



Schlussbericht vom 15. Dezember 2020

EVISU: Energievisualisierung Bottom-Up





Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

HOCHSCHULE LUZERN

Datum: 15. Dezember 2020

Ort: Bern

Subventionsgeberin:

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

Subventionsempfänger/innen:

Hochschule Luzern Technik & Architektur
Institut für Gebäudetechnik und Energie
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw
<https://www.hslu.ch/ige>

Autor/in:

Reto Marek, HSLU T&A, IGE, reto.marek@hslu.ch
Robert Bossart, HSLU D&K, robert.bossart@hslu.ch
Klaus Marek, HSLU D&K, klaus.marek@hslu.ch
Curdin Derungs, ehemals HSLU T&A, IGE, curdin.derungs@empa.ch
Stefan Winterberger, HSLU T&A, iHomeLab stefan.winterberger@hslu.ch

BFE-Bereichsleitung: Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.ch
BFE-Programmleitung: Rolf Moser, moser@enerconom.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501815-01

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



Zusammenfassung

Im Zentrum der vorliegenden Studie steht folgende Frage: «Welche Arten der Visualisierung von Energieverbrauchs- und Komfortdaten werden von Verbrauchern und Experten benötigt?».

Zu Beginn wurde die Literatur an den Schnittstellen der Themen Visualisierung, Energie und Informatik eingehend untersucht. Daraus ergab sich die Erkenntnis, wonach die Bedürfnisse bezüglich der Energievisualisierung von Experten und Laien grundsätzlich unterschiedlichen Motivationen entspringen und deshalb gesondert betrachtet werden müssen.

Experten (Entwickler- und Anbieter von Werkzeugen zur Energievisualisierung sowie Energiefachleute), die im Berufsalltag Visualisierungen verwenden, wurden anhand von Leitfadeninterviews nach ihren Bedürfnissen und Gewohnheiten befragt. Dabei hat sich gezeigt, dass bestimmte Visualisierungen gemeinhin als Entscheidungsgrundlage verwendet werden, bspw. die Heizsignatur. Für die meisten dieser Visualisierungen gibt es jedoch keine Anleitungen, wie diese selber produziert werden können. Zudem haben die Interviews gezeigt, dass nur selten über die Grenzen des Energiesektors hinweg geschaut wird und methodische Möglichkeiten aus angrenzenden Fachgebieten wie beispielsweise den Data Sciences bislang kaum eingesetzt werden. Für Experten wurde im Projekt daher sowohl ein Standard für bestehende Visualisierungen erarbeitet, wie auch neue Lösungen aus dem Bereich der Data Sciences übernommen. Für sämtliche Visualisierungen wurden Vorlagen in der Programmiersprache R erstellt.

Die Bedürfnisse der Laien wurden in einem Card-Sort Experiment eingehend untersucht. Es hat sich gezeigt, dass Energievisualisierungen für Laien optisch ansprechend, intuitiv verständlich und einfach aufrufbar sein müssen. Von den Bedürfnissen der Laien wurde ein grundsätzlich neuartiges Visualisierungskonzept abgeleitet. Als Benutzerschnittstelle wird das Smartphone benutzt. Dieses erfüllt die Anforderung nach ständiger Verfügbarkeit am besten. Anstatt jedoch alle Energieinformation in einer gesonderten App darzustellen, wird die Farbgebung des Startbildschirms genutzt, um eine allgemeine und niederschwellige Rückmeldung an den Nutzenden zu geben. Der Energieverbrauch, der oft als «durchsichtig» und deshalb abstrakt bezeichnet wird, bekommt dadurch eine «konkrete» und «omnipräsente» Erscheinungsform. Verschiedene Visualisierungsbeispiele sind im Projektbericht vorzufinden.



Résumé

Cette étude se concentre sur la question suivante: "Quels types de visualisation des données de consommation d'énergie et de confort sont nécessaires pour les novices ainsi que pour les experts?"

Au début, la littérature située à l'interface entre la visualisation, l'énergie et l'informatique a été examinée en détail. Cela a conduit à la conclusion selon laquelle les besoins des experts et des novices en matière de visualisation de l'énergie découlent de motivations fondamentalement différentes et doivent donc être considérés séparément.

Les experts (développeurs et fournisseurs d'outils de visualisation de l'énergie ainsi qu'experts en énergie) qui utilisent des visualisations dans leur travail quotidien ont été interrogés sur leurs besoins et leurs habitudes au moyen d'entretiens d'orientation. Il a été constaté que certaines visualisations sont régulièrement utilisées comme base de décision, par exemple la signature de chauffage.

Cependant, pour la plupart de ces visualisations, il n'y a pas d'instructions sur la façon de les produire soi-même. En outre, les entretiens ont montré que les développeurs regardent rarement au-delà des limites du secteur de l'énergie et que les possibilités méthodologiques de domaines connexes tels que les sciences des données n'ont guère été utilisées jusqu'à présent. Pour les experts, les auteurs de ce projet ont donc à la fois développé une norme pour les visualisations existantes et adopté de nouvelles solutions issues du domaine des sciences des données. Pour toutes les visualisations, des modèles ont été créés à l'aide du langage de programmation R.

Les besoins des novices ont été étudiés en détail dans le cadre d'une expérience Card-Sort. Il a été démontré que les visualisations d'énergie doivent être visuellement attrayantes, intuitivement compréhensibles et simples à consulter. Un concept de visualisation fondamentalement nouveau a été dérivé des besoins des utilisateurs novices. Le smartphone y est utilisé comme interface utilisateur. C'est l'outil qui répond le mieux à l'exigence de disponibilité constante. Cependant, au lieu d'afficher toutes les informations sur l'énergie dans une application séparée, la couleur de l'écran de démarrage est variée pour fournir une information générale à l'utilisateur. La consommation d'énergie, souvent décrite comme "transparente" et donc abstraite, prend ainsi une apparence "concrète" et "omniprésente". Divers exemples de visualisation se trouvent dans le rapport du projet.



Summary

This study focuses on the following question: "What types of visualization of energy consumption and comfort data are needed by consumers and experts?"

At beginning, the literature at the interface between visualization, energy and computer science has been examined in detail. This led to the conclusion that the needs regarding energy visualization of experts and laymen arise from fundamentally different motivations and therefore have to be considered separately.

Experts (developers and suppliers of tools for energy visualization as well as energy experts) who rely on visualizations in their daily work, were asked about their needs and habits by means of guideline interviews. It was found that certain visualizations are generally used as a basis for decision-making, e.g. the heating signature. However, for most of these visualizations there are no instructions how to produce them by oneself. In addition, the interviews have shown that people rarely look beyond the boundaries of the energy sector and that methodological possibilities from related fields such as data sciences have hardly been used so far. For experts, a standard for existing visualizations as well as new solutions from the field of data sciences have therefore been developed. For all visualizations, templates have been created using the programming language R.

The needs of laymen were investigated in detail by means of a Card-Sort experiment. It was shown that energy visualizations must be visually appealing, intuitively understandable and simple to call up. A fundamentally new visualization concept was derived from the needs of laymen. Thereby, the smartphone is used as user interface. This best meets the given requirement for constant availability. However, instead of displaying all energy information in a separate app, the color of the main screen is used to provide a general and easily accessible feedback to the user. Energy consumption, which is often described as "transparent" and therefore abstract, thus takes on a "concrete" and "omnipresent" appearance. Various visualization examples can further be found in the project report.



Take-home messages

- Die Datenvisualisierung ist ein alltägliches und dennoch komplexes Thema. Der Fokus muss zeitgleich auf dem End-Betrachter, seinen Fähigkeiten, der Anwendung, dem Vorwissen, den Eigenarten des Präsentationsmedium und der Wirkung von Farben und Formen liegen.
- Experten und Laien haben unterschiedliche Ansprüche an Energievisualisierungen, welche nicht durch eine einzige Herangehensweise abgedeckt werden können. Während Laien im Alltag intuitiv verständliche Visualisierungen vorfinden möchten, benötigen Experten präzise und skalierbarere Informationen.
- Herkömmliche Tabellenkalkulationsprogramme stossen bei der stetig zunehmenden Datenmenge und den immer komplexer werdenden Analysenmethoden an Ihre Grenzen. Die im Projekt entwickelten Visualisierungsvorlagen vereinfachen für Experten den Umstieg auf die leistungsfähigere Entwicklungsplattform R. Zudem wird gezeigt, wie neue Analyseverfahren für Energiedaten aus den Data Sciences adaptiert werden können und in der Praxis einen Mehrwert bieten.
- Abschliessend zeigt ein neues Konzept einer Smartphone-Applikation, wie erfrischende, omnipräsente und leicht zugängliche Energiedaten für Laien aufbereitet werden könnten.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé	4
Summary	5
Take-home messages	6
Inhaltsverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	9
1 Einleitung	10
1.1 Ausgangslage und Hintergrund.....	10
1.2 Motivation	10
1.3 Fragestellungen.....	11
2 Vorgehen	12
2.1 Literaturrecherche	12
2.2 Interviews.....	13
2.2.1 Experten-Befragungen mittels Leitfadeninterviews.....	13
2.2.2 Laien/Bewohnenden-Befragung mittels Card Sort Deck-Methode	13
2.3 Design Guidelines	14
2.4 Implementierung von Visualisierungen	14
3 Ergebnisse und Diskussion	15
3.1 Literaturrecherchen	15
3.1.1 Literaturrecherche - Visuelle Kommunikation.....	15
3.1.2 Literaturrecherche - Empirische Studien.....	17
3.1.3 Literaturrecherche - Data Science.....	18
3.2 Interviews.....	19
3.2.1 Laien-Befragung	19
3.2.2 Ergebnisse der Laien-Befragung.....	21
3.2.3 Aufbau Experten-Befragung	22
3.2.4 Ergebnisse der Experten-Befragung – Entwickler.....	22
3.2.5 Ergebnisse der Experten-Befragung – Anbieter.....	24
3.2.6 Ergebnisse der Experten-Befragung – Energiefachleute	24
3.3 Synthese und Design Guidelines	28
4 Implementierung von Visualisierungen	30
4.1 Laien/Bewohnende	30
4.1.1 Design Briefing	30
4.1.2 Resultat.....	31
4.1.3 Fazit Entwicklung Designprototyp «Laien-Visualisierung».....	36
4.2 Experten	37
4.2.1 Online-Buch «edar» – Energie-Daten-Analyse mit R.....	39
4.2.2 redutils – R Energiedaten Hilfsfunktionen	48
4.2.3 Mollier hx-Diagramm in D3.js	49



5	Schlussfolgerungen und Ausblick	50
5.1	Schlussfolgerungen	50
5.2	Ausblick	51
6	Danksagung	52
7	Literaturverzeichnis	53
8	Anhang	54
8.1	Links erwähnter Dokumente	54
8.2	Prototypische Designentwicklung «Laien-Visualisierung»	55
8.3	Prototypischer Durchlauf «Laien-Visualisierung»	74



Abkürzungsverzeichnis

API	Eine Programmierschnittstelle, häufig nur kurz API genannt (von englisch <u>Application Programming Interface</u>) ist ein Programmteil, der von einem Softwaresystem anderen Programmen zur Anbindung an das System zur Verfügung gestellt wird.
CSV	<u>Comma Separated Values</u> , Dateiformat welches den Aufbau einer Textdatei zur Speicherung oder zum Austausch einfach strukturierter Daten beschreibt.
D3.js	<u>Data Driven Documents</u> , eine JavaScript-Bibliothek zur Erstellung dynamischer, interaktiver Datenvisualisierungen in Webbrowsersn.
EDA	<u>Explorative Daten Analyse</u> , ein Teilgebiet der Statistik. Dieses untersucht und begutachtet Daten, zu denen nur ein geringes Wissen über deren Zusammenhänge vorliegt.
edar	<u>Energy Data Analysis in R</u> (Energiedatenvisualisierung in R), online-Buch welches im Zusammenhang mit dem vorliegenden Projekt erstellt wurde und den Einstieg für Energiefachexperten in die statistische Programmiersprache R erleichtert (https://hslu-ige-laes.github.io/edar/).
R	Freie Programmiersprachen für u.a. statistische Berechnungen und die Erstellung von Visualisierungen.
redutils	<u>R Energy Data Utilities</u> (Energiedaten-Hilfsfunktionen für R), Installations-Paket / Bibliothek für die Programmiersprache R welches im Zusammenhang mit dem vorliegenden Projekt erstellt wurde und Funktionen und Visualisierungen für den Energiefachbereich beinhaltet (https://github.com/hslu-ige-laes/redutils).



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Ein Hindernis beim Sparen von Energie im Alltag ist, dass der Energieverbrauch für den Nutzer¹ meist unsichtbar ist [1]. Die grundsätzliche Idee, den Verbraucher über dessen Energiekonsum zu informieren und dadurch Einsparungen zu erzielen, ist mehr als 30 Jahre alt [2]. Zum einen werden dabei viele unterschiedliche Faktoren gemessenen (Warmwasser, Kaltwasser, Strom, usw.). Zum anderen wird der Verbrauch in hoher zeitlicher Auflösung erfasst.

Aktuell fehlt eine umfassende Studie, welche dieser interdisziplinären Herausforderung gerecht wird und den Gegenstand «Visualisierung von Energiedaten» aus der Sicht unterschiedlicher Disziplinen und basierend auf dem Bedürfnis von Nutzern und Experten ergründet. Die geplante Herangehensweise sieht einen «Bottom-up» Ansatz vor, welcher die Bedürfnisse, Herausforderungen und Wünsche von der Basis her anhand konkreter Beispiele abholt, mit Erkenntnissen der Wissenschaft abgleicht und daraus allgemeine Erkenntnisse zieht. Hierbei werden sämtliche grafische Darstellungen mit einbezogen, welche im Rahmen von energetischen Betriebsoptimierungen und Nutzerfeedbacks in der Praxis verwendet werden. Zulässig sind neben klassischen Diagrammen, Zeigerdarstellungen, Sankey-Diagramme auch etwas ungewohntere Darstellungen wie Eco-Visualisierungen, wo ein schlechter Wert beispielsweise in Form eines absterbenden Baumes dargestellt wird. Zudem werden auch Darstellungen von Temperaturen und Behaglichkeitsbetrachtungen mitberücksichtigt, da diese bei Betriebsoptimierungen auch eine entscheidende Rolle tragen.

1.2 Motivation

Bisher liegen keine umfassenden Studien vor die erkunden, wie grosse und komplexe Daten zum Energieverbrauch in verständliche und wirksame Informationseinheiten übersetzt und repräsentiert werden können.

In diesem Projekt soll diese Forschungslücke in einer interdisziplinären Kooperation ergründet werden. Der Fokus liegt dabei auf der nutzerorientierten Visualisierung von Energieverbrauchsdaten. Diese Daten sind für den Verbraucher und den Experten von Interesse, wenn auch aus unterschiedlichen Beweggründen. In diesem Projekt soll beiden «Stakeholdern» und ihren unterschiedlichen Bedürfnissen und Interessen Rechnung getragen werden.

Bisherige Projekte welche Energievisualisierungen untersuchten, basieren oft auf einem Vergleich verschiedener Produkte. Details zu, und die Beweggründe hinter den verwendeten Visualisierungen werden aber kaum näher besprochen.

Auf dem Weg von den Rohdaten zur fertigen Visualisierung müssen viele Entscheidungen zu Design Prinzipien, individuellen und gruppenspezifischen Bedürfnissen und technischen Möglichkeiten getroffen werden. Zudem erfordert das Verarbeiten der Daten komplexe Methoden der Statistik. Die Gesamtheit dieser Entscheidungskette wird in diesem Projekt durch Literaturstudien, Laien- und Expertenbefragungen, Design-Prototypen und konkreten Implementierungen abgedeckt.

¹ Um den Lesefluss nicht zu beeinträchtigen wird im ganzen Dokument zwar nur die männliche Form genannt, stets aber die weibliche Form gleichermassen mitgemeint.



1.3 Fragestellungen

Basierend auf der obigen Motivation stehen folgende Fragen im Zentrum des Projektes:

- Welche Arten der Visualisierung von Energieverbrauchsdaten werden von Verbrauchern und Experten benötigt?
- Wie werden Visualisierungen wahrgenommen und verstanden?
- Wie können die grossen Datenmengen zum Energieverbrauch übersetzt und in effektive Informationseinheiten dargestellt werden?
- Welche Anforderungen an Technik und Design lassen sich daraus ableiten?



2 Vorgehen

Das Vorgehen kann in vier Teile gegliedert werden, welche nachfolgend detailliert erläutert werden:

1. Literaturrecherche
2. Interviews mit Laien und Experten
3. Erstellung von Design-Guidelines
4. Implementierung beispielhafter Visualisierungen

2.1 Literaturrecherche

Der wissenschaftliche Diskurs in der Psychologie, Soziologie, Technik, Informatik sowie in visueller Kommunikation wird im Rahmen einer dreiteiligen Literaturrecherche zusammengefasst. Ein besonderer Fokus wird auf die Visualisierung von Energieverbrauchs- und Gebäudemonitoring-Daten gelegt.

Das Thema Energievisualisierung wurde bis anhin nicht aus der themenübergreifenden Perspektive Design, Psychologie, Technik und Informatik betrachtet. Zwar existieren interdisziplinäre Zusammenfassungen zum Thema. Diese stellen aber meist eine Verbindung von psychologischen und technischen Ansätzen dar. Insbesondere Aspekte des Designs werden dabei i.d.R. ausgeblendet.

In der Literaturrecherche wird folgender Ablauf befolgt:



Abbildung 1. Schematische Abbildung der Kapitelabfolge in der Literaturrecherche

In einem ersten Schritt erörtern wir den Wissensstand im Bereich der *Visuellen Kommunikation* von Information. Dies ist ein weitläufiges Gebiet. Ziel ist es, die Grundsätze der visuellen Informationsvermittlung repräsentativ zu erfassen.

Es folgt eine Zusammenfassung *empirischer Studien*, mit einem Hauptaugenmerk auf Studien zur visuellen Kommunikation von Energieverbräuchen.

In einem dritten Teil der Literaturrecherche wird der Fokus wieder geöffnet. Das Gebiet der *Data Sciences* wird auf neue, vielversprechende technische und methodische Möglichkeiten hin untersucht.



2.2 Interviews

2.2.1 Experten-Befragungen mittels Leitfadeninterviews

Marktlösungen von Energievisualisierungen werden mittels Leitfadeninterviews untersucht. Diese stellen einen Mittelweg zwischen einem strukturierten Interview und einem offenen Gespräch dar. Damit wird sichergestellt, dass in jedem Interview die gleichen Aspekte besprochen werden und somit die Vergleichbarkeit gegeben ist. Gleichzeitig können im offenen Gespräch auch neue Themen zur Sprache kommen, die sich unerwartet als interessant erweisen.

Die Experten für die Leitfadeninterviews wurden in drei Gruppen unterteilt:

1. Entwickler von Werkzeugen zur Energievisualisierung;
2. Anbieter solcher Werkzeuge;
3. Energiefachleute, welche die Werkzeuge im Alltag einsetzen.

2.2.2 Laien/Bewohnenden-Befragung mittels Card Sort Deck-Methode

Es gibt in der Schweiz noch immer sehr wenige Wohnsiedlungen, welche mittels detaillierten Monitorings energetisch überwacht werden. Das Gespräch mit einigen Baugenossenschaften und Bauherren hat zudem gezeigt, dass nur in sehr wenigen Siedlungen Energievisualisierungen für die Bewohnenden zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund erachten wir es als sinnvoll, stattdessen Personen ohne Zugang zu detaillierter Information ihres Energieverbrauchs in der Studie zu berücksichtigen. Diese werden hier als «Laien» bezeichnet.

Die Card Sorting-Methode erlaubt es, durch eine Kombination aus konkreten Beispielen und einem teils strukturierten Gespräch Erkenntnisse über Bedürfnisse und Erfahrungen von potentiellen Nutzern zu gewinnen, die bis anhin noch kaum mit dem Thema in Kontakt gekommen sind [3]. Die Methode ist ideal für den vorliegenden Anwendungsfall geeignet. Zudem kann das Experiment mit einzelnen Bewohnenden durchgeführt werden. Damit entfällt die Notwendigkeit, eine ganze Gruppe gleichzeitig einzubestellen.



2.3 Design Guidelines

Die Synthese der Interviews und der Literaturrecherchen bilden gemeinsam den Ausgangspunkt für die Entwicklung von gestalterischen Konzepten und Lösungsansätzen, die in Form von Design Guidelines zusammengefasst werden.

2.4 Implementierung von Visualisierungen

Aus den Erkenntnissen der vorangehenden Kapitel werden exemplarische Visualisierungen für zwei Zielgruppen erstellt:

- **Experten** - Die Erkenntnisse aus den Leitfadeninterviews mit den Experten werden in der Form von Experten-Visualisierungen umgesetzt. Dabei sollen einfach verwendbare Visualisierungen für den Berufsalltag entstehen. Die Expertenvisualisierungen basieren auf Open Source Werkzeugen (z.B. D3.js oder R). Dies erlaubt entweder eine einfache Integration in gängige Marktlösungen oder zeigt im Falle von R-Skripts auf, wie Analysen selbstständig durchgeführt und Daten visualisiert werden können.
- **Laien** - Die zweite Zielgruppe bilden die Laien. Die Erkenntnisse aus der Card Sorting-Methode werden in eine Prototypen-Applikation auf Papier übersetzt.

