



Schlussbericht vom 23. Dezember 2020

2000-Watt-Gesellschaft leben: Reduktion des End-Energieverbrauchs durch Verhaltensänderungen

Nutzerinterventionen im Hüttengraben-Areal



Quelle: © Gataric Fotografie 2019



**HOCHSCHULE
LUZERN**

Technik & Architektur

BG Zurlinden
Die 2000-Watt-Genossenschaft



zhaw
School of
Engineering

Datum: 23.12.2020

Ort: Horw/Winterthur

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger/innen:

Hochschule Luzern, Technik & Architektur (HSLU)
Institut für Gebäudetechnik & Energie (IGE)
Technikumstrasse 21, CH-6048 Horw
www.hslu.ch/ige

Baugenossenschaft Zurlinden (BGZ)
Albisriederstrasse 358; 8047 Zürich
www.bgzurlinden.ch

Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW)
Institut für Nachhaltige Entwicklung (INE)
Technoparkstrasse 2; CH-8401 Winterthur.
www.zhaw.ch/ine

Autor/in:

Ernst Sandmeier, HSLU IGE, ernst.sandmeier@hslu.ch
Evelyn Lobsiger-Kägi, ZHAW INE, evelyn.lobsiger-kaegi@zhaw.ch
Reto Marek, HSLU IGE, reto.marek@hslu.ch
Uroš Tomić, ZHAW INE, uros.tomic@zhaw.ch
Stefan Kälin, BGZ, km.elektro@bluewin.ch

BFE-Projektbegleitung:

Men Wirz, men.wirz@bfe.admin.ch
Marc Köhli, koehli@enerconom.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501502-01

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



Zusammenfassung

Im vorliegenden Projekt wurden technische Lösungen mit Verhaltens-Interventionen verknüpft, um nachhaltig den Energieverbrauch in Gebäuden und Haushalten zu senken. Gemeinsam mit der Baugenossenschaft Zurlinden (BGZ) wurden passende, sozial akzeptierte und potentiell hoch wirksame Interventionen entwickelt und in einer Neubausiedlung systematisch getestet. Durch ein Monitoring des Energieverbrauchs wurde die Wirksamkeit der Interventionen quantifiziert. Zusätzlich wurde deren Akzeptanz mittels Fragebogen analysiert.

Am meisten Endenergie konnte durch eine energetische Betriebsoptimierung der Raumheizung eingespart werden, jedoch stiess die dadurch bewirkte Reduktion der Raumtemperaturen anfänglich auf wenig Akzeptanz. Ein Jahr später stieg die Akzeptanz wieder annähernd auf das gleiche Niveau wie vor der Reduktion.

Eine weitere Intervention zielte auf den Verbrauch von Warmwasser. Durch Feedback, Information und sozialen Vergleichen mit den Nachbarn konnte 15 % Warmwasser eingespart werden. Der Effekt reduzierte sich 3 Monate nach den Massnahmen auf 7 %.

Durch die letzte, den Haushaltsstrom betreffende Intervention konnte mittels einer Wettbewerbssituation und dem Verbrauchs-Feedback etwas Endenergie eingespart werden, jedoch konnten nur wenig aussagekräftige Resultate erzeugt werden, da die Intervention mit dem pandemiebedingten Lockdown in der Schweiz zusammenfiel.

Basierend auf dem gesamten Forschungsprojekt zwischen 2017 und 2020 können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Die energetische Betriebsoptimierung der Heizung lohnt sich. Diese muss aber mit Kommunikationsmassnahmen begleitet werden, damit sie von den Nutzer*innen akzeptiert wird.
- Die Verbrauchsfeedbacks wurden von Haushalten als interessant eingestuft und können eine Reduktion im End-Energieverbrauch bewirken.
- Eine offene Kommunikation mit der Mieterschaft, in welcher die Ziele und die eingesetzten Technologien einer Massnahme sorgfältig erklärt werden, wird die Akzeptanz erhöhen.
- Die Messinfrastruktur soll von Anfang an bedürfnisgerecht geplant und die Übermittlungswege müssen definiert und getestet werden.

Die BGZ wird diese Erkenntnisse in die Planung weiterer Immobilien aufnehmen und die Kommunikation mit ihren bestehenden Mieter*innen dahingehend weiterentwickeln.

Aus diesen Ergebnissen wurde eine Umsetzungshilfe mit empfohlenen Interventionen abgeleitet. Das Ziel der Umsetzungshilfe (Faktenblatt) ist es, anderen Genossenschaften und Immobilienverwaltungen Hinweise zu geben, wie sie durch Interventionen den Energieverbrauch in ihren Siedlungen reduzieren können.

Résumé

Dans le présent projet, des solutions techniques ont été combinées à des interventions comportementales pour réduire durablement la consommation d'énergie dans les bâtiments et les ménages. En collaboration avec la coopérative de construction Zurlinden (BGZ), des interventions adaptées, socialement acceptées et potentiellement très efficaces ont été développées et systématiquement testées dans un nouveau lotissement. L'efficacité des interventions a été quantifiée par le suivi de la consommation d'énergie. En outre, leur acceptation a été analysée au moyen de questionnaires.

Les plus grandes économies d'énergie ont été réalisées en optimisant le fonctionnement du système de chauffage des locaux ; mais la réduction de la température ambiante qui en a résulté n'a pas été bien accueillie par les locataires au départ. Un an plus tard, l'acceptation est revenue à peu près au même niveau qu'avant la réduction.

Une autre intervention visait la consommation d'eau chaude. Grâce à la rétroaction, à l'information et à la comparaison sociale avec les voisins, 15 % d'eau chaude ont été économisés. L'effet a été réduit à 7 % trois mois après les mesures.

La dernière intervention, concernant l'électricité domestique, a permis d'économiser une partie de l'énergie finale grâce à une situation compétitive et à un retour d'information sur la consommation, mais peu de résultats significatifs ont pu être obtenus car l'intervention a coïncidé avec le confinement de la pandémie en Suisse.

Sur la base de l'ensemble du projet de recherche entre 2017 et 2020, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- L'optimisation énergétique du fonctionnement du système de chauffage en vaut la peine. Toutefois, elle doit être accompagnée de mesures de communication afin qu'elle soit acceptée par les utilisateurs.
- Les retours d'information sur la consommation ont été jugés intéressants par les ménages et peuvent entraîner une réduction de la consommation finale d'énergie.
- Une communication ouverte avec les locataires, dans laquelle les objectifs et les technologies d'une mesure sont soigneusement expliqués, augmentera l'acceptation.
- L'infrastructure de comptage doit être planifiée dès le départ pour répondre aux besoins, et les voies de transmission doivent être définies et testées.

BGZ intégrera ces conclusions dans la planification d'autres propriétés et développera la communication avec ses locataires actuels.

Un guide de mise en œuvre avec des interventions recommandées a été élaboré à partir de ces résultats. L'objectif du guide de mise en œuvre est de fournir aux autres coopératives et sociétés de gestion immobilière des informations sur la manière dont elles peuvent réduire la consommation d'énergie dans leurs lotissements par des interventions.

Summary

In the present project, technical solutions were combined with behavioural interventions to sustainably reduce energy consumption in buildings and households. Suitable, socially accepted and potentially highly effective interventions were developed together with the Zurlinden Building Cooperative (BGZ), and systematically tested in a new housing estate. The effectiveness of the interventions was quantified by monitoring energy consumption. In addition, their acceptance was analysed by means of questionnaires. By energetically optimising the operation of the space heating system, most of the final energy could be saved; but the resulting reduction of room temperatures was initially met with little acceptance. One year later, the acceptance was again at approximately the same level as before the reduction.

A second intervention focused on consumption of domestic hot water. Through feedback, information and social comparisons with the neighbours, a reduction of 15 % of hot water consumption was reached in the short term. The effect was reduced to 7 % three months afterwards.

The third intervention by means of a competitive situation and consumption feedback on household electricity saved a little energy, but only few meaningful were generated as this intervention coincided with the pandemic-related lockdown in Switzerland.

Based on the entire research project between 2017 and 2020, following conclusions can be drawn:

- The energetic optimisation of the heating system is worthwhile. However, this must be accompanied by communication measures so that it is accepted by the users.
- The consumption feedbacks were rated as interesting by households and can bring about a reduction in the final energy consumption.
- Open communication with the tenants, in which the goals and the technologies used in a measure are carefully explained, will increase acceptance.
- The metering infrastructure should be planned from the outset to meet needs, and the transmission paths must be defined and tested.

BGZ will incorporate these findings into the planning of other properties and further develop communication with its existing tenants in this regard. From these results, an implementation aid with recommended interventions was derived. The aim of the implementation aid is to provide advice to other co-operatives and real estate management companies on how they can reduce energy consumption in their settlements through interventions.



Danksagung

Die Autorin und die Autoren bedanken sich bei den nachfolgenden Personen und Institutionen:

- beim schweizerischen Bundesamt für Energie (BFE), und namentlich bei den Projektbegleitern Men Wirz und Marc Köhli, für die Förderung des Projekts und die kompetente Begleitung;
- bei den Firmen Enastra AG und pi-System GmbH für die grosszügige technische, finanzielle und fachliche Unterstützung;
- bei der Bewohnerschaft des Hüttengraben-Areals für die aktive Mitwirkung am Projekt;
- bei allen Projektbeteiligten für ihre Beiträge und die angenehme Zusammenarbeit.

Die Arbeit entstand im Rahmen des BFE Forschungsprogramms «Pilot- und Demonstrationsprojekte».



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé	4
Summary	5
Danksagung	6
Inhaltsverzeichnis	7
1 Einleitung	8
1.1 Ausgangslage und Hintergrund	8
1.2 Motivation des Projektes	9
1.3 Projektziele	9
2 Beschreibung der untersuchten Siedlung	11
2.1 Siedlung	11
2.2 Bewohnerschaft	12
3 Vorgehen und Methode	14
3.1 Zeitlicher Ablauf des Projektes	14
3.2 Allgemeine Vorgehensweise	14
3.3 Messmethodik	14
3.4 Intervention Mobilität	15
3.5 Intervention Raumtemperatur	15
3.6 Intervention Warmwasser	16
3.7 Intervention Haushaltsstrom	18
4 Ergebnisse und Diskussion	19
4.1 Intervention Mobilität	19
4.2 Intervention Raumtemperatur	21
4.3 Intervention Warmwasser	24
4.4 Intervention Haushaltsstrom	27
5 Schlussfolgerungen und Fazit	32
5.1 Endenergie-Einsparungen und Akzeptanz	32
5.2 Messinfrastruktur	33
5.3 Ausserordentliche Situation auf Grund der Corona-Pandemie	33
5.4 Limitierung der Studie	33
5.5 Fazit aus Sicht der Baugenossenschaft	33
6 Ausblick und zukünftige Umsetzung	35
6.1 Optimale Einstellung der Raumtemperatur	35
6.2 Kadenz der Nutzerkommunikation	35
6.3 Kommunikation mit Smartmetern	35
6.4 Umsetzung der Erkenntnisse mittels Faktenblatt	35
7 Publikationen	36
8 Literatur	36
9 Anhang	38
9.1 Eingesetzte Messmittel und Übertragungsinfrastruktur	38
9.2 Faktenblatt-Text	40

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Heutzutage wird ein zunehmender Anteil von Neubau-Objekten nach den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft geplant und realisiert. Aber erst in der Betriebsphase zeigt sich, ob die Ziele tatsächlich erreicht werden. Denn das Energieverbrauchsverhalten der Bewohnerschaft ist hier besonders mitentscheidend. Aus Erfahrung sind die Abweichungen zwischen den Planungswerten und den effektiven Verbrauchsdaten meist bedeutend (Lehmann *et al.* 2016).

1.1.1 Hintergrund Heizenergieverbrauch

Die Heizungsintervention schliesst eine Reihe von Forschungslücken. Erstens mangelt es angesichts der wichtigen Rolle der Raumheizung im Hinblick auf den Gesamtenergieverbrauch an Interventionsstudien, die auf die Senkung der Raumtemperatur abzielen – so zeigt beispielsweise eine kürzlich durchgeführte Literaturübersicht, dass sich nur zwei von 100 Studien zu energiesparenden Interventionen auf die Raumheizung konzentrieren (Delzendeh *et al.* 2017). Zweitens konzentrierten sich die meisten Forschungsarbeiten über den Zusammenhang zwischen dem Heizenergieverbrauch und dem Verhalten der Bewohnerschaft auf die Triebkräfte des Energieverbrauchs, wie z. B. den Lebensstil oder die Fensteröffnungsmuster (Fabi *et al.* 2012). Viel weniger Aufmerksamkeit wurde der allgemeineren Frage der bewohnerzentrierten Absenkung der Raumtemperatur als Massnahme zur Energieeinsparung geschenkt (z. B. (Wolff *et al.* 2017)). Schliesslich wird seit langem die Faustregel angewendet, dass eine Absenkung der Raumtemperatur um 1 K eine Reduktion des Heizwärmebedarfs um 6 % bewirkt (Becker und Knoll 2011). Mit der steigenden Energieeffizienz von Gebäuden hat sich jedoch das relative Einsparpotential der Temperaturabsenkung erhöht. Überraschenderweise mangelt es an empirischen Belegen, wo die Beziehung zwischen Wärmebedarf und Temperatursenkung quantifiziert wurde.

1.1.2 Hintergrund Warmwasserverbrauch

(Tiefenbeck *et al.* 2019; BFE 2013) haben gezeigt, dass durch Live-Feedback der Wasserverbrauch beim Duschen um über 20 % gesenkt werden kann. Der Effekt scheint sich zudem langfristig zu bewähren (Tiefenbeck *et al.* 2016b) und wurde auch bei einer Population bestätigt, die nicht freiwillig am Experiment teilnahm und kein finanzielles Interesse an den Einsparungen hatte (Tiefenbeck *et al.* 2019). In dieser Intervention wurde untersucht, ob dieser Effekt durch weitere Interventionen (wie Verbrauchs-Feedbacks und ein Nachbarschaftsvergleich) verstärkt werden kann. (Peschiera *et al.* 2010) haben zum Beispiel gezeigt, dass ein Vergleich des Eigenverbrauchs mit dem Verbrauch einer Peer-group (z. B. Nachbarn) effizientes Verhalten fördert.

1.1.3 Hintergrund Stromverbrauch

Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass Feedback zum Stromverbrauch eine Reduktion herbeiführen kann, wenn auch in sehr unterschiedlichem Umfang (Karlin *et al.* 2015). Das «Social Power Project» hat ausserdem gezeigt, dass Gruppenwettbewerbe ein wirksames Mittel zur Reduzierung des Stromverbrauchs sind (Wemyss *et al.* 2018). Die Frage stellt sich, ob dieser Effekt verstärkt werden kann, wenn sich die Gruppenmitglieder aus der Nachbarschaft besser kennen als diese im «Social Power Project» der Fall war.

1.1.4 Hintergrund Mobilität

Das Thema Mobilität wird in dieser Studie nur am Rande aufgegriffen. Der Handlungsspielraum ist bei bestehenden Gebäuden für die Immobilieneigentümer und -betreiber in der Regel eher klein, da der Standort, wie auch die Anzahl Parkplätze bereits feststehen. Der Anteil der Mobilität im Inland am gesamten Energieverbrauch der Haushalte ist jedoch mit rund einem Drittel sehr hoch (Kemmler und

Spillmann 2020). Dementsprechend ist die standortabhängige Alltagsmobilität auch bei der Zertifizierung zum 2000-Watt-Areal ein wichtiger Aspekt (Gugerli und Fink 2019). Dementsprechend werden in dieser Untersuchung Bedürfnisse und Ideen bezüglich einem umweltfreundlicheren Mobilitätsverhalten in einer bestehenden Siedlung eruiert, die jedoch auch als Inputs für die Planung zukünftiger Siedlungen dienen können.

1.2 Motivation des Projektes

Die BGZ bekennt sich als Bauherrin zu den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft. Bereits in der Wettbewerbsphase des Projekts „Hüttengraben“ wurden entsprechende Ziel-Vorgaben gemacht. Bei der Projektauswahl wurde stark darauf geachtet, dass beim gewählten Projekt die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft erreicht werden können. Das Gewinnerprojekt, die Überbauung Hüttengaben mit acht vergleichbaren Häusern mit 69 Wohnungen, wurde in Küsnacht realisiert. Jedes Haus wird mit einer Erdsonden-Wärmepumpe und einer auf dem Dach liegenden Photovoltaikanlage versorgt. Eines der acht Häuser wurde als Gebäude mit autarker Wärmeversorgung geplant. Dieses wurde mit dezentral konzipierten Frischwasserstationen und einem Solarstromspeicher auf Basis eines Elektrolyseurs mit Brennstoffzelle ausgestattet. Dieses Haus ist **nicht** Bestandteil des Projektes.

1.3 Projektziele

Ziel des Demonstrationsprojekts war die Untersuchung, ob der End-Energieverbrauch in der Siedlung Hüttengraben durch verhaltensbezogene Interventionen reduziert werden kann. Es wurden zuerst gemeinsam mit der Baugenossenschaft Interventionen entwickelt, welche die Bewohnenden dazu motivieren sollen, ihren Endenergieverbrauch durch Veränderung ihres Verhaltens zu senken.

In einem zweiten Schritt wurden die Interventionen direkt in der Siedlung getestet. Die Wirkung der Intervention auf den Energieverbrauch wurde durch ein Monitoring erfasst und quantifiziert. Daraus wurden in einem nächsten Schritt allgemeine Empfehlungen für die Entwicklung und Durchführung von ähnlichen Interventionen abgeleitet (s. u. Faktenblatt, Kapitel 6.4).

Durch das Demonstrationsprojekt wurde eine effektive Kombination von technischen Lösungen und verhaltensbezogenen Interventionen erarbeitet, um einen nachhaltigen Energieverbrauch zu fördern. Mit dem Areal Hüttengraben, das gemäss den Leitlinien der 2000-Watt-Gesellschaft geplant und erstellt, jedoch nicht als 2000-Watt-Areal zertifiziert wurde, besteht eine gute Gelegenheit, Verhaltensänderungen und deren Einfluss auf den Energieverbrauch für Arealüberbauungen zu untersuchen.

