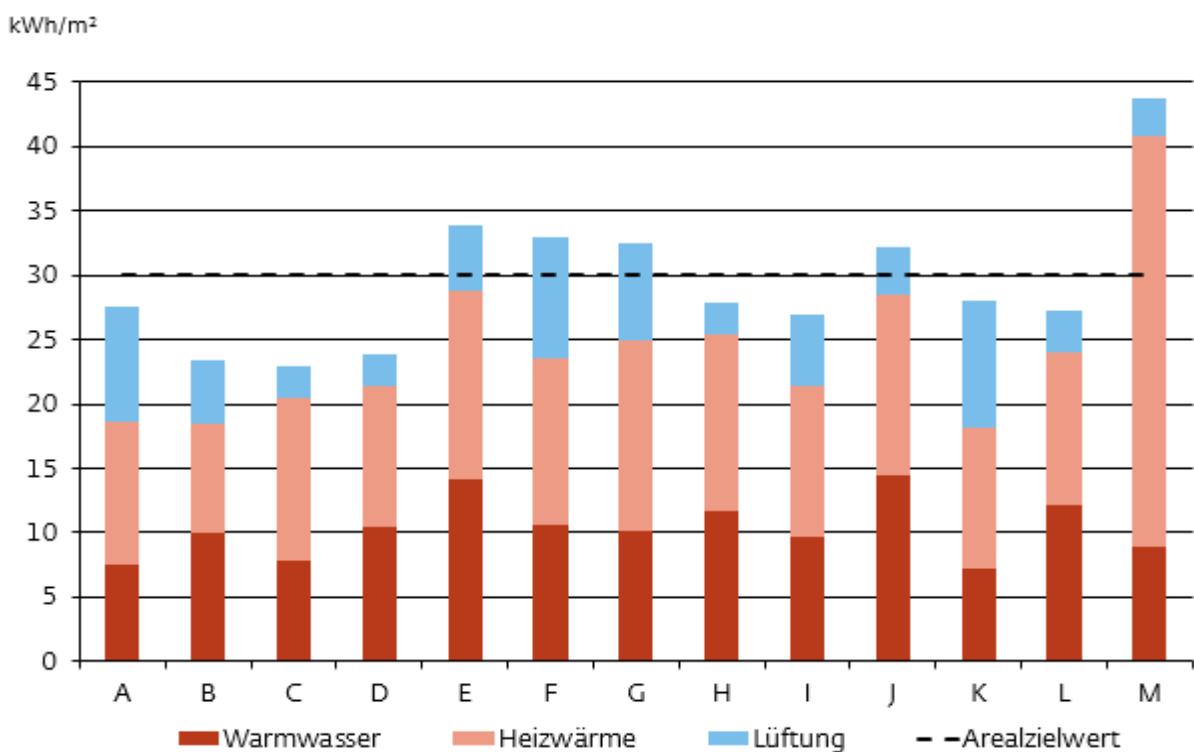


Abbildung 40: Gewichtete Energiekennzahlen Juli 16 - Juni 17 (Lemon Consult AG, 2017)

Nur fünf Häuser überschreiten den Zielwert:

- Haus E aufgrund des erhöhten Warmwasserverbrauchs (Hotel und Restaurant, letztes bis Sommer 2017 ohne Abwärmennutzung)
- Haus F und G aufgrund des hohen Stromverbrauchs der Lüftungsanlagen, wobei der Lüftungsstromverbrauch auf interpolierten Werten beruht
- Haus J aufgrund der hohen Belegungsdichte der Wohnungen und des damit einhergehenden erhöhten Warmwasserverbrauchs
- Haus M aufgrund des hohen Heizwärmebedarfs

In Abbildung 41 wird die gewichtete Energiekennzahl für die Wohnnutzung der dreizehn Häuser mit dem zugehörigen Planungswert sowie dem Arealzielwert (Minergie-P-Grenzwert) verglichen. Es ist ersichtlich, dass die Häuser mit Komfortlüftungen die tieferen Planungswerte im Betrieb nicht erfüllen können, während die Gebäude mit Abluftanlagen die höheren Planungswerte erreichen. Es fällt auf, dass sich die Energiekennzahl von zwölf der dreizehn Häuser zwischen 22 und 31 kWh/m<sup>2</sup> befinden.

Die individuellen Planungswerte werden bis auf die Häuser A, B, F und I, welche mit Komfortlüftungen ausgestattet sind, eingehalten. Haus A könnte bei einem reduziertem Vordruck in den Lüftungsgeräten den Grenzwert erreichen. Eine Ausnahme bildet zudem Haus M, das mit eigenen Wärmepumpen für Heizung und Warmwasser ausgestattet ist. Haus M überschreitet insbesondere aufgrund des sehr hohen Heizwärmeverbrauchs den Planungswert deutlich. Die restlichen neun Häuser mit Abluftanlagen unterschreiten den Planungswert teilweise deutlich.

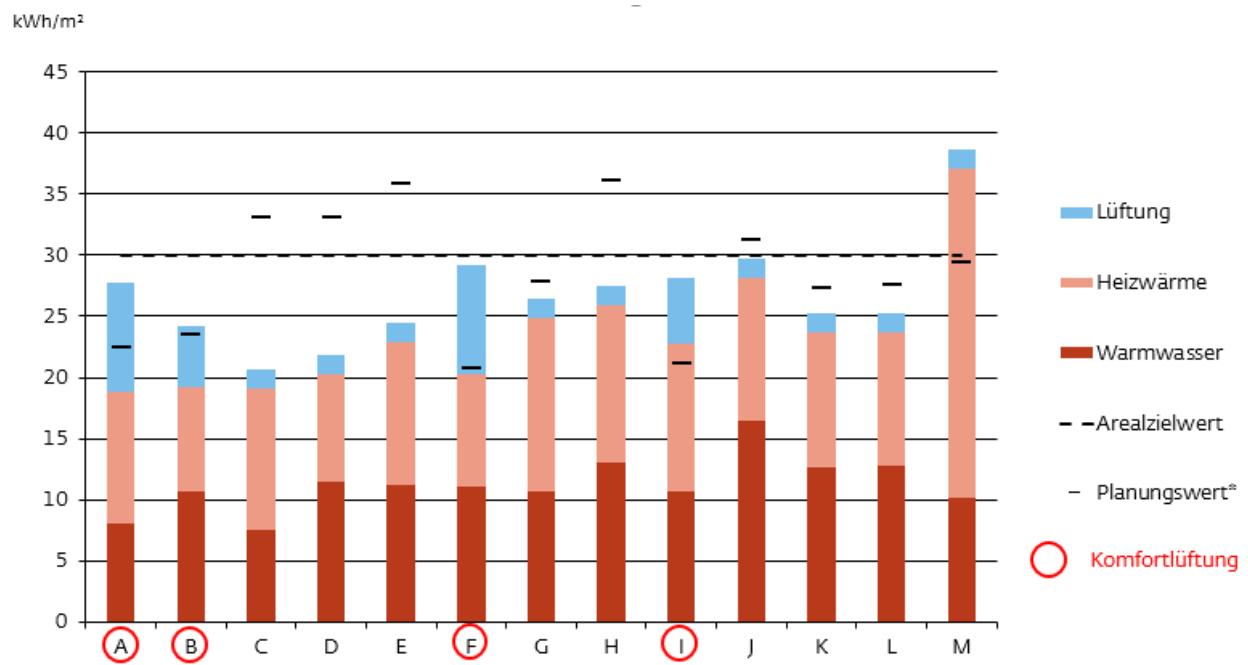


Abbildung 41: Gewichtete Energiekennzahl bezogen auf die Energiebezugsfläche Wohnen (Lemon Consult AG, 2017)

\* Planungswerte mit Standard-Raumlufttemperatur und theoretischen thermisch wirksamen Aussenluftvolumenstrom



## 7 Stromeffizienz

### 7.1 Fragestellungen

Neben dem Wärmebedarf ist vor allem der Elektrizitätsverbrauch der Bewohner und Nutzer für die Optimierung des Gesamtenergieverbrauchs des Areals entscheidend. Mit der Reduktion der Einspeisetarife auf aktuell 8 Rp./kWh werden zudem Massnahmen zur Erhöhung des Eigenverbrauchs wichtiger. Das Zusammenspiel zwischen Effizienzmassnahmen und Eigenverbrauchsoptimierung soll im folgenden Kapitel besprochen werden. Folgende Fragen sollen in diesem Teilprojekt beantwortet werden:

- Entspricht der Stromverbrauch der Gebäude den Planungswerten?
- Entspricht der Ertrag der PV-Anlagen den Planungswerten?
- Kann der Stromverbrauch im Betrieb weiter gesenkt werden und welche Massnahmen eignen sich dafür?
- Wie hoch ist der Eigenverbrauchsanteil und wie kann er allenfalls gesteigert werden?

### 7.2 Definitionen

Der Eigenverbrauchsanteil wird über ein Jahr durch Division des aufsummierten Eigenstromverbrauchs und die aufsummierte solare Stromproduktion berechnet, siehe Formel (1). Das Zeitintervall  $i$  beträgt 15 Minuten.

$$\text{Eigenverbrauchsanteil Haus [%]} = \frac{\sum_i \text{Eigenstromverbrauch}_i [\text{kWh}]}{\sum_i \text{PV-Produktion}_i [\text{kWh}]} \quad (1)$$

Bei den Eigenverbrauchsanteilen spielt die Bilanzgrenze eine Rolle. Wird das gesamte Areal als Bilanzgrenze mit als Summe ( $k=1 \dots 13$ ) über alle Häuser betrachtet, rechnet sich der Eigenverbrauchanteil nach folgender Regel:

$$\text{Eigenverbrauchsanteil Areal [%]} = \frac{\sum_i \text{EV}_i [\text{kWh}]}{\sum_i \sum_{k=1}^{13} \text{PV-Produktion}_{i,k} [\text{kWh}]} \quad (2)$$

wobei

$$\text{EV}_i = \sum_{k=1}^{13} \text{PV-Produktion}_{i,k} \quad \text{falls} \quad \sum_{k=1}^{13} \text{Verbrauch}_{i,k} > \sum_{k=1}^{13} \text{PV-Produktion}_{i,k} \quad (3)$$

$$\text{EV}_i = \sum_{k=1}^{13} \text{Verbrauch}_{i,k} \quad \text{falls} \quad \sum_{k=1}^{13} \text{Verbrauch}_{i,k} \leq \sum_{k=1}^{13} \text{PV-Produktion}_{i,k} \quad (4)$$

Es wird also für jede Viertelstunde geprüft, ob die solare Produktion des Areals den Stromverbrauch des Areals decken kann (Formel 4). Ist dies der Fall, wird der Eigenstromverbrauch mit dem Stromverbrauch des Areals gleichgesetzt. Ist der Verbrauch des Areals grösser als die PV-Produktion, wie es z.B. im Winter der Fall ist (Formel 3), dann wird der Eigenstromverbrauch mit der PV-Produktion des Areals gleichgesetzt.