Die Erkenntnisse aus der Literaturrecherche werden für die Entwicklung beider Arten von Visualisierungen berücksichtigt. Die Projektdokumente und die Source Codes werden in verschiedenen Repositoryen auf <https://github.com/hslu-ige-laes/> öffentlich zugänglich gemacht. Die Links werden nachfolgend bei den entsprechenden Textpassagen einzeln erwähnt.



3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Literaturrecherchen

3.1.1 Literaturrecherche - Visuelle Kommunikation



Die vollumfängliche Recherche ist unter diesem Link abrufbar:
https://github.com/hslu-ige-laes/evisu/raw/master/01_LiteratureResearch/litResVisCom.pdf

Eine wichtige Erkenntnis aus der Literaturrecherche «Visuelle Kommunikation» ist, dass die Daten in einer schnell zu erkennenden Form visualisiert werden müssen, so dass sie vom Nutzer gelesen werden und ihn zur Einsparung motivieren [4]. Dies entspricht den Erkenntnissen aus der Kognitionswissenschaft [5], wonach die menschliche Denkweise in zwei Systeme unterteilt werden kann. «System 1», das automatisch und schnell, mit geringer oder keiner Anstrengung und ohne bewusste Kontrolle arbeitet und «System 2», das der mühevollen mentalen Aktivitäten, die Aufmerksamkeit erfordern. Das schnelle, intuitive «System 1» liefert hierbei Eindrücke, die oftmals zu Überzeugungen werden und unsere Entscheidungen bestimmen.

Ferner wird der visuell ansprechenden, einfach verständlichen und spielerisch-interaktiven Visualisierung von Verbrauchsdaten eine wichtige Rolle zugeschrieben [6], was wiederum den Erkenntnissen des Emotional Design entspricht: Eine Gestaltung, die positive Emotionen beim Nutzer hervorruft, fördert Lernprozesse, Neugier und kreatives Denken, kurz einen Zustand positiven Affekts [7].

Dies findet auch seine Entsprechung in Carliners Modell der «drei Level der Informationsgestaltung». Der Affektive Level beschreibt, dass der Nutzer durch gestalterische Mittel zur Ausführung von Aufgaben motiviert wird – unter der Voraussetzung, dass dieser die Informationen findet (physischer Level) und versteht (kognitiver Level) [8].

In Bezug auf Thalers und Sunstein kann dabei auch von Nudging, einer Methode der Verhaltensökonomie, gesprochen werden. Dies insofern, als dass durch situativ eingesetzte Massnahmen das Verhalten von Menschen beeinflusst werden kann, ohne dabei auf Verbote und Gebote zurückgreifen oder ökonomische Anreize verändern zu müssen [9].

Tatsächlich spielen ökonomische Anreize denn auch bei bestehenden Eco-Visualisierungen eine untergeordnete Rolle, wie dies die in einem Konferenzbeitrag [6] analysierten Beispiele für Eco-Visualisierungen zeigen². Aus einer Vielzahl von Beispielen aus dem Bereich der Eco-Visualisierungen wurden acht Strategien abgeleitet, die wiederum in drei Kategorien unterteilt wurden:

1. Strategien, die sich auf Nutzer beziehen, die bereits motiviert sind, Energie zu sparen
2. Strategien, die Anreize zur Einsparung in Bereichen schaffen, bei denen finanzielle Anreize keine Rolle spielen und
3. Experimentelle Strategien, um den Verbrauch sichtbar zu machen.

² Der Beitrag datiert allerdings aus dem Jahr 2008 und sollte mit neuen Beispielen aktualisiert werden.



Ein Konferenzpapier aus dem Jahr 2015 bestätigt und ergänzt die obengenannten Erkenntnisse, formuliert detaillierte Gestaltungsrichtlinien zur Visualisierung und «Gamification» des Ressourcenverbrauchs und validiert diese in einem zweijährigen Versuch in Grossbritannien, Spanien und der Schweiz [10].

Ein Hauptaugenmerk wurde auf die Arbeit von Edward Tufte gelegt [11]. Tuftes Arbeit stammt aus der Zeit vor dem digitalen Durchbruch. Graphische Darstellungen auf Computerbildschirmen und Smartphones standen nicht im Fokus des Autors. Nichtsdestotrotz dienen die Designgrundsätze von Tufte häufig als Grundlage in zeitgenössischen Bereichen wie dem Webdesign [12] und der Visual Analytics [13].

Aus der Literaturrecherche «Visuelle Kommunikation» können folgende Erkenntnisse abgeleitet werden:

- Die Informationsdichte ist bei Abbildungen selten problematisch. Bleibt die Information trotz hoher Dichte eindeutig erkennbar, so dient die Visualisierung dem Betrachter dazu, komplexe Beziehungen zwischen Themen, Massstäben und Inhalten zu erforschen.
- Nach Tufte sollten grosse Mengen an Informationen kompakt, genau, zweckmäßig und leicht verständlich dargestellt werden. Insbesondere, um Ursache und Wirkung aufzuzeigen sowie um sicherzustellen, dass der richtigen Schlüsse daraus gezogen werden können.
- Schichtung und Trennung sind Möglichkeiten, eine grosse Informationsdichte lesbar abzubilden.
- Der Erinnerung an Farben sind klare Grenzen gesetzt. Es dürfen nicht zu viele unterschiedliche und keine grellen Farben verwendet werden. Naturfarben bieten die Möglichkeit zur metaphorischen Verwendung, was wiederum die intuitive Lesbarkeit fördert.



3.1.2 Literaturrecherche - Empirische Studien



Die vollständige Recherche ist unter diesem Link abrufbar:
https://github.com/hslu-ige-laes/evisu/raw/master/01_LiteratureResearch/litResEmpStudies.pdf

Aus dieser Literaturrecherche zu empirischen Studien lassen sich eine Reihe von Erkenntnissen ableiten, welche im weiteren Verlauf der Studie Beachtung finden sollten:

- Den meisten Interventionen liegt ein vereinfachtes Menschenbild zugrunde, z.B. der vernünftige Mensch, der Zielorientierte oder Moralische.
- Die Menschenbilder werden der Komplexität der Realität nicht gerecht (Stichwort Homo Oeconomicus), ermöglichen jedoch das Testen von eindeutigen Hypothesen.
- Das Thema Energieeffizienz birgt eine Reihe von Hindernissen (unsichtbar, multikausal, usw.) und Katalysatoren (Soziale Normen) für die Wirksamkeit von Interventionen. Letztere scheinen zu überwiegen, da die meisten Studien eine Reduktion des Energieverbrauches aufzeigen können. Es gilt bei der Visualisierung von Energiedaten die Hindernisse zu antizipieren und die Katalysatoren zu nutzen.
- Was hat funktioniert?
 - a. Grundsätzlich wirken Interaktion nur bei gewissen soziodemographischen Gruppen (nicht zu jung, zukunftsbesorgt, zahlkräftig). In manchen Fällen kann eine Rückmeldung zum Energieverbrauch gar einen negativen Effekt haben [2].
 - b. Je «spürbarer» und «konkreter» der Energiestrom, desto einfacher scheint eine Interaktion. Warmwasser-Interventionen zeigen den grössten Effekt. Grundsätzlich wurden die meisten Studien aber zum Elektrizitätsverbrauch durchgeführt.
 - c. Konkrete und erreichbare Ziele, eine Wettbewerb-Situation, das Ansprechen sozialer Normen, eine Anzeige in Echtzeit, einfacher Zugang zu der Information, eine rasche Lesbarkeit und ein ansprechendes Design sind der Wirksamkeit dienlich.
- Es gibt eine ungleich grössere Anzahl empirischer Studien zur Wirksamkeit von Rückmeldungen zum Energieverbrauch im Allgemeinen, im Vergleich zu Studien über den Einfluss von spezifischen Visualisierungen (z.B. [14]).

A: Amphiro Duschmessgerät



B: Metaphorische Darstellung



Abbildung 2. Beispiele von Darstellungen des Energieverbrauchs. A: Das Duschmessgerät von Amphiro als Beispiel einer echt-Zeit Anzeige des Duschwasserverbrauchs (Quelle: Amphiro.com). B: Eine metaphorische Darstellung des Energieverbrauchs am Beispiel einer Blume (Quelle: BFE, <https://www.12energy.ch/>).



3.1.3 Literaturrecherche - Data Science



Die vollständige Recherche ist unter diesem Link abrufbar:

https://github.com/hslu-ige-laes/evisu/raw/master/01_LiteratureResearch/litResDataScience.pdf

Im Bereich der Data Science wurde der Fokus vor allem auf die Themen statistische- und Explorative Analysen, Zeitreihenanalyse, Visual Analytics und Daten-Visualisierung gelegt. Es lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten, welche im weiteren Verlauf der Studie Beachtung finden sollen:

- **Daten-Management** - Nicht zu vernachlässigen ist der Aufwand für das Erfassen der relevanten Daten aus unterschiedlichen Quellen, diese zu filtern, zu bereinigen und zu aggregieren. Für effiziente Analysen sollten Messdaten zentral an einem Ort gespeichert sein.
- **Explorative Datenanalyse** - Das Ziel der explorativen Datenanalyse nach [15] ist es, Muster oder Auffälligkeiten zu erkennen, die neue Schlussfolgerungen ermöglichen bzw. Unbekanntes klären. Visualisierungen sollen schnell erstellt werden können und müssen nicht eine hohe graphische Qualität aufweisen. Der gesamte Analyseprozess ist iterativ (Analysieren, Wichtiges zeigen, Zoom/Filter, Muster erkennen, weiter Analysieren, Details bei Bedarf) und ist eine Kombination aus automatisierten und manuellen/visuellen Aktivitäten, wo der Mensch mit seinem Fachwissen und seiner Kreativität weiterhin eine zentrale Rolle spielt. Statistische Methoden helfen dem Analysten, die Daten kennenzulernen und besser zu verstehen (z.B. Fünf-Zahlenzusammenfassung, Boxplots, Konfidenzintervalle).
- **Zeitreihen-Analyse** - Bei Zeitreihenanalysen ermöglicht die Dekomposition³ der Daten das Erkennen von Trends, Saisonalität und der zufälligen Restkomponente. Die Betrachtung dieser einzelnen Komponenten fordert ggf. bisher verborgene Muster und/oder Ausreisser zu Tage.
- **Daten-Visualisierung** - Endgültige Visualisierungen sollten mit starker Fokussierung auf den Endbetrachter und dessen Vorwissen, das Präsentationsmedium, vorhandene Technologien, die Wirkung von Farben, Formen und unterschiedlichen Diagrammen und der Präsentation als Endprodukt entwickelt werden [16].

³ Die Dekomposition wird auf Seite 43 im Detail erklärt.



3.2 Interviews



Details zu den Interviews inkl. der gestellten Fragen und Kartensets sind unter diesem Link abrufbar: <https://github.com/hslu-ige-laes/evisu/raw/master/03Interviews/Interviews.pdf>

Die Fragen für die Interviews wurden aus den Erkenntnissen der Literaturrecherchen abgeleitet. Ziel der Interviews war es, die durch die Literaturrecherchen gewonnen Erkenntnisse und die daraus abgeleiteten Design-Guidelines und -Strategien zu evaluieren. Im Dokument «Design Guidelines», welches im Kapitel 3.3 behandelt wird, werden die Guidelines und Strategien mit den Ergebnissen der Interviews ergänzt. Diese bilden dann den Ausgangspunkt für die Entwicklung von gestalterischen Konzepten und Lösungsansätzen.

Mit den Interview-Teilnehmern wurde vorgängig abgemacht, dass Inhalte und Aussagen der Interviews anonymisiert, zusammengefasst und nicht rückverfolgbar veröffentlicht werden. Unter dieser Voraussetzung entstand jeweils eine sehr offene und angenehme Gesprächsatmosphäre welche die eine oder andere Aussage zuließ, die in einem «offizielleren» Rahmen gegebenenfalls nicht gefallen wäre. Namen der Befragten Personen bzw. Firmennamen werden deshalb nicht erwähnt.

3.2.1 Laien-Befragung

Die Fragen für die qualitativen Interviews der Laien werden in Zusammenhang mit einem Kartenset (Abbildung 4) angewendet. Im Falle der Energievisualisierung dienen die Karten dazu, Erkenntnisse über bevorzugte Nutzungssituationen und den Kenntnisstand in Bezug auf Visualisierungen zu ermitteln.

Die Card Sort-Methode zur Energievisualisierung basiert auf drei aufeinanderfolgenden Gesprächsthemen. Mit den Laien wird i) ihr grundsätzliches Interesse an Energievisualisierungen, ii) das inhaltliche Verständnis der gezeigten Information und iii) der potenzielle Einfluss auf das eigene Verhalten eruiert. Die drei Themen stellen eine schrittweise Konkretisierung der Diskussion zu Energievisualisierungen dar (Abbildung 3).

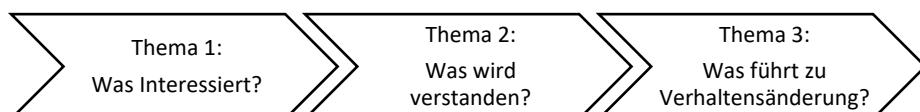


Abbildung 3. Die drei Themen der Card Sorting-Methode und deren zugrundeliegende Fragestellung.

Fragen - Die Fragen dienen dazu, in das Thema einzuführen und über die einzelnen Laien hinweg einen vergleichbaren Gesprächsverlauf zu ermöglichen.

Kartenset - Für jedes der drei Themen wird ein separates Kartenset zusammengestellt. Die Kartensets beinhalten ca. zehn 12 x 12 cm-große Karten, auf denen verschiedene Darstellungen des Energieverbrauchs abgebildet sind. Diese werden zu Beginn der drei Gespräche zufällig auf dem Tisch verteilt.



Die Befragten werden dann aufgefordert, die Karten nach der eigenen Präferenz anzuordnen – von links (hohe Präferenz) nach rechts (geringe Präferenz). Das Ziel dabei ist, herauszufinden, welche Visualisierungen bereits bekannt sind, welche verstanden werden sowie welche Visualisierungen motivierend wirken und warum.



Abbildung 4. Card Sort Methode - Kartenset Energievisualisierung «Kontext»

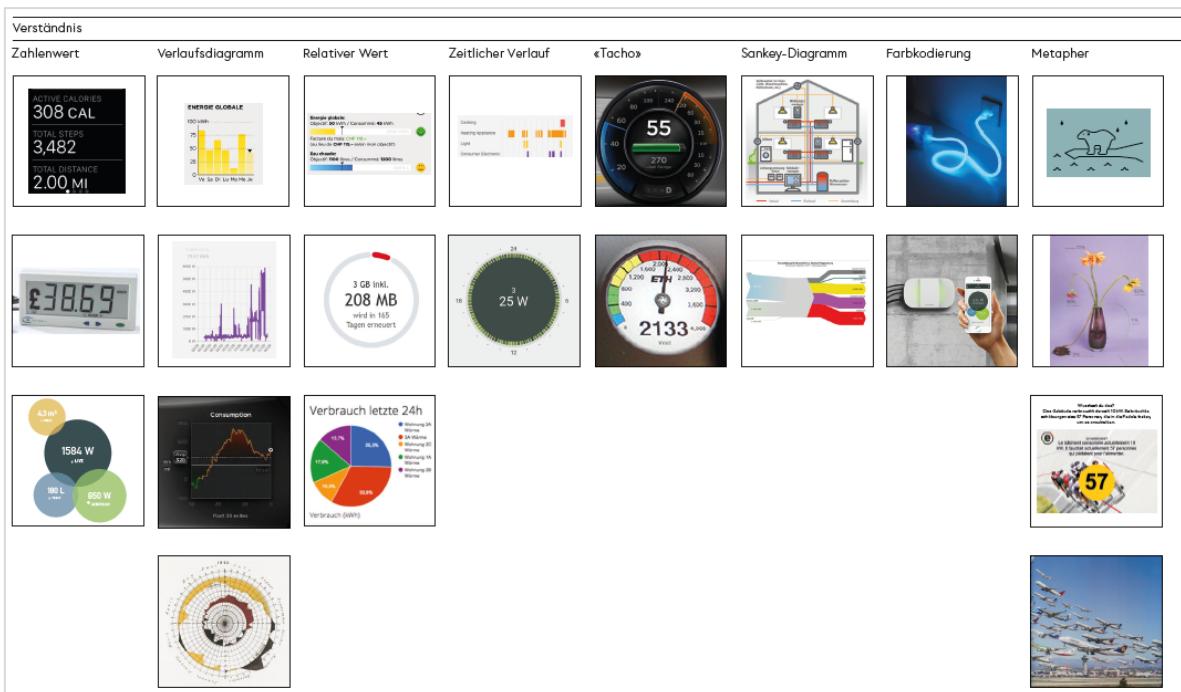


Abbildung 5. Card Sort Methode - Kartenset Energievisualisierung «Verständnis»



3.2.2 Ergebnisse der Laien-Befragung

Die Befragung der Laien hat ergeben, dass das Verständnis von Visualisierungen sehr unterschiedlich ist. Gleichermaßen gilt für die Vorlieben – die Spanne reicht vom reinen Zahlenwert bis hin zur Darstellung der Auswirkungen eines hohen Energieverbrauchs und Metaphern wie dem Eisbär aus Abbildung 2.

Die Abbildung der monetären Auswirkungen erweisen sich angesichts tiefer Energiepreise als wenig effektiv. Vielmehr wurden umweltpolitische Interessen genannt. Eine unmittelbare Echtzeit-Rückmeldung direkt am Verbraucher wurde kaum als gewünschte Option genannt, zum Teil sogar abgelehnt. Allerdings sollten die Energiedaten immer aktuell sein. Dies auch im Zusammenhang mit selbst definierten Verbrauchszielen, die man erreichen will. Ein unterschiedliches Verständnis und diverse Vorlieben erfordern, dass verschiedene Darstellungsmodalitäten verwendet werden sollten. Generell sollten die Visualisierungen allgemeinverständlich sein.

Weiter hat sich gezeigt, dass es motivierend sein kann, den eigenen Energieverbrauch in Relation zu anderen Nutzern darzustellen. Ebenfalls wurde erwähnt, dass «Storytelling-Elemente» und «Gamification» genutzt werden könnten, wenn es darum geht, Informationen zum Energieverbrauch interessant aufzubereiten. Dennoch sollten die Darstellungen sachlich bleiben und den Sachverhalt nicht verharmlosen.

Dementsprechend wurde auch eine Kombination verschiedener Visualisierungen für sinnvoll erachtet, z.B. in Form einer Toolbox, aus der sich die Nutzenenden ihr Dashboard selbst zusammenstellen können. Der Energieverbrauch sollte auf verschiedenen Medien abgerufen werden können. Vor allem das Smartphone und ein detaillierter Bericht zum Energieverbrauchs wurden favorisiert.

Alles in allem sollte die Darstellung des Energieverbrauchs einfach verständlich und in eine Applikation eingebettet sein, die einfach und intuitiv zu bedienen ist. Wichtig ist auch, den tatsächlichen Energieverbrauch «sichtbar» und «ständig abrufbar» zu machen – was auf eine Smartphone-Applikation hindeutet.



3.2.3 Aufbau Experten-Befragung

Die befragten Experten wurden in drei Gruppen unterteilt:

- **Entwickler** - Fünf Personen aus unterschiedlichen Firmen, die Monitoring- / Energievisualisierungs-Lösungen entwickeln
- **Anbieter** - Drei Personen aus Wohnbaugenossenschaften, die Energievisualisierungs-Lösungen für Bewohnende in ihren eigenen Projekten einsetzen
- **Energiefachleute** - Drei Personen, die im Betriebsoptimierungsbereich tätig sind und Monitoring-Lösungen verschiedener Hersteller kennen, nutzen und somit aus Praxissicht gut Auskunft geben können zum aktuellen Stand der Technik

Der Fragekatalog wurde pro Expertengruppe leicht unterschiedlich ausgestaltet. An die Teilnehmenden aller Gruppen werden in einem offenen Gespräch ca. 20 Fragen gestellt. Die Fragen sind Themen zugeordnet. Ein Thema ist beispielsweise den Zielen gewidmet, welche mit den Energievisualisierungen erreicht werden sollen (z.B. Betriebsoptimierung, Energieeinsparung, Aufklärung, usw.). Ein zentrales und detailliert erfragtes Thema fokussiert auf die Art der Visualisierungen. Es wird beispielsweise nach der zeitlichen Auflösung der Verbrauchsdaten, nach der kommunizierten Energieeinheit, dem verwendeten Medium (App, Bildschirm, Web) oder der Art der Graphik (Diagramm, Zahl, Text, Metapher, Schema, usw.) gefragt. Ebenfalls als Thema im Fragekatalog enthalten ist die Nutzersicht, und inwiefern die Nutzer bei der Systementwicklung miteinbezogen werden.