Im Rahmen des Demonstrationsprojekts wurden insbesondere folgende Aspekte untersucht:

- Der Einfluss des Verhaltens der Nutzenden auf die Erreichung der Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft wurde durch ein Monitoring erfasst und quantifiziert.
- Eine Reihe von verschiedenen Interventionen, welche den Energieverbrauch in Wohngebäuden senken können, wurde in einer realisierten Überbauung umgesetzt und systematisch auf deren Wirkung getestet.
- Die Akzeptanz und Zufriedenheit der Nutzenden bezüglich verschiedener Interventionen wurde evaluiert.
- Erfahrungen mit Produkten für die Umsetzung der Interventionen (z. B. Display, App, E-Mails) und für das Monitoring (z. B. Smart-Meter Technologie) wurden gesammelt, ausgewertet und dokumentiert.
- Aus den Ergebnissen wurden Guidelines und Empfehlungen im Rahmen einer Umsetzungshilfe publiziert.



- Das Know-how im Bereich Interventionen zur Beeinflussung des Nutzerverhaltens wurde weiter aufgebaut. Eine breite Dissemination der Projektergebnisse durch das Faktenblatt wird ermöglicht.
- Die wechselseitige Beeinflussung der Bereiche wurde untersucht: Können Interventionen in einem Bereich Auswirkungen auf einen anderen haben, durch Rebound- oder Spillover-Effekte?

Die sieben Ziele stehen in einem engen Verhältnis zu Forschungslücken wie sie von (de Wilde Pieter 2014) in einer wegweisenden Publikation zum «Performance Gap» von Gebäuden festgehalten wurden.

Diese Forschungsziele wurden mittels vier verschiedenen Interventionen und deren Auswertungen auf der energetischen und technischen Ebene, sowie auf der Ebene der Mieter*innen angegangen. Die nachfolgende Tabelle 1 vermittelt einen Überblick über die vier Interventionen und deren spezifische Fragestellungen.

Tabelle 1: Geplante Interventionen und korrespondierende Fragestellungen

Intervention	Fragestellungen
Mobilität	- Welche Mobilitätsbedürfnisse bestehen in der Siedlung insbesondere in Bezug auf eine nachhaltige Mobilität? - Welche Lösungsvorschläge werden von den Bewohner*innen vorgeschlagen um eine nachhaltigerer Mobilität in der Siedlung zu ermöglichen und zu fördern?
Raumtemperatur	- Wie wird eine Raumtemperatur-Absenkung von den Mieter*innen akzeptiert? - Wie wird eine Raumtemperatur von ca. 21.5 °C Grad wahrgenommen? - Welche Verhaltensänderungen zeigen sich auf Grund der tieferen Temperatur (z.B. mehr warmes Essen/Trinken, wärmere Kleidung)?
Warmwasser	- Wird auf Grund von unmittelbaren Verbrauchsfeedback beim Duschen Warmwasser eingespart? - Gibt es Spillover-Effekte bezüglich anderer Warmwasser-Verhalten? - Führt eine Nachbarschaftsvergleich und ein Verbrauchsfeedback zu zusätzlichen Warmwassereinsparungen?
Haushaltsstrom	- Führt ein Gruppen-Wettbewerb unter Nachbarn zu Einsparungen im Haushaltsstrom? - Wirken Verbrauchsfeedback und Energiespartipps motivierend für das Stromsparen im Haushalt?

2 Beschreibung der untersuchten Siedlung

2.1 Siedlung

Für den Bau der Siedlung Hüttengraben hat die Gemeinde Küsnacht Land im Baurecht an die Baugenossenschaft Zurlinden übergeben mit dem Ziel, günstigen Wohnraum für Familien zu erstellen.



Abbildung 1: Visualisierung und Arealübersicht, Quelle: BG Zurlinden

Das Projekt von Baumann Roserens Architekten hat diese Aufgabe mit acht locker verteilten Solitären gelöst, welche grosse Teile der Ebene und des Hanges offen lassen. Die mehrfach geknickten Baukörper nähern sich zur Optimierung der Oberfläche einem Kreis an. Die dreigeschossigen kompakten Bauten haben jeweils neun Wohneinheiten unterschiedlicher Grösse. Die Gebäude sind mit einem Fuss- und Spielwegnetz oberirdisch erschlossen. Sieben der Häuser sind an die Tiefgarage angeschlossen. Die Statik der Häuser besteht aus konventionellen Betondecken und tragenden Wänden aus stehenden Holzbalken (TopWall). Dies führt zur Reduktion der Grauen Energie und unterbindet Wärmebrücken im Bereich der Fassade. Durch die Aufteilung der 24 cm Isolation auf 16 cm aussen und 8 cm innen erreicht man einen tiefen U-Wert von 0.145 W/m²K und eine einfachere Aufhängung/Befestigung der Holzfassade. Die Fassade besteht aus sägerohren Fichtenbrettern aus dem Wald der Gemeinde Küsnacht. Der Bodenkanal aus Holz entlang der Fassade nimmt in den Wohnungen einen grossen Teil der Elektroinstallationen auf und ersetzt je Wohnung einige 100 m aus fossilen Erdölderivaten hergestellter Kunststoffrohre. Die Gebäudetechnikanlagen folgen dem Motto «einfach und effizient». Die Lüftung der Wohnungen wurde mit dezentralen Fensterlüftern ausgeführt, wodurch voluminöse Lüftungsleitungen entfielen. Die Wärme für Heizung und Warmwasser wird in jedem Haus dezentral mit einer Erdsondenwärmepumpe erzeugt, womit aufwendige Transportleitungen, Steuerungen und interne Transportverluste weitgehend entfallen. Die Wärmeverteilung erfolgt über eine 30-Grad-Fussbodenheizung. Auf eine individuelle Temperaturregelung wurde auf Grund der geringen Heizleistung, der Einfachheit und der beschränkten Wirksamkeit verzichtet. Die Warmwasserversorgung ist konventionell mit einem Warmwasserspeicher je Haus ausgeführt. Die Energieverteilung im Haus erfolgt über zentrale vom Treppenhaus zugängliche Schächte. Die elektrischen Anlagen verfügen über ein batterieloses Funksystem für die Schalter, wodurch viele Leitungen entfallen.



Abbildung 2: Ansichten der gebauten Siedlung © superlenses.com 2019

Da bewusst auf energieeffiziente Technik und die Verwendung erneuerbarer Energieträger (Sonne, Erdwärme) gesetzt wurde, liegt das grösste Potential, Endenergie einzusparen, in den Wohnungen und damit bei der Mieterschaft. Die Abbildung 3 zeigt den Energiehaushalt aller sieben untersuchten Gebäude zusammengefasst für das Jahr 2019 in MWh/a.

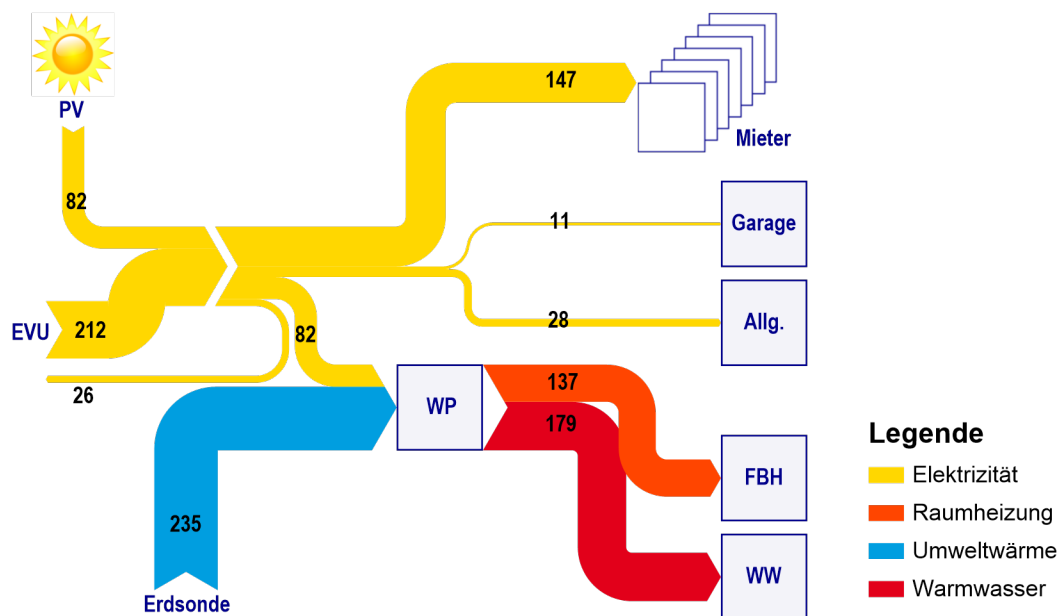


Abbildung 3: Aggregierte Energiebilanz 2019 [MWh/a] der sieben untersuchten Gebäude

2.2 Bewohnerschaft

Die Wohnungen wurden bis Ende 2016 bezogen. In einer ersten Befragung im Herbst 2017 wurde der Bewohnerschaft eine Reihe von Fragen zum soziodemografischen Status und zur Einstellung zu Energieeffizienz und Suffizienz gestellt. 41 Personen aus 30 Haushalten haben diesen Fragebogen ausgefüllt. Die Bewohnerinnen und Bewohner sind im Durchschnitt 44 Jahre alt. 50 % haben einen



akademischen Hintergrund und 82 % sind berufstätig, 90 % aller Haushalte verfügen über mindestens ein Auto und ein Fahrrad. 45 % haben ein Mobility-Abonnement und nur etwa 18 % besitzen ein Generalabonnement (GA) für den öffentlichen Verkehr. Das eigene Auto ist das bei weitem am häufigsten benutzte Verkehrsmittel und eng mit den täglichen Routinen wie Einkaufen oder Arbeiten verbunden.

Dennoch behaupten die Bewohner*innen, ein hohes Umweltbewusstsein zu haben. Energieeffizienz und die Reduktion des Energieverbrauchs gälten als wichtige Anliegen. Gemessen an der selbstberichteten Häufigkeit des täglichen Energieverbrauchs in den Haushalten (z. B. Benutzung des Geschirrspülers, Duschen/Baden usw.) neigen die Antwortenden eindeutig zu umweltfreundlichem Verhalten. Die meisten zeigen grosses Interesse daran, mehr über ihren täglichen Energieverbrauch zu erfahren, wobei mehr als 90 % aller Antwortenden die Idee des Zugangs zu einer digitalen Plattform, die ihre individuellen Nutzungsprofile aufzeigt, nachdrücklich unterstützen. 37 der 69 befragten Haushalte erklärten sich schliesslich bereit, an diesem Projekt teilzunehmen.

3 Vorgehen und Methode

3.1 Zeitlicher Ablauf des Projektes

Das Projekt startete Mitte 2017 damit, Bewohnende der Siedlung als Teilnehmende zu gewinnen. Die letzten Messungen wurden anfangs April 2020 durchgeführt. Das Projekt wurde per Ende 2020 abgeschlossen. Eine vereinfachte Darstellung über die Tätigkeiten findet sich in Abbildung 4.

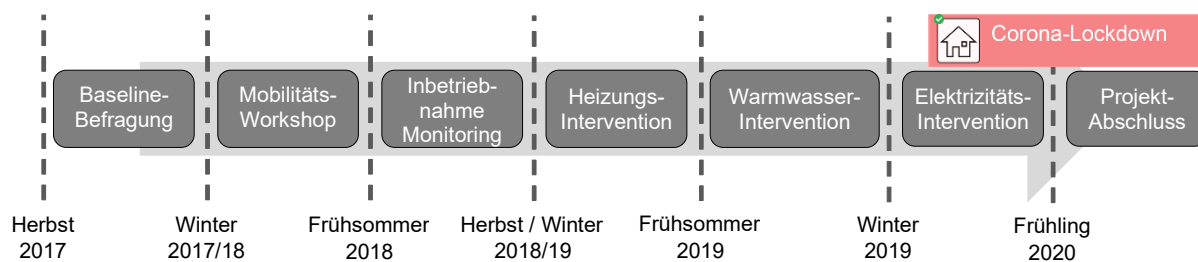


Abbildung 4: Vereinfachter Projektablauf auf dem Zeitstrahl

3.2 Allgemeine Vorgehensweise

Im Areal wurden verschiedene Interventionen entwickelt und durchgeführt, um die Nutzenden für das Thema Energieverbrauch in vier Bereichen (Heizwärmeverbrauch, Warmwasser, Haushaltsstrom und Mobilitätsverhalten) zu sensibilisieren und zu entsprechenden Verhaltensänderungen zu motivieren. In den ersten drei Bereichen wurden Interventionen in Feldexperimenten getestet. So konnten fundierte Schlussfolgerungen über die Wirkung der Interventionen abgeleitet werden. Das hiess konkret:

- Jedes Feldexperiment wurde von einer Vorher-Nachher-Messung des Energiebedarfs begleitet, um die Wirkung der Intervention zu erfassen. Ebenso wurde in semi-quantitativen Umfragen das Befinden, die Erfahrungen und die Akzeptanz der Bewohnerschaft bezüglich der Massnahmen ermittelt.
- Mögliche Rebound- und Spillover-Effekte wurden quantifiziert, einerseits durch den Vergleich der gemessenen Energieverbräuche im Monitoring, andererseits aber auch in den Umfragen bei den Bewohnenden. So konnte beispielsweise erfasst werden, ob eine Intervention im Bereich Duschen auch den allgemeinen Wasserverbrauch reduziert (Spillover-Effekt) oder ob stärkeres Sparverhalten (z. B. bei der Heizwärme) in einem Bereich zu Mehrkonsum in einem anderen Bereich (z. B. beim Stromverbrauch) führt (Rebound-Effekt).

Im Bereich Mobilität wurde die Intervention nicht in einem klassisch experimentellen, sondern in einem partizipativen Ansatz gestaltet. Es wurde ein Workshop mit den Nutzenden durchgeführt, um ihre Bedürfnisse bezüglich Mobilität zu erfassen und entsprechend passende Mobilitätsangebote zu entwickeln. Daraus entstanden Ideen für angepasste Mobilitätsangebote in der Siedlung, welche an die Baugenossenschaft weitergeleitet wurden.

3.3 Messmethodik

Wie im Kapitel 2 oben beschrieben, hat die Bauherrschaft bewusst auf ein zentrales Monitoring verzichtet, um den Technikeinsatz in der Siedlung nur so gross wie betrieblich nötig zu gestalten. Aus diesem Grunde mussten im Rahmen dieses Projektes einige Messgrössen neu erfasst, dezentral gesammelt und an eine zentrale Datenbank geleitet werden. Hierbei kamen verschiedenen Technologien zum Einsatz. Deren Zusammenwirken ist unten im Kapitel 10.1 unten detaillierter beschrieben.

3.4 Intervention Mobilität

Es wurde ein partizipativer Workshop zum Thema Mobilität mit den folgenden Zielen durchgeführt:

- mit den Bewohnenden anhand der Ergebnisse der Befragung zu diskutieren, welche Schwierigkeiten es im Bereich Mobilität im Hüttengraben gibt,
- auszuloten, welche Mobilitätsbedürfnisse die Bewohnenden haben sowie
- gemeinsam mit den Bewohnenden Lösungsideen für Mobilitätsprobleme im Hüttengraben zu erarbeiten.
- Die entwickelten Lösungsideen wurden an die BG Zurlinden übergeben, welche ihrerseits eine Umsetzung prüft.

Der Workshop fand am 19. März 2018 von 19:30 bis 21:30 im Gemeinschaftsraum in der Hüttengraben-Siedlung statt. Die BG Zurlinden war bei der Begrüssung vertreten. Sechs Bewohnende nahmen am Workshop teil. Obschon die Anzahl Teilnehmenden am Workshop als gering einzustufen ist, boten die Teilnehmenden ein sehr breites Spektrum von verschiedenen Lebenssituation (junge Familien, Paare, Pensionierte, Alleinstehende). Somit konnten viele unterschiedliche Perspektiven erfasst werden. Der Workshop orientierte sich grob an der Methode «Zukunftswerkstatt» (Burow und Neumann-Schönwetter 1995), war interaktiv gestaltet und verzichtete bewusst auf frontale Präsentationen. Die Bewohnenden partizipierten lebhaft und engagiert an den Diskussionen und gestalteten eigene Lösungsvorschläge. Alle Diskussionen wurden aufgezeichnet und auf Flipcharts dokumentiert.

3.5 Intervention Raumtemperatur

Die zweite Intervention konzentrierte sich auf nutzerzentrierte Mittel zur Einsparung von Heizenergie. Die Intervention wurde in der Heizsaison 2018/19 durchgeführt. Im Verlauf der Intervention wurde die Raumtemperatur auf den Zielwert von 21.5 °C reduziert. Anschliessend wurde mittels einer Online-Befragung die Akzeptanz und Wahrnehmung der Bewohner*innen für tiefere Raumtemperaturen gemessen.

Motiviert wurde der Ansatz durch eine erste Messkampagne der Raumtemperaturen in der Heizsaison 2017/18. Diese Messungen zeigten, dass die Raumtemperaturen damals im Durchschnitt etwa 23 °C bis 24 °C betrugen (siehe Abbildung 5).