Der Deckungsgrad ergibt sich aus dem Verhältnis der Summe der PV-Produktion zur Summe des Stromverbrauchs über die Auswertungsperiode  $i$ :

$$\text{Deckungsgrad [%]} = \frac{\sum_i \sum_{k=1}^{13} \text{PV-Produktion}_{i,k}}{\sum_i \sum_{k=1}^{13} \text{Verbrauch}_{i,k}} \quad (5)$$



## 7.3 Resultate

### 7.3.1 Stromverbrauch der ersten beiden Betriebsjahre

Abbildung 42 zeigt den separat ausgewiesenen Allgemein-, Wohn- und Gewerbestrom pro Gebäude auf. Der Allgemeinstrom wurde auf die gesamte Gebäudeenergiebezugsfläche, der Wohnstrom auf die Energiebezugsfläche Wohnen bezogen. Der Gewerbestrom wird auf die Differenz der totalen Energiebezugsfläche und der Energiebezugsfläche Wohnen bezogen. Der Stromverbrauch des gesamten Areals hat sich gegenüber dem ersten Betriebsjahr um 9 % erhöht. Wurden zwischen Juli 2015 und Juni 2016 noch 1'658 MWh verbraucht, waren es zwischen Juli 2016 und Juni 2017 bereits rund 1'800 MWh. Die Bewohnerzahl änderte sich zwischen August 2016 und Juli 2017 jedoch nicht wesentlich (+ 2.6 % resp. 34 Bewohner mehr). Der grösste Teil des Mehrverbrauchs fand in den Gewerbebetrieben statt. Abbildung 42 zeigt die Anteile an Gewerbe-, Wohn-, und Allgemeinstrom für den Auswertungszeitraum 2015 bis 2017.

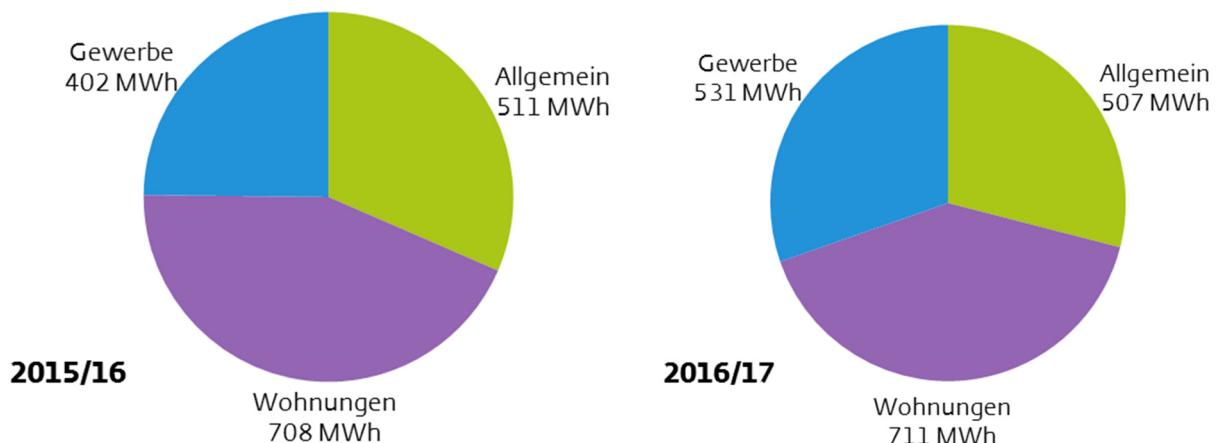


Abbildung 42: Stromverbrauch in MWh von Juli 15 - Juni 16 und Juli 16 - Juni 17 (Lemon Consult AG, 2017)

Im Allgemeinstrom ist der Strom für die Lüftungsanlagen (ausser Haus B mit Wohnungs-lüftungsgeräten), die Beleuchtung der Treppenhäuser, die Waschküchen und Aufzüge, nicht jedoch der Ladestrom der Mobilitätsstationen oder der Aussenbeleuchtungsstrom enthalten. Der Ladestromverbrauch auf dem gesamte Areal hat sich von ca. 5'000 kWh zwischen Juli 2015 – Juni 2016 auf rund 8'000 kWh zwischen Juli 2016 und Juni 2017 gesteigert. Der Umgebungsstromverbrauch des Areals beträgt zwischen 25'000 – 30'000 kWh pro Jahr.



Tabelle 6: Spez. Stromverbrauch der verschiedenen Gebäudenutzungen (Lemon Consult AG, 2017)

| 2016/17 | pro EBF Gebäude<br><b>Allgemeinstrom<br/>2016/17</b> | pro EBF Wohnen<br><b>Wohnstrom<br/>2016/17</b> | pro EBF Gewerbe<br><b>Gewerbestrom<br/>2016/17</b> |
|---------|--|--|--|
| Haus    | kWh/m <sup>2</sup>                                   | kWh/m <sup>2</sup>                             | kWh/m <sup>2</sup>                                 |
| A       | 8.6  | 10.5   | 17.2   |
| B       | 5.6  | 14.5   |  |
| C       | 7.2  | 9.3  | 17.9   |
| D       | 6.6  | 12.9   | 84.1   |
| E       | 7.4  | 11.4   | 203.3  |
| F       | 7.3  | 13.1   | 8.5  |
| G       | 11.9   | 10.8   | 2.2  |
| H       | 7.8  | 11.8   | 12.3   |
| I       | 6.7  | 11.0   | 16.7   |
| J       | 8.2  | 15.0   | 13.7   |
| K       | 6.9  | 11.9   | 367.7  |
| L       | 5.7  | 14.2   | 18.9   |
| M       | 8.9  | 11.1   | 26.3   |
| Min     | 5.6  | 9.3  | 2.2  |
| Mittel  | 7.6  | 12.1   | 65.7   |
| Max     | 11.9   | 15.0   | 367.7  |

Haus G weist einen vergleichsweise hohen Allgemeinstromverbrauch auf (siehe Tabelle 6). Dies beruht hauptsächlich auf der Gemeinschaftstiefkühlkühlung, welche im Untergeschoss untergebracht ist. Zudem verfügt das Haus über eine gemeinschaftlich genutzte Sauna.

Der durchschnittliche Wohnstromverbrauch beträgt 12 kWh/m<sup>2</sup>. Die Wohnungen weisen einen vergleichsweise tiefen Stromverbrauch auf. Bei der Betrachtung des Wohnstroms fällt auf, dass Haus B, J und L hohe Werte aufweisen. Bei Haus B ist der Lüftungsstrom bereits im Wohnungsstrom enthalten, da jede Wohnung über ein eigenes Lüftungsgerät verfügt. Bei Haus J kommt der erhöhte Stromverbrauch aufgrund der Belegungsdichte zustande. Es leben durchschnittlich mehr Personen auf der gleichen Wohnfläche,. Somit ist der erhöhte Stromverbrauch erklärbar. Für den erhöhten Wert bei Haus L konnte abschliessen noch keine Erklärung gefunden werden.

Gebäude mit gastronomischen Betrieben (D, E und K) weisen die höchsten spezifischen Stromverbräuche auf. Insbesondere Gebäude K zeigt einen starken Mehrverbrauch aufgrund der elektrischen Systeme und Installationen des Restaurants.

Effiziente Küchengeräte, zentrale Tiefkühlkühlungen und Waschküchen, sowie suffiziente Bewohner tragen zum sparsamen Stromverbrauch auf dem Areal bei. Wenn der durchschnittliche Allgemeinstromverbrauch (7.6 kWh/m<sup>2</sup>) und der durchschnittliche Wohnstrom (12.1 kWh/m<sup>2</sup>) summiert werden, entsteht ein spezifischer Stromverbrauch von 19.7 kWh/m<sup>2</sup>. Vergleiche mit dem Schweizer Durchschnitt (SIA 380/4) von 27.0 kWh/m<sup>2</sup> und dem Gebäudepark Modell (Prognose Stromverbrauch für das Jahr 2050 von 23.4 kWh/m<sup>2</sup>), schneidet das Areal mit seinen gemischten Nutzungen also sehr gut ab.

### 7.3.2 Stromproduktion der ersten beiden Betriebsjahre

Mit der Installation der Photovoltaik-Anlagen wurde Anfang 2015 begonnen. Seit August 2015 waren denn auch alle Anlagen vollständig in Betrieb. In Abbildung 43 ist die Jahresproduktion des gesamten



Areals von Juli 2016 bis Juni 2017 dargestellt. Insgesamt produzierten die 13 Anlagen 523 MWh Strom. Verglichen mit dem Verbrauch von 1'750 MWh (ohne Strom für Heizung und Warmwasser) entspricht dies einem Deckungsgrad von 30 %.

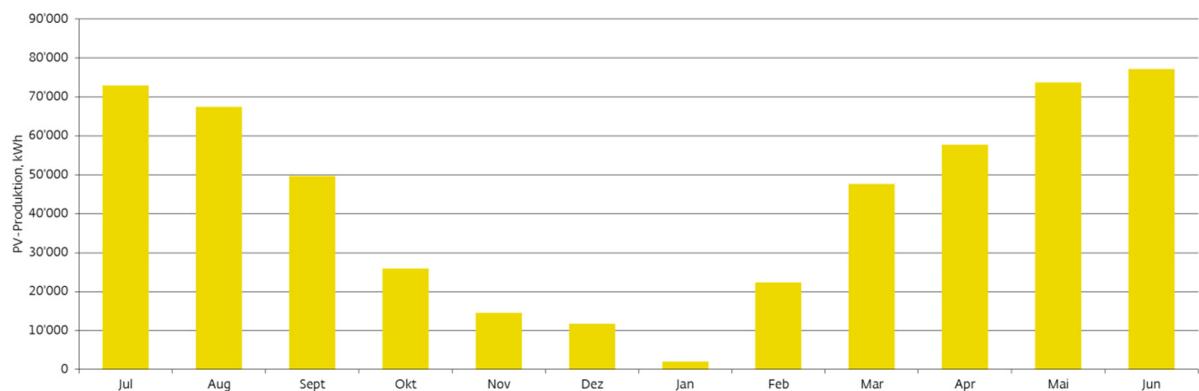


Abbildung 43: Jahresproduktion aller PV-Anlagen von Juli 2016 bis Juni 2017 (Lemon Consult AG, 2017)

In Abbildung 44 ist der spezifische Jahresertrag zwischen Juli 2016 und Juni 2017 ausgewiesen. Der Ertrag entspricht mit 950-1'100 kWh/kWp für eine Ausrichtung aller 13 Anlagen von 58 % Ost-West und 42 % Süd den Erwartungen. Der unterschiedliche spezifische Ertrag pro Haus entsteht wegen den unterschiedlichen Ausrichtungen der Anlagen.