3.2.4 Ergebnisse der Experten-Befragung – Entwickler

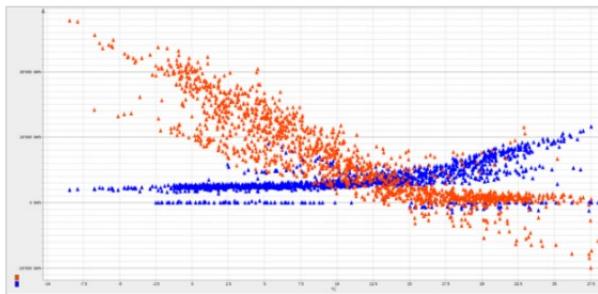
Die Motivation, welche hinter den gängigen Visualisierungswerkzeugen steckt, variiert je nach Zielpublikum des Produktes. Die meisten Unternehmen betonen, dass eine Energie-Kostenminimierung für private Haushalte oft wenig interessant ist. Die Investitionskosten für die Messinfrastruktur seien unverhältnismässig teuer, im Vergleich zum Einsparpotential. Interessant sind Energiekosten hingegen für grössere Gebäudekomplexe oder energieintensive Bereiche, wie die industrielle Produktion oder den Grosshandel. Diese Zielgruppe besteht aus Energieexperten oder Gebäudebetreibern.

Für Experten werden meist standardisierte Visualisierungen erstellt, wie Gebäudesignaturen (Abbildung 6:A), seltener Sankey-Diagramme (Abbildung 6:B), das Behaglichkeitsfeld nach SIA 180 (Abbildung 6:C) oder die kumulierte Wärmeenergie (Abbildung 6:D). Für diese Beispiele müssen die Energieverbräuche nicht in Echtzeit zur Verfügung stehen. Zur Analyse braucht es die visuelle Kontrolle durch einen Experten. Es reicht daher, wenn die Daten des Vortages oder gar der Vorwoche visualisiert werden.

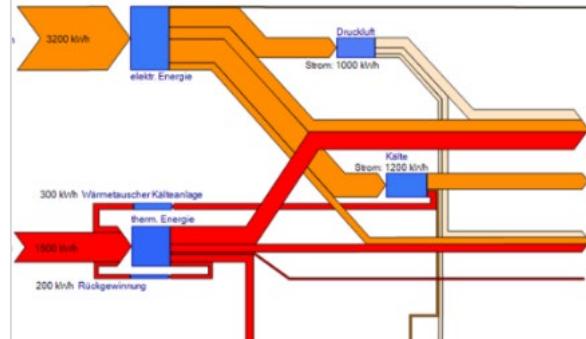
Von mehreren Entwicklern wurde der Wunsch nach Visualisierungsstandards in Bezug auf die graphische Darstellung, sowie die technische Implementierung geäussert. Oft betrachten sich die Unternehmen als zu klein, um viel Aufwand in eigene, innovative Visualisierungen zu investieren. Sie würden es begrüssen, einfache Vorlagen und Algorithmen zur Verfügung gestellt zu bekommen.



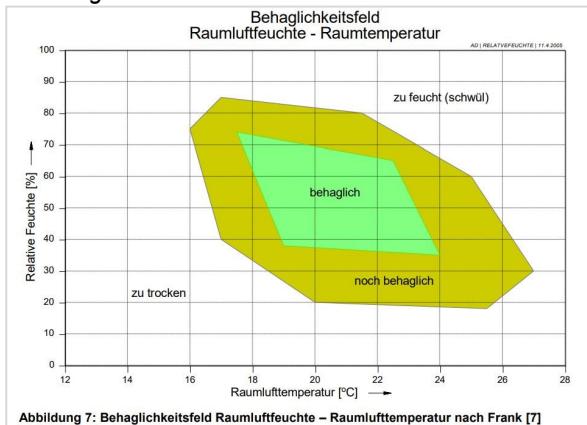
A: Gebäudeesignatur



B: Sankey-Diagramm



C: Behaglichkeitsfeld



D: Kumulative Wärmeenergie

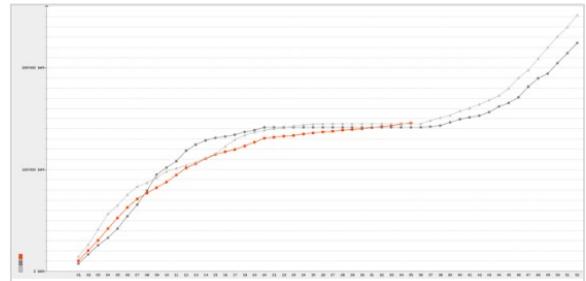


Abbildung 6. Vier Beispiele von gängigen Energievisualisierungen aus der Praxis. A: Die Gebäudeesignatur (auch Heizlastkurve genannt) zeigt das Verhältnis zwischen Aussentemperatur (x-Achse) und dem Verbrauch an Heizenergie (y-Achse). B: Das Sankey-Diagramm veranschaulicht die Grösse aller Energieströme und deren Zusammenhänge in einem geschlossenen System. C: Das Behaglichkeitsfeld hebt den Bereich aus Raumlufttemperatur (x-Achse) und Luftfeuchtigkeit (y-Achse) hervor, welcher als Behaglich wahrgenommen wird (grüne Fläche) (Quelle: SIA 382). D: Zeigt die kumulative Wärmeenergie über den Verlauf eines Jahres. Mit mehreren Kurven können unterschiedliche Gebäude, Anlagen oder Jahre verglichen werden.

Visualisierungswerzeuge für Bewohnende haben, unter anderem wegen dem fehlenden monetären Anreiz, oft einen Fokus auf ökologischen Aspekten (v.a. Energiesparen). Energieverbräuche in kWh werden dazu in intuitiv verständliche Einheiten wie die äquivalente Anzahl Kilometer einer Fahrradfahrt oder die Brenndauer von LED-Leuchten umgerechnet. Der eigene Verbrauch wird oft mit einem Referenzwert, beispielsweise dem schweizerischen Mittelwert oder dem Kennwert eines Energiezertifikates (z.B. 2000 Watt Gesellschaft⁴) verglichen.

Interessanterweise ergaben die Leitfadeninterviews, dass die Darstellung von Nachbarschaftsvergleichen, welche sich in der Forschung als besonders vielversprechend erwiesen haben, oft als Verletzung der Privatsphäre wahrgenommen werden. Ein Benchmark mit einem typischen, ähnlichen Haushalt wird nur beim Warm- und Kaltwasserverbrauch bestimmt, da hier Vergleichsdaten vorliegen. Bei der Elektrizität ist dies schwierig, da der Verbrauch je nach Geräten, Typ der Wohnung und der Ausstattung stark variiert.

⁴ <https://www.local-energy.swiss/programme/2000-watt-gesellschaft/#/>



Uneinigkeit besteht bei den Entwicklern in Bezug auf die darzustellende Informationsdichte. Einige Entwickler setzen auf möglichst umfangreiche Information, wenn möglich hochauflöst für jeden Bezüger (Steckdose, Geräte, Armatur, usw.). Für andere Entwickler ist der kritische Schwellenwert zu einer Überforderung der Bewohnenden rasch überschritten. Zudem wurde erwähnt, dass ein Mehr an Information oft auch ein Mehr an Rückmeldungen seitens der Bewohnenden zur Folge hat. Es fehlt jedoch an Zeit und Geld, diese zu bearbeiten.

3.2.5 Ergebnisse der Experten-Befragung – Anbieter

Im Gespräch mit Anbietern von Visualisierungswerkzeugen (bspw. Bauunternehmen oder Genossenschaften) zeigt sich erstaunlicherweise eine geringe Bereitschaft, den Bewohnenden detaillierte Energieverbrauchsdaten zur Verfügung zu stellen. Dies obwohl es technisch seitens der Hersteller möglich wäre. Im Falle des Elektrizitätsverbrauchs hat das auch mit dem schwierigen Zugang zu Verbrauchsdaten zu tun. Systemanbieter haben nur sehr bedingt Zugang zu den Elektrizitätsverbräuchen der ausgerüsteten Wohnsiedlungen, da diese unter Datenschutz stehen.

Die befragten Baugenossenschaften setzen eher auf den direkten Kontakt mit den Bewohnenden als auf gemessene Verbrauchsinformation. Es werden beispielsweise Workshops zum Thema Energie angeboten oder es werden Lotsen in den einzelnen Gebäuden bestimmt. Bei den Lotsen handelt es sich um Bewohnende, die eine Affinität für das Thema Energie haben und ihr Wissen an die anderen Bewohner weitergeben. Datenschutztechnisch kommen weitere Herausforderungen hinzu. So beispielsweise die Tatsache, dass Bewohnende ihren Echtzeit-Verbrauch kennen sollten, Experten jedoch zwecks Analysen keinen Zugriff auf Echtzeit-Informationen haben dürfen ⁵.

Die gemessenen Energieverbrauchsdaten werden von den Verwaltungen vor allem für die Betriebsoptimierung verwendet, beispielsweise um Heizenergie einzusparen. Hier werden oft nur sogenannte «Allgemeinzähler» ⁶ aufgezeichnet. Zu diesem Zweck würde man gerne über Echtzeit Information verfügen. Diesbezüglich ist die Datenübertragung vom Energieversorgungsunternehmen oft der limitierende Faktor und es kommt zu einer Verzögerung von typischerweise einem Tag.

3.2.6 Ergebnisse der Experten-Befragung – Energiefachleute

Für Kunden, welche kein technisches Verständnis haben, werden klassische Säulen- und Kreisdiagramme mit monetären Auswertungen erstellt. Ebenfalls wird der Nachweis von CO₂-Einsparungen und dem Anteil erneuerbarer Energien oft von Kunden verlangt, die diese Angaben dann für das eigene Marketing verwenden.

Für Betriebsoptimierungen werden Vergleiche mit Richtlinien und Normen, Benchmarks mit Labels, Energie-Effizienzpfad-Diagramme (Abbildung 7) und Energieausweise über mehrere Betriebsoptimierungszyklen erstellt (Abbildung 8). Reine Zeitreihen werden selten präsentiert, da sie für die Kunden zu technisch bzw. zu wenig aussagekräftig sind.

Oft wird pro Optimierungsmassnahme ein passendes Diagramm erstellt, wo die Wirkung der Massnahme gezeigt wird, quasi als Motivationsinstrument.

Für Komfortbetrachtungen kommen in einzelnen Räumen Streudiagramme der Außentemperatur versus Raumtemperatur mit Komfort-Grenzwerten gemäss SIA 180:2014 zum Einsatz (Abbildung 9).

⁵ Ausser dies wird mittels einer Datenschutzerklärung anders vereinbart.

⁶ Unter Allgemeinzählern verstehen sich alle Zähler ausser die der Wohnungen.

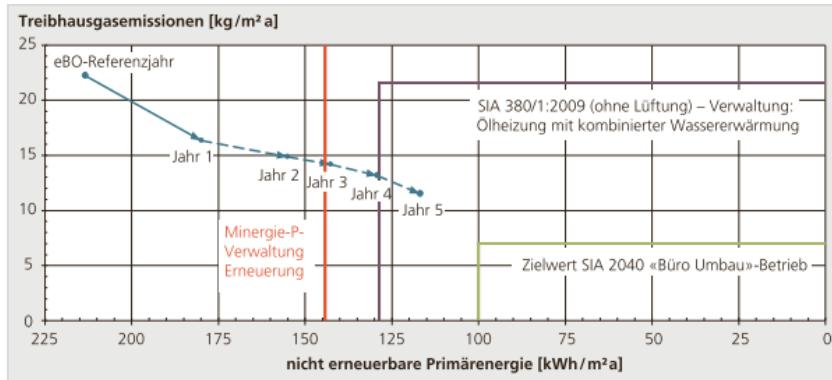


Abbildung 7. Erneuerungsdiagramm mit geplantem und gemessenem Effizienzpfad [17]

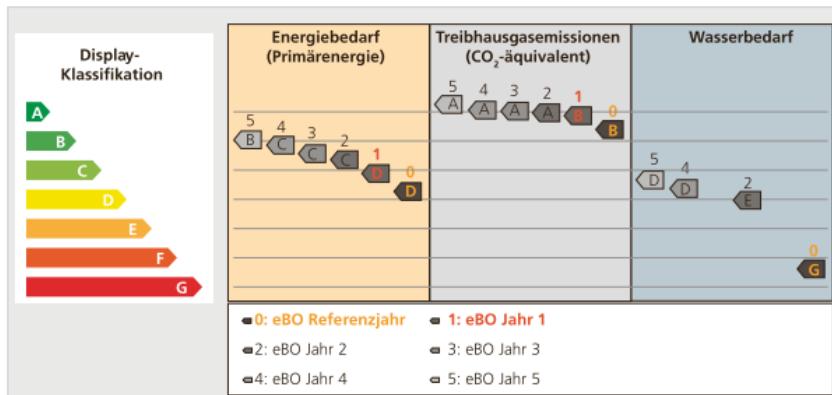


Abbildung 8. Auswirkungen einer Betriebsoptimierung auf die Gebäudeklassifizierung gemäss Display-Kampagne [17]

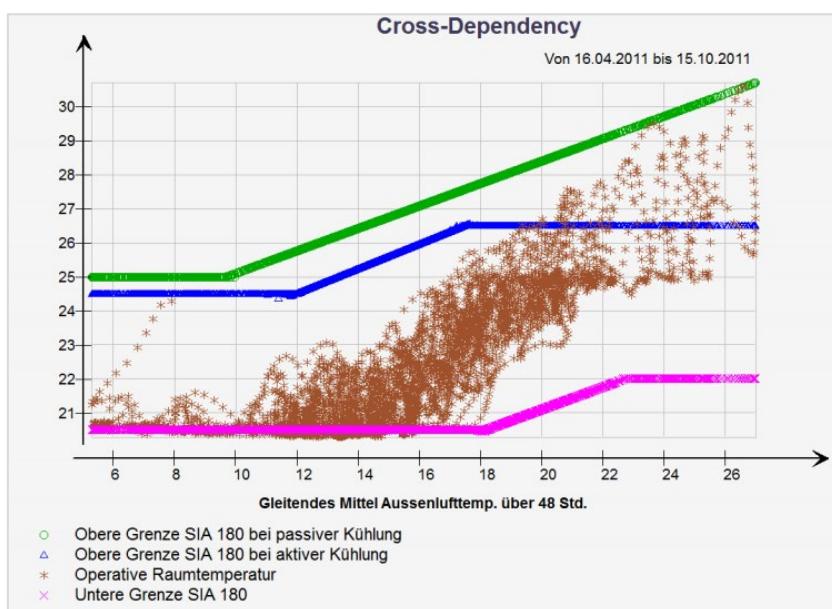


Abbildung 9. Thermischer Komfort Plot mit Aussentemperatur auf x-Achse und gemessener Raumtemperatur auf y-Achse nach SIA 180:2014 (Quelle FHNW, Bauphysikapéro)



Falls der Kunde das h/x-Diagramm (Abbildung 10 links) versteht, so wird dieses verwendet, da neben der Temperatur auch noch die Feuchte mitberücksichtigt wird. Die Erstellung des h/x-Diagrammes bereitet aber Schwierigkeiten, da es sich um eine komplexe Visualisierung handelt die je nach Höhenlage des Gebäudestandorts unterschiedlich ausfällt.

Ebenfalls werden Streudiagramme mit Aussentemperatur versus Heizenergie/Kühlenergie oder der entsprechenden Leistung erstellt (Abbildung 10 rechts) Zeitlich werden maximal drei Jahre in die Vergangenheit berücksichtigt, da es für diese Periode meist noch möglich ist, relevante Veränderungen nachzuvollziehen.

Weiter werden manchmal Vergleiche mit Mobilitätskennwerten (Abbildung 11) und eher seltener Energieflussdiagramme (Abbildung 6:B) erstellt.

Kunden, die mehrere Liegenschaften besitzen, wünschen Benchmarks, welche dann einen Vergleich unter den Gebäuden ermöglichen. Ggf. werden anonymisierte Vergleiche mit ähnlichen Gebäuden hinzugefügt (sofern entsprechende Daten vorhanden sind).

Oft sind den Kunden die erstellten Visualisierungen zu komplex. Die Kunst ist es, die komplexen Zusammenhänge einfach zu kommunizieren. «Energiedaten darzustellen sei einfach, die richtige Mitteilung rüber zu bringen eher schwer».

Bei Betriebsoptimierungen sind Vortageswerte wichtig, um Effekte von Veränderungen direkt darzustellen.

Auffallend ist, dass die befragten Experten für die Erstellung komplexer Visualisierungen entweder selbstentwickelte Excel-Tools verwenden, oder ihre Daten in die bestehende Monitoring-Applikation einer Anlage importieren. Von den Befragten benutzt niemand die Programmiersprachen R, Python, Tableau, Power-Bl oder ähnliche Werkzeuge. Generell wird mit der zunehmenden Datenmenge Mühe bekundet. Datenhandling und Analyse in Excel mit 15-min-Werten über drei Jahre seien mühsam.

Keine der Befragten Energiefachleute nutzt statistische Analysemethoden wie die Dekomposition, Kreuzkorrelation oder ähnliches. Wenn, dann werden Ausreißer manuell entfernt, eine automatische Erkennung und Korrektur der Messdaten wurde von keinem der befragten Experten eingesetzt, von allen aber erwünscht. Dringendster Wunsch ist, dass Standards zur Auswertung und Visualisierung von Monitoring-Daten entwickelt werden und diese vollkommen automatisch erstellt werden können.

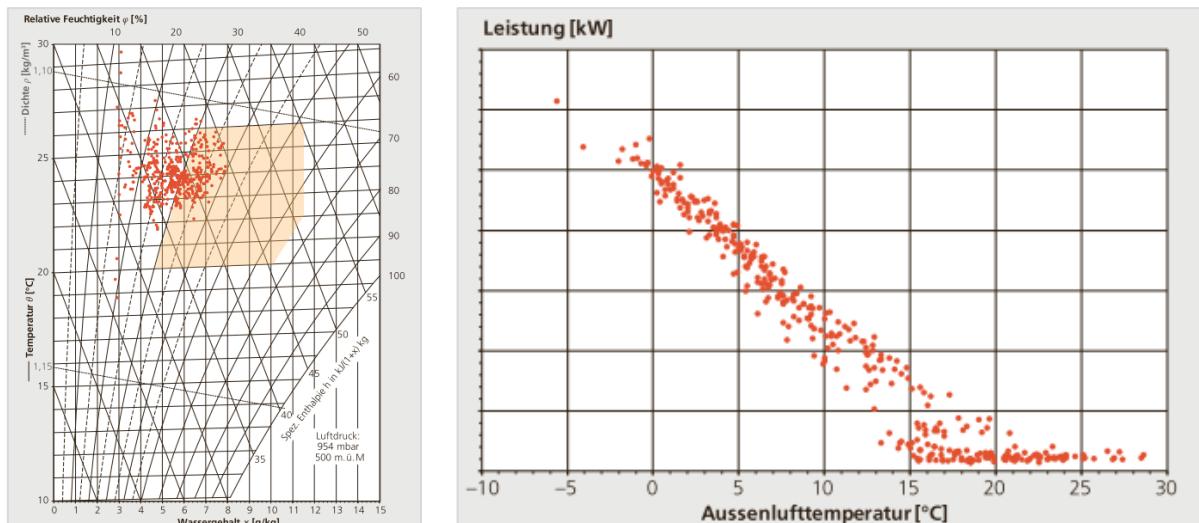


Abbildung 10. links: Mollier h/x-Diagramm [17], rechts: Gebäudeesignatur [17]

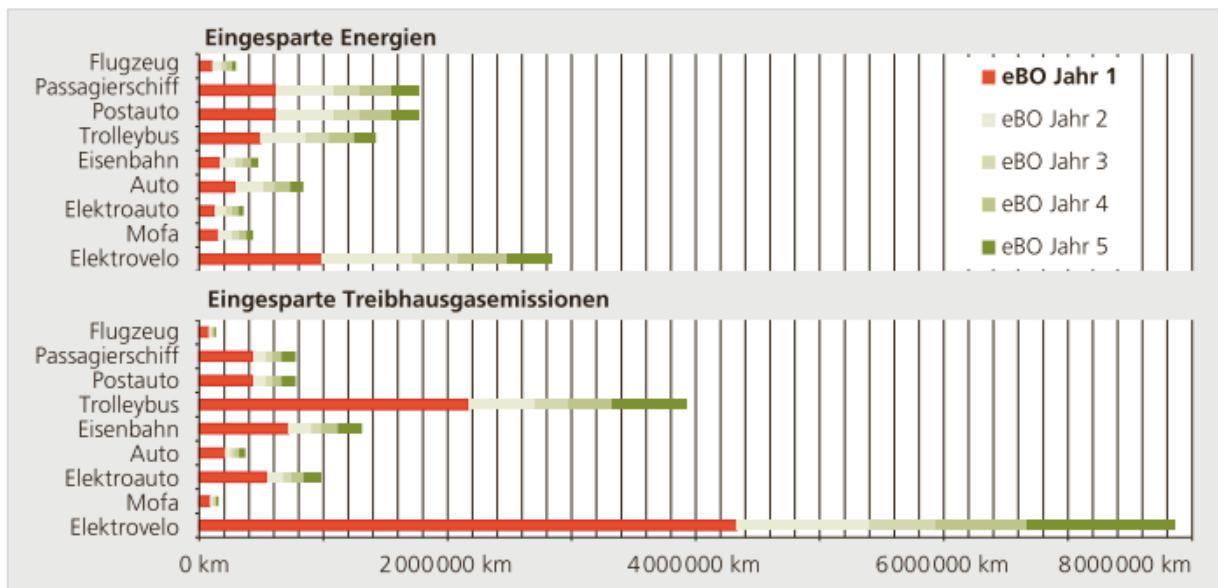


Abbildung 11. Vergleich von eingesparter Primärenergie und Treibhausgasemissionen zu gefahrenen Kilometern [17]



3.3 Synthese und Design Guidelines



Die Design Guidelines sind unter diesem Link abrufbar:
https://github.com/hslu-ige-laes/evisu/raw/master/02_DesignGuidelines/DesignGuidelines.pdf

Der Vergleich der Erkenntnisse der Literaturrecherche und der Interviews erlaubt eine Reihe von Rückschlüssen welche in den Design Guidelines zusammengefasst wurden. Nachfolgend die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst:

Laien/Bewohnende

- Die Rückmeldung über den Energieverbrauch sollte «omnipräsent» aber nicht aufdringlich sein.
- Die Bereitstellung von Daten auf einer Smartphone-App wird von vielen bevorzugt. Eine solche Darstellung ermöglicht einen häufigen Zugriff auf Visualisierungen und unterstützt den Prozess der Verhaltensänderung.
- Es werden einfache Lösungen benötigt, welche intuitiv und schnell verständlich sind. Zudem erheben die potenziellen Anwender einen ästhetischen Anspruch, um eine solche Anwendung regelmässig zu nutzen.
- In der Forschung zeigt der Vergleich mit ähnlichen Verbrauchern einen grossen Effekt (z.B. Nachbarschaftsvergleiche). Allerdings zeigen Rückmeldungen aus allen befragten Gruppen, dass damit auch rasch die Grenze zur Privatsphäre überschritten wird. Trotzdem sollte vermehrt der Fokus auf die Präsentation von Benchmarking-Werten vergleichbarer Nutzer gelegt werden.