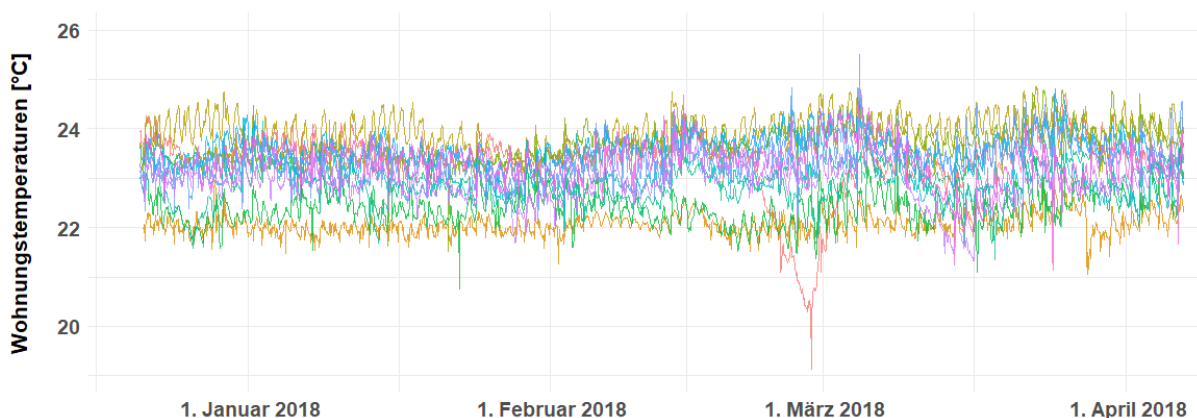


Abbildung 5: Wohnungstemperaturen Winter 2017/18

Eine Umfrage im Winter 2017/18 zeigten, dass rund 70 % aller Antwortenden diese Temperaturen in Ordnung fanden. 12 % fanden die Temperaturen warm, 18 % empfanden sie als zu kalt (Abbildung 6).

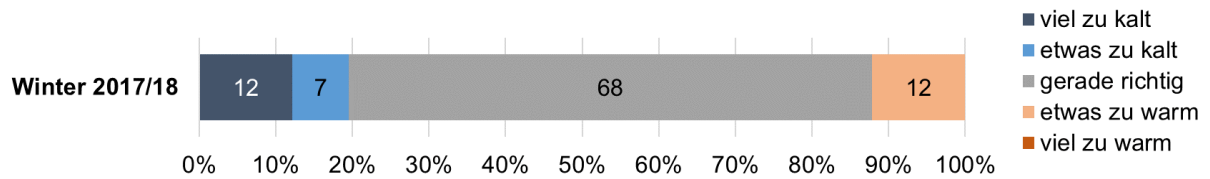


Abbildung 6: Zufriedenheit mit der Raumtemperatur (Zahlen = Prozentzahl der Antwortenden, N=41)

Nach einem ersten hydraulischen Abgleich lagen die meisten Temperaturen immer noch deutlich über den angestrebten 21.5 °C (vgl. Abbildung 7).

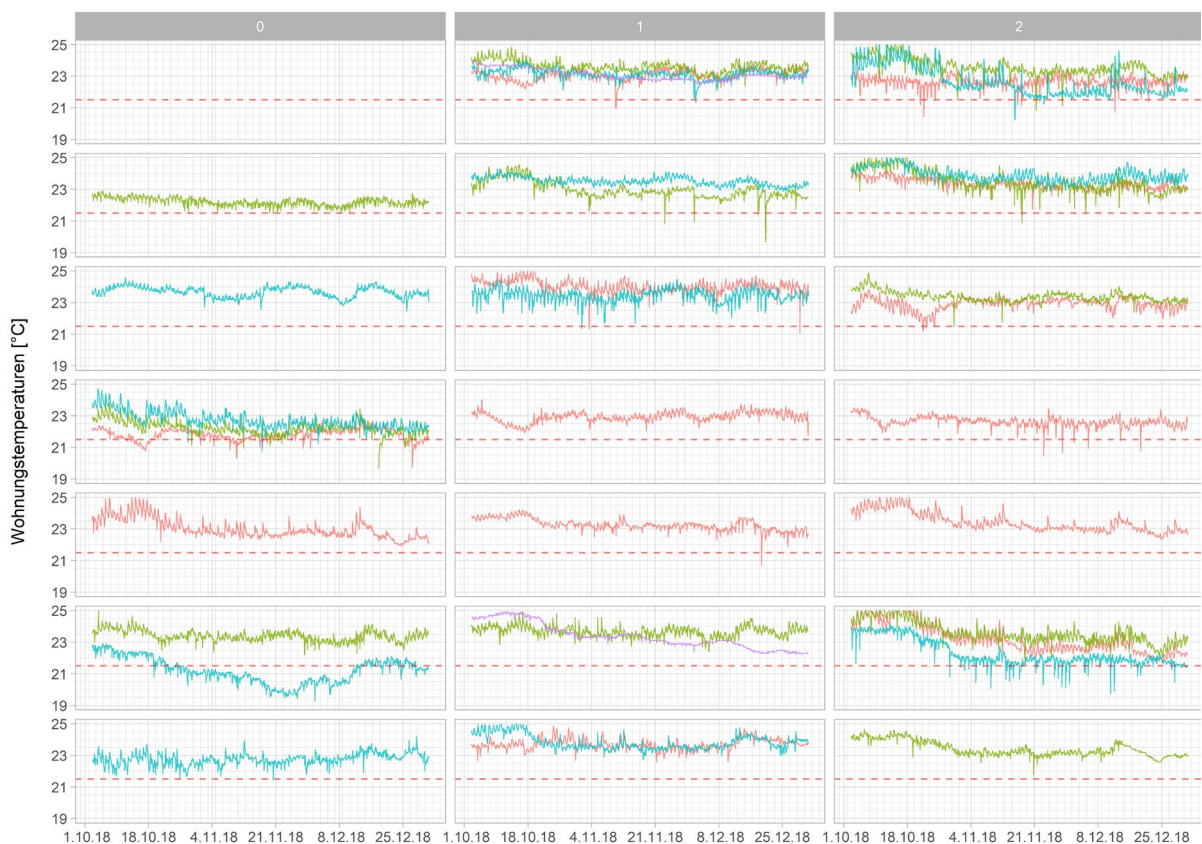


Abbildung 7: Wohnungstemperaturen Frühwinter 2018 (Zeilen = Häuser, Kolonnen = Stockwerke, Farben = Exposition der Wohnungen)

In Zusammenarbeit mit der Betreiberin der Heizungsanlage erfolgte ein weiterer hydraulischer Abgleich mit dem Ziel, die Raumtemperaturen innerhalb der Häuser anzugleichen. Später wurde dann die Heizkurve angepasst, um die Raumtemperaturen dem Zielwert anzunähern. Diese Massnahmen wurde von einer unspezifischen Information («Betriebsoptimierung der Heizung») sowie einer erneuten Befragung begleitet.

3.6 Intervention Warmwasser

Die dritte Intervention konzentrierte sich auf den Warmwasserverbrauch. Die Intervention fand zwischen Mai und Oktober 2019 statt und umfasste zwei Phasen. Die Wirksamkeit der zwei Phasen wurde sowohl anhand der Verbrauchsdaten als auch anhand der Umfragedaten gemessen. Als Grundlage der Intervention "Warmwasser" diente eine Basismessung während eines ganzen Jahres (Mai 2018 bis April 2019), deren Resultate im Kapitel 4.3 (ab Seite 24) dargestellt sind.

Die Wirksamkeitsbeurteilung wurde auf Basis eines Vorher-Nachher-Vergleichs vollzogen. Dazu wurden drei Umfragen durchgeführt: eine vor der Installation der Amphiro-Duschanzeige (April 2019), eine unmittelbar vor dem Versand des ersten Newsletters (Juli 2019) und eine dritte unmittelbar nach dem Versand des letzten Newsletters (Oktober 2019). Die Teilnehmenden wurden gebeten, ihr Verhalten und die zu Grunde liegenden Absichten zu Themen wie Duschen, Baden, Benutzung des Geschirrspülers oder der Waschmaschine sowie ihre Einstellung zu einer sparsamen Nutzung von Warmwasser selbst zu berichten. Auf eine randomisierte kontrollierte Studie, welche mit einer Kontrollgruppe verbunden wäre, wurde aufgrund der begrenzten Stichprobengrösse verzichtet.

Die erste Phase der Warmwasser-Intervention, d.h. Live-Feedback, begann im Mai 2019. Zu diesem Zweck wurden in 35 Haushalten Amphiro-Duschanzeigen installiert (Abbildung 8).



Abbildung 8: Duschmesser Amphiro

Während des Duschens zeigt Amphiro den Warmwasserverbrauch in Litern, die Temperatur des Duschwassers und einen Eisbären auf einer schmelzenden Scholle an. Am Ende des Duschvorgangs wird der Energieverbrauch in Kilowattstunden und in Form einer Energieeffizienzklasse (A bis G) zusammengefasst.

Die zweite Phase dauerte von Ende August 2019 bis Mitte Oktober 2019. Es wurden wöchentliche Newsletter mit vergleichendem Verbrauchs-Feedback und Energiespartipps per E-Mail an alle Haushalte verschickt (Abbildung 9).

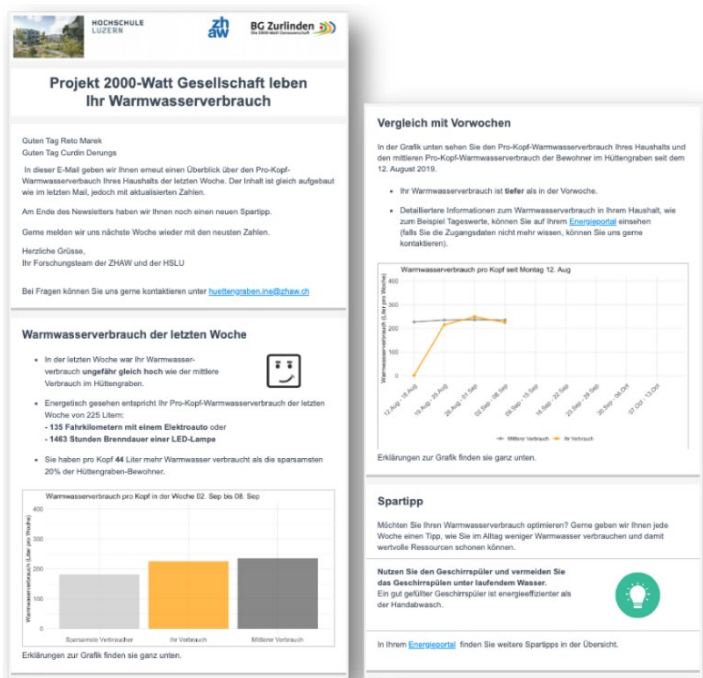


Abbildung 9: Beispiel eines Newsletters zum wöchentlichen Warmwasserverbrauch

Jeden Montag informierte der Newsletter über den Warmwasserverbrauch der letzten Woche. Der Warmwasserverbrauch wurde einerseits in intuitive Einheiten umgerechnet (z. B. gefahrene Kilometer in einem Elektroauto) und andererseits mit dem Median und der sparsamsten Verbrauchsgruppe (20-Perzentil) im Quartier verglichen. Darüber hinaus wurde der zeitliche Verlauf des Verbrauchs während dieser Phase angezeigt und am Ende des Newsletters ein Spartipp aufgeführt. Die Datenerhebung zum Warmwasserverbrauch wurde nach dem Ende der zweiten Phase fortgeführt.

3.7 Intervention Haushaltsstrom

Die Intervention zum Haushaltsstrom begann im März 2020. Sie zielte darauf ab, den Stromverbrauch der Haushalte durch einen Wettbewerb zwischen den einzelnen Gebäuden zu senken. Das «Social Power Project» hat gezeigt, dass Gruppenwettbewerbe ein wirksames Mittel zur Reduzierung des Stromverbrauchs sind (Wemyss *et al.* 2018). Beim «Social Power Project» wurden die Gruppen nach dem Zufallsprinzip zusammengestellt, die Gruppenmitglieder kannten einander nicht und hatten nur begrenzte Möglichkeiten (z. B. via Website oder Facebook), miteinander in Kontakt zu treten. Hier interessierte, ob zusätzlich Strom gespart werden kann, wenn sich die Gruppenmitglieder persönlich kennen und ihre Erfahrungen aktiv austauschen können, so dass ein Lernprozess stattfinden kann. Zudem stellt sich auch hier die Frage, ob der Kontext der 2000-Watt-Gesellschaft als zusätzlicher Katalysator dient.

Die Intervention begann mit einem Workshop am 29. Februar 2020. Von den insgesamt 37 teilnehmenden Haushalten meldeten sich nur vier für den Workshop an und zwei nahmen schliesslich teil. Der Workshop befasste sich mit allgemeinen Informationen über den Energieverbrauch in Gebäuden, mit einem besonderen Schwerpunkt auf Elektrizität. Zusätzlich wurden verschiedene Posten aufgebaut, um den Stromverbrauch durch Experimente greifbarer zu machen. Um trotz der geringen Präsenz der Haushalte beim Workshop eine gleichmässige Verteilung der Informationen zu gewährleisten, wurden alle Informationen zusammengefasst und in digitalem Format an die 37 Haushalte geschickt.

Für den Wettbewerb wurden die Haushalte einer von drei Gruppen (UNO, DUE, TRE) zugeordnet. Haushalte desselben Gebäudes wurden der gleichen Gruppe zugeordnet. Dadurch sollte die Möglichkeit der Kommunikation innerhalb des Gebäudes gefördert werden. Als Grundlage der Intervention Haushaltsstrom diente eine Basismessung in den fünf Wochen vor den Sportferien. Mit Hilfe eines wöchentlichen Newsletters in den sechs Wochen nach dem Workshop wurde jeder Haushalt über die Einzel- und Gruppenleistungen im Wettbewerb informiert. Der Newsletter bestand aus zwei Teilen (siehe auch Abbildung 10). Im ersten, blau betitelten Teil wurde die Gruppe mit ihrer eigenen Basismessung und mit allen anderen Gruppen verglichen, wobei die Einsparung auch in intuitivere Einheiten (Fahrkilometer in einem Elektroauto und Brenndauer einer LED-Leuchte) umgerechnet wurde. Der zweite, grün betitelte Teil stellte den einzelnen Haushalt innerhalb der eigenen Gruppe dar. Am Schluss des Newsletters wurden wechselnde Spartipps aufgeführt.

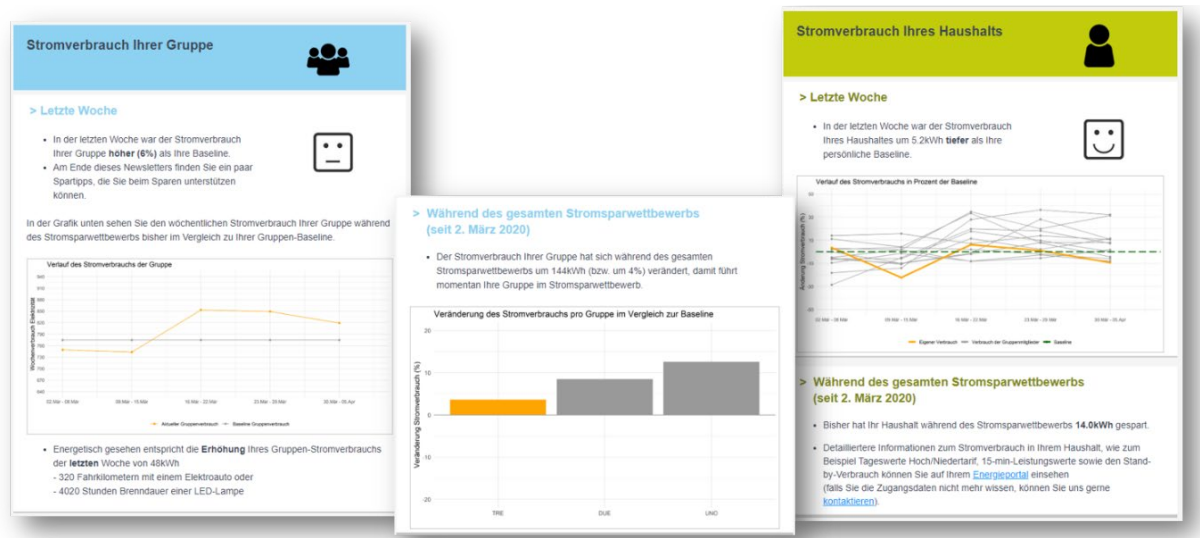


Abbildung 10: Auszug aus einem wöchentlichen Elektro-Newsletter, der folgende Informationen enthielt: (blau) Das Gruppenergebnis sowie (grün) den eigenen Haushalt im Vergleich zum Rest der Gruppe

Die Wochen drei bis sechs fielen zeitlich mit dem Corona-Lockdown zusammen. Am Ende dieser Intervention wurde eine Umfrage an alle Haushalte geschickt, um mehr über die individuelle Motivation und die persönliche Situation während des Lock-Downs zu erfahren. Die Datenerhebung endete mit dem Abschluss der sechsten Woche (siehe auch Kapitel 10.1).

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Intervention Mobilität

Die Diskussionen im Workshop wurden aufgezeichnet und die Lösungsideen auf Flipchart direkt mit den Teilnehmenden verschriftlicht. Im Workshop wurden anhand der drei vorgeschlagenen Themen (Fortbewegung, Einkaufen, Abstellinfrastruktur) die folgenden zentralen Anliegen der Teilnehmenden herausgearbeitet:

- Bessere Anbindung zum Bahnhof Küsnacht (beispielsweise für S-Bahn, Einkauf, Post, Kinderarzt, Schwimmbad, Ortsmuseum) gewünscht
- Sharing-Angebot im Hüttengraben für: E-Töff, E-Bike, Veloanhänger, die von allen Bewohnenden gemeinsam genutzt werden
- Mit der Tiefgarage trifft man die Nachbar*innen selten: Leute fahren direkt aus der Garage mit dem Lift zu ihrer Wohnung, was den sozialen Kontakt unter den Nachbar*innen erschwert
- Ort im Hüttengraben, wo man sich trifft und unkompliziert Dinge für den täglichen Bedarf besorgen kann, z. B. Quartierladen oder Marktstand mit lokalen Produkten von umliegenden Bauernhöfen (aktuell: wenig Treffpunkte im Quartier)
- Tauschbörsen, wo man sich gegenseitig aushelfen kann – z. B. einmal Einkäufe hochtragen für einmal Kinderhüten
- Mehr Platz, um Dinge abzustellen (Velos, Kinderwagen, Spielsachen) und bessere Ordnung (je dem Ding sein Platz)



Aus der Liste wurde deutlich, dass die Teilnehmenden unter anderem ein starkes Bedürfnis nach sozialen Kontakten in der Nachbarschaft haben. Dabei handelt es sich nicht direkt um ein mobilitätsbezogenes Bedürfnis. Für die Entwicklung von Mobilitätslösungen ist es dennoch hilfreich, dieses Anliegen mit zu berücksichtigen. So können Lösungen gefunden werden, die gleichzeitig einen Beitrag zur nachhaltigen Mobilität und für die soziale Vernetzung der Bewohnenden leisten können.