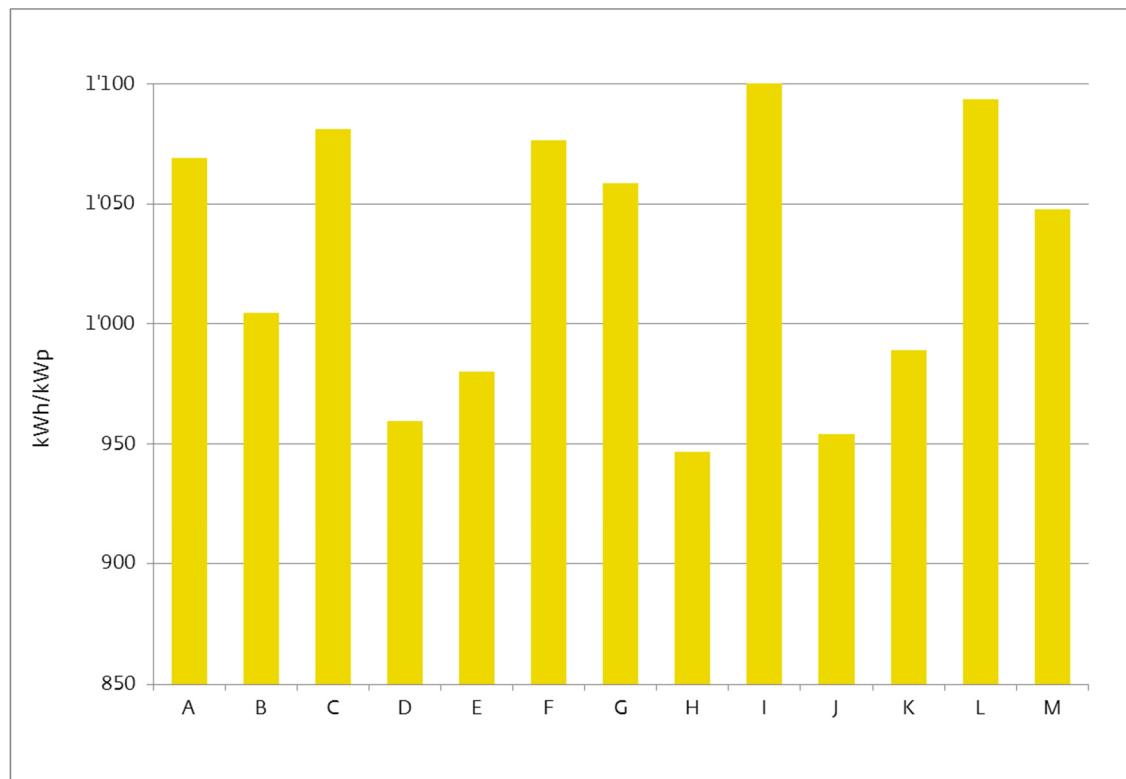


Abbildung 44: Jahresertrag PV-Anlagen pro kWp installierte Leistung (Lemon Consult AG, 2017)



### 7.3.3 ewz.solarsplit

Im Zuge des Leuchtturmprojektes und den Auswertungen von Stromproduktion und -verbrauch wurden Eigenverbrauchslösungen mit dem ewz genauer erörtert. In diversen Verhandlungen konnte gemeinsam eine neues Stromprodukt (ewz.solarsplit) entwickelt werden. Die Baugenossenschaft mehr als wohnen ist der erste Eigentümer, bei welchem dieses Produkt getestet wurde. In der Zwischenzeit kommen bereits diverse weitere ewz Kunden in den Genuss von solarsplit.

Basierend auf dem individuellen Stromverbrauch bietet ewz Eigenverbrauchsgemeinschaften eine exakte Verrechnung des Solarstroms an. Der Einsatz der Smart Meter Technologie ermöglicht eine dynamische Zuteilung des Solarstroms pro Viertelstunde. Die Bewohnenden erhalten weiterhin ihre Stromrechnung von ewz. Auf dieser ist neu, neben dem individuellen Stromprodukt, auch der eigene Solarstrom ausgewiesen ist. Als Anlagenbesitzer erhält die Genossenschaft mehr als wohnen quartalsweise eine Gutschrift über Ihren an die Mieter verkauften Solarstrom und den ins Netz zurückgespeisten Strom. Den Preis des eigenverbrauchten Solarstroms konnte die Baugenossenschaft mehr als wohnen selber festlegen. Auf diesen Preis addiert ewz eine Dienstleistungspauschale von 4 Rp./kWh. Die Mieter zahlen im vorliegenden Fall für den Eigenverbrauch etwas weniger als der Basis-Stromtarif (ewz.basis). Die PV-Anlagen können mit diesem Verrechnungsmodell wirtschaftlich erstellt und betrieben werden.

### 7.3.4 Eigenverbrauchsanteil

Betrachtet man die spezifische Stromproduktion pro Haus und EBF, stellt man fest, dass der Eigenverbrauchsanteil einerseits von der Leistung der PV-Anlage und andererseits vom Verbrauch abhängig ist. Gebäude mit hohem Tagesstromverbrauch, wie solche mit Gastronomiebetrieben, erreichen einen Eigenverbrauchsanteil von bis zu 100 % (Häuser E und K). Häuser mit kleinerer PV-Anlage erreichen ebenfalls Werte von beinahe 100 % Eigenverbrauchsanteil (Häuser D, E und M). Mehrfamilienhäuser ohne Gewerbenutzung, wie beispielsweise die Häuser B und I, erreichen einen Eigenverbrauchsanteil von 50 bis 60 %. Dafür weisen diese Häuser einen entsprechend höheren Jahresdeckungsgrad aus (jährliche Stromproduktion im Verhältnis zum jährlichen Stromverbrauch)

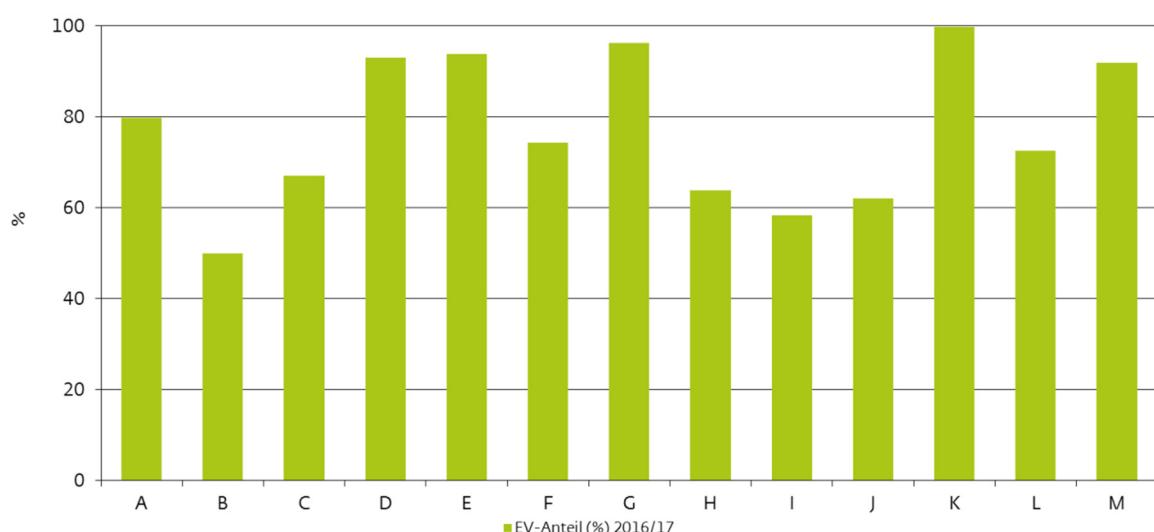


Abbildung 45: Eigenverbrauchsanteile von Juli 2016 bis Juni 2017 für alle 13 Häuser (Lemon Consult, AG)

Es ist also naheliegend, die Systemgrenze von einer Betrachtungsweise pro Gebäude zugunsten einer Arealsichtweise auszuweiten. Abbildung 46 zeigt dies deutlich. Wird der Eigenverbrauchsanteil pro Haus bilanziert, liegt er durchschnittlich bei nur 78 %. Hingegen liegt der Eigenverbrauchsanteil des gesamten Areals bei 92 %. Dies ist erklärbar, da Häuser mit hoher Produktion und niedrigem Verbrauch einen Teil ihrer Produktion an Häuser mit höherem Verbrauch „weitergeben“. So steigt der Anteil an PV-Strom welcher direkt auf dem Areal verbraucht wird. Es sei erwähnt, dass dies nur eine Bilanzierungsfrage ist. Physikalisch fliesst der Strom immer dorthin, wo der geringste Widerstand besteht.

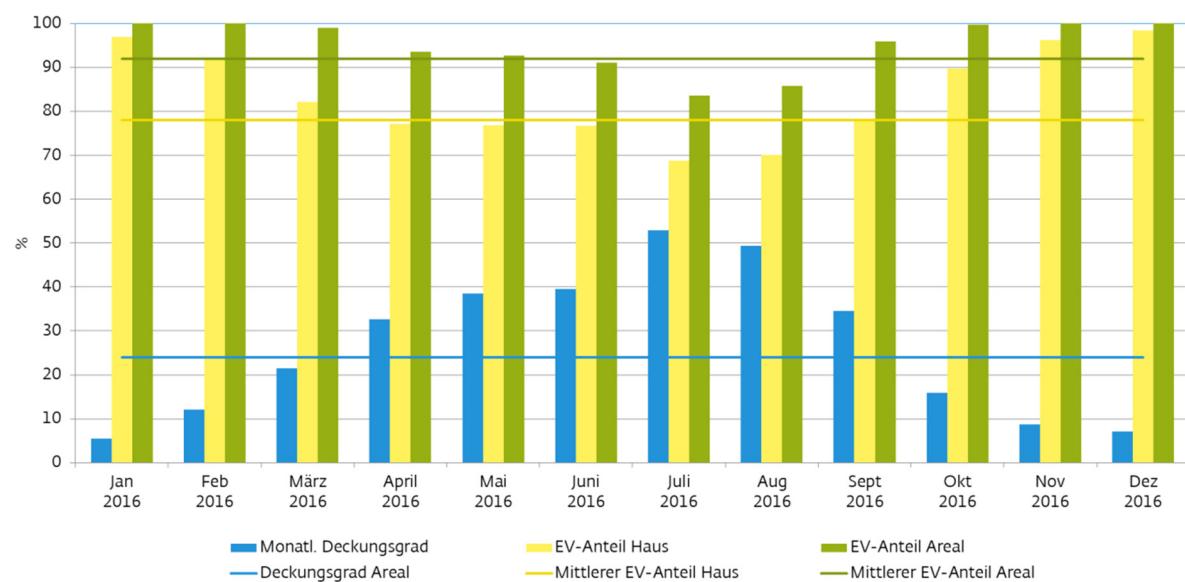


Abbildung 46: Eigenverbrauchsanteile und Deckungsgrad pro Monat (Lemon Consult AG, 2017)

92 % des produzierten Stroms wird in der Jahresbilanz direkt auf dem Areal verbraucht. Das zusätzliche Optimierungspotential durch Lastverschiebung liegt so höchstens bei 8 %. Das errechnete Potential für Lastverschiebung auf dem Areal beträgt unter Berücksichtigung der Warmwasser- und Heizwärmeproduktion 30 %. Wovon alleine, je nach Betriebszustand der Wärmepumpe in Relation zum Verbrauch, 8 bis 26 % der Warmwasserproduktion zufällt.

In einem Gedankenexperiment wurde ausgehend von der Ist-Situation ein kompletter Ausbau der PV-Module auf Dach inkl. Fassaden simuliert. In der momentanen Ist-Situation ist die gesamthaft installierte PV-Leistung 500 kWp. Der jährliche Deckungsgrad des Areals beträgt damit gesamthaft 30 %. Auf dem Hunziker-Areal wäre bei Verzicht auf die Dachbegrünung und Verschiebung der Lüftungsanlagen in das Untergeschoss theoretisch ein Ausbau auf 1'400 kWp (+175 %) möglich. Der Deckungsgrad könnte so auf 70 % gesteigert werden, der Autarkiegrad auf bis 40 %. Jedoch mit gleichzeitig geringerem Eigenverbrauchanteil (Reduktion auf 54 %) und damit deutlich eingeschränkter Wirtschaftlichkeit der Anlage.