Experten

- Die heute vorhandenen Visualisierungen scheinen den Experten ausreichend. Es besteht der einvernehmliche Wunsch nach einfach verwendbaren, reproduzierbaren Open-Source Visualisierungsbeispielen.
- Im Bereich der Zeitreihenanalyse ist auffällig, dass eine Reihe von visuellen Analysemethoden aus der Literaturrecherche gut in den Kontext von Energievisualisierungen passen würden, jedoch bisher gemäss den Interviews sehr selten Einzug in die Praxis gefunden hat.
 - a. Boxplots (Abbildung 12) stellen einen wichtigen Ausgangspunkt für Analysen dar.
 - b. Mit Hilfe der Dekomposition (Abbildung 13:A) kann der Trend, die Saisonalität und die zufällige Komponente aus Energieverbräuchen herausgerechnet und separat dargestellt werden. Durch diesen Verarbeitungsschritt können Auffälligkeiten in den Messdaten einfach erkannt werden.
 - c. Mit der Kross-Korrelation (Abbildung 13:B) können Zusammenhänge zwischen mehreren Messreihen und deren Zeitverzögerung untereinander visualisiert werden.
- Experten-Befragungen ergaben, dass bei den Befragten weder R/Python noch Power BI oder Tableau verwendet wird. Datenanalysen finden meist in MS Excel oder im Monitoring-Tool selbst statt. Viele Nutzer schreckt die Verwendung von Python oder R ab, weil sie nicht über das nötige Fachwissen und geeignete Vorlagen verfügen.
- Es fehlt teils an Wissen und Tools, um komplexere Grafiken wie ein hx-Diagramm zu erstellen. Deshalb werden mehrheitlich einfachere Streudiagramme erstellt.

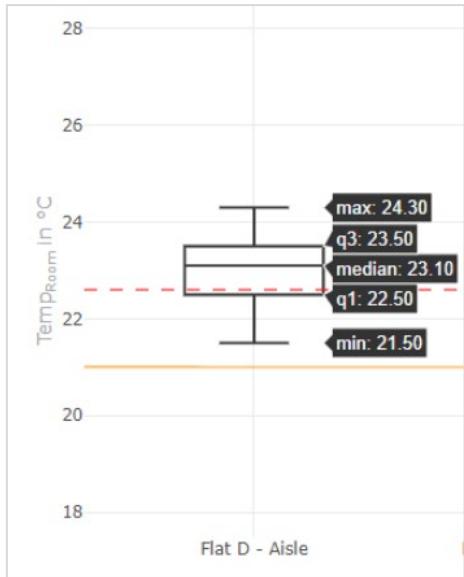


Abbildung 12. Boxplots mit dem Median, dem unteren Quartil q1 wo 25% der Werte darunterliegen, dem oberen Quartil 75% und den Minimum- und Maximumwerten.

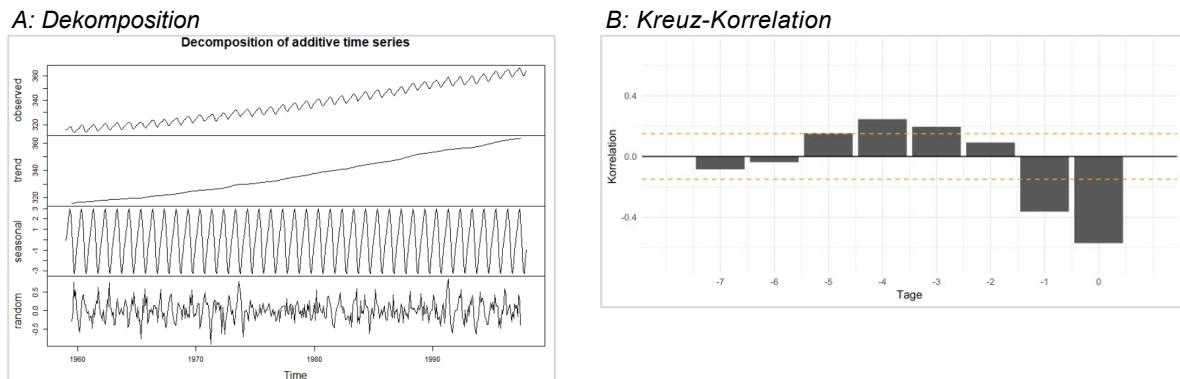


Abbildung 13. Zwei Beispiele von visuellen Analysemethoden aus der Zeitreihenstatistik. A: Dekomposition des Heizenergieverbrauchs in die Komponenten *Trend*, *Saisonalität* und *Zufall*. Im *Trend* ist beispielsweise der Jahresverlauf sichtbar. Im *Zufall* lassen sich einfach Abweichungen von den erwarteten Schwankungen ablesen. B: Kreuz-Korrelation von einer gemittelten Aussentemperatur und dem Heizenergieverbrauch. Damit wird ersichtlich, dass neben der aktuellen gemittelten Aussentemperatur (0 auf x-Achse) auch die Temperatur des Vortages (-1) den Heizenergieverbrauch von heute beeinflusst.



4 Implementierung von Visualisierungen

Aufgrund der genannten Rückschlüsse wurde entschieden, im weiteren Projekt-Verlauf Laien/Bewohnende und Experten separat mit Visualisierungen zu bedienen.

4.1 Laien/Bewohnende

4.1.1 Design Briefing

Das Designbriefing für die prototypische Umsetzung basiert auf den ausgewerteten Rückmeldungen der im Vorfeld geführten Interviews und den Design Guidelines aus Kapitel 3.3.

- Die Rückmeldung des persönlichen Energieverbrauchs wird grundsätzlich von allen Interviewten positiv aufgenommen und für sinnvoll erachtet.
- Die Anforderungen und Vorstellungen zur visuellen Darstellung des Verbrauchs fallen aber teilweise sehr unterschiedlich aus. Betreffend Ausgabemedium zeigen sich klare Tendenzen zu Bildschirmschirmdarstellungen – von Desktopanwendungen mit Browserlogin bis hin zu App-Anwendungen auf Smartphones. Schlussendlich wird von allen Interviewten eine App-Anwendung für Smartphones als optimaler Kompromiss erachtet. Eine Erweiterung als Desktop-Applikation oder als browserbasierte Plattform könnte bei Bedarf zu einem späteren Zeitpunkt geprüft werden. Für die prototypische Implementierung wird deshalb nur die Smartphone-App weiterverfolgt da diese als Herausfordernder betrachtet wird.
- Weiter sind verschiedene Darstellungsmodi für unterschiedlich datenaffine Nutzende erforderlich. Konkret heißt das beispielsweise, dass sich in einer Variante der Nutzende nur einen Größenwert darstellen lässt – z.B. den Warmwasserverbrauch an einem Tag als absoluter Wert. In einer weiteren Variante wird eine selbst konfigurierbare Lösung verlangt, auf deren Oberfläche der Nutzende sich ein eigenes Dashboard zusammenstellt. Vergleichbare Beispiele sind aus dem E-Banking-Bereich bekannt.
- Die Darstellung/Visualisierung der Daten soll klar, sachlich, übersichtlich, aufgeräumt und ansprechend sein. Für anspruchsvollere und/oder fortgeschrittenere Anwendende braucht es zudem die Möglichkeit, komplexere und detailliertere Informationen abzurufen, bzw. eigene Einstellungen vorzunehmen.
- Der Energieverbrauch sollte «omnipräsent», jedoch nicht aufdringlich dargestellt werden.



4.1.2 Resultat

In diesem Kapitel wird ein grafischer Prototyp vorgestellt, der auf dem Papier entwickelt wurde und (noch) nicht als Software-Anwendung existiert.

Während der Entwicklung wurden diverse Visualisierungsmöglichkeiten in Betracht gezogen, getestet und verworfen. Eine Dokumentation des Entwicklungsprozesses mit stichwortartigen Notizen sind dem Anhang 8.2 zu entnehmen.

Nachfolgend wird das Resultat in einer Kurzform präsentiert. Ein prototypischer Durchlauf mit detaillierten Erklärungen ist im Anhang 8.3 zu finden.

Es wird davon ausgegangen, dass die App entweder eine Wohnung oder ein ganzes Einfamilienhaus abbildet. Die Granularität der Messstellen spielt keine Rolle. Falls nur Zähler auf Ebene Wohnung bzw. Einfamilienhaus (EFH) vorhanden sind, dann sind die Screens für die darunterliegenden Ebenen nicht vorhanden.



Abbildung 14. Smartphone-App: Übersicht der App-Screens



«Omnipräsenz» im Homescreen

Der Energieverbrauch ist allgegenwärtig, denn der Sperrbildschirm aus Abbildung 15 zeigt im Hintergrund durch einen Farbverlauf dynamisch den aktuellen Verbrauch einer Wohnung oder eines Einfamilienhauses an. Je mehr Energie verbraucht wird, umso höher steht der angezeigte Füllstand, sprich, umso rotstichiger wird der Bildschirm.

Bei jedem Entsperren sieht der Nutzer den Farbverlauf und erkennt rasch einen Unterschied zum Normalzustand.

Die Applikation muss, wie jede andere App, manuell gestartet werden.



Abbildung 15. Smartphone-App: Sperrbildschirm



Ebene Wohnung/Einfamilienhaus

Der erste Screen nach dem Öffnen der Applikation ist die Hauptübersicht «Heizung» (Abbildung 16:links). Neben der «Heizung» gibt es noch die Kategorien «Wasser»⁷ und «Elektrizität»⁸.

- Der Verlauf im Hintergrund visualisiert wiederum den ungefähren, aktuellen Stand des Energieverbrauchs. Dieses Mal mittels einer feuerrote Färbung.
- Am unteren Ende des Bildschirmes kann die Ansicht für den gewünschten Zeitraum durch Antippen gewechselt werden. Die Einstellung für den Zeitraum erfolgt durch Antippen der entsprechenden Aggregationseinheit. Der Farbverlauf ändert in Echtzeit.
- Die gewählte Einstellung gilt Applikationsübergreifend, d.h. für alle Kategorien und auch alle nachfolgend präsentierten Screens.
- Im mittleren Sichtfeld zeigen sich die Benchmarks und der exakte Verbrauch⁹.
- Benchmarks (Weiss):
 - Schweizer Durchschnitt
 - Persönliches Ziel
 - Erfüllung der Anforderungen gemäss 2000 Watt-Gesellschaft
- Das persönliche Ziel kann durch Anfassen der Linie im Pfeilbereich nach oben oder unten korrigiert werden und das «Informations-Icon» oben rechts führt zu Energiespartipps.

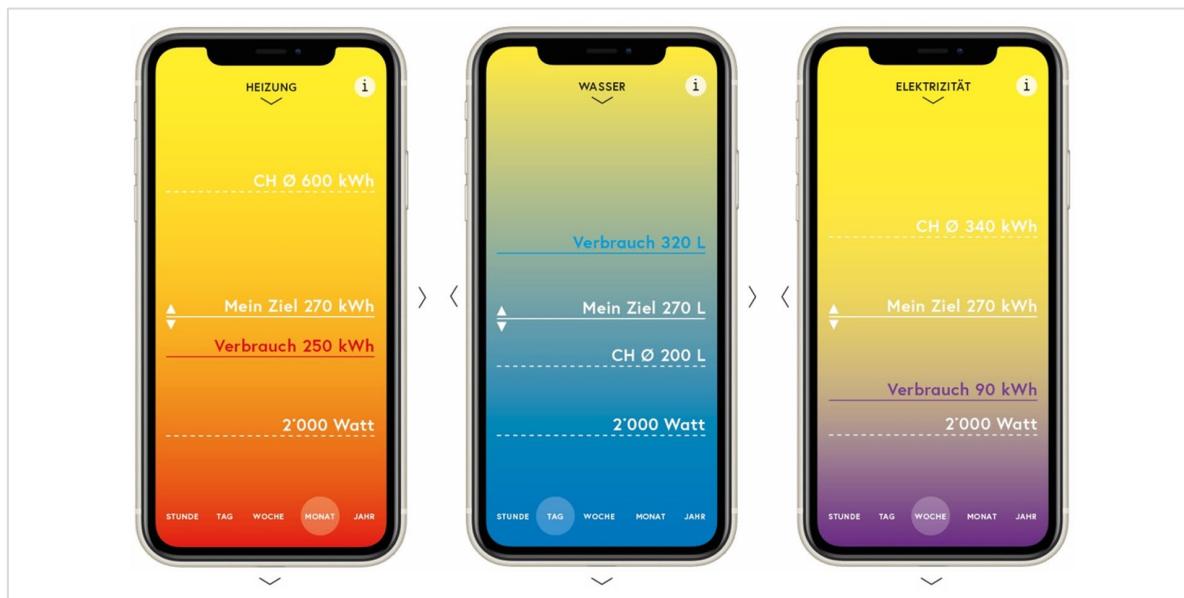


Abbildung 16. Smartphone-App: Ebenen Wohnung/Einfamilienhaus

⁷ Mit Wasser ist Warmwasser gemeint. Dies könnte explizit auch so umbenannt werden. Auf die Einbindung von Kaltwasser wurde vorerst verzichtet. Anstatt den Litern kann auch die Einheit kWh dargestellt werden (konfigurierbar).

⁸ Anstatt eines Schweizer Durchschnittes «CH Ø» könnte auch der Wert eines vergleichbaren typischen Schweizer Haushaltes angezeigt werden. Das wäre sinnvoller, jedoch wären hierfür diverse Konfigurationseinstellungen nötig. Formeln zur Berechnung eines typischen, vergleichbaren Wertes siehe Kapitel 4.2.2.

⁹ Die Verbräuche können je nach Konfiguration auch spezifisch angezeigt werden, z.B. Heizung in kWh/m² Energiebezugsfläche und Warmwasser in Liter/(Person und Tag) abgebildet werden.



Ebene Raum

- Von den Hauptübersichten aus Abbildung 16 gelangt man durch Swipen nach unten auf die Raum-Ansichten gemäss Abbildung 17.
- Der Screen wird nun für die Darstellung des Verbrauchs nach Räumen aufgeteilt ¹⁰.
- Die horizontalen Linien zeigen den Verbrauch bzw. die Temperatur des entsprechenden Raumes an. ¹¹



Abbildung 17. Smartphone-App: Ebene Raum

¹⁰ Bei der Heizung entsprechend die Raumtemperatur, da auf Raumbene normalerweise keine Wärmezähler vorhanden sind.

¹¹ Die Aggregation/Zeiteinheit wird von der Hauptübersicht (Abbildung 16) übernommen.



Ebene Verbraucher

- Von den Raumübersicht gelangt man durch Swipen nach unten auf die Ansichten gemäss Abbildung 18.
- Die Darstellung ist identisch mit der Raumdarstellung aus Abbildung 17, die Beschriftungen ändern sich jedoch entsprechend dem Verbraucher (unterer Anzeigebereich).
- Die horizontalen Linien zeigen den Verbrauch bzw. die Temperatur des entsprechenden Verbrauchers an.¹²
- Für «Heizen» existiert auf dieser Ebene kein Screen, da mit der Temperatur auf Raumbene bereits die kleinste Darstellungsstufe erreicht wurde.



Abbildung 18. Smartphone-App: Ebene Verbraucher

¹² Die Aggregation/Zeiteinheit wird von der Hauptübersicht (Abbildung 16) übernommen.



4.1.3 Fazit Entwicklung Designprototyp «Laien-Visualisierung»

Die prototypische Idee befindet sich an einem Punkt, wo sie in einer ersten Anwendung überprüft und weiterentwickelt werden muss. Sie berücksichtigt die Erkenntnisse aus der Recherche und der Evaluation aus der ersten Phase. Diese Punkte sind – ohne nochmals im Detail darauf einzugehen – über die Idee bis zur Lösung gut abgedeckt. Ebenfalls reflektiert die angestrebte Lösung die geführten Laien-Interviews.

Eine systematische Evaluation wurde mit dem aktuellen Entwurf nicht durchgeführt. Allerdings haben mehrere, potenzielle Anwendende – darunter auch zwei interviewte Card-Sorting-Probanden – Feedback gegeben.

Abschliessend kann man festhalten, dass der aktuelle Lösungsansatz auf gutes Echo stösst. Einerseits ist das angestrebte Ziel ohne grössere Erklärungen bereits beim statischen Entwurf erkennbar und scheint für Nutzende logisch und richtig. Die inhaltliche und gestalterische Reduktion wird herausgestrichen und nicht zuletzt gefällt die ästhetische Gestaltung. Die Befragten würden nach Eigenangaben die App sofort installieren und ausprobieren, wenn diese zum Test zur Verfügung stünde.

Die Rückmeldungen wurden nicht wissenschaftlich ausgewertet, geben aber ein ungefähres Stimmungsbild ab. Dieses bestärkt die Designer dabei, mit dem avisierten Lösungsansatz für die entsprechende Zielgruppe auf einem richtigen Weg zu sein.



4.2 Experten

Für Energieexperten gibt es eine Reihe von Standard-Visualisierungen, welche im Berufsalltag verwendet werden (z.B. Abbildungen zur Behaglichkeit, Gebäudesignaturen und hx-Diagramme). Gemäss den Experten sind die heute vorhandenen Visualisierungen ausreichend.

In der Praxis besteht gemäss den Interviews jedoch das Bedürfnis, Vorlagen für Standard-Visualisierungen inkl. Datenanalyseschritte zur Verfügung gestellt zu bekommen. Mehrere Experten verwenden für die Erstellung gewisser Visualisierungen Monitoring-Tools, da Sie die Analysen selber in Excel nicht durchführen und auch gewisse Grafiken selber nicht erzeugen können. Ebenfalls wurde mehrfach der Wunsch geäussert, dass Visualisierungen möglichst automatisiert, schnell und alle aus demselben Tool heraus erzeugt werden sollen.

Die Autoren erachten es deshalb für wenig sinnvoll, von Grund auf neue Abbildungen zu entwickeln und damit das Risiko in Kauf zu nehmen, dass diese selten Verwendung finden.

Aus diesen Beweggründen und den Rückschlüssen aus Kapitel 3.3 lassen sich folgende technische Ansprüche ableiten:

- Damit die Vorlagen von der Industrie verwendet werden können, muss Zugang auf den Source Code gewährt werden. Dies bedingt wiederum, dass der Code in einem *Open Source Framework* entwickelt werden muss.
- Geht es darum Visualisierungen in eine interaktive Applikation zu integrieren, sind die Ansprüche anders als bei einer Visualisierung für einen Papierbericht. Wie die Literaturrecherche «Data Science» zeigt, eignet sich dafür die Bibliothek D3.js am besten. Das Spektrum der bereits frei verfügbaren D3.js Visualisierungen ist sehr breit, darunter findet sich beispielsweise auch ein Sankey-Diagramm. Somit wird der Fokus bei D3.js daraufgelegt, bestehende Lücken zu schliessen.
- Die meisten Entwickler haben angegeben, dass sie als Datenaustauschformat üblicherweise mit CSV-Dateien arbeiten. Unsere Beispiele sollen daher das Einlesen von CSV-Dateien erlauben. Darüber hinaus soll die Anbindung der Visualisierungen an ein gängiges Datenbanksystem einfach möglich sein.
- Visualisierungen sollen möglichst einfach animiert werden können. Bedingung sind Standardfunktionalitäten aus den Visual Analytics wie *Zoomen*, *Pannen* oder eine einfache Auswahl von Messungen.