Mit den Teilnehmenden wurden die folgenden Lösungsideen entwickelt:

- Verbesserung der Busanbindung an den Bahnhof Küssnacht
- E-Bike-Sharing
- Überdachte Fahrrad-/Motorradabstellplätze auf dem Hüttengraben-Areal
- Abstellplatz für Dinge, die man teilt (z. B. E-Bike), gemeinsame Spielzeugtruhe auf dem Spielplatz
- Einkaufsmöglichkeiten für täglichen Bedarf, z. B. Regal beim vietnamesischen Restaurant beim Tennisplatz in der Nähe (dort gibt es im Sommer bereits Glacé und Getränke im Verkauf)
- Analoge oder digitale Plattform/zentrales schwarzes Brett: Angebote, Veranstaltungen, Geben und Nehmen
- Bänke, Grillplatz, Treffpunkte im Quartier und Anlässe, wo man sich kennenlernt und trifft

Aus dem Workshop leiteten die ZHAW-Forschenden verschiedene Massnahmen ab, die im Hüttengraben umgesetzt werden könnten. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Massnahmen verschiedene Anliegen der Teilnehmenden aufnehmen (z. B. das Anliegen nach sozialen Kontakten in der Nachbarschaft). Die Forschenden der ZHAW gehen davon aus, dass solche Massnahmen am erfolgversprechendsten sind und am besten akzeptiert werden.

Umfassende Massnahme

- Lokale Kommunikations- und Sharingplattform: Anlässe; Geben & Nehmen; Sharing von Gegenständen und Fahrzeugen, Organisation von Sammelbestellungen, Mitfahrgelegenheiten (z. B. Web-Plattform, schwarzes Brett, Bewohnenden-Chat...)

Thema: Von A nach B/Fortbewegung

- Hüttengraben-E-Bikes (ggf. mit Anhänger/Cargo-E-Bike), die von allen benutzt werden können inkl. Ladeinfrastruktur
- Hitchhike: Organisierte Fahrgemeinschaften (z. B. zum Bahnhof Küssnacht), hitchhike.ch

Thema: Einkaufen

- Pilotphase: Regal mit Brot, Früchten, Gemüse sowie Kühlschrank mit Milchprodukten und Getränken beim vietnamesischen Restaurant (Tennisplatz)
- Information der Genossenschaft über Gemüseabos von lokalen Höfen

Thema: Abstellinfrastruktur

- Schopf und Spielkiste für gemeinschaftliche Gegenstände und Fahrzeuge (z. B. gemeinsame Kinder-Fahrzeuge)
- Überdachte Fahrrad- und Motorradabstellplätze

Die BG Zurlinden hat diese Vorschläge entgegengenommen und prüft deren Umsetzung im Hüttengraben-Areal oder in weiteren Siedlungen der Genossenschaft. Wichtig ist bei vielen dieser Ideen, dass sie bereits in der Planungsphase einfließen und die Infrastruktur entsprechend dann auch vorhanden ist (z. B. Parkplätze/Schopf für Sharing-Fahrzeuge, Lebensmitteldepot für Grundnahrungsmittel).

4.2 Intervention Raumtemperatur

Die erreichten Raumtemperaturen im Winter 2018/19 sind in der folgenden Abbildung 11 dargestellt. Die hellgraue senkrechte Linie markiert dabei den Zeitpunkt der Anpassung der Vorlauftemperaturen je Gebäude. Die Raumtemperaturen sanken um 1 bis 2 K und näherten sich der gewünschten Zieltemperatur von 21.5 °C an, wobei auch bei einigen dieser Wert unterschritten wurde. So wurde später (dunkelgraue vertikale Linie) ein erneuter hydraulischer Abgleich vorgenommen.

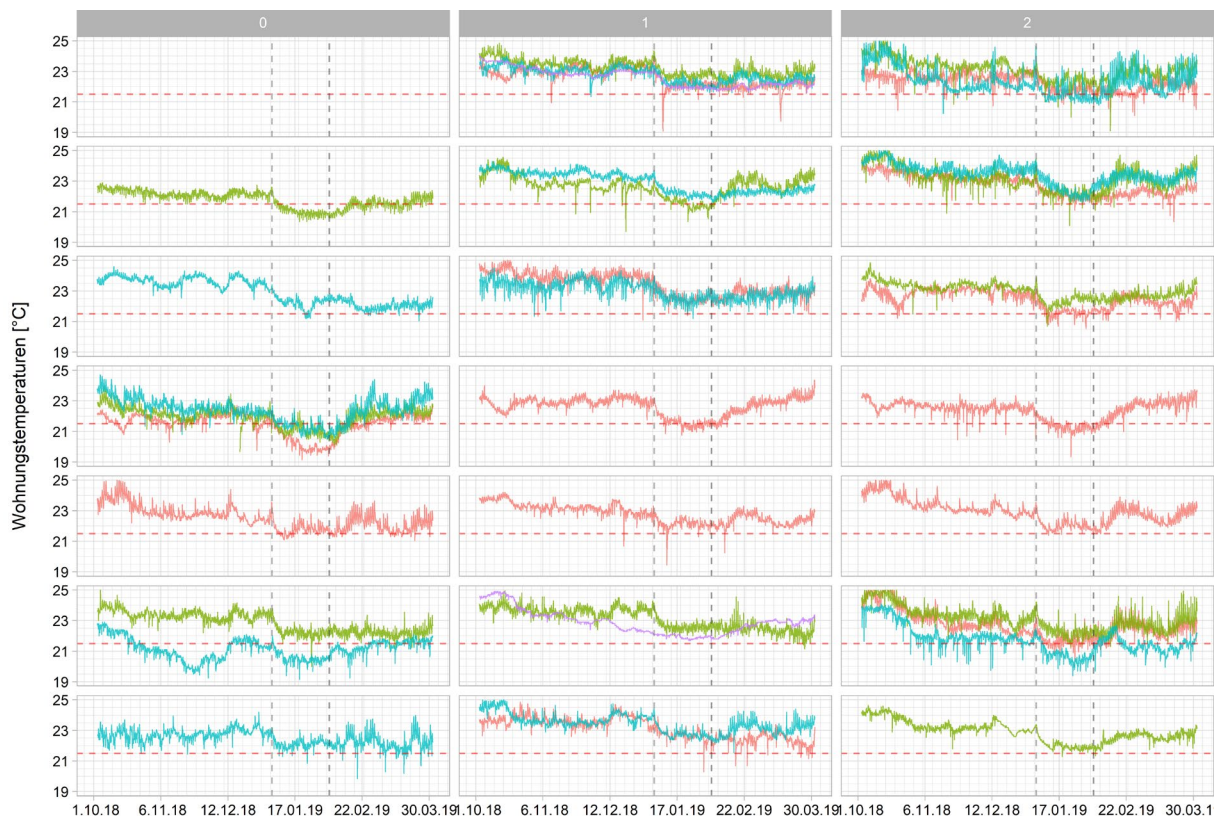


Abbildung 11: Wohnungstemperaturen Winter 2018/19 (Zeilen = Häuser, Kolonnen = Stockwerke, Farben = Exposition der Wohnungen, lila Kurven sind Treppenhäuser. Im Erdgeschoss des ersten Gebäudes nahm kein Haushalt an der Studie teil.

Die Heizenergieeinsparungen wurden mit Hilfe interpolierter Heizkurven (robuste lineare Regression) für den Zeitraum vor und nach der Senkung der Vorlauftemperatur berechnet (Abbildung 12). Mit den durchschnittlichen Aussentemperaturen können die Energieeinsparungen jetzt pro Tag geschätzt werden (vgl. Tabelle 1).

Im Durchschnitt konnte der Bedarf an Wärmeenergie durch die Kombination von hydraulischem Abgleich und Senkung der Vorlauftemperatur um rund 26 % gesenkt werden. Das Einsparpotential variierte von Gebäude zu Gebäude in Abhängigkeit von der Anfangeinstellung des Heizsystems.

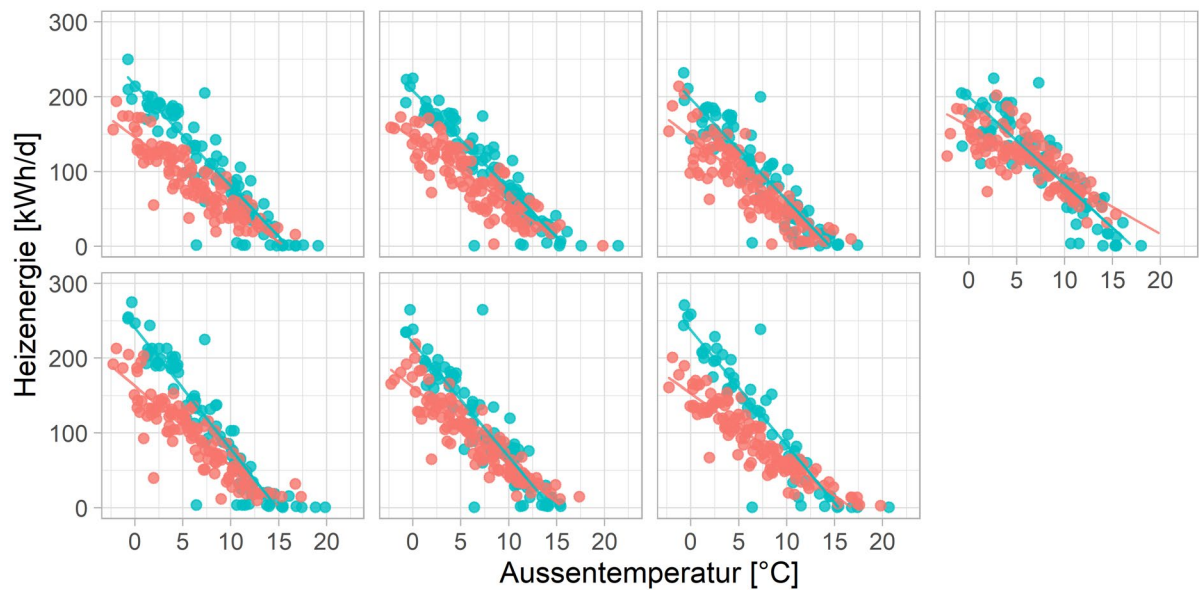


Abbildung 12: Gemessener Wärmebedarf pro Gebäude vor (rot) und nach (türkis) der Reduktion der Vorlauftemperatur

Tabelle 2: Wärmeenergiebedarf und Reduktion Winter 2018/19

Haus	Heizenergie [kWh]	Einsparung [kWh]	Einsparung [%]
A	14'300	4'800	34
B	13'800	4'000	29
C	12'300	3'200	26
D	13'800	1'100	8
E	15'200	4'700	31
F	13'700	3'100	23
G	15'400	4'900	32
Total Heizsaison 2018/19	98'500	25'900	26

Insgesamt wurden bezüglich der Intervention Raumtemperatur drei Umfragen durchgeführt:

- im Winter 2017/18: Akzeptanz der Wohnungstemperatur,
- im Winter 2018/19: ausführliche Umfrage zum Thema Akzeptanz Wohnungstemperatur und Verhaltensanpassungen,
- im Winter 2019/20: Akzeptanz der Wohnungstemperatur.

Die Umfrage in der Heizperiode 2018/19, welche 4 Wochen nach dem Absenken der Temperatur versandt und von 33 Personen beantwortet (N=33) wurde, enthielt unter anderem drei allgemeine Fragen zur Einstellung zur Energieeffizienz. Die Fragen wurden während der Umfrage zweimal gestellt, einmal zu Beginn (keine Info) und ein zweites Mal nach einem Informationsblock über das Einsparpotential der Temperatursenkung im Areal (siehe Abbildung 13): Die Einsparung von Energie wurde von etwa 80 % (A: Energieeinsparung) und effiziente Heizsysteme von etwa 90 % (B: Effiziente Heizung) aller Teilnehmenden akzeptiert. Die Temperatursenkung als Massnahme zur Energieeinsparung wurde dagegen nur von etwa 20 % akzeptiert (C: Temperatursenkung). Die Akzeptanz stieg leicht an, nachdem Informationen über das Energieeinsparpotential reduzierter Raumtemperaturen vermittelt wurden. Immer noch weniger als 30 % aller Teilnehmenden erachteten jedoch Temperatursenkungen als ein akzeptables Mittel, Energie einzusparen.

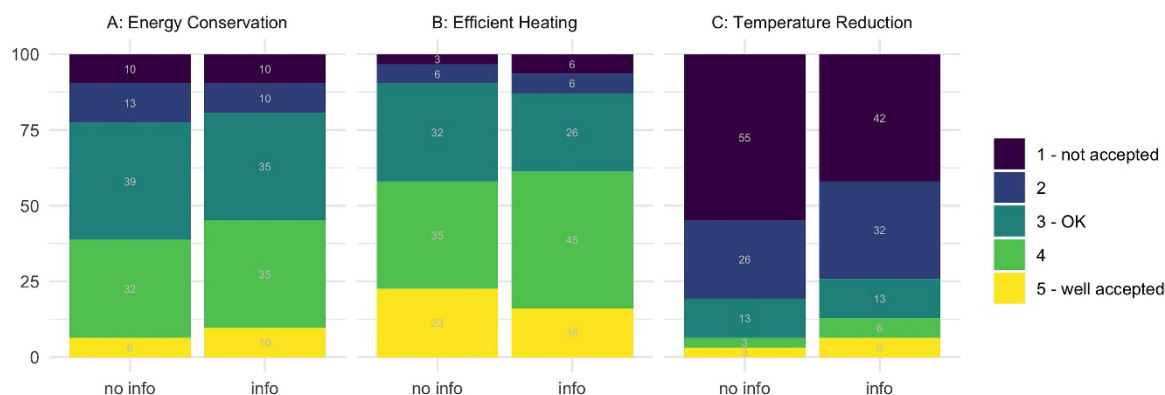


Abbildung 13: Umfrage-Ergebnisse Heizintervention

Die geringe Akzeptanz von Temperaturabsenkungen spiegelt sich in der Wahrnehmung der reduzierten Raumtemperaturen wider (Abbildung 14). Während mehr als 80 % in der Heizperiode 2017/18 (Raumtemperaturen zwischen 23 und 24 °C) die Temperaturen als warm oder OK empfanden, werden die reduzierten Temperaturen in der Heizperiode 2018/19 von etwa 70 % aller Teilnehmenden als kühl oder kalt bewertet. Es scheint, dass ein Jahr nach der Temperaturabsenkung im Winter 2019/20 die Akzeptanzbewertungen wieder leicht zugenommen haben. Dies könnte ein Effekt der Anpassung sein. Wahrscheinlich ist, dass der Effekt auch durch eine gewisse Randomisierung in der Gruppe der Personen verursacht wurde, die auf die Umfragen geantwortet haben.

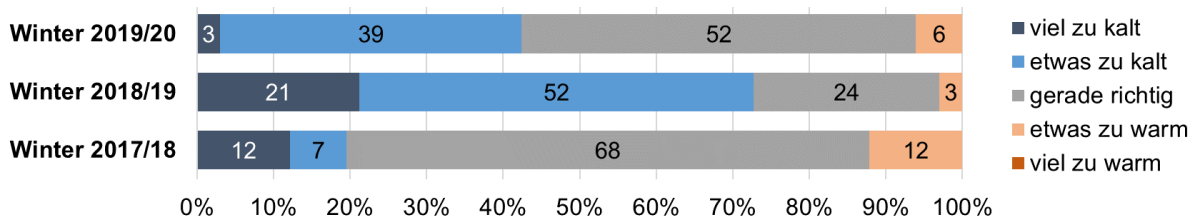


Abbildung 14: Resultate dreier Zufriedenheitsbefragungen. Zahlenwerte in Prozent; Winter 2017/18: N=41, Winter 2018/19: N=33, Winter 2019/20: N=33

Die Temperaturen können innerhalb der Wohnung auf Grund von baulichen Gegebenheiten schwanken, sind aber grundsätzlich in allen Räumen gleich eingestellt und können von den Mieterinnen und Mietern auch nicht verändert werden. Die Zufriedenheit mit der Temperatur in verschiedenen Räumen ist jedoch unterschiedlich, wie Abbildung 15 zeigt.