## 7.4 Diskussion und Fazit

Der Areal-Stromverbrauch ist in den ersten zwei Betriebsjahren dank effizienten Geräten und suffizienten Bewohnenden vergleichsweise tief. Eine leichte Zunahme des Stromverbrauchs ist im zweiten Betriebsjahr zu beobachten, was hauptsächlich den Gewerbebetrieben zugeordnet werden kann. Eine Lastganganalyse und Begehung der grössten Stromverbraucher des Areals haben, trotz



bereits hoher Effizienz, Energiespar- und Betriebsoptimierungspotentiale in der Größenordnung von 15 % bezogen auf den Arealverbrauch aufzeigen können. Effizientere Beleuchtung und Reduktion des Betriebs ohne Nutzen (BON) der Küchen- und Betriebsgeräte, sowie der Lüftungsanlagen in den Gewerbebetrieben bieten noch Möglichkeiten zur Reduktion des Stromverbrauchs. An vielen Orten wurden bereits Energiesparmassnahmen aufgegriffen. Vor allem die gastronomischen Betriebe sind auf die Thematik sensibilisiert worden.

Der hohe Eigenverbrauchsanteil der Häuser resultiert vor allem aus der kleinen PV-Fläche pro Energiezugsfläche. Das lokale Gewerbe trägt ebenfalls zu einem hohen Eingenverbrauch bei. Erhöht wird der Eigenverbrauchsanteil andererseits vor allem durch die Erweiterung der Bilanzgrenze vom einzelnen Haus zum gesamten Areal. Mit dem neuen Energiegesetz ab 1.1.2018 ist eine solche Betrachtung grundsätzlich zulässig.



## 8 Zertifizierung 2000-Watt-Areal

### 8.1 Fragestellungen und Methodik

Ziel dieses Teilprojekts ist die Anwendbarkeit des SIA-Effizienzpfads Energie (Merkblatt 2040:2017) und 2000-Watt-Areal<sup>4</sup> Label an einem in Betrieb stehenden Areal zu überprüfen und bei Bedarf entsprechende Anpassungen an den Zertifizierungsinstrumenten vorzuschlagen. Zudem soll überprüft werden, welches Optimierungspotenzial bezüglich der Zertifizierungskriterien im Betrieb der bestehenden Gebäuden und Anlagen besteht.

Das Projekt bietet für diese Untersuchungen ein einzigartiges Umfeld. Dies insbesondere weil die Genossenschaft grundsätzlich auf diese Thematik ausgerichtet ist, die zukünftigen Bewohner und Nutzer bereits vor Bezug in die Entscheidungsprozesse involviert waren und Ihre Bereitschaft zur aktiven Unterstützung der Nachhaltigkeitsziele per Mietvertrag verbindlich zugesagt haben.

Das erste Ziel, die Erstzertifizierung als 2000-Watt-Areal, wurde bereits im Januar 2017 erfolgreich erreicht. Eine weitere Rezertifizierung wird für das Jahr 2021 angestrebt. Abbildung 47 zeigt die einzelnen Schritte im Zertifizierungsprozess, sowie die zu bilanzierenden Bereiche Erstellung, Betrieb und Mobilität. Die Erhebung der benötigten Verbrauchszahlen wurde bereits beschrieben. Für die Messgrößen der Bereiche Erstellung wurde eine Lebenszyklusanalyse und für die Mobilität und eine Umfrage auf dem Areal durchgeführt.

Neben den quantitativen Kennwerten (Primärenergie und THGE) werden ausserdem sogenannte „Soft Factors“ ausgewertet. Die qualitativen Themenfelder richten sich nach einem Kriterienkatalog analog zu Energiestadt, wobei ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess angestrebt wird. Die Themenfelder sind: Management, Kommunikation und Kooperation, Ver- und Entsorgung, Gebäude und Mobilität. Mindestens 50 % der Punkte müssen in jedem Themenfeld erreicht werden.

---

<sup>4</sup> Das Zertifikat für 2000-Watt-Areale basiert auf dem bekannten Energiestadt-Label für Gemeinden in Kombination mit dem SIA-Effizienzpfad Energie für Gebäude und wird vom Trägerverein Energiestadt vergeben.

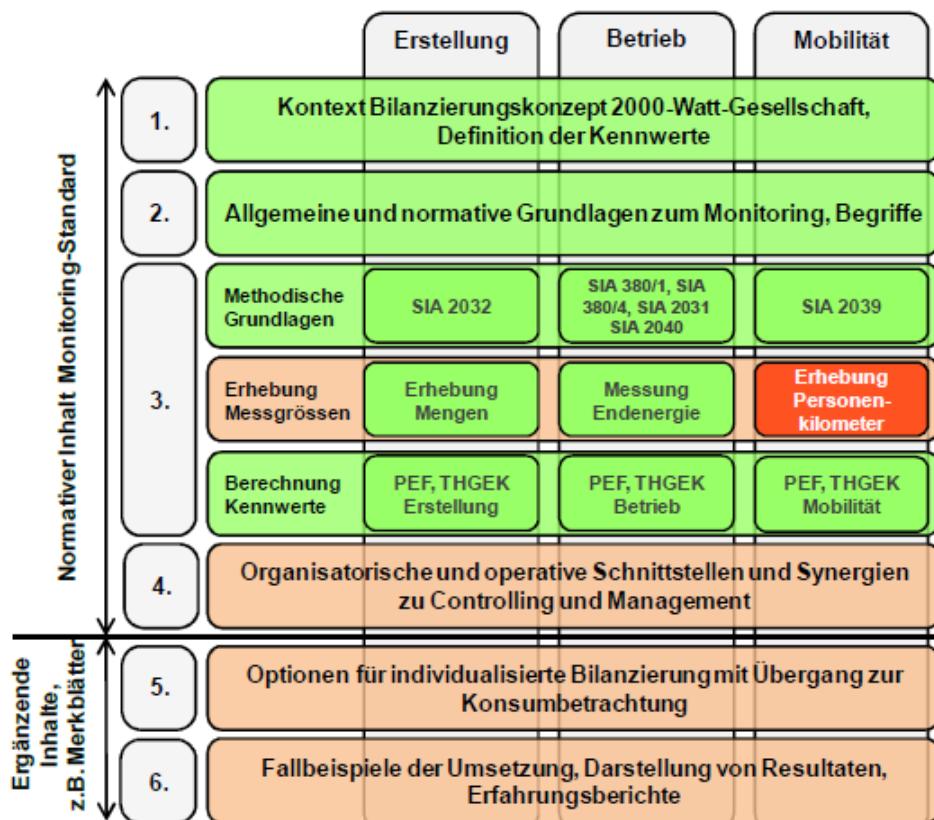


Abbildung 47: Zertifizierungsprozess 2000-Watt-Areal Erstellung und Betrieb (Energiestadt, 2014)

## 8.2 Resultate

Die quantitativen Kennwerte sind in Abbildung 48 dargestellt. Die Zielwerte für Treibhausgasemissionen werden durch das Etappenziel 2050 des Effizienzpfades vorgegeben. In den Bereichen Betrieb und Mobilität werden die Zielwerte deutlich unterschritten. In der Kategorie Erstellung entsteht eine leichte Zielverfehlung um 6 %. Der Primärenergieverbrauch des gesamten Areals beträgt 376 MJ/m<sup>2</sup> und liegt damit 49 % unter dem geforderten Zielwert. Der Nachweis für eine Zertifizierung ist somit sehr gut erfüllt. Für vertiefte Informationen empfehlen wir den Bericht: „2000-Watt-Areale im Betrieb, Schlussbericht Pilotphase 2015/16.“

Abbildung 49 zeigt die Resultate der qualitativen Bewertung. Alle Themenfelder erreichen die erforderlichen Mindesterfüllungsgrade von 50 %. Insgesamt wird ein guter Erfüllungsgrad von 75 % erreicht. Die Bereiche Ver- und Entsorgung und Mobilität haben noch Potential für Verbesserung. Grund für die leicht tiefere Bewertung bei der Ver- und Entsorgung ist das fehlende Abfallmonitoring und bei der Mobilität das Fehlen eines Anreizsystems (z.B. Mobilitätsbonus) für Bewohnende ohne Parkplatz. Dies ist jedoch laut den Genossenschaftsstatuten nicht möglich, da keine Gewinne erzielt werden dürfen, welche in diesem Fall für solche ÖV-Boni verwendet würden. Auch eine alternative Nutzung von nicht mehr genutzten Parkplätzen ist aus Brandschutzgründen nicht vorgesehen. Jedoch werden Parkplatzkosten komplett durch die Nutzer bezahlt. Weiter fehlen Verträge mit Taxiunternehmen oder Sammeldiensten auf dem Areal.

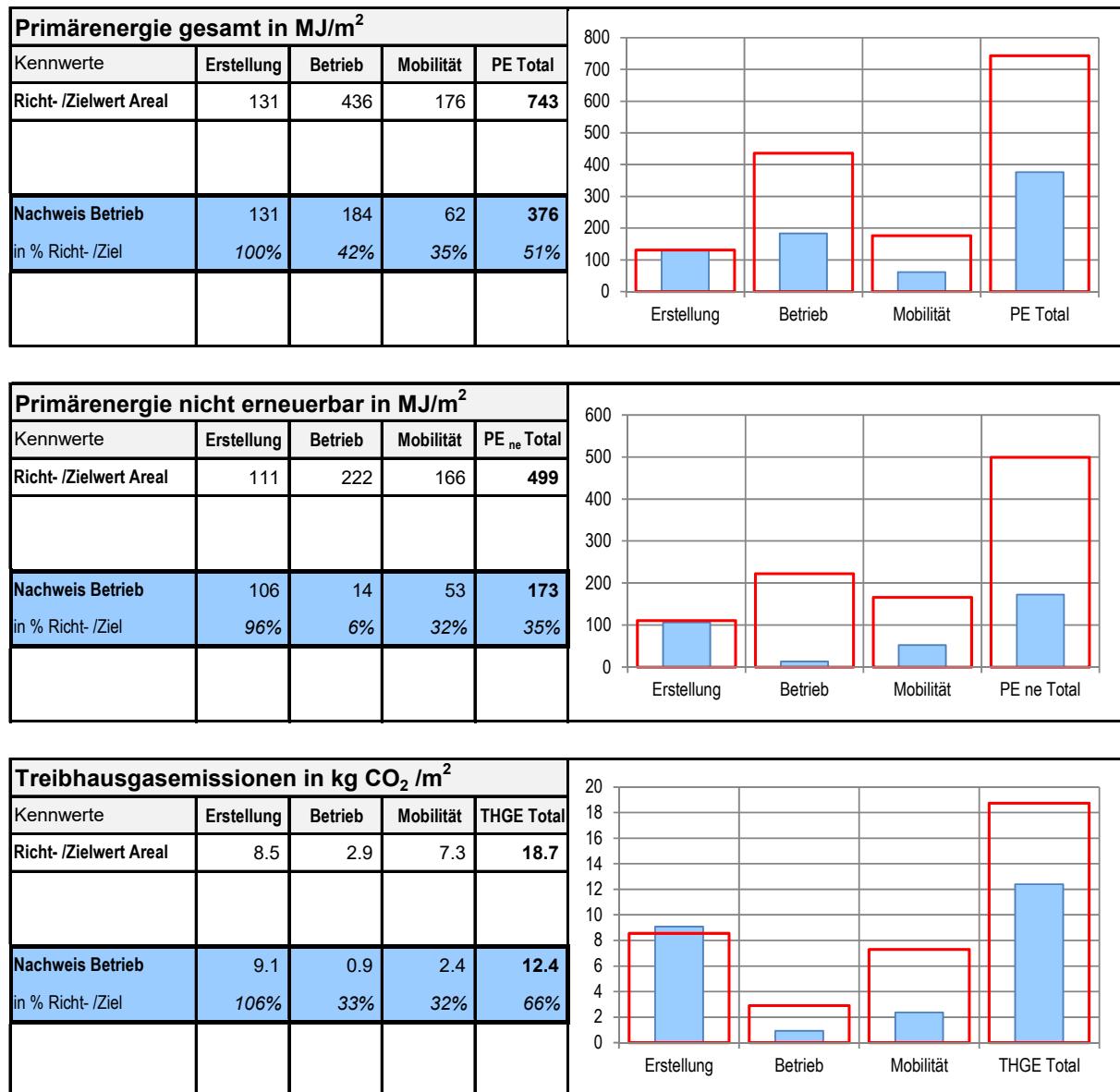


Abbildung 48: Auswertung aus dem Management-Tool Energiestadt für Erstellung, Betrieb und Alltagsmobilität, dargestellt und Primärenergie, Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgasemissionen (Lemon Consult AG, 2016)