Es ist das Ziel, die am häufigsten verwendeten Visualisierungen zu beschreiben, so dass diese mit den eigenen Messdaten reproduziert werden können. Dies soll auf Wunsch der Experten mit freier Software geschehen.

Unter dem Aspekt, dass Experten und Energiefachleute R oder Python nutzen können, macht es Sinn die beispielhaften Visualisierungen in einer dieser Programmiersprachen zu entwickeln und entsprechenden Code als «Kochrezepte» zur Verfügung zu stellen.



Die Autoren der vorliegenden Studie sind der Meinung, dass sich R und die grafische Benutzeroberfläche RStudio gut für Energieanalysen- und Visualisierungen eignen. Die Software ist kostenfrei verfügbar und weit verbreitet. In den Interviews (Kapitel 3.2) wurde auch erwähnt, dass Excel-Nutzer an Grenzen stossen und eine entsprechende Alternative suchen, welche grosse Datensätze verarbeiten kann. Der Wechsel zu einer Analyse-Umgebung wie R scheint demnach für Experten unumgänglich zu sein, denn künftig wird auch in der Gebäudetechnik die Menge an verfügbaren Messdaten weiter zunehmen.

Diese Umstellung bereitet aber offenbar vielen Personen Schwierigkeiten. Hinderlich ist sicherlich der Umstieg von einer in sich geschlossenen Tabellenkalkulationssoftware in eine Programmierumgebung wechseln.

Auf dem Markt gibt es zahlreiche Bücher, die den Start in R erleichtern. Es gibt auch Software-Pakete, welche disziplinspezifischen Analyse- und Visualisierungsaufgaben stark vereinfachen. Im Bereich der Zeitreihen-Analysen von Börsendaten existieren beispielsweise mehrere solcher Software-Pakete und Literatur, welche tägliche Aufgaben der Daten-Analysten behandeln und dadurch stark vereinfachen. Allerdings fehlen den Experten aus der Energie- und Gebäudetechnik entsprechende, massgeschneiderte Literatur und auch Software-Pakete.

Aus diesem Grund wurde im Rahmen dieses Projektes ein Online-Buch erstellt um die erste Lücke zu schliessen und eine Software-Bibliothek implementiert, um die Arbeit mit R zu erleichtern.

- **Online Buch: «edar» - Energie-Daten-Analyse mit R** (siehe Kapitel 4.2.1)
Hier werden die am häufigsten genannten Visualisierungen als «Kochrezepte» dargestellt und auch neue Möglichkeiten der Analyse und Visualisierung vorgestellt.
- **Software-Bibliothek: «redutils» - Energiedaten Hilfsfunktionen für R** (siehe Kapitel 4.2.2)
Dieses Paket für R vereinfacht diverse Aufgaben und ermöglicht das Erstellen von komplexen Visualisierungen mit einer einzigen Zeile Code.

Mehrere Experten erwähnten das hx-Diagramm als eine häufig verwendete Visualisierung im Bereich des Komfort-Monitorings. Den Autoren ist aufgefallen, dass es dafür einerseits keine verfügbare Open Source D3.js Implementierung gibt und andererseits, dass es Experten Mühe bereitet diese Grafik selbst zu erstellen. Deshalb wurden zwei Varianten entwickelt:

- **hx-Diagramm für Berichte und Analysen**,
welche Experten in R selbst erstellen können. Ein entsprechendes «Kochrezept» wird im online-Buch «edar» bereitgestellt,
siehe Kapitel 4.2.1, Abbildung 25, A
- **hx-Diagramm in D3.js für die Integration in einer eigenen Software-Applikation**,
siehe Kapitel 4.2.3



4.2.1 Online-Buch «edar» – Energie-Daten-Analyse mit R



Das Online-Buch ist unter diesem Link abrufbar:
<https://hslu-ige-laes.github.io/edar/>



Derselbe Inhalt als pdf-Dokument unter diesem Link:
<https://hslu-ige-laes.github.io/edar.pdf>

Dieses Buch gibt einen Überblick über die Statistiksoftware R und ihre Fähigkeit, Zeitreihen im Kontext von Gebäudeenergie und -komfort zu analysieren und zu visualisieren.

Das Ziel ist es, spezifische Rezepte für die am häufigsten verwendeten Visualisierungen zu liefern, Energiefachleuten den Einstieg in R möglichst leicht zu machen und damit eine Software für alle Analysen zu bieten.

Die Inhalte wurden bewusst in ein eigenständiges Buch verpackt, damit diese losgelöst von der vorliegenden Arbeit weiterbestehen und erweitert werden können.

Das Buch richtet sich sowohl an R-Einsteiger als auch an erfahrene R-Anwender und ist, um der Mehrsprachigkeit der Schweiz gerecht zu werden, in Englisch verfasst.

Im Buch sind drei Teilbereiche zu finden:

- Getting Started
- R Grundlagen
- Daten-Visualisierungen

Im «Getting Started» wird die Installation von R und RStudio beschrieben und ein einfaches erstes Skript mit einer Datenvisualisierung gezeigt.

Der Teil «R-Grundlagen» behandelt allgemeine Datenanalyseaufgaben wie das Laden, Bereinigen und Aggregieren von Daten sowie die Anreicherung von Metadaten für das Filtern und Selektieren.

Der dritte Teil besteht aus «Kochrezepten» für das Erstellen von Daten-Visualisierungen. Es werden diverse Beispiele gezeigt, so dass man das Grundprinzip verstehen und die Analyse oder Visualisierung mit eigenen Daten einfach reproduzieren kann. Dabei werden sämtliche Schritte von den Rohdaten bis zur finalen Visualisierung Schritt für Schritt beschrieben.

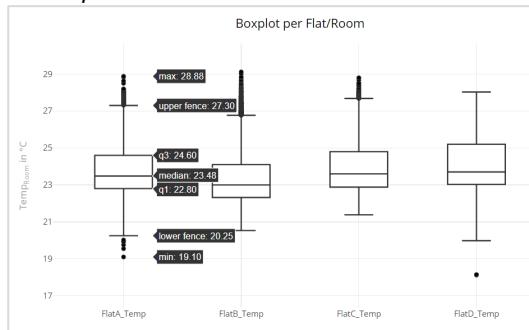
Nachfolgend sind alle Visualisierungen abgebildet, welche im Buch beschrieben sind. Auf eine detaillierte Beschreibung wird hier verzichtet und auf das Buch verwiesen.



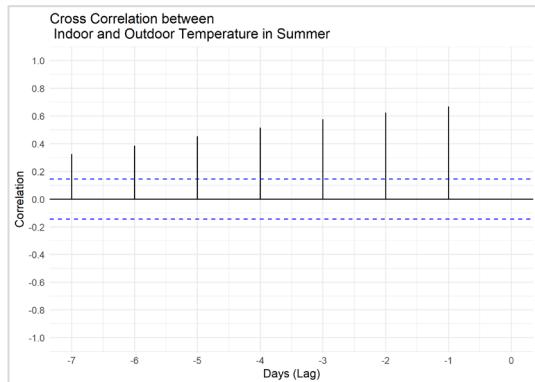
Visualisierung statistischer Kennwerte

Der erste Schritt einer Datenanalyse besteht darin, sich mit den Daten vertraut zu machen. Zu diesem Zweck wurden folgenden Visualisierungen erstellt:

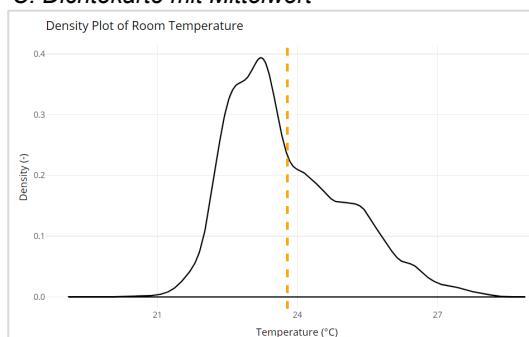
A: Boxplots



B: Kreuzkorrelation



C: Dichtekarte mit Mittelwert



D: Dichtekarte nach Jahreszeit

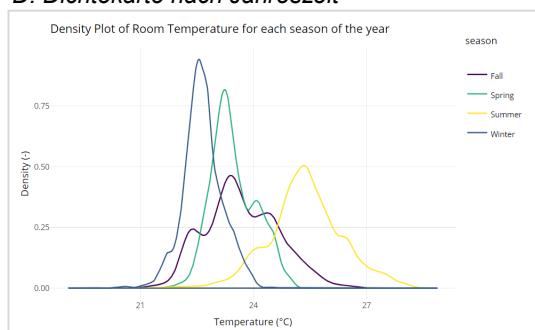


Abbildung 19. Edar-Buch: Visualisierung statistischer Kennwerte



Zeitreihen-Dekomposition

Typische Zeitreihen ergeben sich aus dem Zusammenspiel von deterministischen und zufälligen Ursachen. Die deterministischen Ursachen können periodisch (saisonal) variieren und/oder langfristige Trends enthalten. Zufallseinflüsse werden oft auch als Rauschen bezeichnet.

Die Dekomposition zerlegt Zeitreihen in ihre Komponenten «Trend», «Saisonalität» und «Zufälligkeit».

Die Trendkomponente einer Zeitreihe bezieht sich auf die allgemeine Richtung, in die sich die Zeitreihe langfristig bewegt. Zeitreihen können einen positiven oder negativen, oder auch keinen Trend aufweisen. Ein Trend liegt dann vor, wenn die Daten eine anhaltend steigende und/oder fallende Richtung aufweisen.

Die saisonale Komponente für Zeitreihendaten bezieht sich auf ihre Tendenz, mit gleichbleibender Häufigkeit zu steigen und zu fallen. Saisonalität tritt über einen festen und bekannten Zeitraum auf (z.B. das Quartal des Jahres, den Monat oder den Wochentag).

Der Rest ist das, was von den Zeitreihendaten übrigbleibt, nachdem ihre Trend- und Saisonkomponenten entfernt wurden. Es ist die zufällige Fluktuation in den Zeitreihendaten, die durch die obigen Komponenten nicht erklärt werden kann.

Für Energiedaten-Analysen können je nach Fall jede der drei genannten Komponenten von Interesse sein.

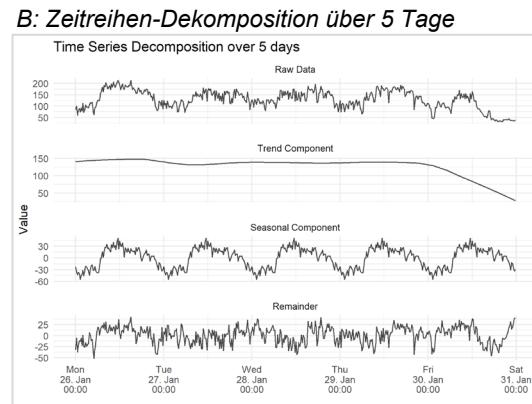
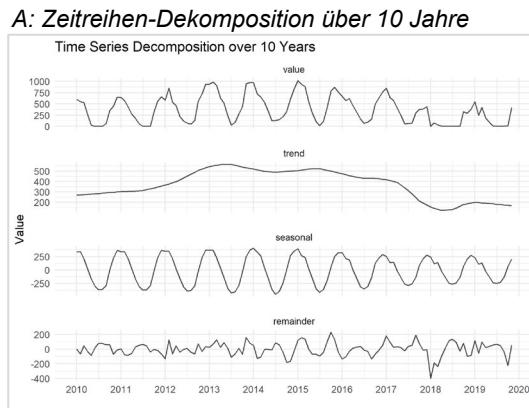


Abbildung 20. Edar-Buch: Visualisierungen von Zeitreihen-Dekompositionen



Saisonale Plots

Saisonale Diagramme sind ein grafisches Werkzeug zur Visualisierung und Erkennung von Saisonalität in einer Zeitreihe. Basierend auf einer ausgewählten Periodizität hebt es die saisonalen Muster hervor und zeigt auch die Veränderungen der Saisonalität über die Zeit. Die Terminologie ist etwas verwirrend, denn in diesem Kontext entspricht eine Saison nicht einer Jahreszeit, sondern der Aufteilung der x-Achse. In den unteren Visualisierungen entspricht eine Saison jeweils einem Monat und die Periode einem Jahr.

Bei Darstellungen in Monaten ist wichtig, dass der Verbrauch auf einen Tageswert runtergerechnet wird, da es sonst zu unnötigen Verzerrungen durch die unterschiedlichen Anzahl Tagen pro Monat kommt.

Besonders hervorzuheben ist die Visualisierung in Abbildung 21:D, welche die Messpunkte von Januar 2010 bis August 2017 grau darstellt, da diese vor der vermeintlichen Optimierung lagen. Von diesen Werten wird der Mittelwert pro Monat gerechnet (Orange-gestrichelte Linie). Der Bereich wo 90% dieser Daten zu liegen kommen, ist mit der orangen Fläche gekennzeichnet. Die Messdaten nach der Optimierung sind dann die farbigen Linien und es ist klar ersichtlich, dass die Verbräuche stark von den vorherigen Werten abweichen.

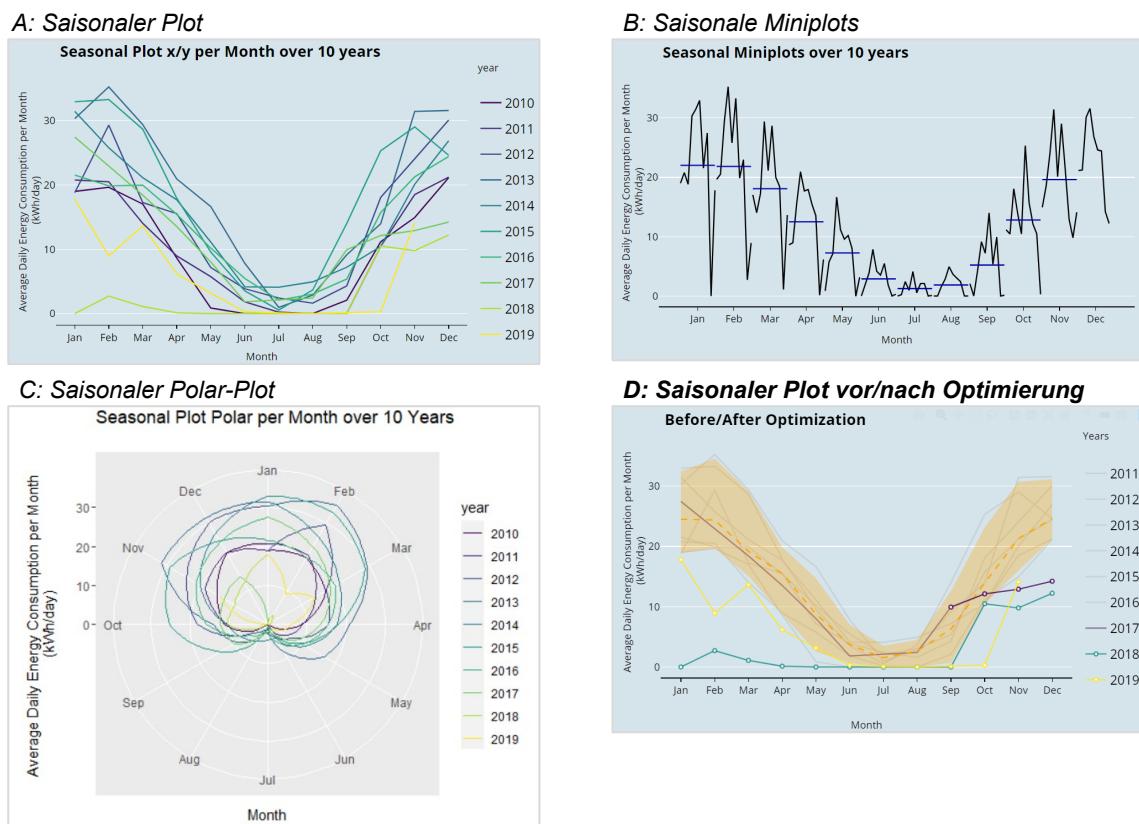


Abbildung 21. Edar-Buch: Saisonale Plots

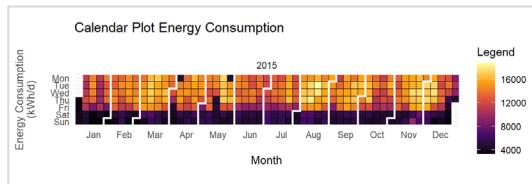


Hitzearten

Hitzearten (EN: «Heat maps») zeigen bspw., zu welchem Zeitpunkt bestimmte Geräte wie viel Belastung ausgesetzt sind. Sie zeigen quantitative Werte, die auf zwei Achsen basieren. Diese können Tag und Stunden, Monat und Tag usw. sein. Die Zelle am Schnittpunkt enthält den entsprechenden Wert. Je nach Kontext kann dies ein Durchschnittswert, ein Maximal-/Minimalwert etc. sein.

Solche Visualisierungen ermöglichen es dem Betrachter, kurzfristige Muster und langfristige Trends in den Daten mit einer höheren zeitlichen Granularität zu erkennen.

A: Hitzearte Kalenderbasiert



B: Hitzearte einer Median-Woche nach Saison

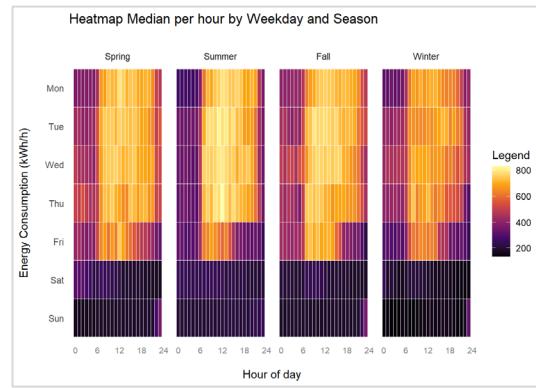


Abbildung 22. Edar-Buch: Hitzearten-Visualisierungen



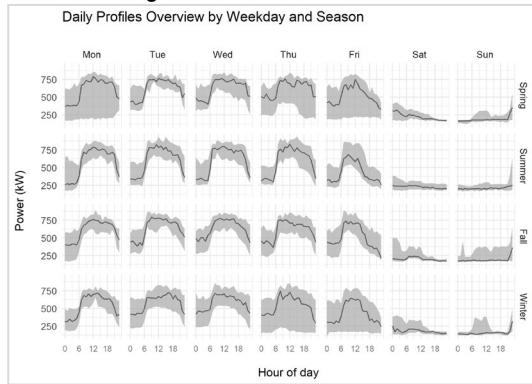
Energieverbrauchs-Tagesprofile

Ein wichtiger Schritt in der Datenanalyse ist die Erkennung von Mustern.

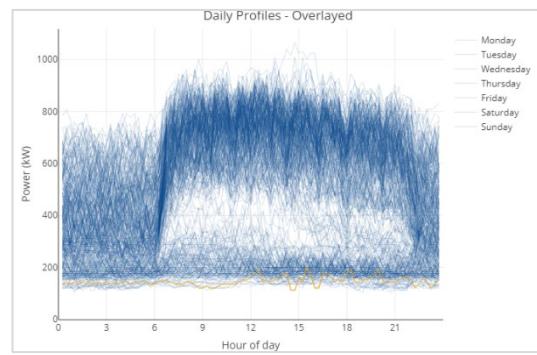
Zu diesem Zweck können Energieverbrauchswerte zunächst zu Stundenwerten aggregiert, gemittelt und als typische Tagesmuster dargestellt werden.

Aus datenanalytischer Sicht ist die Abbildung 23:D hervorzuheben, da diese durch die Entfernung der Trendkomponente einen viel besseren Vergleich zulässt als die Abbildung C. Die Analysemethode wurde 2018 in der Studie [18] vorgeschlagen und basiert auf einer mehrstufigen Dekomposition und Mittelwertbildung der Zeitreihe.