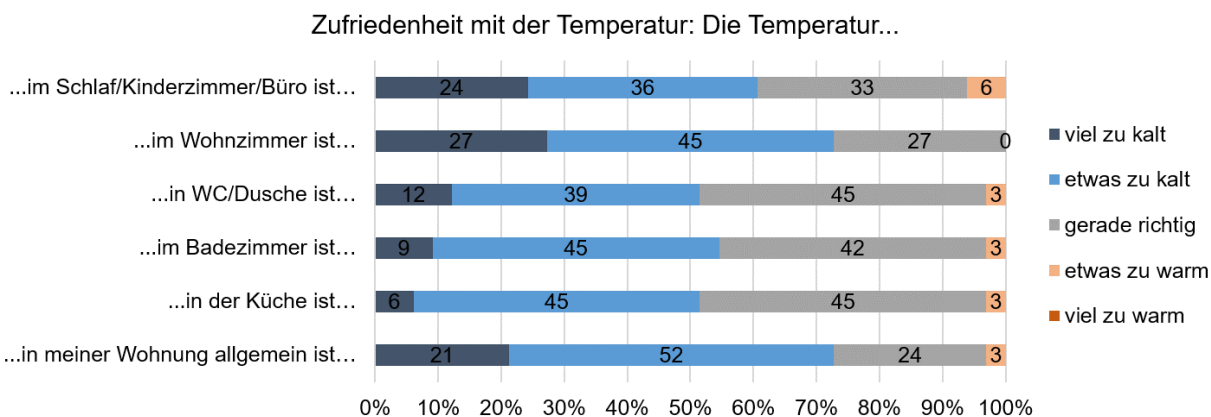


Abbildung 15: Zufriedenheit mit der Temperatur in verschiedenen Räumen (aus der Befragung Heizsaison 2018/19 nach der Temperaturabsenkung, Zahlenwerte in Prozent, N=33)

Die Abbildung 14 zeigt einen beträchtlichen Rückgang der Zufriedenheit aufgrund der Temperaturabsenkung, womit sich die Frage stellt, ob das vielversprechende Energieeinsparpotential diesen Akzeptanzverlust ausgleichen kann. In diesem Zusammenhang sollten drei Überlegungen in Betracht gezogen werden:

1. Auf die Frage nach einer Reihe von Verhaltensänderungen, die durch kühle Raumtemperaturen ausgelöst wurden, zeigten die Bewohner*innen eine klare Präferenz für das Tragen wärmerer Kleidung. Ein erhöhter Verzehr von heissen Getränken oder warmen Speisen erwies sich als eine weniger bevorzugte Option. Nur sehr wenige Personen gingen zu kritischen Verhaltensweisen über, wie z. B. dem Betrieb eines mobilen Elektroofens. Eine eingehende Analyse des Stromverbrauchs in den Haushalten in diesem Zeitraum untermauert dieses Ergebnis. Es konnte kein Anstieg des Stromverbrauchs festgestellt werden.
2. Im Vergleich des Temperaturregimes in den einzelnen Haushalten mit den jeweiligen Akzeptanzraten konnte kein schlüssiger Zusammenhang festgestellt werden. Abbildung 16 zeigt den Vergleich zwischen der kältesten täglichen Raumtemperatur (Tagesmittelwert) und den Akzeptanzwerten in der gleichen Wohnung. In einigen Wohnungen fielen die Temperaturen nie unter 22.5 °C und dennoch wurden die Temperaturen als «zu kalt» eingestuft (z. B. 140501, 140502).

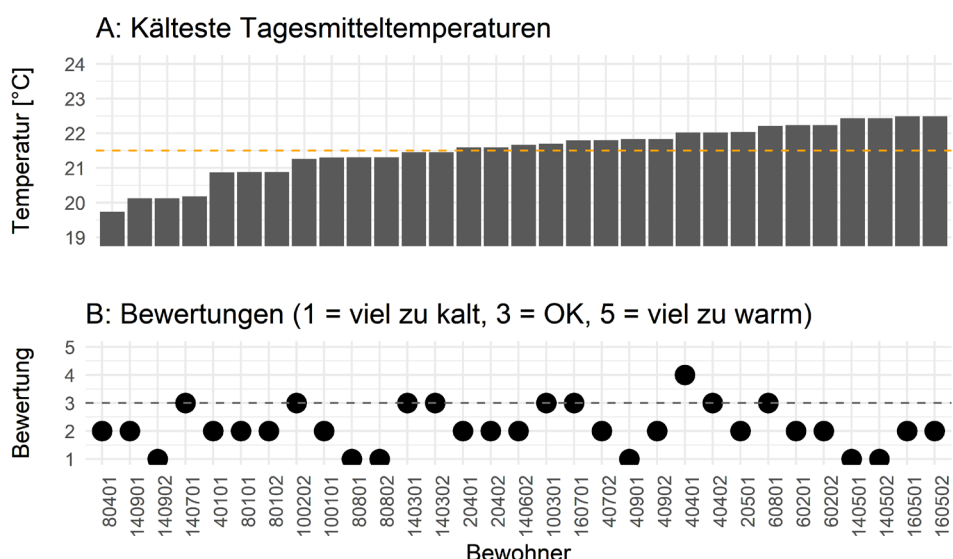


Abbildung 16: Akzeptanz im Zusammenhang mit Temperatur (A: kälteste Tagesmitteltemperatur; B: Akzeptanzbewertung)

3. Die Umfrage enthielt ein offenes Textfeld für weitere Kommentare. Zahlreiche Teilnehmende nannten kalte Bodentemperaturen als Quelle für Unbehagen. Daraufhin wurden die Fussbodentemperaturen mittels einer Wärmebildkamera geprüft. Diese Messungen ergaben eine Temperatur von 23 °C. Dies entsprach der Standardbetriebstemperatur eines zeitgemässen Niedertemperatur-Heizsystems an diesem Tag. Infolgedessen wurden Informationen über aktuelle Heizsysteme in einem Faltblatt zusammengefasst und an alle Hausbewohner*innen versandt.

4.3 Intervention Warmwasser

Bereits die als Grundlage der Intervention dienende Basismessung zeigte grosse Variabilität zwischen den Haushalten, wie aus Abbildung 17 und Abbildung 18 ersichtlich wird.

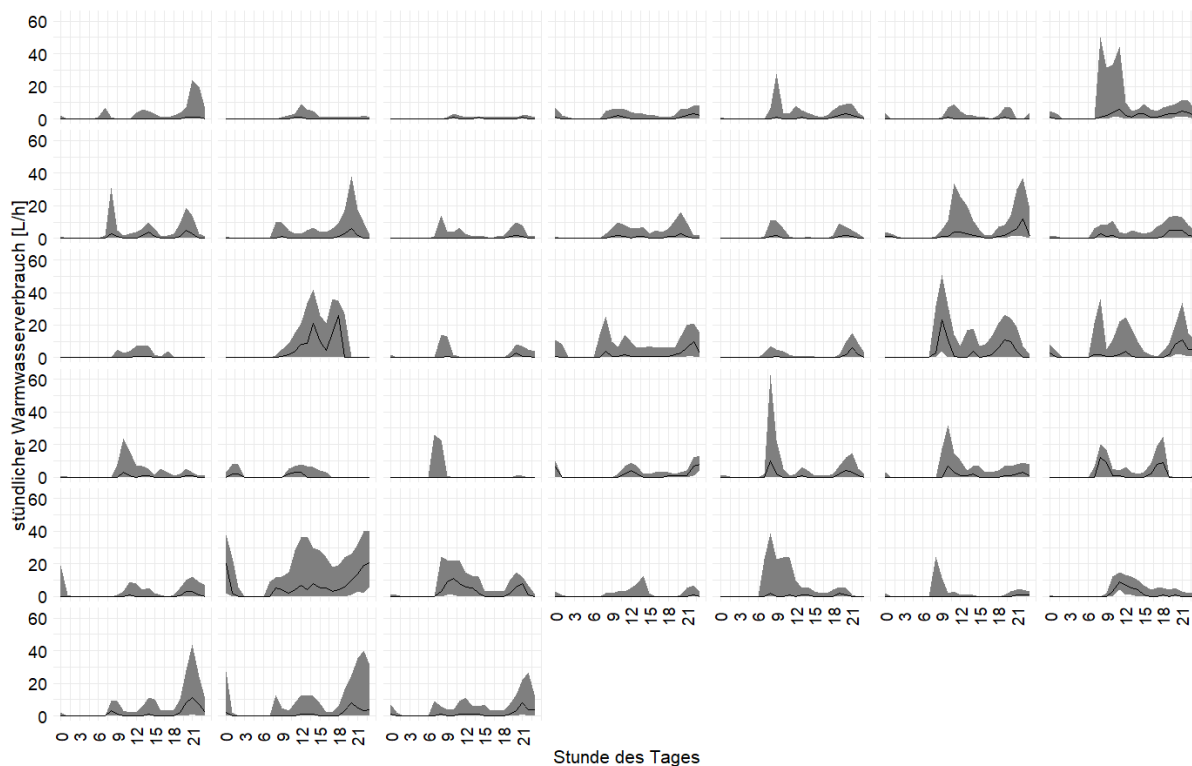


Abbildung 17: Tagesprofile (x-Achse: Stunden des Tags; von 0-23h) des Basis-Warmwasserverbrauchs pro Haushalt (eine Graphik pro Haushalt). Die schwarze Linie zeigt den Median-Verbrauch, die graue Fläche die mittleren 50 % der Stundeverbräuche.

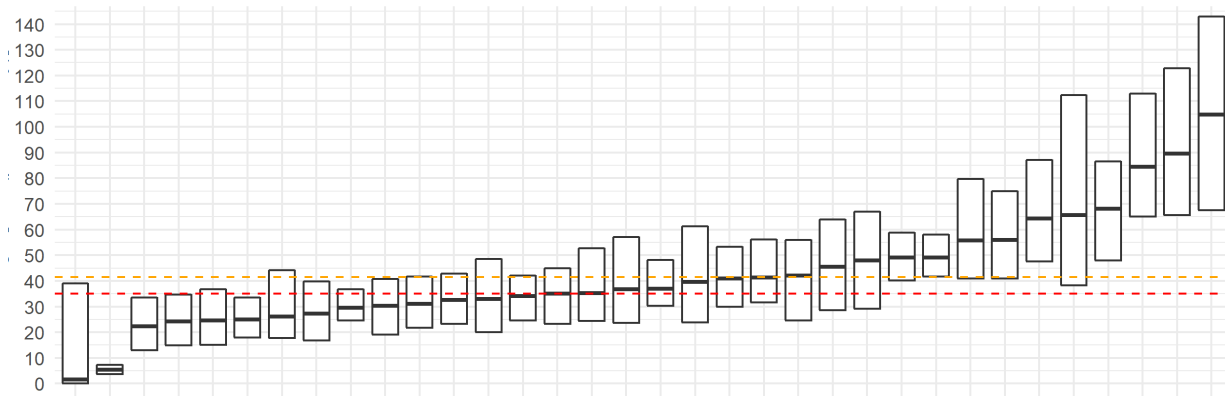


Abbildung 18: Brauchwarmwasserverbrauch in Litern pro Tag und Person [l/(d·P)]. Ein Boxplot pro Haushalt: schwarze Linie bezeichnet Median, die Box die mittleren 50 % der Werte. Rot hervorgehoben: Planungswert 35 l/(d·P) aus [SIA 2024]. Orange hervorgehoben: Mittelwert über alle Haushalte.

Der tägliche Warmwasserverbrauch hängt von vielen Faktoren ab, was das Quantifizieren möglicher Einsparungen erschwert. Um mindestens den Effekt von Ferien oder anderen Abwesenheiten zu berücksichtigen, wurden deshalb in jeder Auswertung (sowohl Basismessung wie auch danach) diejenigen Tage ausgeschlossen, an welchen der Warmwasserbezug je Haushalt weniger als zwei Liter betrug.

Die relative Veränderung des Warmwasserverbrauchs in den einzelnen Haushalten während (und nach) den einzelnen Phasen sind in Abbildung 19 dargestellt. Der Warmwasserverbrauch ging wäh-

rend der Amphiro-Phase im Median um etwa 12 % zurück. Die Newsletter-Phase führte zu einem zusätzlichen Rückgang von etwa 3 %, der auf Grund der grossen Variationsbreite jedoch statistisch nicht signifikant ist. In den beiden rund siebenwöchigen Perioden nach dem Ausbleiben des Newsletters (D_Nachfolgend_1 und D_Nachfolgend_2) stieg der Warmwasserverbrauch leicht an, blieb aber im Median 7 % unter dem Basisverbrauch. Zusammengefasst konnten 1'500 Liter Warmwasser pro Woche eingespart werden. Der Corona-Lockdown führte in den meisten Haushalten zu einem signifikanten Anstieg des Warmwasserverbrauchs.

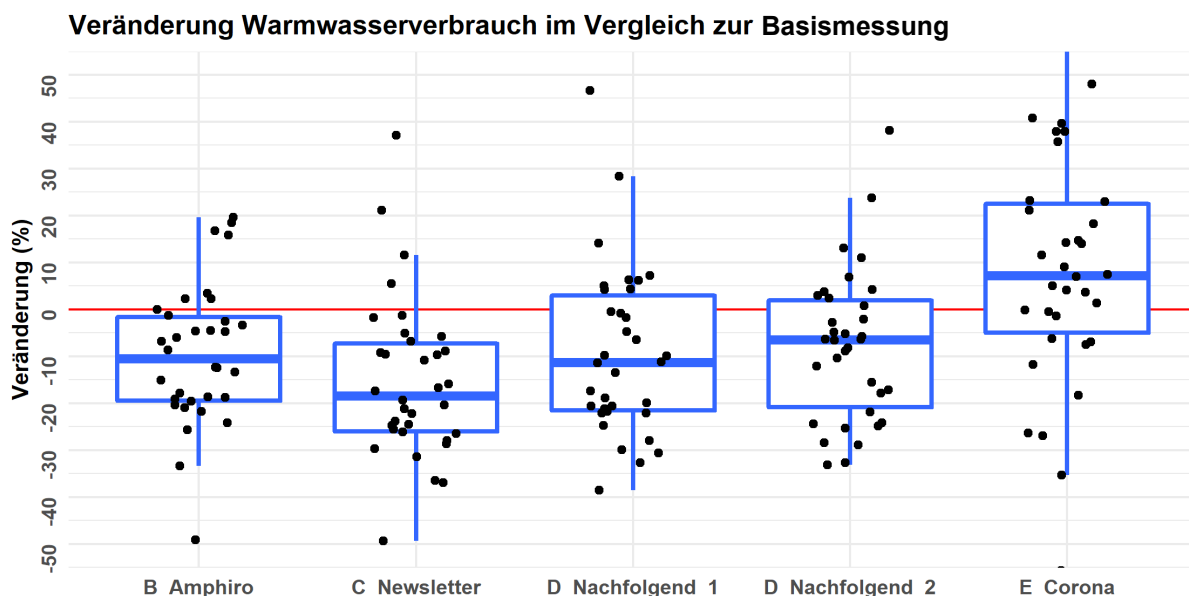


Abbildung 19: Relative Veränderung des Warmwasserverbrauchs. Schwarze Punkte: einzelne Haushalte, dicke blaue Linie: Medianwert.

31 bis 34 Personen, zum Teil aus demselben Haushalt, haben an den drei Umfragen teilgenommen: 32 an der ersten, 34 an der zweiten und 31 an der dritten. Interessanterweise gibt es nur einen begrenzten Zusammenhang zwischen den Rückmeldungen zu den drei Umfragen und der beobachteten Verringerung des Warmwasserverbrauchs. Die Umfragen basierten hauptsächlich auf selbstberichtetem Verhalten. Die Teilnehmenden berichteten bereits in der ersten Umfrage (vor der ersten Phase) über nachhaltiges Verhalten. So berichteten beispielsweise 50 % aller Teilnehmenden, dass sie nie ein Bad nähmen. Die meisten Haushalte meldeten, Geschirrspüler und Waschmaschinen seien in der Regel gefüllt, die Kleidung werde mehrere Tage getragen, das Wasser werde während des Einseifens und während des Zähneputzens abgeschaltet.

Das selbstberichtete Verhalten blieb im Laufe der nächsten beiden Umfragen insgesamt nachhaltig und verschob sich in einigen Aspekten geringfügig in Richtung mehr Suffizienz (Ausschalten des Wassers während des Einseifens und des Zähneputzens, Reduzierung der Duschtemperatur, mehrtägiges Tragen der Kleidung vor dem Waschen). Zudem gab es einige Teilnehmende, die laut eigenen Angaben seit der Installation der Duschwasser-Anzeige auch in anderen Bereichen – beim Zähneputzen und beim Waschen – Wasser sparten.

Der beobachtete Warmwasserverbrauch ging durch die Einführung von Amphiro und des Newsletters deutlich zurück. Dies verleiht einerseits der Verwendung von Selbstberichten zur Bewertung des tatsächlichen Verhaltens eine vorsichtige Note. Die Antworten spiegeln oft eher die Selbstwahrnehmung – die «soziale Erwünschtheit», (Van de Mortel, Thea F. 2008) – als das tatsächliche Verhalten wieder. Andererseits zeigten die Teilnehmenden grosses Interesse an dem Thema und berichteten über eine hohe Motivation durch die Amphiro-Anzeige wie auch den Newsletter, Warmwasser zu sparen. Diese Motivation wurde auch durch den Anteil der Teilnehmenden unterstützt, die jeden Newsletter lesen

(d. h. E-Mails öffnen). Dieser Anteil liegt bei ca. 70 %. Möglicherweise konnte die Umfrage nicht alle subtilen Unterschiede im Verhalten der Teilnehmenden erfassen, die zu einer erheblichen Reduzierung des Warmwasserverbrauchs führten.

4.4 Intervention Haushaltsstrom

Der Corona-Lockdown, der am 16. März 2020 begann, hatte erhebliche Auswirkungen auf den Stromverbrauch der Haushalte. In der ersten Woche des Wettbewerbs, kurz vor dem Lockdown, sank der mittlere Stromverbrauch gegenüber der Basismessung. Der Wettbewerb schien die Teilnehmenden zum Energiesparen motiviert zu haben. Der Lockdown führte danach jedoch zu einem Anstieg des Stromverbrauchs um etwa 10 %. Danach nahm er wieder leicht ab, verblieb aber immer über der Basismessung (Abbildung 20). Diese spezielle Situation in dieser Studie verunmöglicht den Vergleich der Einsparnisse mit denjenigen im «Social Power Projekt». Daher kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob engere soziale Bindungen innerhalb der Wettbewerbsgruppen zu mehr Engagement und somit zu grösseren Stromeinsparungen führt.