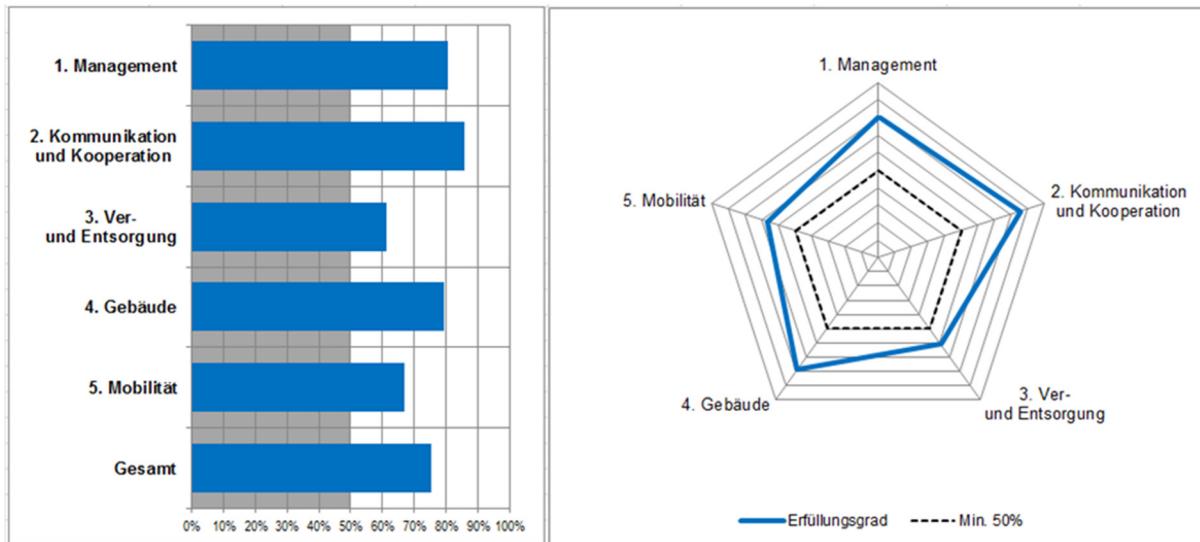


Abbildung 49 Zusammenfassung qualitative Bewertung (Lemon Consult, 2016)

### 8.3 Diskussion und Fazit

Für das sehr gute quantitative Abschneiden in den Bereichen Betrieb und Mobilität können die Wärmeleitung mittels Wärmepumpe aus Abwärme des Rechenzentrums OIZ und Fernwärmennutzung aus der KVA Hagenholz (Spitzenlastabdeckung), der sehr CO<sub>2</sub>-arme Strommix (ewz.basis) sowie der niedrige Anteil an Individualverkehr als Erklärungen angeführt werden. Diese Bereiche unterschreiten die Richtwerte oft, wie der Schlussbericht zu den fünf Versucharealen zeigt. Alle untersuchten 2000-Watt-Areale zeigen sehr geringe Anteile an nicht erneuerbarer Primärenergie im Betrieb. Im Bereich Erstellung wird der Richtwert leicht überschritten. Dies liegt zum einen an dem eher strengen Richtwert und zum anderen an den unterschiedlichen verwendeten Baumaterialien. Die mehrheitlich betonlastigen Konstruktionen der Gebäude und die zusätzliche Tiefgarage, ebenfalls aus Stahlbeton plus Aushub, tragen hier zur Ausschöpfung des Richtwerts bei. Während für die Rezertifizierung im Jahr 2021 die Projektwerte für die Erstellung nicht mehr beeinflusst werden können, wird im Betrieb eine weitere Senkung der Energieanteile angestrebt. Die Umsetzung eines kontinuierlichen Energiemonitoring wird von der Genossenschaft mehr als wohnen weiterverfolgt.

Auch die qualitativen Kriterien sollen bis zur Rezertifizierung beibehalten und wenn möglich optimiert werden. Die Abfallentsorgung hätte noch Potential. Auch die Ausnutzung der Wohnungen und die damit verbundene spezifische Personenfläche soll beibehalten werden. Es ist eine Qualität des Areals, dass ein grosser Teil der besprochenen Themen von den Bewohnenden in Eigeninitiative aufgegriffen wird. So wurden bspw. letztes Jahr Quartiergruppen zu den Themen Kunststoffrecycling, Fleischkonsum oder Urban Gardening gegründet.



## 9 Kommunikation

### 9.1 Kommunikation intern

Um das Leuchtturmprojekt erfolgreich zu gestalten, war eine gute Zusammenarbeit zwischen Bewohnenden und Projektteam entscheidend. Kommuniziert wurde kombiniert mit Inputs an Hausversammlungen und mit längeren Referaten am jährlichen Innovationsanlass auf dem Areal. Ebenfalls wurde eine Komfortumfrage zur Behaglichkeit in den Wohnungen mit einer Rücklaufquote von 50 % durchgeführt. Ergänzend wurde mit Flyern und im internen Newsletter immer wieder auf das Projekt aufmerksam gemacht. Der Austausch mit den Bewohnenden auf dem Areal mit dem Projektteam war intensiv, offen und wohlwollend. Das Interesse am Projekt, war gross. 15 % der Bewohnenden auf dem Areal haben sich vertieft mit Fragen zum Projekt befasst.

Innerhalb des Projektteams konnten die zum Teil überraschenden Resultate offen diskutiert werden und mit fortlaufender Arbeit konnten die Gründe für die gemessenen Energiewerte präziser herausgearbeitet werden. Die Optimierungen von Haustechnikanlagen bedingt eine gute Kommunikation zwischen Unternehmern, Betreiber und Fachexperten. Dies stellte bei Projektbeginn eine Schwierigkeit dar, konnte aber durch eine gute Projektorganisation verbessert werden.

### 9.2 Kommunikation extern

Mit Fachvorträgen, Interviews, Artikel in diversen Zeitschriften wurde über die beschriebenen Resultate berichtet. Die Genossenschaft mehr als wohnen ist ein Zusammenschluss von über 30 Zürcher Baugenossenschaften. Dadurch konnten die Resultate in den lokalen Genossenschaftskreisen schnell verbreitet werden. Auffallend war, wie viele differenzierte Feedbacks und fachliche Fragen an das Projektteam gerichtet wurden. Es scheint, dass es für spezifische Informationen zu technischen Systemen im Gebäudebereich einen grossen Bedarf gibt. Gerade zur Information über die Vor- und Nachteile bezüglich Komfort und Energieverbrauch der Lüftungs- und Heizungsanlagen konnte dieses Projekt beitragen. Viele Diskussionen mit Vertretern aus der Lüftungsbranche konnten dank der hervorragenden Grundlage von Messdaten kontrovers geführt werden. Das Interesse von Architekten, Fachplanern, Bewohnenden und politischen Vertretern war während der ganzen Projektlaufzeit sehr hoch.

Dank guter Vernetzungen in der Genossenschaftsszene ist es gelungen die Resultate auch in der Westschweiz publik zu machen. Gerade die Universität und die Wohnbaugenossenschaften in Genf waren für die Aussagen rund um Performance Gap und Lüftungsanlagen sehr offen. Ebenfalls fand ein mehrmaliger Austausch mit Projektanden vom Pilot- und Demonstrationsprojekt „La Cigale“ statt.

Die Überreichung des Zertifikates 2000-Watt-Areal in Betrieb, als eines der ersten fünf Pilot Areal in der Schweiz und der gleichzeitige Gewinn des World Habitat Awards der Vereinten Nationen hat dazu beigetragen, dass dieses Leuchtturmareal schweizweit und auch international bekannt wurde. Während der Projektlaufzeit wurden pro Woche mindestens zwei öffentliche Führungen durch das Areal angeboten. Internationale Architekturteams reisten nach Zürich, um sich dieses Beispielareal anzusehen. Die Führungen durch die Technikräume der Siedlung waren fast immer sehr gut besucht.

Die Projektbeteiligten erhielten diverse Anfragen aus der ganzen Schweiz. Dies zeigt, dass es das vorliegende Pilot- und Demonstrationsprojekt neben neuen fachlichen und technischen Erkenntnissen geschafft hat, die Erkenntnisse einer breiten Öffentlichkeit zu vermitteln.



## 10 Würdigung und Fazit

Die Genossenschaft mehr als wohnen ist für den gemeinnützigen Wohnungsbau ein Vorzeigbeispiel geworden. Gerade die partizipativen Prozesse zu Beginn der Planungsphase, in denen mit Architekten, Planern, Betreibern und zukünftigen Mietern diverse Themen erörtert wurden, sind heute ein wichtiger Bestandteil des Vorzeigecharakters. Die Messwerte zeigen denn auch, dass die Bewohner des Hunziker-Areals im Bereich der Erstellung und des Betriebs der Gebäude sowie der Alltagsmobilität (exklusiv Freizeitmobilität) schon heute die ambitionierten Zielsetzungen der 2000 Watt-Gesellschaft im Jahre 2100 erfüllen.