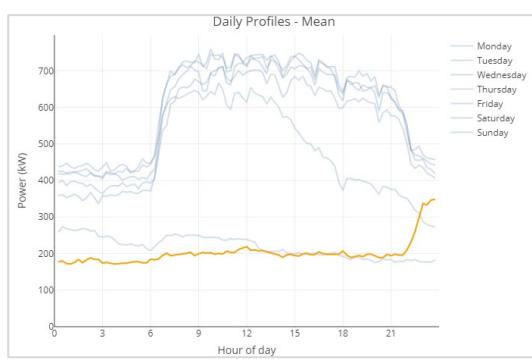
A: Übersicht der Mittleren Tagesprofile nach Wochentag und Jahreszeit



B: überlagerte Tagesprofile der Rohdaten



C: Typische Tagesprofile pro Wochentag



D: Typische Tagesprofile pro Wochentag (ohne Trendkomponente)

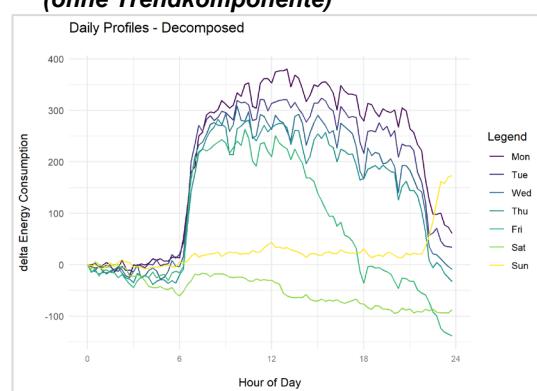


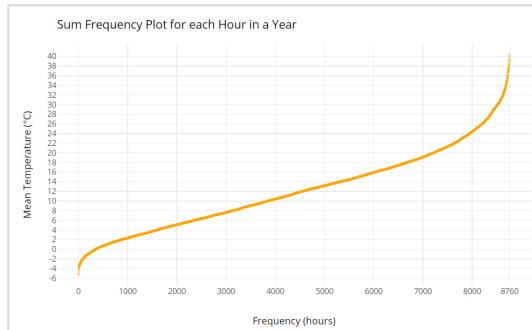
Abbildung 23. Edar-Buch: Visualisierungen von Energieverbrauchs-Tagesprofilen



Summenhäufigkeitsdiagramme

Diese Art der Visualisierung hat eine lange Tradition in der Energiedatenanalyse und verschiedene Berechnungsmethoden basieren immer noch darauf. In Abbildung 24 sind zwei Summenhäufigkeiten als Beispiel, damit der Prozess für die Erstellung dargestellt wird. Zu beachten ist, dass die beiden Visualisierungen in Abbildung 24 dieselben Rohdaten verwenden. Im Fall A wurden die Rohdaten auf Stundenwerte gemittelt, im Fall B auf Tageswerte.

A: Stundenwerte



B: Tageswerte

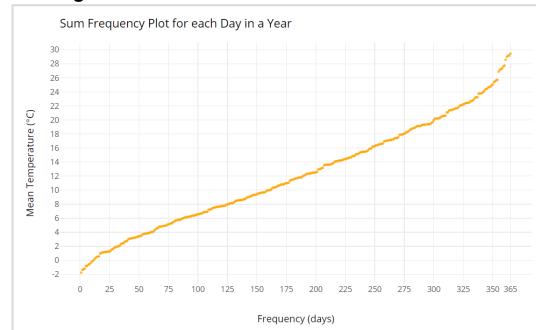


Abbildung 24. Edar-Buch: Summenhäufigkeitsdiagramme

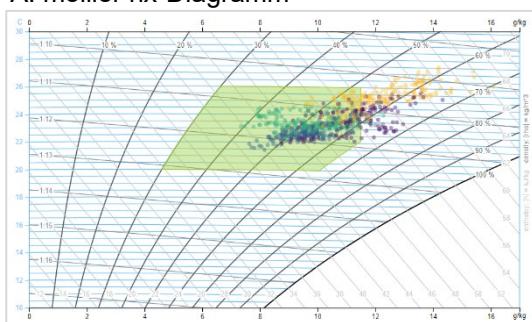


Komfort-Visualisierungen

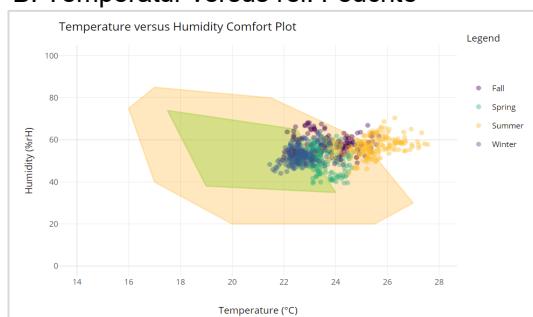
Zufriedene und gesunde Bewohner sind wichtig, daher sollte eine energetische Optimierung den Komfort möglichst verbessern und sicher nicht nachteilig verändern. Aus diesem Grund gewinnt das sogenannte «Komfort-Monitoring» immer mehr an Bedeutung.

Die Visualisierungen in diesem Teil konzentrieren sich auf einige typische behaglichkeitsbezogene Visualisierungen.

A: mollier hx-Diagramm



B: Temperatur versus rel. Feuchte



C: Innen- versus Aussentemperatur nach SIA 180:2014

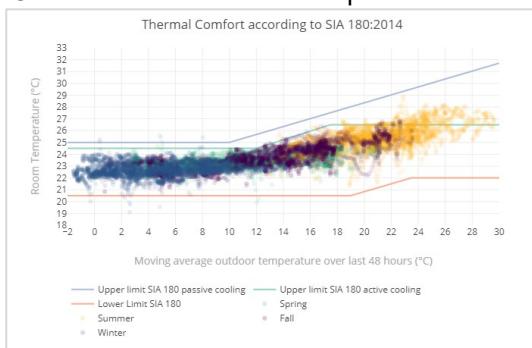


Abbildung 25. Edar-Buch: Komfort-Visualisierungen



Visualisierungen aus dem Kapitel «Miscellaneous»

Zum Schluss noch einige Visualisierungen, für welche kein eigenes Kapitel erstellt wurde.

Erwähnenswert sind hier zwei Visualisierungen:

Abbildung 26:A stellt den Stromverbrauch für einen Haushalt dar. Erwähnenswert hier ist, dass neben dem Durchschnittsverbrauch des Zählers resp. der dargestellten Wohnung/Einfamilienhaus (orange Linie) auch ein typischer Schweizer Haushalt gleicher Grösse und Ausstattung zum Vergleich angezeigt wird, wie dies das Fazit aus der Literaturrecherche vorschlägt. Dieser typische Verbrauch wurde mit der R-Funktion aus dem Paket «redutils» berechnet, welche im Kapitel 4.2.2 beschrieben wird.

Abbildung 26:D stellt eine neue Methode nach [19] dar, welche von 15min-Verbrauchdaten eines Elektro-oder Wärmezählers in einem iterativen Verfahren mit Hilfe der Aussen- und Raumtemperatur die Heizgrenze (Balance Temperature), einen Heizverlustkoeffizienten in kW/K, einen Basis-Verbrauch (blaue Linie) sowie einen Standby-Wert berechnet (orange Linie) berechnet. Diese Methode lässt einen Vergleich unter verschiedenen Gebäuden zu, da dazu der Heizverlustkoeffizient verwendet werden kann, welcher unabhängig von der Basislast ist.

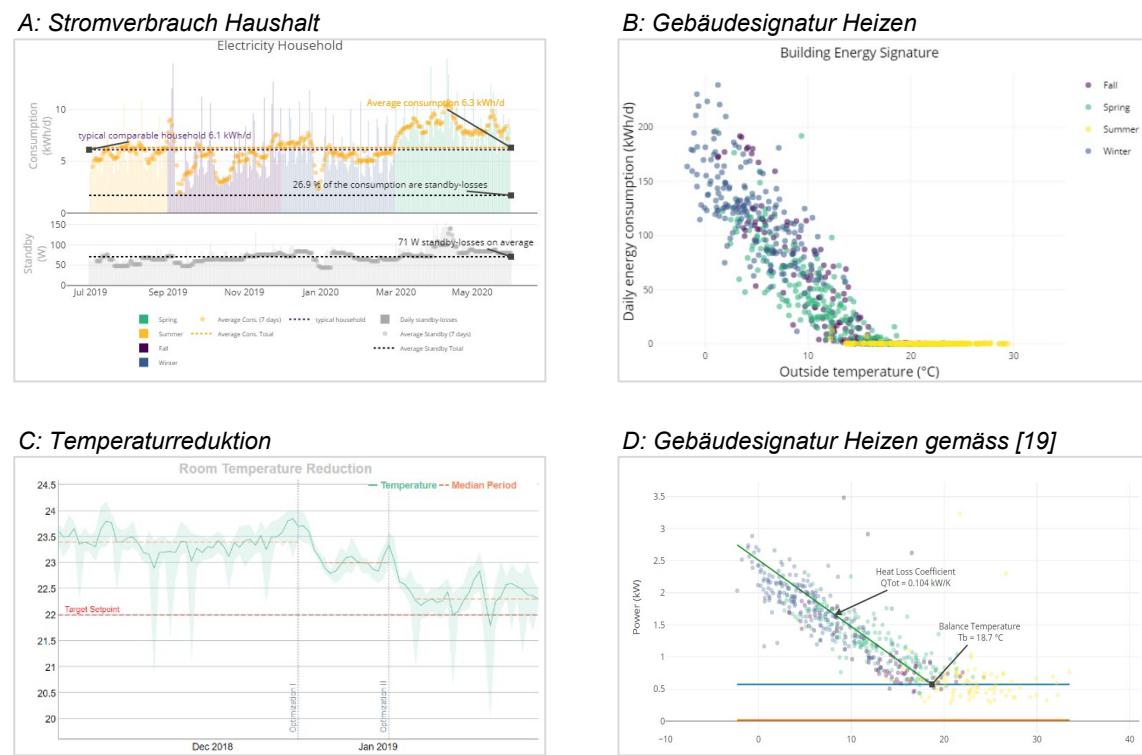


Abbildung 26. Edar-Buch: Visualisierungen aus dem Kapitel «Miscellaneous»



4.2.2 redutils – R Energiedaten Hilfsfunktionen



Beschreibung und Installationshinweise unter diesem Link:
<https://github.com/hslu-ige-laes/redutils>

Das R-Paket «redutils» - R Energy Data Utilities - bietet häufig verwendete Hilfsfunktionen für die Analyse und Visualisierung von Komfort- und Energiedaten in R. Diese Funktionen reduzieren die Komplexität der Analyseaufgabe und ermöglichen eine schnelle Analyse und Visualisierung der Daten.

Verfügbare Funktionen:

- **getSeason()**
Simple aber sehr nützliche Funktion welche für ein gegebenes Datum die Jahreszeit als Text zurückgibt. Dies ist äusserst praktisch, da viele in Kapitel 4.2.1 gezeigten Grafiken die Daten nach Jahreszeit unterteilen. R bietet von Haus aus keine solche Funktion.
- **getTypEleConsHousehold()**
Die Visualisierung des Haushaltsstromes aus Abbildung 26, A beinhaltet einen Vergleichswert eines durchschnittlichen Schweizer Haushaltes. Diese Funktion implementiert den Algorithmus von der Studie [20]. Unter Angabe verschiedenster Parameter wie der Anzahl Zimmer und Personen, der Art des Tiefkühlers, dem Kochverhalten, dem Effizienzgrad der Beleuchtung etc. kann ein Jahresenergieverbrauch Elektrizität eines typischen Schweizer Haushaltes berechnet werden. Somit erhält der Endanwender einen Vergleichswert zu seinem eigenen Verbrauch. Die Interviews zeigten, dass der Praxis genau dieser Benchmark-Wert fehlt.
- **Plot-Funktionen**
Diverse Visualisierungen aus Kapitel 4.2.1 verwenden diese Bibliothek. Die Erstellung einer komplexen Grafik benötigt rasch viele Programmiercode. Das Verwenden der Bibliothek vereinfacht den Prozess, indem eine Visualisierung mit nur einer Programmzeile erstellt werden kann, z.B. `plotMollierHxDiagram(data)`



4.2.3 Mollier hx-Diagramm in D3.js



Der Source-Code für das mollier hx-Diagramm ist unter diesem Link abrufbar:
<https://github.com/hslu-ige-laes/d3-mollierhx>

Hinweis: Nachfolgend wird eine Variante beschrieben wie das hx-Diagramm in eine eigene Softwarelösung integriert werden kann. Ein «Kochrezept» für das Erstellen eines Diagrammes für beispielsweise einen Bericht wird im online-Buch «edar» bereitgestellt (siehe Kapitel 4.2.1, Abbildung 25:A).

Integration in eigene Software-Lösung:

Auf der [d3-mollierhx-github Seite](https://github.com/hslu-ige-laes/d3-mollierhx) kann über den grünen Button «Code» oben rechts eine Zip-Datei mit dem Source-Code und einem Beispiel heruntergeladen werden:

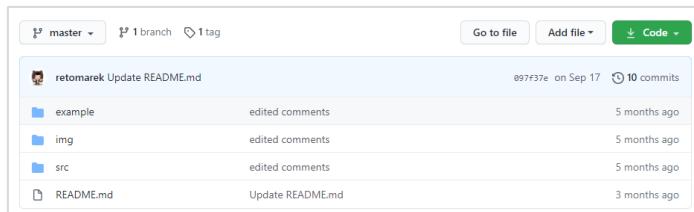


Abbildung 27. github.com/hslu-ige-laes/d3-mollierhx

Entpackt man das Zip-File, findet man im Unterordner /example die Datei «demo.html» welche die D3.js Grafik in einem Browser öffnet. Über den Knopf «Choose File», welcher violett hinterlegt ist, kann man das im selben Ordner liegende Datenfile «data.csv» hochladen und bekommt den Streuplot:

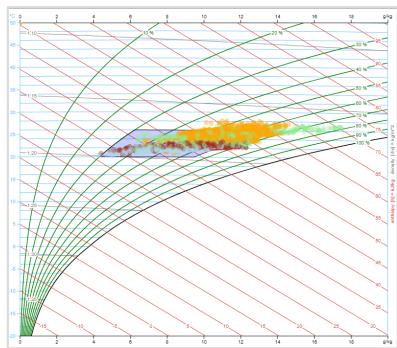


Abbildung 28. github.com/hslu-ige-laes/d3-mollierhx - Grafik

In dieser Demo sieht man, wie schnell das komplexe Koordinatenraster gerechnet wird. Die D3.js-Funktionen sind so strukturiert, dass das Diagramm leicht in eigene Anwendungen integriert werden kann. Deshalb wurden die Teile «csv-Datei-Upload», «Komfortzone» und «Datenplotter» getrennt implementiert. Das Layout kann bei einer Übernahme in eine eigene Applikation angepasst werden.

Detaillierte Implementierungshinweise sind der Datei [Readme](#) auf [github](https://github.com/hslu-ige-laes/d3-mollierhx) zu entnehmen.



5 Schlussfolgerungen und Ausblick

5.1 Schlussfolgerungen

Generell

- Visualisierungen sollten mit starker Fokussierung auf den Betrachter, dessen Vorwissen, das Präsentationsmedium und die Wirkung von Farben/Formen entwickelt werden. Die Interviews mit Entwicklern zeigen, dass die Nutzenden heute nicht oder nur bedingt bei der Entwicklung miteinbezogen werden. Der Aufwand hierfür ist zu gross.
- In der Forschung zeigt der Vergleich der eigenen Daten mit denjenigen von ähnlichen Verbrauchern einen grossen Effekt. Allerdings zeigen Rückmeldungen aus allen befragten Gruppen, dass mit Nachbarschaftsvergleichen rasch die Grenze zur Privatsphäre überschritten wird. Deshalb sollte vermehrt der Fokus auf die Präsentation von Benchmarking-Werten vergleichbarer, anonymer Nutzer gelegt werden.

Visualisierungen für Laien

- Die Bereitstellung von Daten auf einer Smartphone-App wird von vielen Nutzenden bevorzugt. Eine solche Darstellung ermöglicht einen häufigen Zugriff auf Visualisierungen und unterstützt den Prozess der Verhaltensänderung.
- Es werden einfache Lösungen benötigt, die intuitiv und schnell verständlich sind. Zudem erheben die potenziellen Anwender einen ästhetischen Anspruch, wenn eine solche Anwendung regelmässig genutzt werden soll. Die Darstellung des Energieverbrauches soll «omnipräsent», aber nicht aufdringlich sein.
- Die meisten befragten Unternehmen betonen, dass bei privaten Haushalten wegen den tiefen Energiepreisen und der teuren Messinfrastruktur nicht monetäre Aspekte im Vordergrund stehen und deshalb Energie-Monitoring Lösungen im Wohnbereich noch nicht verbreitet sind.

Visualisierungen für Experten

- Die heute vorhandenen Visualisierungen werden durch die Experten als ausreichend bezeichnet. Es besteht aber der einvernehmliche Wunsch nach einfach verwendbaren, reproduzierbaren Open-Source Visualisierungsbeispielen.
- Mehrere Standardwerkzeuge der Zeitreihenanalyse haben bisher keine Verwendung in der Umsetzung von Experten-Energievisualisierungen gefunden.
- In den Interviews wurde erwähnt, dass viele Nutzer herkömmliche Tabellenkalkulationsprogramme für Analysen und Visualisierungen verwenden, dabei an Grenzen stossen und für das Analysieren der immer grösser werdenden Datensätze entsprechend eine geeignete Alternative suchen. Der Wechsel zu einer Analyse-Umgebung wie R scheint demnach für Experten unumgänglich zu sein.
- Den Experten aus der Energie- und Gebäudetechnik fehlt massgeschneiderte Literatur und auch Software-Pakete, um den Einstieg in z.B. die Programmiersprache R zu vereinfachen. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden diese zwei Lücken geschlossen. Dazu werden mehrere in den Interviews erwähnte und auch neue Visualisierungen präsentiert, die einfach mit eigenen Messdaten reproduziert werden können.



5.2 Ausblick

Laien-Visualisierungen

- Die auf dem Papier entworfene Smartphone-Applikation befindet sich in einem stabilen Konzeptzustand. In weiteren Schritten soll ein erster Prototyp konkret mit Anwendern überprüft, verbessert und weitergetrieben werden. In einem Folgeprojekt könnte die Anwendung dann als Software umgesetzt werden.
- Ebenfalls bietet es sich an, die im vorliegenden Projekt erwähnte, aber nicht weiterverfolgte, konfigurierbare Desktop-Anwendung prototypisch zu entwickeln.

Experten-Visualisierungen

- **Entwicklung weiterer Visualisierungen**

Hier bieten sich vor allem aufwändige Plots an und solche, die eine komplizierte Datenvorverarbeitung erfordern. Dennoch ist es aus Sicht der Autoren auch wichtig, möglichst viele im Alltag der Experten benötigte Visualisierungen als Beispiele zu dokumentieren, denn nur so kann ein effizienter Umstieg stattfinden.

- **Fokus auf wissenschaftliche Studien**

Zudem könnte der Fokus von Visualisierungen stärker darauf gelegt werden, Algorithmen und Analysemethoden aus wissenschaftlichen Studien zu implementieren. Praktiker können sonst nicht von den Fortschritten der Wissenschaft profitieren. Auch werden die Analysen stetig komplizierter, da immer mehr Methoden aus dem Bereich der Data Sciences vorgeschlagen werden. Ein Beispiel hierfür ist die Abbildung 23,D. Die Analysemethode wurde in der Studie [18] vorgeschlagen und basiert auf einer mehrstufigen Dekomposition und Mittelwertbildung der Zeitreihen.

- **Erweiterung R-Paket «redutils»**

Zurzeit sind im Paket «redutils» nur vier von über zwanzig vorgestellten Visualisierungen implementiert und über einen einzeiligen Funktionsaufruf erstellbar. Die restlichen Visualisierungen sollen ebenfalls portiert werden. Damit lässt sich der Programmieraufwand der Experten nochmals stark reduzieren. Ebenfalls bietet sich die Veröffentlichung des Pakets «redutils» auf der offiziellen Paketverwaltungsplattform von R an ([CRAN - The Comprehensive R Archive Network](#)).

- **«edar-Buch» eigenständig machen und thematisch erweitern**

Zurzeit wird in diversen Passagen des Buchs auf externe Literatur verwiesen. Diese Teile können nutzergerecht ins Buch integriert werden. Zudem wird Themen wie der Ausreißer-Detektion und Datenbereinigung im Buch noch zu wenig Aufmerksamkeit gewidmet.

- **Schulungen für Energiefachexperten**

Der Inhalt und die Struktur des online-Buches «edar» eignen sich für Ausbildungs- und Schulungszwecke. Entsprechende Praxisübungen könnten ergänzt werden. Einerseits wäre es sinnvoll, die Thematik der Energiedatenanalyse- und Visualisierung bereits in das Grundstudium von Gebäudetechnik-Ingenieuren zu integrieren. Andererseits passt das Thema auch gut in Weiterbildungsangebote. Damit kann ein effizienter Einstieg in R ermöglicht werden.



6 Danksagung

Die Autoren möchten sich ganz herzlich bei den nachfolgenden Personen und Institutionen für ihre grosszügige Unterstützung bedanken:

- Beim Bundesamt für Energie und namentlich Projektbegleiter Rolf Moser für die Förderung des Projekts, das themenspezifische Interesse und die freundliche Begleitung.
- Bei allen Experten, welche uns detaillierte Informationen zu Ihren Visualisierungen gegeben haben, in den Interviews die Fragen offen und ehrlich beantwortet haben und dadurch einen gewinnbringenden fachlichen Austausch ermöglicht haben.
- Bei allen Bewohnenden welche an den Interviews teilgenommen haben.
- Bei Dr. Olivier Steiger von der Hochschule Luzern für die Überprüfung des vorliegenden Berichts.
- Bei allen Projektbeteiligten für ihre Beiträge und die Zusammenarbeit.