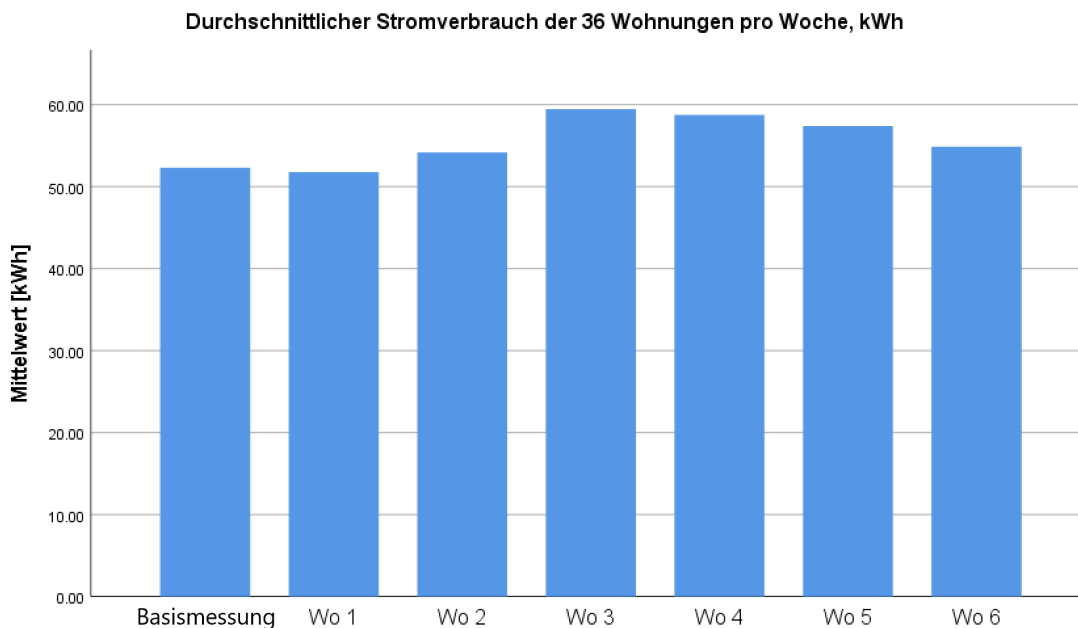


Abbildung 20: Durchschnittlicher wöchentlicher Stromverbrauch der 36 Haushalte während der Basismessung und des Wettbewerbs

Die kumulierten Veränderungen der einzelnen Haushalte unterschieden sich stark (siehe Abbildung 21).

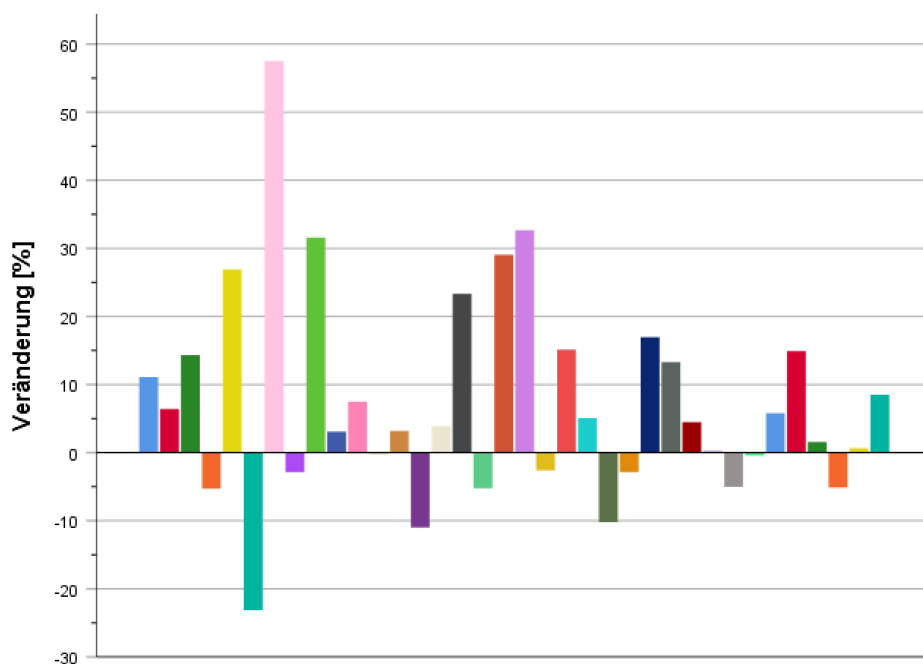


Abbildung 21: Veränderung des Stromverbrauchs während des gesamten Stromsparwettbewerbs gegenüber der Basismessung (eine Farbe pro teilnehmenden Haushalt)

Im Fragebogen wurden Veränderungen bezüglich der Anwesenheit und der Anzahl gekochten Mahlzeiten auf Grund des Lockdowns erhoben. In den folgenden Abbildungen sind die zusätzlichen Personen-Tage (Abbildung 22), die zusätzlichen Personen-Abende (Abbildung 23), sowie die zusätzlich gekochten Mahlzeiten (Abbildung 24) dargestellt. Der Anstieg des Stromverbrauchs während des Lockdowns im Vergleich zu den zwei Wochen davor wurde signifikant durch zusätzliche warme Mahlzeiten (grösster Effekt, $R^2 = 0.376$) sowie die zusätzlichen Abende ($R^2 = 0.328$) und die Arbeitstage ($R^2 = 0.114$), die zu Hause verbracht wurden, verursacht.

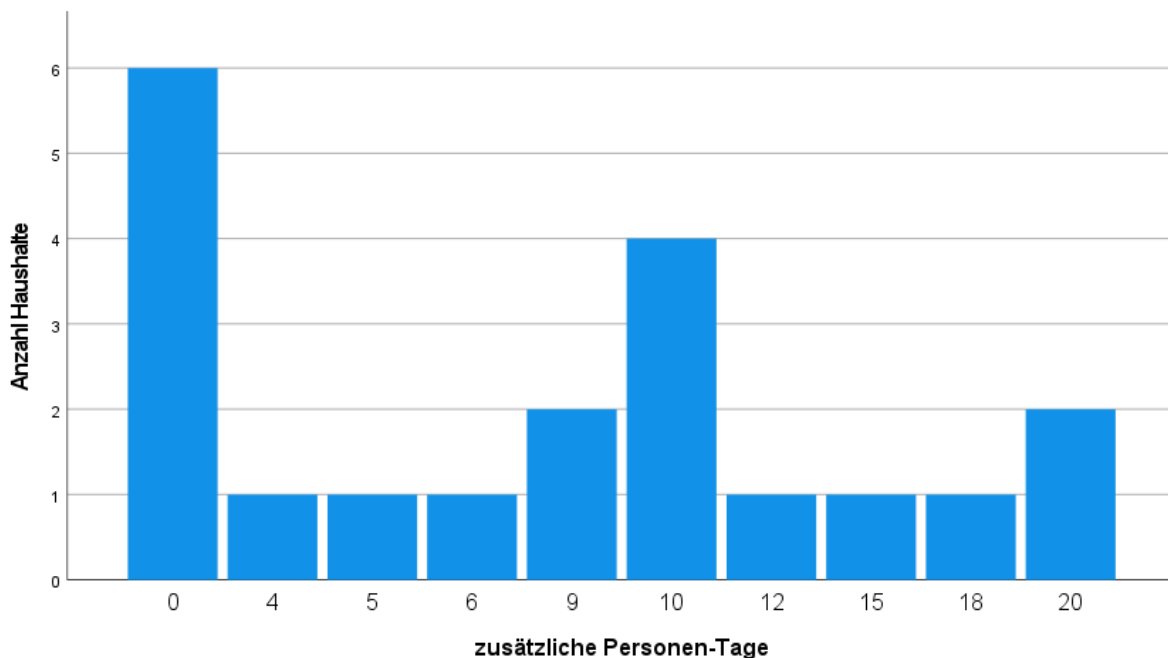


Abbildung 22: Histogramm der zusätzlichen Personen-Tage pro Woche (Lesebeispiel: Zwei Haushalte hatten neun zusätzliche Personen-Tage pro Woche im Vergleich zu vor dem Lockdown)

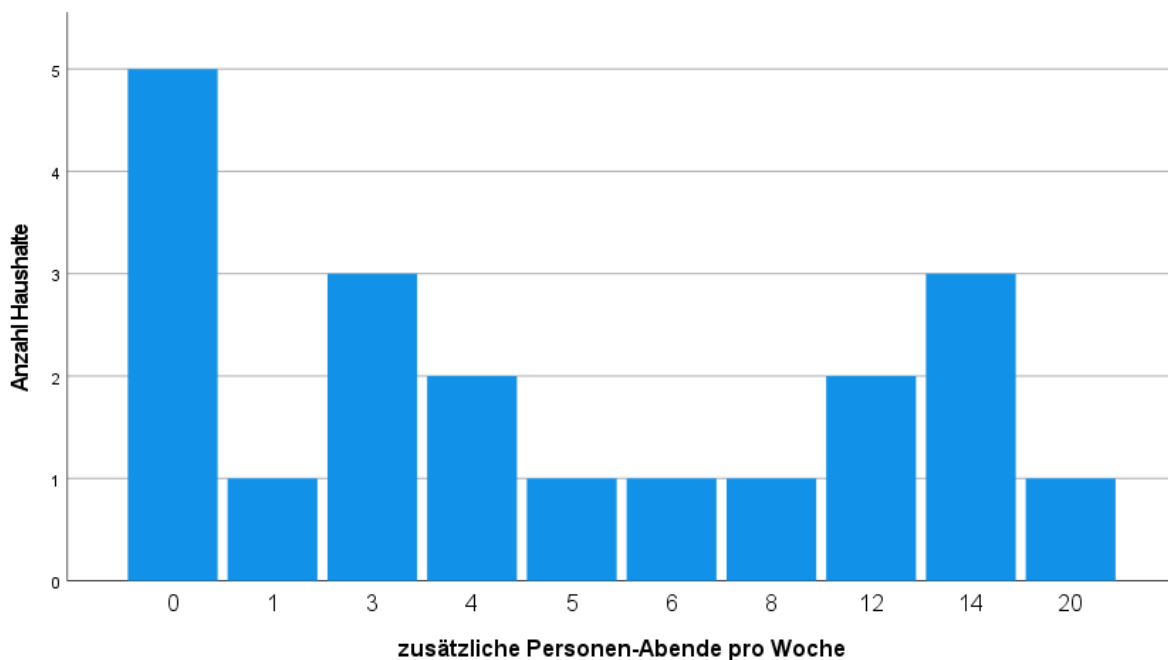


Abbildung 23: Histogramm der zusätzlichen Personen-Abende pro Woche (Lesebeispiel: Drei Haushalte hatten drei zusätzliche Personen-Abende pro Woche im Vergleich zu vor dem Lockdown)

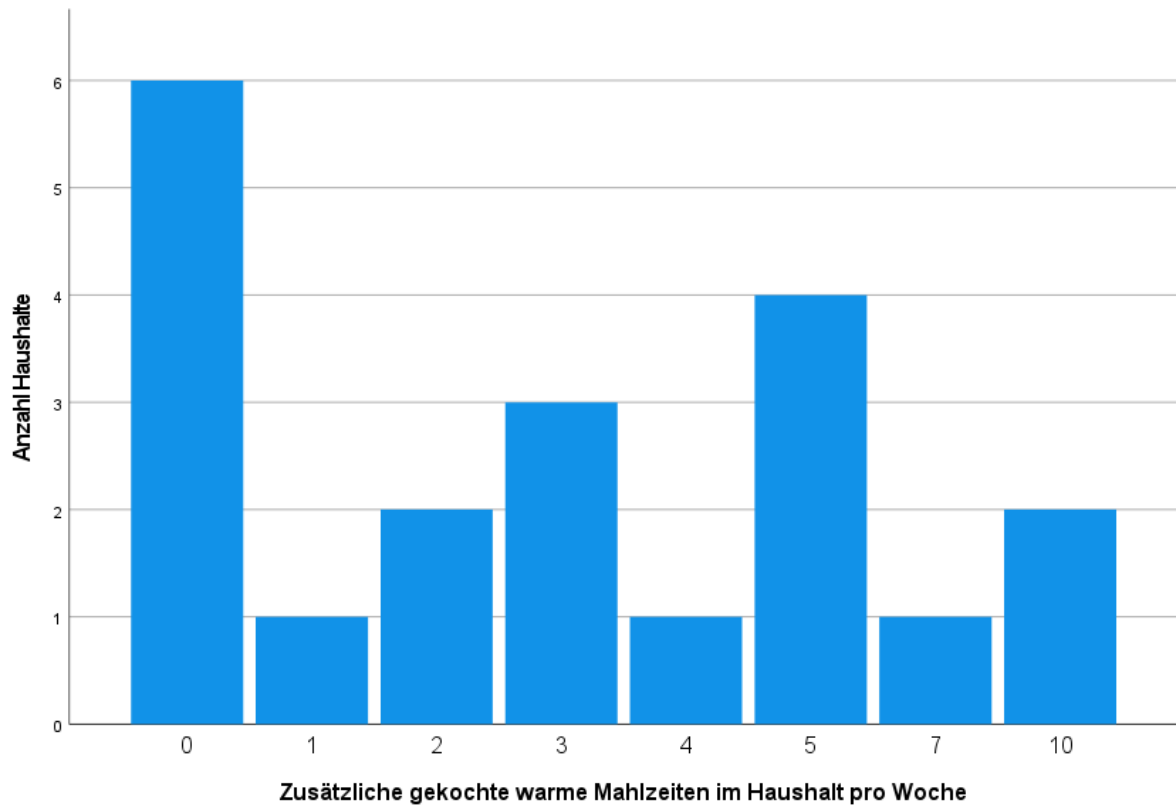


Abbildung 24: Histogramm der zusätzlich gekochten Mahlzeiten pro Woche (Lesebeispiel: Drei Haushalte kochten drei zusätzliche warme Mahlzeiten pro Woche im Vergleich zu vor dem Lockdown)

Die Resultate der einzelnen Haushalte der Gruppe mit dem «besten» Resultat sind in Abbildung 25 dargestellt. Diese Abbildung zeigt auch Anzeichen dafür, dass Haushalte anfällig für manchmal sprunghafte Veränderungen ihres Stromverbrauchs sind. Dies könnte darauf hindeuten, dass die gewählte Basismessung nur eine schlechte Darstellung des erwarteten Verbrauchs ist, da sie wichtige Muster oder Randbedingungen ignoriert.

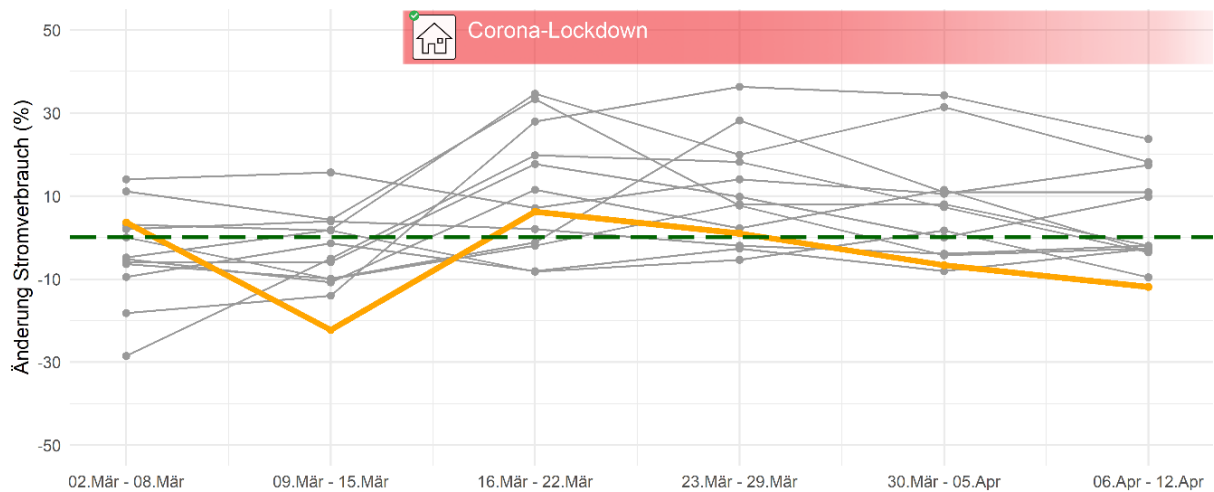


Abbildung 25: Elektrizitätsnutzung der einzelnen Haushalte in der Siegergruppe (gelb und grau: einzelne Haushalte; grün Basismessung)

Die Ergebnisse der Umfrage (N=20) unmittelbar nach dem 6-wöchigen Wettbewerb zeigen, dass die Teilnehmenden der Meinung sind, dass sich ihr Wissen über das Stromsparen, ihre Selbstwirksamkeit und einige Routinen (Ausschalten von Licht und elektrischen Geräten bei Nichtbenutzung) durch die Intervention positiv verändert haben. Die Elemente, die die Menschen am meisten motivierten, ihren Stromverbrauch zu reduzieren, waren Informationen über die Entwicklung des eigenen Stromverbrauchs und die Energiespartipps. Als Prädiktoren für eine Reduktion des Stromverbrauchs erwiesen sich die folgenden Elemente: Selbstwirksamkeit (die Meinung, dass die persönliche Reduktion des Energieverbrauchs die Umwelt schonen kann) und die Bereitschaft, auf einen gewissen Komfort zu verzichten. Diejenigen, die in den ersten zwei Wochen viel Strom gespart haben, waren eher davor geneigt, ihren Verbrauch während des Lockdowns zu erhöhen, auch wenn sie öfter zu Hause waren. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass diese Personen bereits neue Routinen angenommen haben und diese auch unter veränderten Bedingungen beibehalten.