Auch in den Themen rund um die Haustechnik, liefern die Messwerte des Hunziker-Areals erstauliche Erkenntnisse. Die Messdaten zeigen, dass eine Erhöhung der Raumtemperatur um 1°C auf dem Hunziker-Areal zu einem rund 15 % höheren Heizwärmeverbrauch führt. Einer optimalen Einstellung und Feinjustierung der Heizkurve kommt daher bei effizienten Neubauten eine hohe Bedeutung zu. Dank den flächendeckenden Temperaturmessungen sind geeignete Grundlagen für eine Analyse und Optimierung der Heizkurven vorhanden. Ohne diese Überwachungs- und Regelfunktionen wäre ein optimaler Betrieb der Heizungs- und Lüftungsanlage nur schwierig zu bewerkstelligen. Trotz oder auch gerade wegen den detaillierten Messungen hat sich gezeigt, dass die Analyse und Interpretation der Daten von Fachexperten vorgenommen werden muss. Die Einregulierung der Heizung bleibt eine anspruchsvolle und vielschichtige Aufgabe. Die Zuständigkeiten zwischen Heizungsunternehmer, Unternehmen für die intelligente Regelung und Betreiber waren klar verteilt. Trotzdem wurden die Verantwortlichkeiten bei der Mängelbehebung und Einregulierung der Heizungsanlage bei eingeschalteter Selbsoptimierung komplexer und intransparenter. Bei Inbetriebnahme der Heizung schlagen die Autoren vor, mit der Aktivierung zusätzlicher Optimierungsfunktionen nach Abschluss der Einregulierung in der ersten Heizperiode oder, je nach Umfang der aufgetretenen Mängel, nach Abschluss der Mängelbehebung zu warten.

Eine überraschende Erkenntnis betrifft die vier Häuser des Areals, welche mit einer Komfortlüftung ausgerüstet sind. Bei ihnen liegt der Heizwärmeverbrauch markant über den Planungswerten. Die Erwartung, dass Häuser mit Komfortlüftungen 50 % oder weniger Heizwärme, als Häuser mit Abluftanlagen brauchen würden, hat sich nicht bestätigt. Obwohl der Frischluftanteil in den Häusern gegenüber den Normwerten reduziert wurde, weisen die vier mit Komfortlüftung ausgestatteten Häuser einen relativ hohen Stromverbrauch für die Lüftung auf. Daraus resultiert ein vergleichsweise hoher Gesamtenergieverbrauch. Die Gebäude mit Abluftanlagen schneiden bei den Auswertungen bezüglich Energie der Lüftung sehr gut ab, allerdings klagten diverse Bewohner über Zugluft in der Wohnung. In der Gesamtenergiebilanz sind die Häuser bezogen auf die Wohnnutzung vergleichbar, dies obwohl die Lüftungsanlagen mit WRG zu viel Strom verbrauchen, die Nutzer der Häuser mit WRG die Fenster doppelt so häufig öffnen und die Raumtemperaturen höher sind als in den Häusern mit Abluftanlagen. Die Luftqualität ist im Durchschnitt bei den Gebäuden mit Komfortlüftungen besser und die Nutzerakzeptanz höher. Die Autoren sind der Überzeugung, dass sich eine vertretbare Luftqualität auch mit reduzierter Luftmenge erreichen lässt. Ein Versuch, bei welchem in einem Haus die Luftmenge vorübergehend auf 50 % reduzierte wurde, bestätigt diese These. Diese Erkenntnisse regen an, die geforderten Zuluftmengen in den aktuellen SIA-Normen zu überdenken.

Als eines der ersten Areale in der Schweiz wurden bei der Genossenschaft mehr als wohnen flächendeckend Smart Meter installiert. Von jeder Nutzeinheit konnten Stromdaten pro Viertelstunde über ein volles Betriebsjahr ausgewertet werden. Die Auswertungen zeigen, dass der zeitgleiche Eigenverbrauchsanteil für das gesamte Areal über 90 % liegt, bei einem Jahresdeckungsgrad von 30%. Es wird folglich eine extrem kleine Menge an Strom ins Netz zurückgespiesen. Dies passiert denn auch nur während wenigen Stunden in den Monaten Juni und Juli bei maximaler PV-Produktion. Batteriespeicher zur Erhöhung des Eigenverbrauchs sind in diesem Kontext denn auch nur begrenzt sinnvoll.



## 11 Anhang

### 11.1 Vorlage Datenschutzvereinbarung mit der Stadt Zürich

#### 1. Einführung

Die angefragten Daten werden für das BFE Leuchtturmprojekt „BFE 2000-Watt-Leuchtturmareal mehr als wohnen“ benötigt. Neben der Baugenossenschaft mehr als wohnen ist die Firma eGain Switzerland SA, welche die selbst-optimierende Heizungsregelung auf dem Areal installiert, im Projekt involviert. Das Forschungsprojekt wird hauptsächlich von Lemon Consult betreut und koordiniert. Ebenfalls Partner für kommunikative Massnahmen des Projekts ist das Amt für Hochbauten der Stadt Zürich.

Einsicht in die Rohdaten werden nur die Projektmitarbeiter von Lemon Consult erhalten. Mehr als wohnen, die Stadt Zürich und eGain werden die Auswertungen in aggregierter Form erhalten und keine Einsicht in die gelieferten Rohdaten haben.

#### 2. Kurzbeschreibung des Vorhabens

Das Leuchtturmprojekt wird den Energieverbrauch der Siedlung mehr als wohnen und ihrer Bewohner detailliert erfassen, im Betrieb optimieren und den anspruchsvollen Anforderungen der 2000-Watt-Gesellschaft annähern.

#### 3. Zweck und Ziel

Das Hunziker-Areal in Oerlikon ist vom Bundesamt für Energie (BFE) als Leuchtturmareal ausgewählt worden, um die Energiewende der Bevölkerung sichtbar zu machen. Als Leuchtturmprojekt soll das Areal in den ersten drei Betriebsjahren bis Ende 2017 als Forschungslabor im Betrieb dienen.

Das gesamte Leuchtturmprojekt besteht aus sechs Teilprojekten:

- TP0 Koordination und Reporting
- TP1 Selbstoptimierende Heizungsregelung
- TP2 Optimierung Lüftungsanlagen
- TP3 Optimierung Stromeffizienz und PV-Eigenverbrauch
- TP4 2000-Watt-Areal Zertifizierung
- TP5 Kommunikation

Die für die Datenbekanntgabe relevanten Teilprojekte eins und drei werden nachfolgende detaillierter ausgeführt.

#### 3. Benötigte Personendaten

##### 3.1. Datenfelder für Verwendungszweck

Für eine gesamthafte Auswertung und Beantwortung der Forschungsfragen wird eine hohe Datenauflösung benötigt. Deshalb ist es entscheidend, dass die Daten in guter Auflösung geliefert werden

Folgende Datenfelder werden für die Forschungsarbeit benötigt:

- Wohnungscode (einzelne Wohnung muss lokalisierbar sein)
- Stromverbrauch pro Nutzeinheit (Quartalswerte, aufgeteilt in Hoch- und Niedertarif)



- Gewähltes Stromprodukt pro Nutzeinheit
- Stromverbrauch pro Haus (15-Minutenwerte, Zähler von maw)
- Produktion der PV-Anlagen auf dem Areal pro Haus (15-Minutenwerte, Zähler von maw)
- Eigenverbrauch/Überschuss (15-Minutenwerte)
- Allgemeinstromzähler pro Haus (15-Minutenwerte, Zähler von maw)
- Wärmezähler, Übergabestation pro Haus (BWW und Heizung) (15-Minutenwerte, Zähler von maw)
- Temperatur Fernwärmelieferung (15 Minuten Werte)
- Monatliche Energiebilanz der Wärmezentrale (Anteil Fernwärme, Abwärme OIZ)
- WP Genossenschaftsstrasse 16 (15 Minuten Werte)

Folgende Datenfelder werden in einem zweiten Schritt benötigt und erst bei ewz angefordert wenn der entsprechende Mieter die Datenherausgabe mittels Unterschrift eingewilligt hat:

- Stromverbrauch pro Nutzeinheit (15 Minutenwerte)

Vorgeschlagen wird, dass die Daten quartalsweise als CSV Datei übergeben werden sollen. Eine Spezifikation der einzelnen Datenfelder ist im Anhang beigelegt.

### 3.2. Anzahl Datensätze

Die unter 3.1 erwähnten Daten werden über den gesamten Zeitraum des laufenden Forschungsprojekts benötigt. Ab Anfang Juli 2015 bis Ende 2017 werden die Daten aller Nutzeinheiten auf dem Areal von mehr als wohnen quartalsweise an Lemon Consult geliefert. Das erste Mal wird ein Austausch im Oktober 2015 für das erste, zweite und dritte Quartal 2015 geschehen. Bereits im Juli 2015 soll ein Testdatensatz ausgetauscht werden.

## 4. Datenbearbeitung

### 4.1. Datenverarbeitungsprozess

Die Daten werden je nach Fragestellung ausgewertet. Die Produktionsdaten der Photovoltaik Anlagen werden mit den Verbrauchsdaten pro Gebäude ab-geglichen. Auf mögliche Gleichzeitigkeit der Daten sollte, wenn möglich, ge-achtet werden. Der Eigenverbrauch PV-Strom wird durch ewz ermittelt und fliesst in die Auswertungen ein

### 4.2. Zuständigkeit und Örtlichkeit

Die gelieferten Daten werden auf dem internen Server bei Lemon Consult AG abgelegt. Der Server ist passwortgeschützt und Zugang zum Server haben nur Mitarbeiter der Lemon Consult AG. Gehostet wird der Server von der KMU-IT Management AG, Zürich.

Im Projekt mehr als wohnen wird ein passwortgeschützter Ordner angelegt. Zugang zu diesem Ordner erhalten die unter Punkt 1.4 aufgeführten Personen. Alle, von ewz erhaltenen Daten, werden in diesen Ordner abgelegt.

## 5. Aufbewahrung der Daten

### 5.1. Zugriffsrechte



Verwaltung und Administration der passwortgeschützten Ordner wird von M. Mühlbach und C. Schneider übernommen. Alle unter Punkt 1.4 aufgeführten Personen werden für Auswertungen Zugriff auf die passwortgeschützten Ordner erhalten.

## 5.2. Massnahmen zum Schutz der Daten

Vorgängig wurde bereits eine Datenschutzvereinbarung zwischen mehr als wohnen, Lemon Consult und eGain Switzerland unterzeichnet. Dieses Dokument ist im Anhang beigelegt.

Ebenfalls werden nur die Mitarbeiter von Lemon Consult AG, welche auch am Projekt unmittelbar arbeiten Zugriff auf die gelieferten Daten erhalten. Weitere Massnahmen sind im nächsten Kapitel erwähnt.

## 6. Anonymisierung/Vernichtung

### 6.1. Anonymisierungsmethoden und Zeitpunkt

Alle Identifikatoren wie Messpunktbezeichnungen oder amtliche Wohnungsnummern werden bei der Lieferung aus dem Datensatz entfernt. Eine Beziehung zwischen Nutzeinheit und Verbrauchsdaten wird aber für die Auswertung weiterhin benötigt. Dafür wird eine Laufnummer angelegt. Damit die übrigen Attribute (Wohnungsgröße) nicht mehr eindeutig identifizierbar sind, werden sinnvolle Klassen gebildet.

### 6.2. Vernichtung und Zeitpunkt

Die Daten werden bis zu fünf Jahre nach Projektabschluss (31.12.2017) aufbewahrt und bis zum 31.12.2023 gelöscht.

## 7. Information

### 7.1. Informationstätigkeit und Inhalt

Die Genossenschaft mehr als wohnen steht im regelmässigen Kontakt mit den Bewohnenden. Anfang Juli wird in einem internen Newsletter über das BFE Leuchtturmprojekt informiert und den Bewohnenden die Möglichkeit eröffnet, sich bei der Genossenschaft zu melden, falls sie die Verbrauchsdaten ausdrücklich nicht weitergeben möchten. Der Text ist im Anhang beigelegt.