Die Arbeit entstand im Rahmen des Forschungsprogramms «Gebäude und Städte 2018».



7 Literaturverzeichnis

- [1] T. Hargreaves, M. Nye und J. Burgess, "Social experiments in sustainable consumption: an evidence-based approach with potential for engaging low-income communities", *Local Environment*, 13, Nr. 8, S. 743–758.
- [2] B. Karlin, J. F. Zinger und R. Ford, "The effects of feedback on energy conservation: A meta-analysis", *Psychological bulletin*, 141, Nr. 6, S. 1205–1227.
- [3] E. F. Cataldo *et al.*, "Card sorting as a technique for survey interviewing", *Public opinion quarterly : journal of the American Association for Public Opinion Research*, 34, Nr. 2, S. 202–215.
- [4] T. G. Holmes, "Eco-visualization" in *Proceedings of the 6th ACM SIGCHI conference on Creativity & cognition - C&C '07*, 2007, S. 153.
- [5] D. Kahneman, "Thinking, Fast and Slow", 2011.
- [6] J. Pierce, W. Odom und E. Blevis, "Energy aware dwelling" in *Proceedings of the 20th Australasian Conference on Computer-Human Interaction Designing for Habitus and Habitat - OZCHI '08*, 2008, S. 1.
- [7] D. A. Norman, "Emotional design:Why we love (or hate) everyday things", Basic Books, 2005.
- [8] S. Carliner, "Physical, Cognitive, and Affective: A Three-part Framework for Information Design", 47th ed., 2000.
- [9] R. H. Thaler und C. R. Sunstein, "Nudge:Wie man kluge Entscheidungen anstößt", 15th ed., Ullstein, 2019.
- [10] I. Micheel *et al.*, "Visualizing & Gamifying Water & Energy Consumption for Behavior Change" in 2015.
- [11] E. R. Tufte, "Envisioning information", 1990.
- [12] J. Cato, "User-centered web design", 1st ed., 2001.
- [13] J. Han, M. Kamber und J. Pei, "Data Mining: Concepts and Techniques:Concepts and Techniques", 3rd ed., Elsevier professional, 2011.
- [14] M. R. Herrmann *et al.*, "Does data visualization affect users' understanding of electricity consumption?", *Building Research & Information*, 46, Nr. 3, S. 238–250.
- [15] J. W. Tukey, "Exploratory data analysis", 1st ed., Addison-Wesley, 1977.
- [16] A. Kirk, "Data visualisation:A handbook for data driven design", 2nd ed., 2019.
- [17] M. Balmer, M. Hubbuch und E. Sandmeier, "Energetische Betriebsoptimierung:Gebäude effizienter betreiben", 1st ed., FAKTOR Verlag AG, 2020.
- [18] E. M. Pickering *et al.*, "Building electricity consumption: Data analytics of building operations with classical time series decomposition and case based subsetting", *Energy and Buildings*, 177, S. 184–196.
- [19] M. Eriksson, J. Akander und B. Moshfegh, "Development and validation of energy signature method – Case study on a multi-family building in Sweden before and after deep renovation", *Energy and Buildings*, 210, S. 109756.
- [20] J. Nipkov, "Typischer Haushalt-Stromverbrauch" Schlussbericht, Bundesamt für Energie (BFE), 2013.



8 Anhang

8.1 Links erwähnter Dokumente

Literaturrecherche «visuelle Kommunikation»

- https://github.com/hslu-ige-laes/evisu/blob/master/01_LiteratureResearch/litResVisCom.pdf

Literaturrecherche «empirische Studien»

- https://github.com/hslu-ige-laes/evisu/blob/master/01_LiteratureResearch/litResEmpStudies.pdf

Literaturrecherche «Data Science»

- https://github.com/hslu-ige-laes/evisu/blob/master/01_LiteratureResearch/litResDataScience.pdf

Interview-Fragen

- https://github.com/hslu-ige-laes/evisu/blob/master/03_Interviews/Interviews.pdf

Design Guidelines

- https://github.com/hslu-ige-laes/evisu/blob/master/02_DesignGuidelines/DesignGuidelines.pdf

Online-Buch «edar» – Energie-Daten-Analyse mit R

- <https://hslu-ige-laes.github.io/edar/>
- <https://hslu-ige-laes.github.io/edar/edar.pdf>

redutils – R Energiedaten Hilfsfunktionen (R-Paket)

- <https://github.com/hslu-ige-laes/redutils>

d3-mollierhx – D3.js Implementierung des Mollier hx-Diagrammes

- <https://github.com/hslu-ige-laes/d3-mollierhx>



8.2 Prototypische Designentwicklung «Laien-Visualisierung»

Nachfolgend ist der Prozess der prototypischen Designentwicklung für Laien dokumentiert.

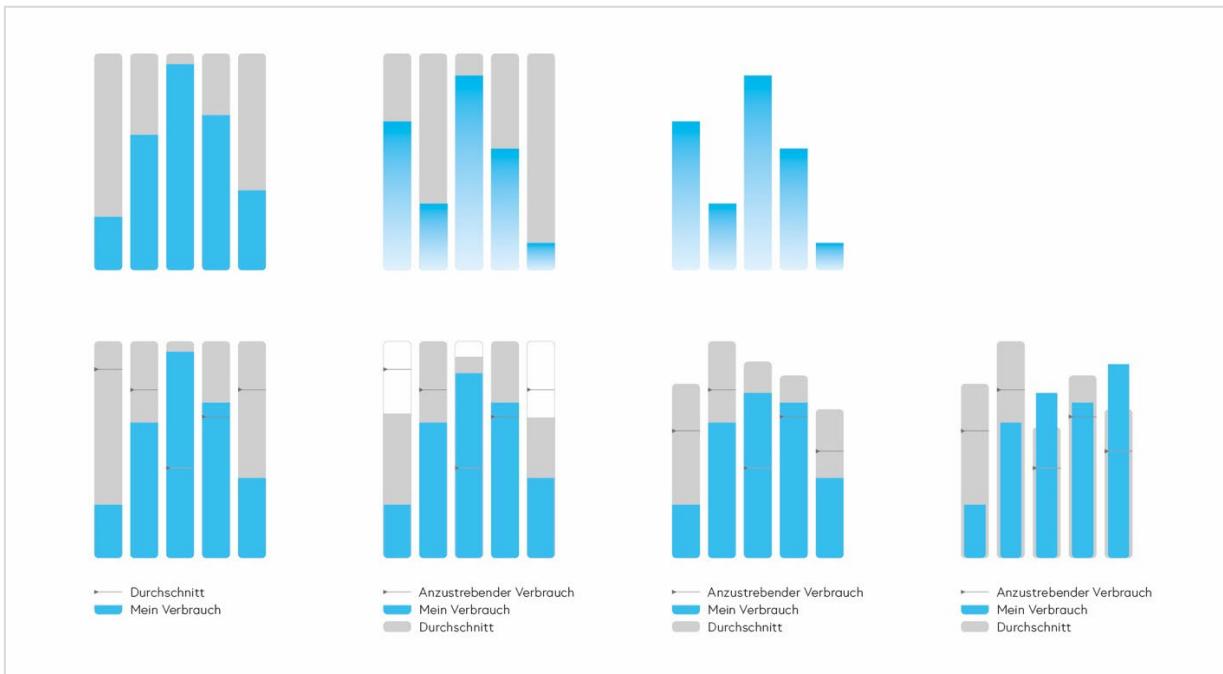


Abbildung 29. Versuchsdarstellung mit Balken

- **Obere Zeile:**
Untersuch mit Farberlauf, um den dynamisch wachsenden Verbrauch zu visualisieren.
- **Untere Zeile:**
Untersuch zur Darstellung versch. Wertangaben in einem Balken, aktueller Verbrauch, Durchschnitt, Benchmark

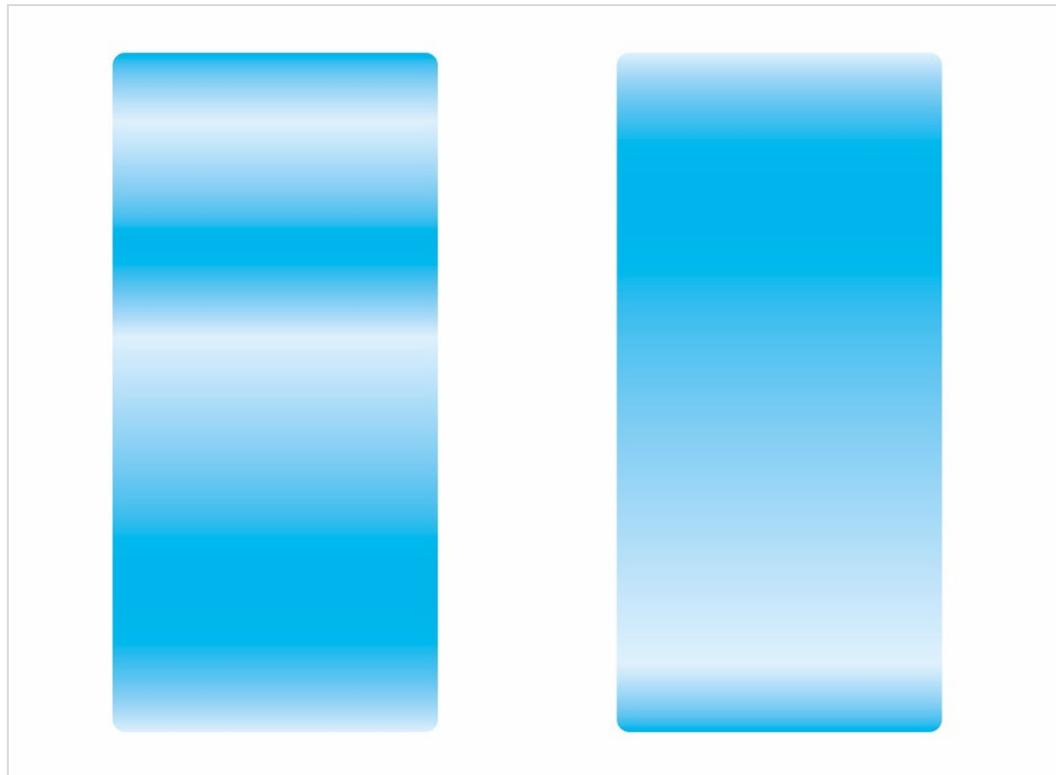


Abbildung 30. Versuchsdarstellung ganzer Smartphone-Bildschirm

- Die einzelnen Balken mit den Verbrauchsdaten aus der vorherigen Darstellung wird auf einen ganzen Smartphone-Bildschirm skaliert.
- Ziel:
Bessere Übersichtlichkeit, Durchschnittswert darstellen und über eine bestimmte Zeit (hier auf der x-Achse; nicht ausdefiniert) Peaks im Verbrauch abbilden (linke Darstellung).

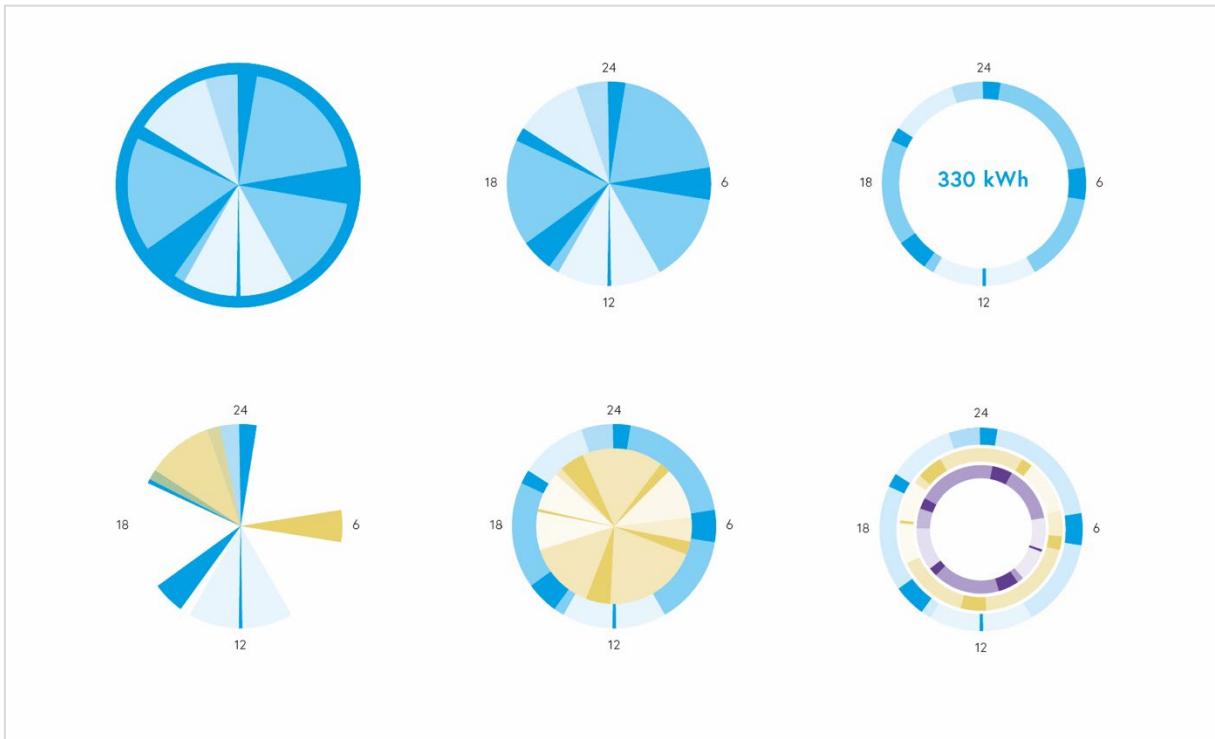


Abbildung 31. Fokussierung auf den zeitlichen Aspekt

- Als Metapher wird der Kreis, bzw. die Uhldarstellung angewendet
- Obere Zeile:
Versch. Helligkeitswerte zeigen einen tiefen bis hohen Energieverbrauch an.
- Untere Zeile:
Drei verschiedene Verbraucher (Heizung, Warmwasser, Strom) in einer Kreisgrafik kombiniert.
- Problematik:
Eine klassische Uhr zeigt 12 Stunden an. Hier werden für einen Tag (inkl. Nacht) 24 Std. benötigt. Die 24-Std.-Darstellung ist ungewohnt und irritierend.



Abbildung 32. Verfeinerte Darstellung über eine Kreis/Uhrmetapher

- Keine Peaks mehr, sondern der effektive Verbrauch von drei unterschiedlichen Verbrauchern mit dem Zielwert von 24 Stunden.
- Um die Werte präziser auszulesen, müssen diese beschriftet werden. Verschiedene Lösungen sind abgebildet und z.T. problembehaftet.
- Störend wirkt die Nähe zur Darstellung in der Health-App auf der Applewatch.

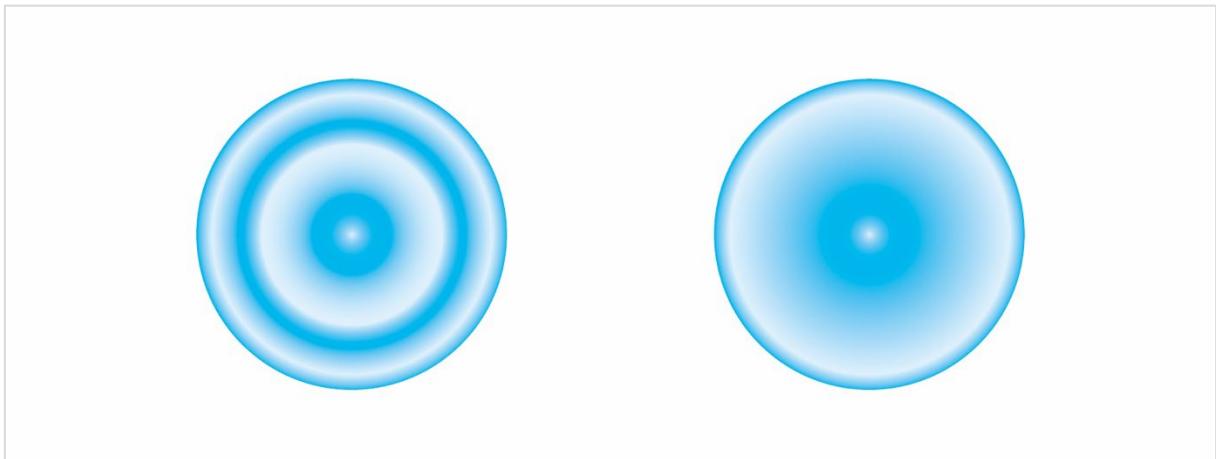


Abbildung 33. Energieverbrauch aus dem Zentrum

- Aufgrund der vielen kritischen Punkten in der Uhrkreisdarstellung werden nochmals intuitiv frühere Verlaufsdarstellungen aufgegriffen.
- Diese implizieren den Energieverbrauch aus dem Zentrum und zeigen durch dunklere Stellen Peaks an.

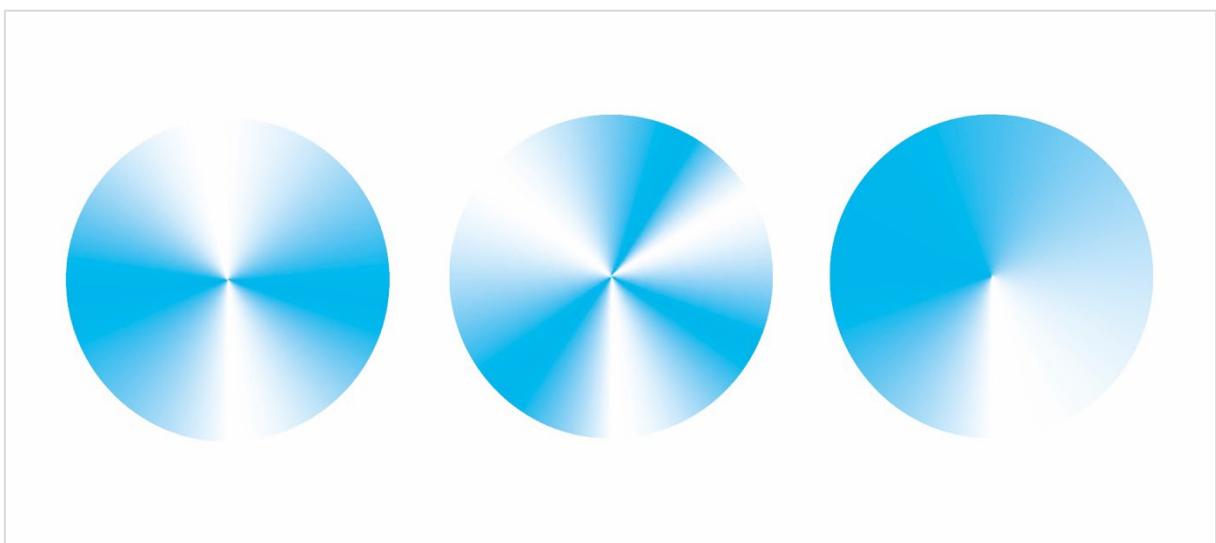


Abbildung 34. Adaption der Kreis-Verlaufsdarstellung in einen radialen Verlauf

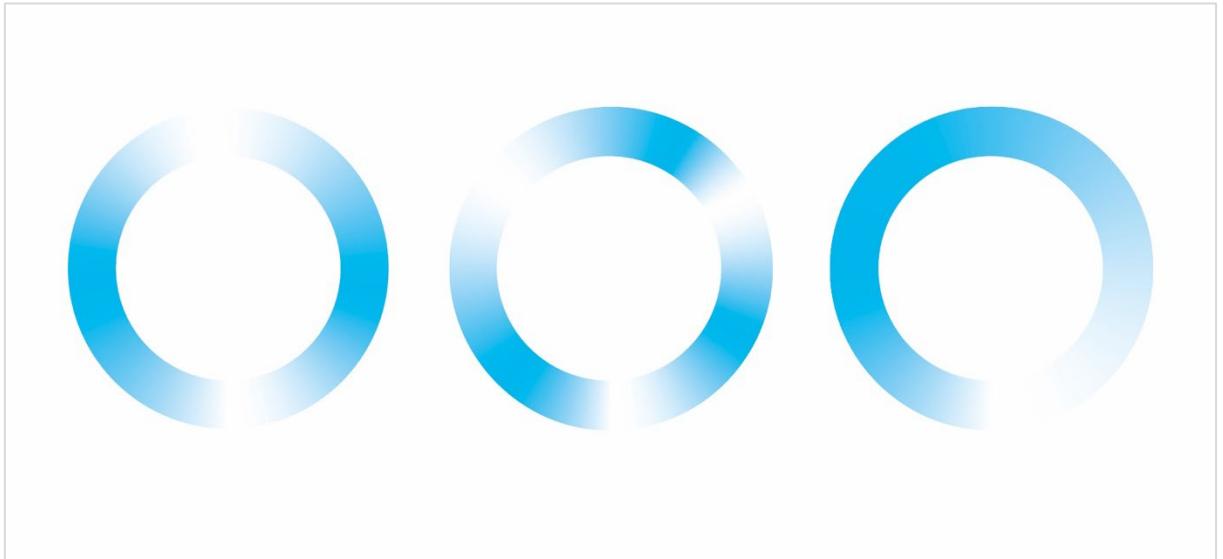


Abbildung 35. Variante mit Vereinfachung des Kegel-Radialverlaufes



Abbildung 36. Adaption auf Smartphone Screen

- **Darstellung Links:**
Adaption des Energie-Verbrauchs-Verlaufes auf Smartphone-Screen
- **Darstellung Mitte und Rechts:**
Menü-Studie - Wie erweitert man die Darstellung auf andere Ebenen?
Hier mit der Idee, aus dem Kreisdiagramm in alle vier Bildschirmkante-Richtungen zu swipen.