5 Schlussfolgerungen und Fazit

5.1 Endenergie-Einsparungen und Akzeptanz

Die Intervention Raumtemperatur zeigt die deutlichste Einsparung an Endenergie, war aber deutlich weniger akzeptiert als die anderen Interventionen. Die erzielten Einsparungen an End-Energie sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Erzielte Einsparungen an Endenergie

Intervention	Spareffekt			Eingesetzte Massnahmen
	kurz- fristig	lang- fristig	MWh/a	
Raumtemperatur		25 %	6.7	Absenkung Raumtemperatur auf 21.5 °C
Warmwasser	14 %	7 %	3.2	Realtime-Feedback, Verbrauchsfeedback, Soziale Vergleiche
Haushaltstrom	Keine Aussage möglich			Verbrauchsfeedback Soziale Vergleiche, Wettbewerbssituation

In den beiden Interventionen zum Warmwasser- und Stromverbrauch wurde jeweils ein Verbrauchsfeedback eingesetzt, welches durchaus eine Verhaltensänderung bewirkt hat. Dies wurde auch von den Teilnehmenden in den Umfragen bestätigt. Die Wahrnehmung einer hohen Selbstwirksamkeit führte bei den Teilnehmenden eher zu einem Sparverhalten. Die Selbstwirksamkeit kann mittels Verbrauchsfeedback, aber auch durch allgemeine Sensibilisierung erhöht werden. Inwiefern der Vergleich oder der Wettbewerb mit den Nachbar*innen zusätzlich motivierte, kann auf Grund der speziellen Situation der Intervention während des Lockdowns nicht abgeschätzt werden, da die Höhe der Stromeinsparungen nicht mit denjenigen des «Social Power Projects» verglichen werden können.

Bei der Warmwasser-Intervention konnte eine gewisse Langzeitwirkung festgestellt werden. Die während den einzelnen Phasen erzielten Einsparungen gingen danach (über alle Haushalte hinweg betrachtet) wieder etwas zurück. Die Warmwasserintervention sprach ganz unterschiedliche Verhaltensmuster an und so ist es wohl auch wahrscheinlicher, dass einige der Verhaltensänderungen auch dauerhaft beibehalten werden.

Die durchgeführten Interventionen zeigten, dass der Energieverbrauch durch Verhaltensänderungen der Bewohner*innen merklich gesenkt werden kann. Ausserdem konnten bei den beiden Interventionen nur positive Spillover-Effekte und keine Rebound-Effekte festgestellt werden. Die **Akzeptanz erzwingender Massnahmen** wie der Absenkung der Raumtemperatur ist jedoch gering und muss gut begleitet werden. Um langfristig Endenergie zu sparen, sind wiederkehrende Interventionen, Verbrauchs-Feedbacks und eine regelmässige Wissensvermittlung unabdingbar. Durch die Sensibilisierung der Bewohner*innen bezüglich der Umwelt- und Energieproblematik und konkreten Tipps kann der Glaube, dass jede*r selbst etwas bewirken kann, erhöht werden, was die Chancen auf eine Reduktion des Energieverbrauchs erhöht. Hingegen ist die Bereitschaft für eine Verhaltensänderung bei einigen sehr gering, sobald auf ein Stück Komfort verzichtet werden muss. Eine positive – und nicht eine verzichtsorientierte – **Kommunikation** ist also wichtig.

Wie häufig diese Kommunikation stattfinden sollte, damit sich die Spareffekte über die Zeit nicht wieder abschwächen, ist eine wichtige Frage für die Praxis. Auf Grund der Beobachtungen bei der Warmwasser-Intervention empfehlen wir eine regelmässige Kommunikation alle 4-8 Wochen. In dieser Zeit sind die Spareffekte bereits etwas zurückgegangen, aber immer noch vorhanden, so dass vermutlich das Thema noch eine gewisse Salienz hat und die Routinen noch nicht wieder ganz verloren gegangen sind. Basierend auf anderen Studien scheint das Gefühl der Zugehörigkeit zu einem grösseren

Vorhaben oder Projekt ebenfalls wichtig zu sein für das längerfristige Engagement der Haushalte, siehe z. B. (Burchell *et al.* 2016).

Das Erarbeiten von Lösungsideen bezüglich einer nachhaltigen Mobilität konzentriert sich einerseits auf gemeinsam zu nutzende Infrastrukturen und Fahrzeuge wie E-Bikes oder Lastenräder sowie Abstellräume für Kinderfahrzeuge/Spielsachen. Andererseits wurde das Bedürfnis einer kleinen, nahegelegenen Einkaufsmöglichkeit geäußert, so dass für kleine Besorgungen nicht weit gefahren werden muss.

5.2 Messinfrastruktur

Die eingesetzte Messinfrastruktur sowie die Datenübermittlungswege haben sich mehrheitlich bewährt. Allerdings stellte es sich als aufwendig heraus, diese im Nachhinein einzurichten, zu testen und in Betrieb zu nehmen. Eine Ausnahme stellten die vom Elektrizitätswerk verwendeten Smartmeter dar, welche bis zum Ende des Projektes nicht automatisch in der gewünschten Granularität ausgelesen werden konnten (siehe auch im Anhang, Kapitel 9.1, Seite 38).

5.3 Ausserordentliche Situation auf Grund der Corona-Pandemie

Die Stromspar-Intervention fiel in die Zeit des Pandemie-bedingten Lockdowns, was die Beobachtung von Interventionseffekten fast verunmöglichte. Deshalb konnte auch die Frage, ob der Effekt eines Gruppenwettbewerbs verstärkt werden kann, wenn sich die Gruppenmitglieder aus der Nachbarschaft besser kennen, nicht beantwortet werden. Hingegen konnten andere interessante Ergebnisse erzielt werden: So wurde z. B. festgestellt, dass das Kochen von zusätzlichen Mahlzeiten einen grösseren Einfluss auf den Stromverbrauch hat als die zusätzlich zu Hause verbrachte Zeit. Auf Grund der guten Messdatenlage konnten die gewonnen Verbrauchsdaten nun aber für ein Covid-19-spezifisches Forschungsprojekt bezüglich der Energieverbrauchsfolgen von Homeoffice seit dem Ausbruch der Covid-19-Pandemie verwendet werden.

5.4 Limitierung der Studie

Für die Studie wurden alle 69 Haushalte der Siedlung angefragt und schliesslich nahmen 37 Haushalte freiwillig an der Studie teil. Dies bedeutet für die Studie, dass die Stichprobe von einer sogenannten «volunteer selection» verzerrt ist (Davis *et al.* 2013). Das heisst, dass angenommen werden muss, dass diejenigen Haushalte, die an dieser Studie zur 2000-Watt Gesellschaft teilgenommen haben, bereits sensibilisiert sind für das Thema und dem Ziel wohlwollend gegenüberstehen und die Effekte der Interventionen potentiell überschätzt werden (Frederiks *et al.* 2016). Andererseits kann es auch sein, dass diese Personen bereits Massnahmen zur Energieeinsparung getroffen haben und weitere Einsparungen schwieriger zu erreichen sind als bei der breiten Bevölkerung (Tiefenbeck *et al.* 2016a). Eine weitere Limitierung besteht darin, dass aufgrund der geringen Stichprobengrösse die Evaluationen der Interventionseffekte anhand eines Vorher-Nachher-Designs statt der methodologisch überlegenen randomisierten Kontrollstudie durchgeführt wurden (Haynes *et al.* 2012), (Vine *et al.* 2014), (Campbell 1969). Das gewählte Forschungsdesign beweist nicht einen kausalen Zusammenhang zwischen den Interventionen und den erzielten Einsparungen. Zukünftige Studien sollen daher eine grössere Stichprobe anstreben, bei der die Berücksichtigung einer Kontrollgruppe möglich wäre.

5.5 Fazit aus Sicht der Baugenossenschaft

Das Konzept «einfach und effizient» mit dezentralen Erdsondenwärmepumpen und PV-Anlagen auf den Dächern wird in neuen Projekten weiterverfolgt. Der Einbezug der Mieter*innen hat insbesondere bei solch effizienten Gebäuden eine deutliche Reduktion des Verbrauchs zur Folge.



Als Beispiel wurde durch die Reduktion der Raumtemperatur auf maximal 22 °C eine unerwartet hohe Energieeinsparung von 25 % erzielt. Die BGZ wird bei weiteren Projekten einen Temperatursensor pro Wohnung vorsehen, damit solche Betriebsoptimierungen auch weiterhin durchgeführt werden können.

Die Wärmeverteilung mit einer selbstregulierenden Bodenheizung hat sich technisch bewährt. In Zukunft wird in jeder Wohnung eine Regulierung der Temperatur für die individuelle Temperaturanpassung eingebaut.

Die BGZ will in Zukunft die Mieter*innen vermehrt über Nachhaltigkeit informieren. Themen dieser Kommunikationsbemühungen sind:

- Feedback des eigenen Energie-Verbrauches
- Temperatur/Behaglichkeit
- Einfluss der Mieter*innen auf die Nachhaltigkeit resp. den Energieverbrauch
- Informationen zum Gebäude und zu technischen Anlagen

Die Form der Kommunikation muss noch optimiert werden. Ziel ist es, die Mieter*innen zum Thema Nachhaltigkeit und Suffizienz zu sensibilisieren.

Um die Qualität der Siedlung zu steigern und um die induzierte Mobilität zu verringern, wird die BGZ versuchen, im Hüttengraben einen Direktverkauf regionaler Produkte zu ermöglichen. Auch in neuen Siedlungen wird man das Konzept mit einem Verkaufs- oder Treffpunkt weiterverfolgen.

Dieses Projekt hat aufgezeigt, dass die Wohnungen mehr als 70 % des Stroms der Siedlung benötigen, wogegen die Wärmeerzeugung durch die Wärmepumpen nur einen Anteil von 30 % aufweist. Dies zeigt, dass der Stromverbrauch der Wohnungen relevant ist. Mit anderen Worten: Die Mieter*innen müssen zukünftig auch vermehrt in diesem Bereich Energieeinsparungen vornehmen. Damit neben den Informations- und Sensibilisierungs-Massnahmen auch externe Anreize eingesetzt werden können (und so vermutlich noch höhere Einsparungen erzielt werden können) schlägt die BGZ einen progressiven Stromtarif vor. Diese Umsetzung ist aber durch das Energiegesetz blockiert. Der Regulator ist aufgefordert bei einer Revision des Energiegesetzes diese Intervention zu ermöglichen. Somit wird eine nachhaltige Energienutzung nicht nur im technischen Bereich erreicht, sondern auch individuell bei jedem einzelnen Haushalt.

6 Ausblick und zukünftige Umsetzung

6.1 Optimale Einstellung der Raumtemperatur

Die Wahrnehmung und die Zufriedenheit mit einer bestimmten Raumtemperatur sind individuell sehr unterschiedlich, wie sich in unserer Intervention gezeigt hat. Basierend auf unseren Erkenntnissen empfehlen wir, das Thema Raumtemperatur weitergehend zu erforschen und dabei insbesondere Ansätze zu untersuchen, welche nicht ausschliesslich auf Zwang beruhen. Es könnte vielversprechend sein, wenn Mieter*innen die Temperaturen in einzelnen Räumen selbst einstellen können, jedoch in einem vorgegebenen Bereich (z. B. zwischen 19 und 22.5 Grad). Die Kommunikation zum erlaubten Temperaturbereich sollte mit Informationen zum Energiesparen beim Heizen und mit einer Bitte zum Energiesparen kombiniert werden. So bleibt den Bewohner*innen ein gewisses Mass an Einflussnahme und Selbstwirksamkeit erhalten.

6.2 Kadenz der Nutzerkommunikation

In unseren Interventionen konnten wir feststellen, dass die während den Interventionen erreichten Einsparungen nach den Interventionen über alle Haushalte hinweg betrachtet wieder etwas zurückgingen. Es lässt sich also immerhin eine gewisse Dauerhaftigkeit der Verhaltensänderung beobachten. Es stellt sich aber die Frage, wie die Haushalte darin unterstützt werden können, die erreichten Einsparungen in noch grösserer Masse beizubehalten. Im Phasenmodell (Bamberg 2013) sowie dessen Weiterentwicklung durch (Ohnmacht *et al.* 2017) werden die verschiedenen Phasen einer Verhaltensänderung beschrieben und verschiedene Ansätze präsentiert, wie vermieden werden kann, dass man in alte Gewohnheiten zurückfällt und wie mit eigenen Rückschlägen umgegangen werden kann. Folgende Möglichkeiten werden beschrieben:

- i. Bitten oder Aufforderungen von Institutionen (Hausverwaltung, Behörden etc.),
- ii. Erinnerungen und Feedbacks zum eigenen Verhalten, sowie
- iii. Gemeinschaftsorientierte Massnahmen (wie Anlässe, partizipative Prozesse, Aufbau von Netzwerken), um aufzuzeigen, dass viele anderen aus dem Umfeld auch so handeln.

Bei all diesen Massnahmen stellt sich die Frage der Kadenz: In welchen zeitlichen Abständen müssten solche Massnahmen erfolgen, damit sie erfolgreich sind? Diese Frage müsste in zukünftigen Forschungsprojekten beantwortet werden.

6.3 Kommunikation mit Smartmetern

Obwohl Smartmeter für die Messung der Elektrizität eingebaut wurden, war es dem Energieversorger nicht möglich, die 1/4-Stunden-Werte zuverlässig zur Verfügung zu stellen (siehe auch Kapitel 9.1). Damit wurde insbesondere während der Intervention Haushaltsstrom ein Live-Feedback verunmöglicht und es musste auf wöchentliche Newsletter ausgewichen werden. Somit stellt sich die Frage, wie sichergestellt werden kann, dass diese vernetzten Messgeräte die ihnen zugedachte Rolle in der Energiestrategie zuverlässig erfüllen können.

6.4 Umsetzung der Erkenntnisse mittels Faktenblatt

Für interessierte Kreis wurde ein Faktenblatt erarbeitet, das auf der Webseite von Energie Schweiz erhältlich sein wird. Der Text des Faktenblattes ist im Anhang (Kapitel 9.2) abgedruckt.

7 Publikationen

- Derungs Curdin; Lobsiger-Kägi Evelyn; Tomic Uros, Marek Reto, Sütterlin Bernadette (2019): Occupant-centred temperature reduction in an energy efficient site, In: CISBAT 2019 Climate Resilient Cities, Lausanne, 4 - 6 September 2019. IOP Publishing. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1343/1/012146>
- Derungs, Curdin (2020): Performance Gap versus Einsparpotenzial, Haustech 1/2, 2020
- Sandmeier Ernst, Marek Reto, Lobsiger-Kägi Evelyn, Derungs Curdin (2020): Bewirken digitale Informationen Verhaltensänderungen zu Gunsten eines reduzierten Energiebedarfs? Poster an der BRENET-Konferenz 2020
- Vogel Benedikt (2020): Erkenntnisse aus dem 2000-Watt-Labor; Immobilien Business 9/20
- Vogel Benedikt (2020): Erkenntnisse aus dem 2000-Watt-Labor; ee-news.ch, 14.9.2020
- Vogel Benedikt (2020): Erkenntnisse aus dem 2000-Watt-Labor; BFE-Publikation, <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/10259>

Poster-Präsentationen an den SCCER-CREST Veranstaltungen und am Innovationsapéro des Tech-nopark Winterthur

8 Literatur

Bamberg S., 2013. Changing environmentally harmful behaviors: A stage model of self-regulated behavioral change. *Journal of Environmental Psychology*, **34**, 151–159. Zugang: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272494413000042>.

Becker M. & Knoll P., 2011. Kurzzusammenfassung der Studie "Energieeffizienz durch Gebäudeautomation mit Bezug zur DIN V 18599 und DIN EN 15232". Biberach, Hochschule Biberach - Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE); ZVEI-Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V.

BFE. Energie in Gebäuden. Zugang: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/energieeffizienz/energie-in-gebaeuden.html> [14.10.2020].

Burchell K., Rettie R. & Roberts T. C., 2016. Householder engagement with energy consumption feedback: the role of community action and communications. *Energy Policy*, **88**, 178–186. Zugang: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421515301476>.

Burow O.-A. & Neumann-Schönwetter M. (Hg.), 1995. Zukunftswerkstatt in Schule und Unterricht. Hamburg, Bergmann + Helbig.

Campbell D. T., 1969. *Reforms as Experiments*. *American Psychologist*, **24** (4), 409–429. Zugang: <https://doi.org/10.1037/h0027982>.

Davis A. L., Krishnamurti T., Fischhoff B. & Bruine de Bruin W., 2013. Setting a standard for electricity pilot studies. *Energy Policy*, **62**, 401–409.

de Wilde Pieter, 2014. The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation. *Automation in Construction*, **41**, 40–49.

Delzendeh E., Wu S., Lee A. & Zhou Y., 2017. The impact of occupants' behaviours on building energy analysis: A research review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **80**, 1061–1071.

Fabi V., Andersen R. V., Corgnati S. & Olesen B. W., 2012. Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models. *Building and Environment*, **58**, 188–198.

Frederiks E. R., Stenner K., Hobman E. V. & Fischle M., 2016. Evaluating energy behavior change programs using randomized controlled trials: Best practice guidelines for policymakers. *Energy Research & Social Science*, **22**, 147–164.

Gugerli H. & Fink T. Kriterienkatalog zum Zertifikat 2000-Watt-Areal. Kurzfassung. Zugang: https://www.2000watt.swiss/dam/2000WA_Kriterienkat._Kurz_2019_V1.0_2019-08-16.pdf [12.12.2020].

Haynes L., Service O., Goldacre B. & Torgerson D., 2012. Test, Learn, Adapt: Developing Public Policy with Randomised Controlled Trials. London.

Karlin B., Zinger J. F. & Ford R., 2015. The effects of feedback on energy conservation: A meta-analysis. *Psychological bulletin*, **141** (6), 1205–1227.

Kemmler A. & Spillmann T., 2020. Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000–2019: Auswertung nach Verwendungszwecken. Bern.

Lehmann M., Ott W., Ménard M. & Reimann W. Erfolgskontrolle Gebäudeenergiestandards 2014–2015. Zugang: <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/43534.pdf> [02.07.2020].

Ohnmacht T., Schaffner D., Weibel C. & Schad H., 2017. Rethinking social psychology and intervention design: A model of energy savings and human behavior. *Energy Research & Social Science*, **26** (4), 40–53. Zugang: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629617300178>.