Über den Fortschritt des Projekts werden die Bewohnenden auf verschiedenen Kanälen informiert. Einerseits werden Hausversammlungen und Quartiergruppentreffen ideale Plattformen für einen Austausch bieten. Andererseits wird per Intranet und internen Newsletter über den Projektfortschritt berichtet werden.

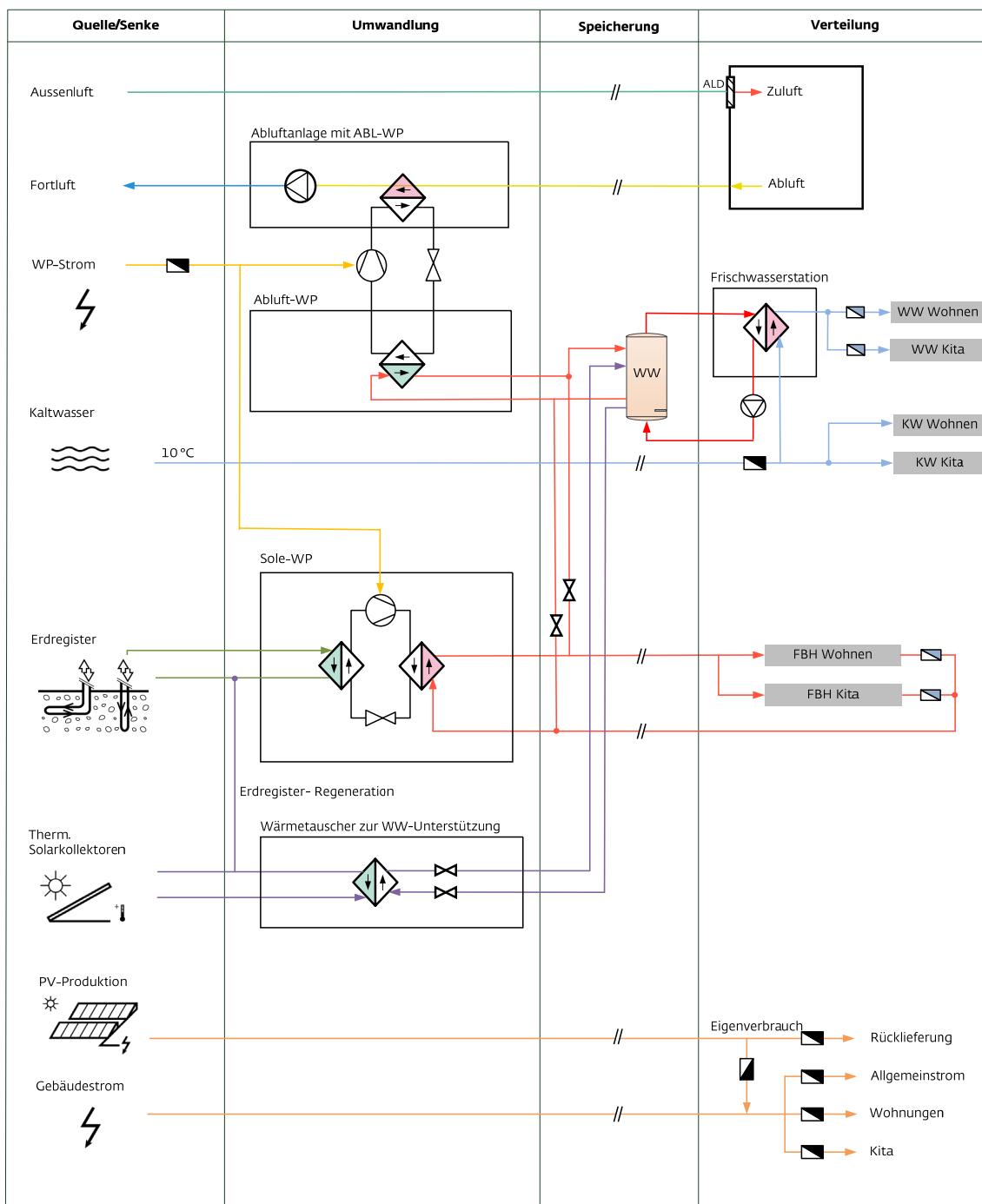
### 7.2. Einwilligungserklärung

Mit der Baugenossenschaft mehr als wohnen haben Lemon Consult und eGain Switzerland eine separate Datenschutzvereinbarung abgeschlossen (siehe Beilage). Mehr als wohnen gewährt Lemon Consult zudem die Einsicht in die, unter 3.1 erwähnten Zähler.

Die Bewohnenden haben bereits mit Unterzeichnung des Mietvertrags den Statuten der Baugenossenschaft mehr als wohnen zugestimmt. Im Vermietungsreglement der Wohnräume unter Punkt 12.2 steht: „Die Genossenschaft führt regelmässige Untersuchungen zum Verbrauch von Energie, Wärme, Wasser usw. durch. Die Bewohner/innen erklären sich bereit, für Befragungen und Auswertungen diese Verbrauchsdaten offen zu legen.“ Damit haben die Bewohnenden ihr Einverständnis für das Daten Monitoring für Forschungszwecke gegeben.



## 11.2 Messkonzept Haus M



**Legende:**

- EVU-Zähler
- private Zähler(MAW)
- provisorische Zähler (Lemon Consult AG)
- provisorische Temperaturfühler (Lemon Consult AG)



### 11.3 Resultate Komfortmessung (Okt 2015 – April 2016)

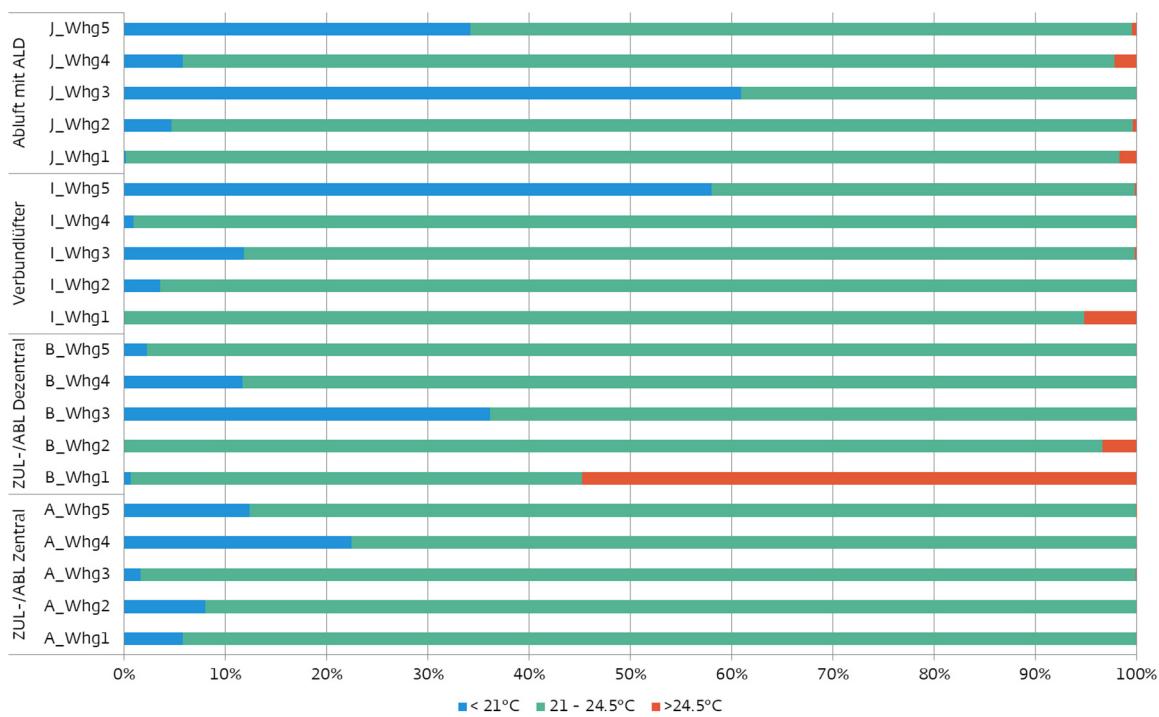


Abbildung 50: Häufigkeitsverteilung Raumlufttemperatur im Wohnzimmer (Lemon Consult AG, 2016)

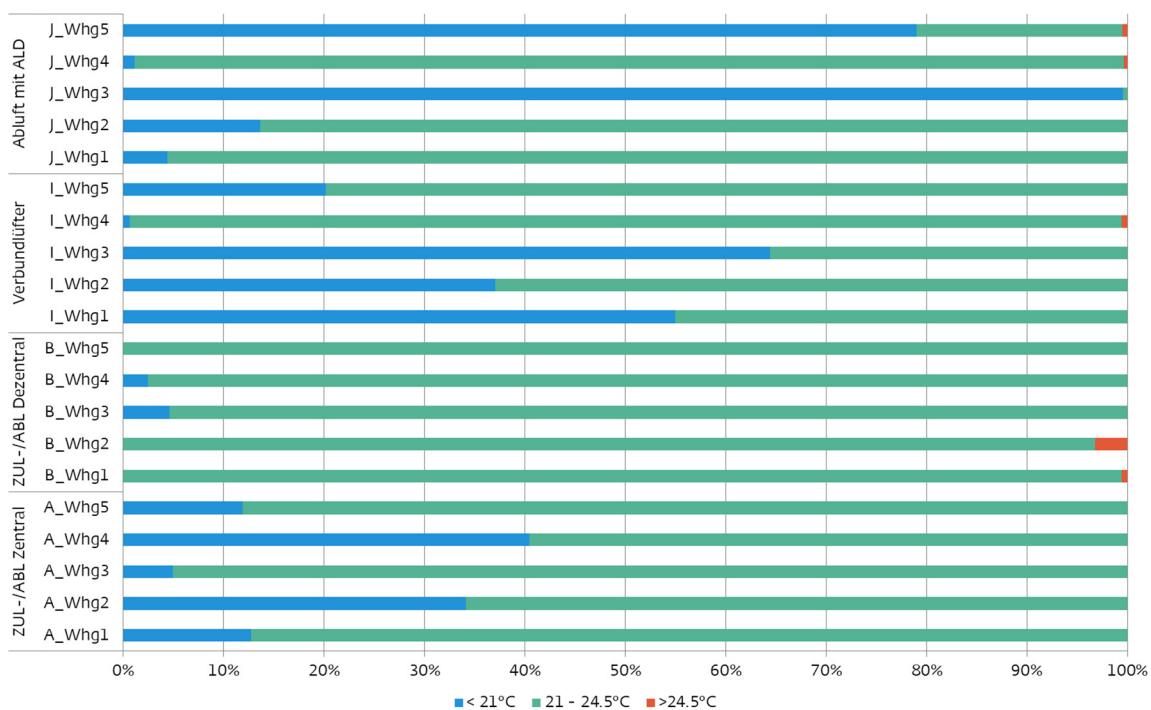


Abbildung 51: Häufigkeitsverteilung Raumlufttemperatur im Schlafzimmer (Lemon Consult AG, 2016)

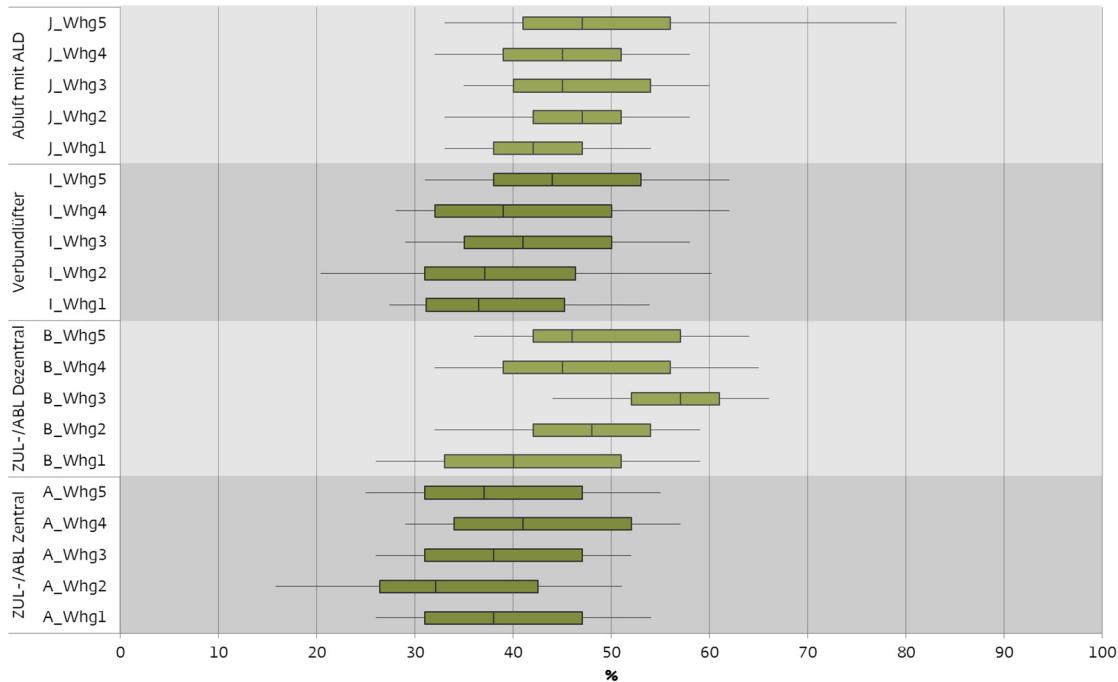


Abbildung 52: Relative Feuchte im Wohnzimmer Min./10 %-Perzentil/Median/90 %-Perzentil/Max. (Lemon Consult AG, 2016)

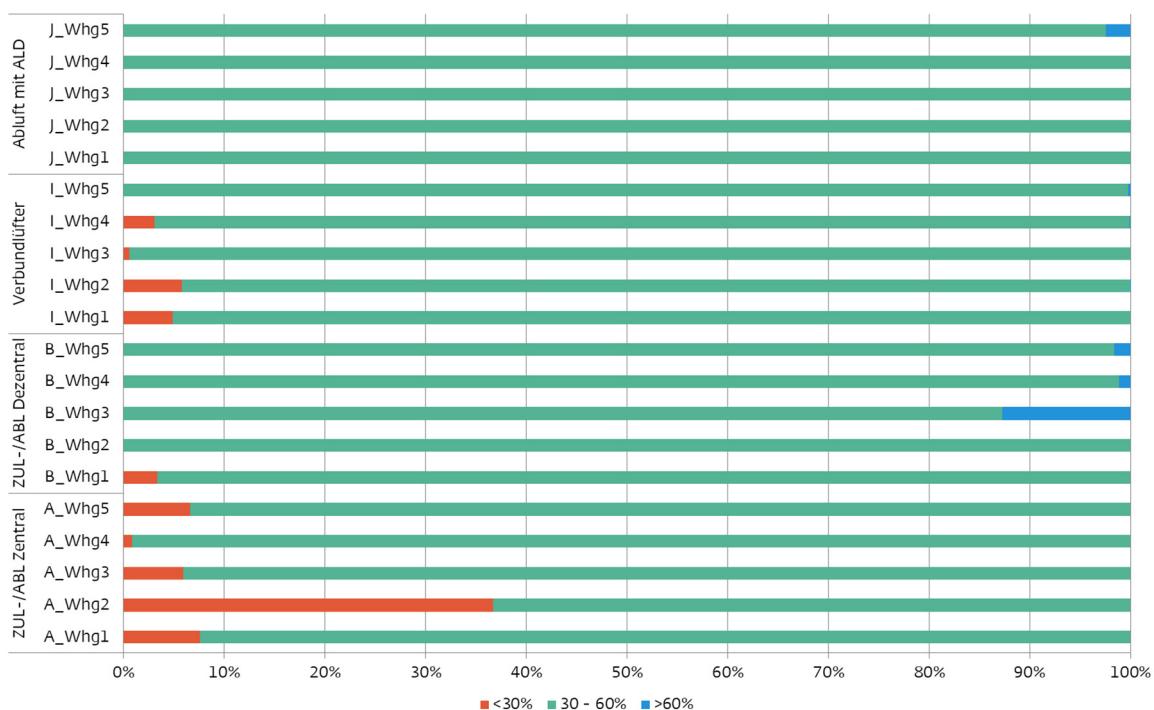


Abbildung 53: Häufigkeitsverteilung relative Feuchte im Wohnzimmer (Lemon Consult AG, 2016)

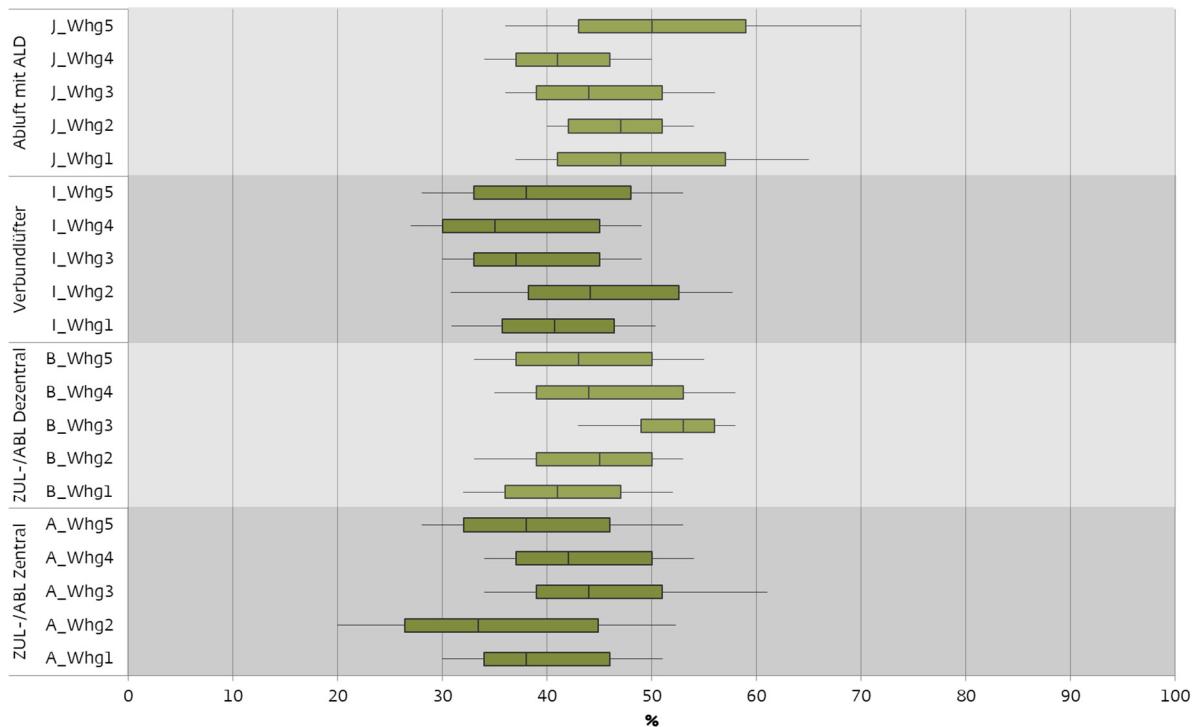


Abbildung 54: Relative Feuchte im Schlafzimmer zwischen 23 und 7 Uhr, Min./10 %-Perzentil/Median/90 %-Perzentil/Max. (Lemon Consult AG, 2016)

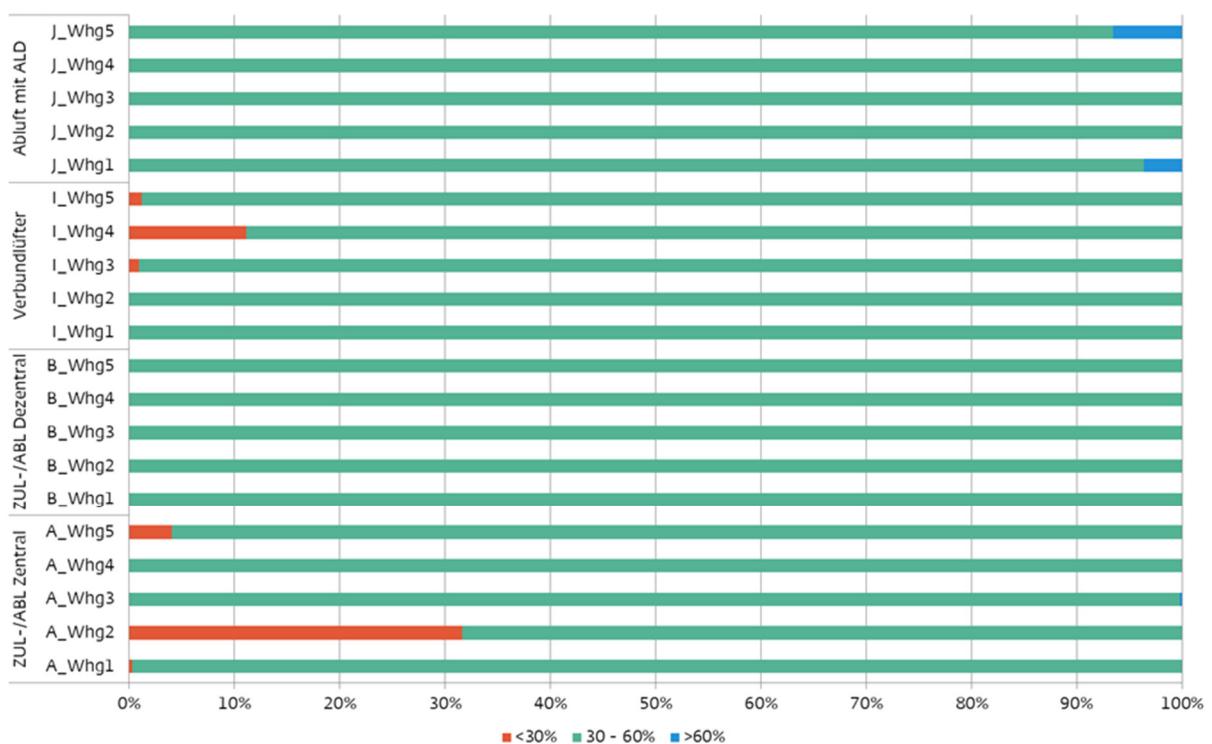


Abbildung 55: Häufigkeitsverteilung relative Feuchte im Schlafzimmer (Lemon Consult AG, 2016)