Peschiera G., Taylor J. E. & Siegel J. A., 2010. Response-relapse patterns of building occupant electricity consumption following exposure to personal, contextualized and occupant peer network utilization data. *Energy and Buildings*, **42** (8), 1329–1336.

Tiefenbeck V., Goette L., Degen K., Tasic V., Fleisch E., Lalive R. & Staake T., 2016a. Overcoming salience bias: how real-time feedback fosters resource conservation. *Management Science*, **64** (3), 1458–1476.

Tiefenbeck V., Tasic V., Schöb S. & Staake T., 2016b. Long-Lasting Effects or Short-Term Spark? On the Persistence of Behaviour Change Induced by Real-Time Feedback on Resource Consumption. In: ECIS 2016 Proceedings (Hg. European Conference on Information Systems), **84**.

Tiefenbeck V., Wörner A., Schöb S., Fleisch E. & Staake T., 2019. Real-time feedback promotes energy conservation in the absence of volunteer selection bias and monetary incentives. *Nature Energy*, **4** (1), 35–41. Zugang: <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0282-1>.

Van de Mortel, Thea F., 2008. Faking it: social desirability response bias in self-report research. *Australian Journal of Advanced Nursing*, **25** (4), 40–48.

Vine E., Sullivan M., Lutzenhiser L., Blumstein C. & Miller B., 2014. Experimentation and the evaluation of energy efficiency programs. *Energy Efficiency*, **7** (4), 627–640.

Wemyss D., Castri R., Cellina F., Luca V. de, Lobsiger-Kägi E. & Carabias V., 2018. Examining community-level collaborative vs. competitive approaches to enhance household electricity-saving behavior. *Energy Efficiency*, **11** (8), 2057–2075.

Wolff A., Weber I., Gill B., Schubert J. & Schneider M., 2017. Tackling the interplay of occupants' heating practices and building physics. Insights from a German mixed methods study. *Energy Research & Social Science*, **32**, 65–75.

9 Anhang

9.1 Eingesetzte Messmittel und Übertragungsinfrastruktur

Insgesamt zählte das Monitoring-System 379 Datenpunkte. Es wurden folgende Energieströme erfasst:

- Die sieben Erdsonden-Wärmepumpen wurden mit je zwölf Datenpunkten versehen, welche zehn Temperaturen (Aussen, Brauchwarmwasserspeicher (3x), je Vor- und Rücklauf der Fussbodenheizung (FBH), der Boilerladung und der Erdsonden) sowie die beiden Durchflüsse der FBH und der Boilerladung erfassen.
- 85 Durchflusszähler messen den Verbrauch von Warm- und Kaltwasser in den teilnehmenden Wohnungen sowie je pro Haus gesamt.
- 14 Wärmezähler erfassen die Wärmeenergie pro Haus für Fussbodenheizung und Warmwasser separat.
- 38 Raumfühler messen die Temperatur und Feuchte in den am Projekt beteiligten Wohnungen und zwei Treppenhäusern.
- 76 Elektrozähler messen den Verbrauch in den am Projekt beteiligten Wohnungen, die Allgemeinverbräuche, die Wärmepumpen und die Photovoltaik-Anlage pro Haus.

Dies bedeutet, dass Raumtemperaturen, Raumfeuchte, Warm- und Kaltwasser-Verbrauch und der Bezug von Elektrizität wohnungsweise erfasst wurden. Die Heizenergie wurde nur pro Wärmepumpe und deshalb auf Ebene Haus gemessen, weshalb nicht auf den Wärmebedarf einzelner Wohnungen geschlossen werden kann.

Abbildung 26 zeigt eine schematische Übersicht des Monitoring-Systems. Am linken Bildrand sind die Sensoren für die Erfassung der unterschiedlichen Energieströme bildlich dargestellt.

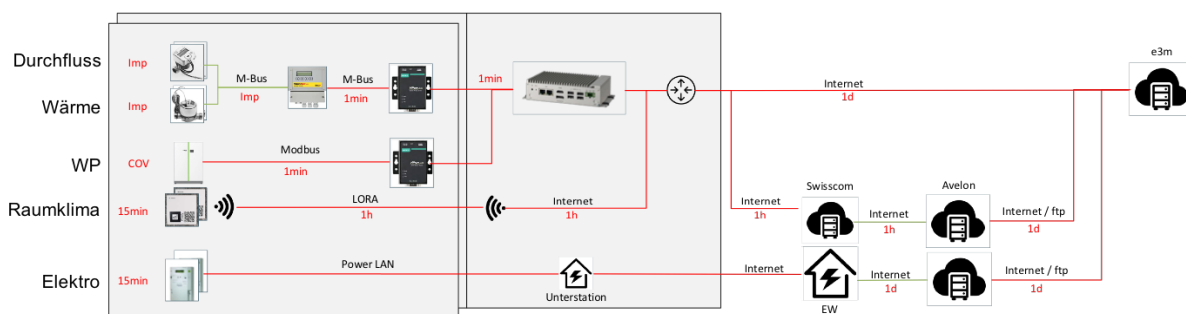


Abbildung 26: Schematische Darstellung des Monitoring-Systems.

Die gemessenen Energieströme wurden über M-Bus, Modbus, LoRa oder Powerline übertragen. Je nach Sensor und Übertragungstechnologie variierte die zeitliche Auflösung der Information von Minuten (z. B. Warmwasser-Verbrauch), zu 15-Minuten (z. B. Temperatur, Feuchte) oder Tagesaggregationen (z. B. Elektrizitätsverbrauch).

Über unterschiedliche Zwischenstationen – Internet, Cloud, FTP-Server usw. – wurden alle Daten schliesslich auf dem e3m-Server der Firma Enastra als Systemlieferant zusammengeführt, von dort bezogen und in der hochschuleigenen Monitoring-Datenbank gespeichert.

Die Raumklima-Parameter (Temperatur und Feuchte) wurden mittels LoRa-Sensoren erfasst. Diese Sensoren sind günstig in der Anschaffung und bereiten wenig Aufwand bei der Installation. Da jedoch die Fenster in dieser Siedlung stark geschirmt sind und Mobilfunk-Empfang teils nur direkt am Fenster möglich war, wurde es notwendig, eigene lokale LoRa-Antennen aufzubauen. Die Verwendung von



LoRa hatte einen gewissen Pilotcharakter und wurde daher vom beteiligten Unternehmen in einem Werbefilm festgehalten.

Ein Problem stellten die Elektrozähler dar. Diese wurden vom Elektrizitätswerk installiert und verfügen über einen Speicher und unterschiedliche Schnittstellen, um Verbrauchsinformationen automatisch zu übertragen. Das Werk nutzte die Datenübertragung per Powerline. Da das Werk aber nicht in der Lage war, die ¼-Stunden-Werte an die Datenbank zu liefern, wurden nur Tageswerte automatisch abgespeichert. Während der Intervention «Haushaltsstrom» und den vorbereitenden Arbeiten dazu wurden die ¼-Std-Werte benötigt: Diese las ein Handwerker aus den registrierenden Zählern vor Ort aus und übermittelte die Daten per E-Mail.

9.2 Faktenblatt-Text

Mit Verhaltensänderungen Energie einsparen in Haushalt und Gebäude

Energieverbrauch im Haushalt

Die Energiestrategie 2050 des Bundes hat das Ziel, den Endenergieverbrauch in der Schweiz bis zum Jahr 2050 bezogen auf das Basisjahr 2000 um 54% zu senken. Der Stromverbrauch soll im gleichen Zeitraum um 18% gesenkt werden.

In Haushalten wird in der Schweiz mit 27% am zweitmeisten Energie verbraucht (nach dem Verkehr, der am meisten Energie verbraucht). Fast zwei Drittel des Energieverbrauchs in den Haushalten wird für die Erzeugung von Raumwärme aufgewendet. Die Warmwasseraufbereitung benötigt 14%, die elektrischen Geräte 20% der Energie.

Während der Energiebedarf für die Raumwärme durch den vermehrten Einsatz moderner Heizsysteme und guter Isolation kontinuierlich sinkt, stagniert derjenige für die Aufbereitung von Warmwasser und den Haushaltsstrom oder nimmt sogar zu.

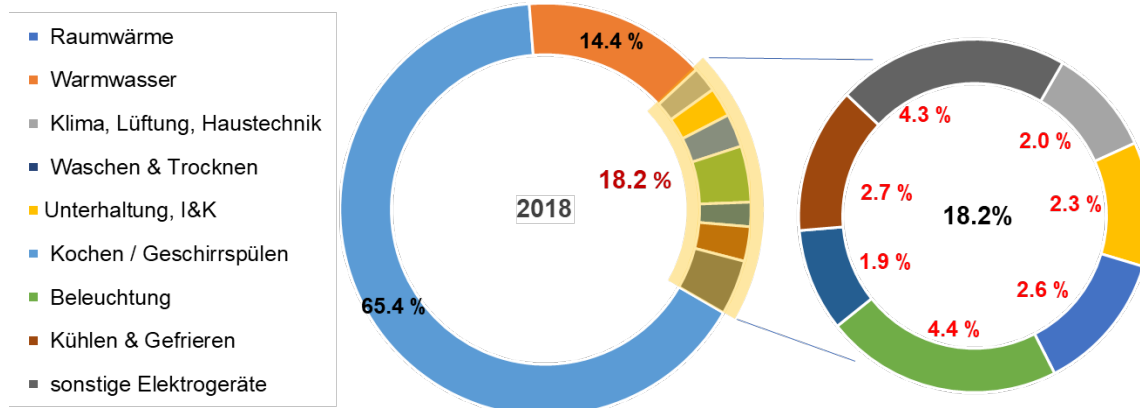


Abbildung: Entwicklung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte nach Verwendungszwecken [BFE, 2019]

Daher sind nicht nur Effizienz-Massnahmen wichtig, sondern auch Verhaltensänderungen seitens der Bewohnenden nötig. Gemäss früheren Studien (<https://www.espa-zium.ch/de/aktuelles/der-einfluss-des-gebaeudenutzers>) kann durch Verhaltensänderungen je ungefähr 20% der Energie in den Bereichen Raumwärme, Warmwasser und Strom eingespart werden. Welche Massnahmen auf Akzeptanz stossen und in welchen Bereichen das Verhalten tatsächlich geändert wird, wurde im BFE-Demonstrationsprojekt „2000-Watt-Gesellschaft leben“ untersucht, dessen Resultate und Empfehlungen hier präsentiert werden.

Dieses Faktenblatt wurde aus Erkenntnissen des **BFE-Demonstrationsprojektes „2000-Watt-Gesellschaft leben: Reduktion des Energieverbrauchs durch Verhaltensänderungen“** erstellt. Detaillierte Ergebnisse sind im Schlussbericht ersichtlich: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40155>

Attraktive Wohnungen leisten Beitrag zur Energiestrategie 2050



Wenn Eigentümer*innen den Energiebedarf ihrer Objekte senken, ergeben sich dadurch geringere Nebenkosten und eine höhere Attraktivität der Mietobjekte. Des Weiteren können Hausbesitzer*innen aktiv dazu beitragen, dass die Ziele der Energiestrategie 2050 erreicht werden und diesen Umstand für Kommunikation und Marketing einsetzen. Durch die vermehrte

Kommunikation mit den Mieter*innen wird die Kundenbindung gestärkt, was zu weniger Fluktuation und Konflikten führen kann. Ausserdem ist bei einem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien die Kooperation mit den Mieter*innen ein wichtiges Puzzleteil, um den Energieverbrauch zeitlich der Energieproduktion anzupassen.

Energiesparen beim Heizen: kleine Senkung grosse Wirkung

In privaten Haushalten wird in der Schweiz mit Abstand am meisten Energie für die Raumwärme (Heizung) benötigt. Demensprechend gross ist das Potential, im Bereich Raumwärme Energie einzusparen. In neuen Wohnüberbauungen ist der Energiebedarf für die Raumwärme deutlich geringer, da die Raumwärme oft durch effiziente Wärmepumpen bereitgestellt wird und das Haus gut isoliert ist. Wie gross das Einsparpotential dennoch ist, zeigt die Untersuchung im Hüttengraben. In der untersuchten Wohnüberbauung wurde im Januar die Raumtemperatur in den Wohnungen von rund 23°C auf 21.5° abgesenkt. Durch diese Temperaturabsenkung um 1.5°C konnten 25% der Heizenergie eingespart werden. Vielen Bewohner*innen war die Raumtemperatur von 21.5°C vor allem anfangs zu kalt. Es zeigte sich, dass die Kommunikation mit den Mietparteien wichtig ist für die Akzeptanz. So erhöhte sich einerseits die Akzeptanz, wenn das Einsparpotential aufgezeigt wurde, andererseits war vielen Mieter*innen nicht bekannt, dass bei Niedertemperatur-Bodenheizungen der Boden nicht warm wird und sie nahmen daher an, die Heizung funktioniere nicht richtig.

Empfehlungen:

- Neubau: Raumtemperatur auf eine tiefe Temperatur einstellen (z.B. 21.5°C), Information der Bewohner*innen über allfällig spezielle Funktionsweise der Heizung (z.B. Niedertemperatur-Bodenheizung, Minergie, kontrollierte Lüftung)
- Neubau: Möglichkeit zu gewissen individuellen Temperatureinstellungen in der Wohnung einbauen, dabei aber den Temperaturbereich beschränken
- Neubau: Infrastruktur zur Überwachung der Temperatur/Feuchtigkeit in den Wohnungen einbauen
- Altbau: Raumtemperatur langsam auf eine tiefere Temperatur absenken und kommunikativ begleiten (Einsparpotential und evtl. spezielle Funktionsweise der Heizung)

Warmwasser rationell nutzen spart Energie



Auch durch Warmwassersparen kann viel Energie eingespart werden, da die Bereitstellung von warmem Wasser viel Energie benötigt. Daher wurde den Bewohner*innen eine Verbrauchsanzeige montiert, welche ein live Feedback zum Warmwasser- und Energieverbrauch beim Duschen gibt. Je nach

Warmwasserverbrauch wird man in die Effizienzklassen A – G eingeteilt und bildlich visualisiert wird.

Durch diesen spielerischen Ansatz wurden die Bewohner*innen motiviert, möglichst sparsam zu duschen. Die Bewohner*innen bekamen zudem regelmässig einen Newsletter, auf welchem ihr gesamter Warmwasserverbrauch im Vergleich zu den Nachbarn ausgewiesen und praktische Warmwasserspartipps gegeben wurden. Mit diesem sozialen Vergleich wurden die Bewohner*innen weiter angespornt, ihren Warmwasserverbrauch zu senken. So wurden durchschnittlich rund 15% Warmwasser eingespart. Ein paar Monate nach dieser Aktion war der Verbrauch immerhin noch um 10% tiefer.

Empfehlungen:

- Neubau: Wassersparende Armaturen verbauen, eventuell auf Badewannen verzichten
- Neubau: Armaturen mit Mittelstellung Kalt verbauen
- Altbau: Wasserspardüsen / -brausen nachrüsten
- Alt-/Neubau: Verbrauchsfeedback evtl. mit sozialem Vergleich (z.B. zu den sparsamsten 20%) und Warmwasserspartipps vermitteln

Sensibilisierung führt zu Stromverbrauchsreduktion



Der Stromverbrauch wird in Zukunft wohl den grössten Anteil des Energieverbrauchs im Haushalt ausmachen (im Hüttengraben ist dies heute schon so), da dort keine so frappanten Effizienzsteigerungen zu verzeichnen sind, wie bei der Heizung und der Warmwasseraufbereitung. Ausserdem werden mehr und

häufiger elektrische Geräte genutzt als früher. Daher wurde im Hüttengraben ein 6-wöchiger Stromsparwettbewerb in Gruppen lanciert. Während dieser Zeit wurden die Bewohner*innen über ihren eigenen Stromverbrauch und diejenigen der anderen Gruppen, wie auch über das Thema Stromsparen sensibilisiert und informiert. Da die Wettbewerbsphase genau in die Zeit der ausserordentlichen Lage auf Grund der Corona-Pandemie fiel, konnten keine sehr aussagekräftigen Resultate zur Wirksamkeit des Wettbewerbs erzielt werden. Auffällig waren die sehr unterschiedlichen Stromverbräuche (bis zu 80%) der 36 Haushalte. Motivierend für die Teilnehmenden wirkten vor allem das Feedback zum eigenen Stromverbrauch und die Spartipps.



Empfehlungen:

- Neubau: technische Möglichkeit zum (live) Feedback einbauen
- Neubau: Trocknungsraum zur Verfügung stellen
- Alt-/Neubau: Stromverbrauchsfeedback evtl. mit sozialem Vergleich (z.B. zu den sparsamsten 20%) zur Verfügung stellen
- Alt-/Neubau: Sensibilisierung und Verbrauchsfeedback bezüglich Stand-by Verbräuche
- Alt-/Neubau: Stromspartipps kontinuierlich kommunizieren

Energieeinsparungen durch Verhaltensänderungen sind möglich, müssen aber kommunikativ gut begleitet werden

Die durchgeführten Interventionen zeigen, dass der Energieverbrauch durch Verhaltensänderungen der Bewohner*innen merklich gesenkt werden kann.

Die Akzeptanz von erzwungenen Massnahmen wie der Absenkung der Raumtemperatur erfährt jedoch eine geringe Akzeptanz und muss gut begleitet werden. Um langfristig Energie zu sparen, sind wiederkehrende Interventionen, Verbrauchs-Feedbacks und eine regelmässige Wissensvermittlung unabdingbar (wir empfehlen ca. Alle 4 bis 8 Wochen zu kommunizieren). Durch die Sensibilisierung der Bewohner*innen bezüglich der Umwelt- und Energieproblematik und konkreten Tipps kann der Glaube, dass jeder selbst etwas bewirken kann erhöht werden, was die Chancen auf eine Reduktion des Energieverbrauchs erhöht. Eine positive – und nicht eine verzichtsorientiert - Kommunikation ist dabei ebenso wichtig.