Abbildung 37. Menü-Studie

- Darstellung Links:

Menü-Studie: Wie erweitert man die Darstellung auf andere Ebenen?

Hier mit der Idee, aus dem Kreisdiagramm in alle vier Bildschirmkante-Richtungen zu swipen.

- Darstellung Mitte und Rechts: Erweiterte Darstellungen

- Top:

Wahl zwischen

- «gemessener Zeitperiode»
 - «Energieverbrauchsdarstellung» (aktuell gewählt)
 - «Energie-Spartipps»

- Bottom:

- Filterung dezidierter Einstellungen und Benchmarksetzung (Mitte)
 - Wahl der angezeigten Messzeitdauer (Rechts)

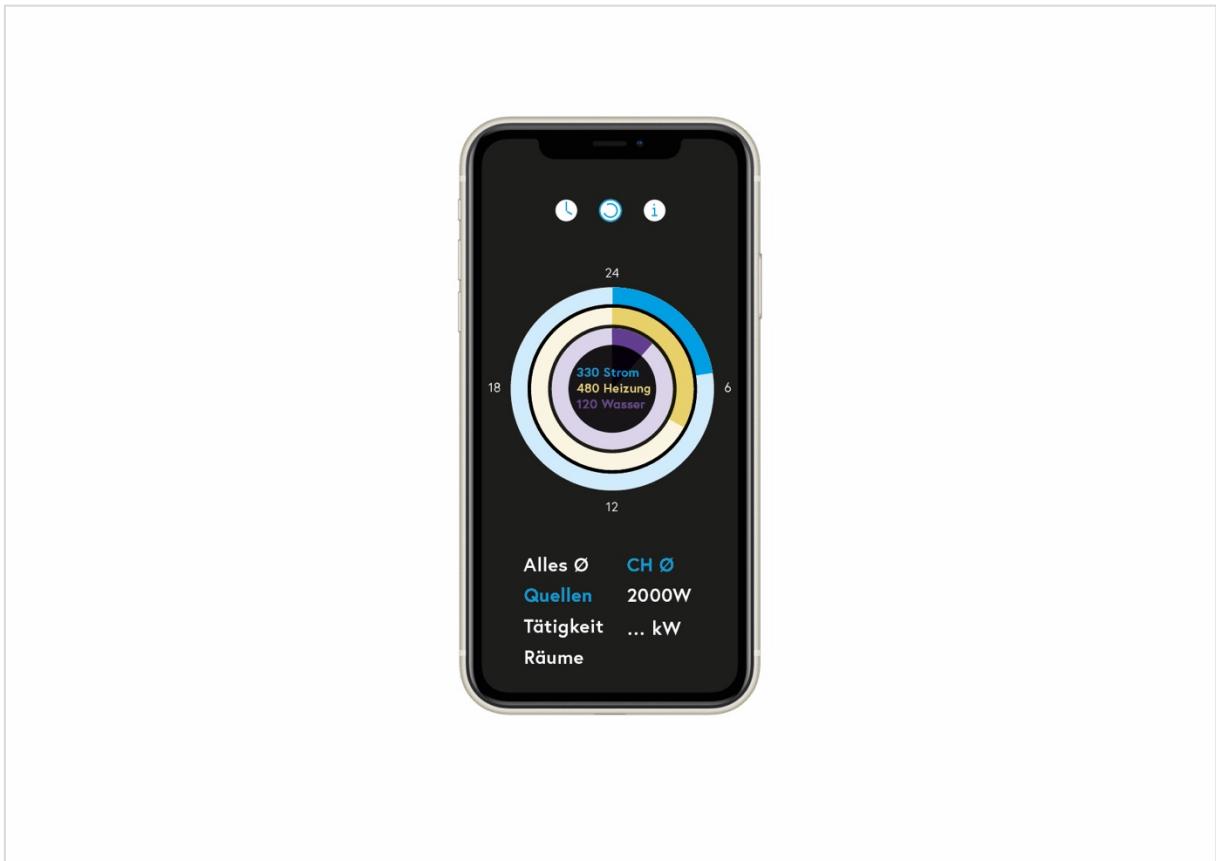


Abbildung 38. komplexerer Darstellung zum Energieverbrauch

- Variante mit komplexerer Darstellung zum Energieverbrauch (Strom, Heizung, Wasser, kombiniert)
- Problemidentifikation:
 - Kreisdarstellung auf 24h entspricht nicht unserem Empfinden und der Funktion einer Uhr
 - unterschiedliche Durchmesser in den Kreisdarstellungen irritieren (wird die Grösse des Kreises mitgelesen oder nur der Stand/das Ende des aktuellen Verbrauchs?)
 - Ausfilterung der Werte unter dem Kreisdiagramm ist zu kompliziert und verwirrend

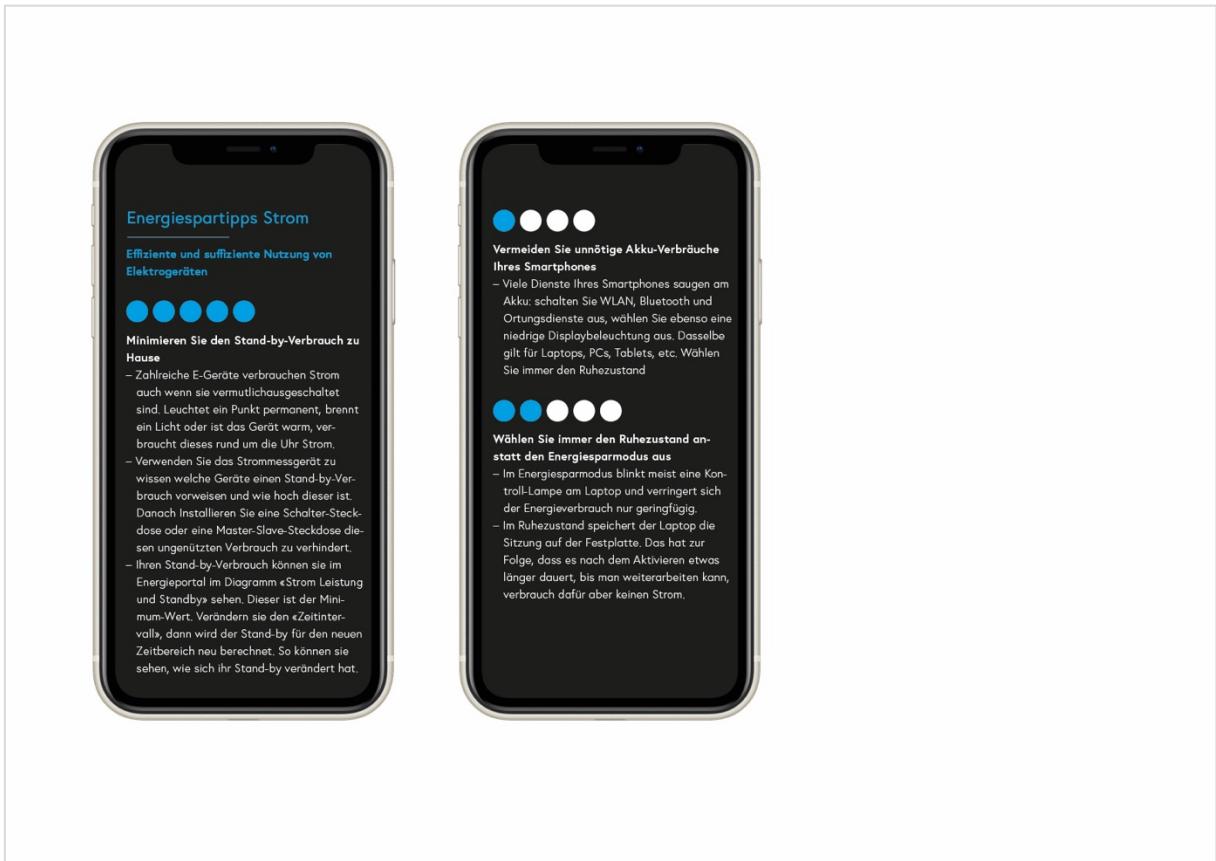


Abbildung 39. Darstellung der Energiespartipps

- Darstellung der Energiespartipps und deren Bewertung zum effektiven Einsparpotenzial mit einem Fünfpunkte-Raster.

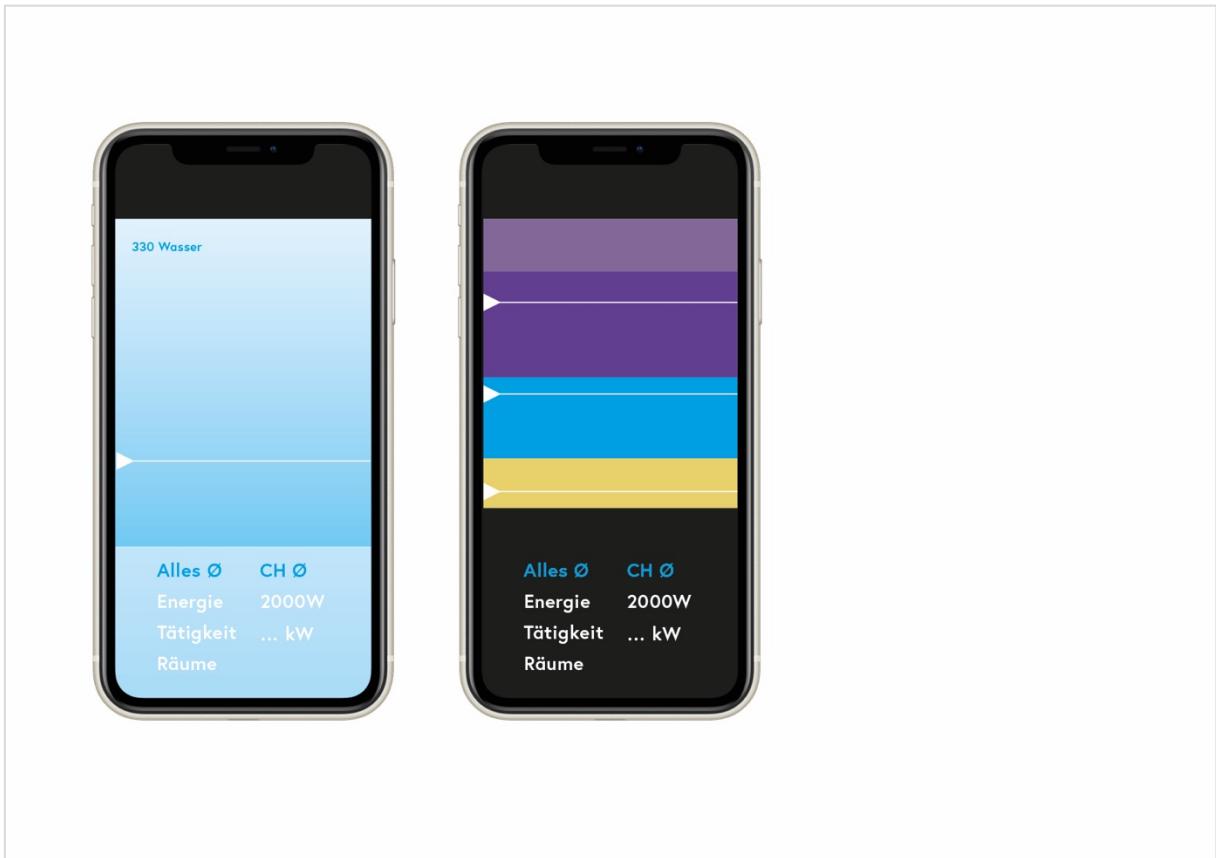


Abbildung 40. Substitution des Kreis-Tachos I

- Substitution des Kreis-Tachos gegen
 - Links:
Verlaufsfläche über den Screen mit Verbrauchsstandanzeige
 - Rechts:
Verbrauchsstandanzeige von drei Verbrauchern
- Bei beiden Darstellungen bleibt die Filterung im unteren Bereich

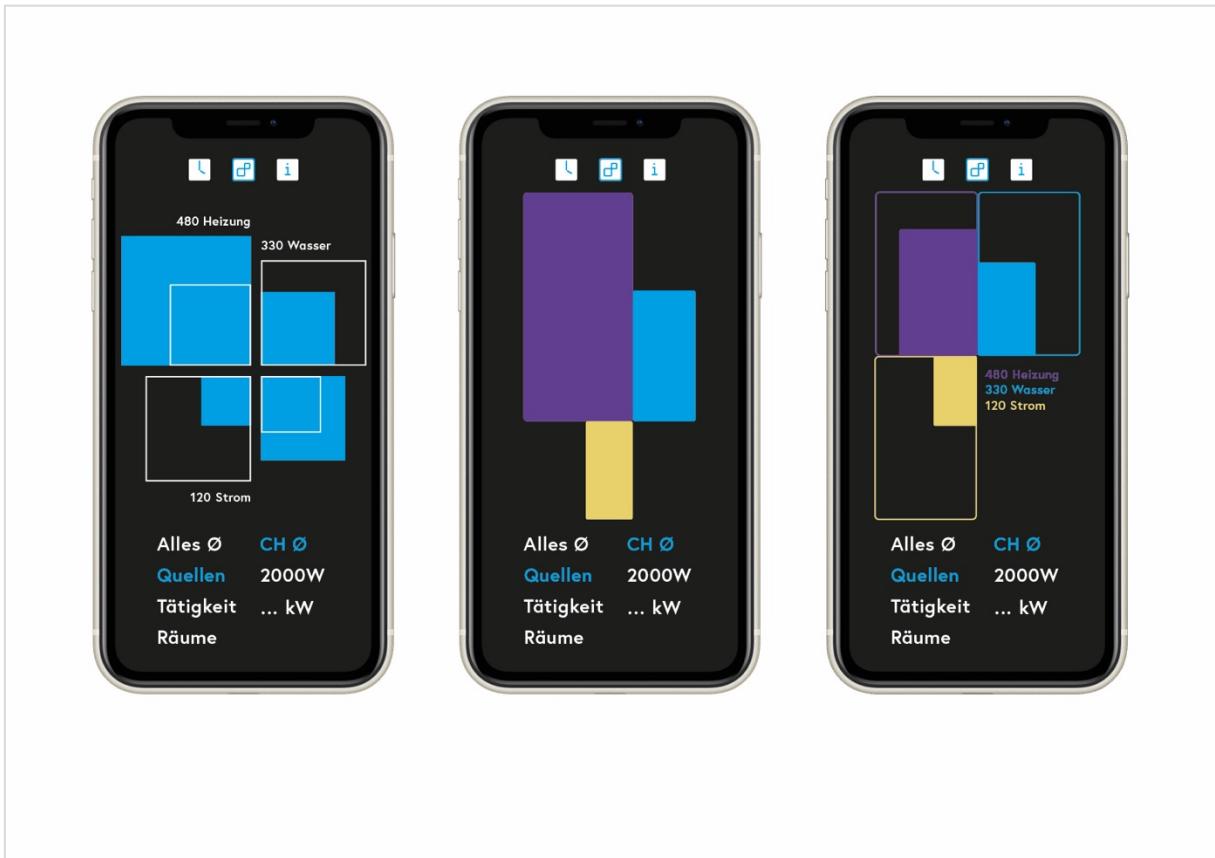


Abbildung 41. Substitution des Kreis-Tachos II

- Substitution des Kreis-Tachos gegen
 - Links:
Flächendiagramm, Outlines sind Benchmarks, blaue Flächen zeigen den aktuellen Verbrauch.
 - Mitte und Rechts:
Flächendiagramm mit verschiedenen Farbcodierungen für verschiedene Verbraucher.
Mitte ohne Benchmark Anzeige, rechts wiederum mit Benchmark Anzeige.
- Feststellung/Frage:
Macht es Sinn, Heizung-, Warmwasser- und Stromverbrauch gegenüber zu stellen?

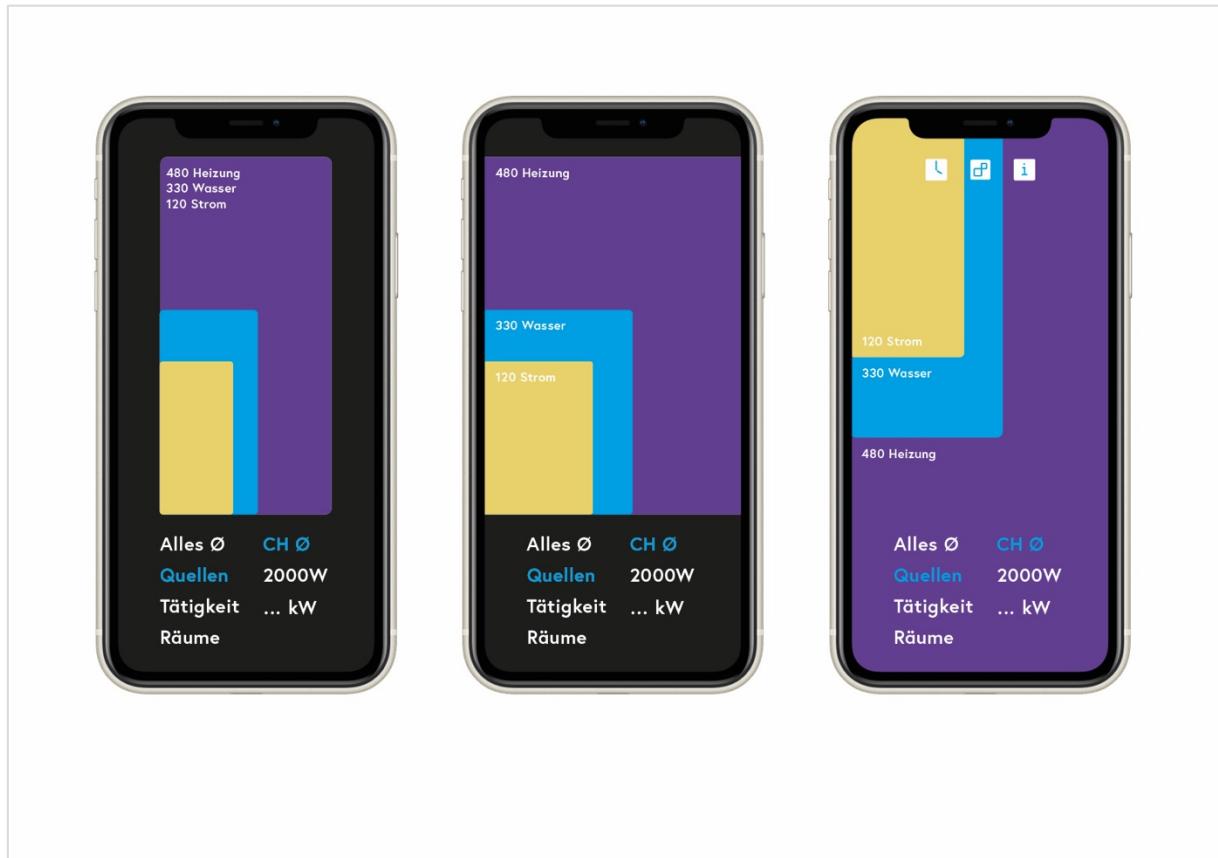


Abbildung 42. Alternative Darstellungen Flächendiagramme

- Darstellung Links:
Alternative Darstellung für Größenvergleiche vom Nullpunkt der xy-Achse aus.
- Darstellung Mitte und Rechts:
Andere Aufteilung für Flächendiagramm. Rechts radikale Lösung, wo die ganze Bildschirmgrösse den grössten Mess- oder Referenzwert darstellt.



Abbildung 43. Versuch, den ganzen Bildschirm als Darstellungsfläche zu verwenden

- Versuch, den ganzen Bildschirm als Darstellungsfläche zu verwenden und dabei auf die eher ästhetisch, emotionale und intuitive Farbverlaufs-Visualisierung zurückzugreifen.
 - Links:
Zeigt im Durchschnitt intuitiv einen hohen Verbrauch
 - Mitte:
Der violette Bereich zeigt den aktuellen Verbrauch, übergehend in den «unverbrauchten» gelben Bereich
 - Rechts:
Zusätzliche Präzisierung mit Benchmarks/Referenzwerten (unfertig)

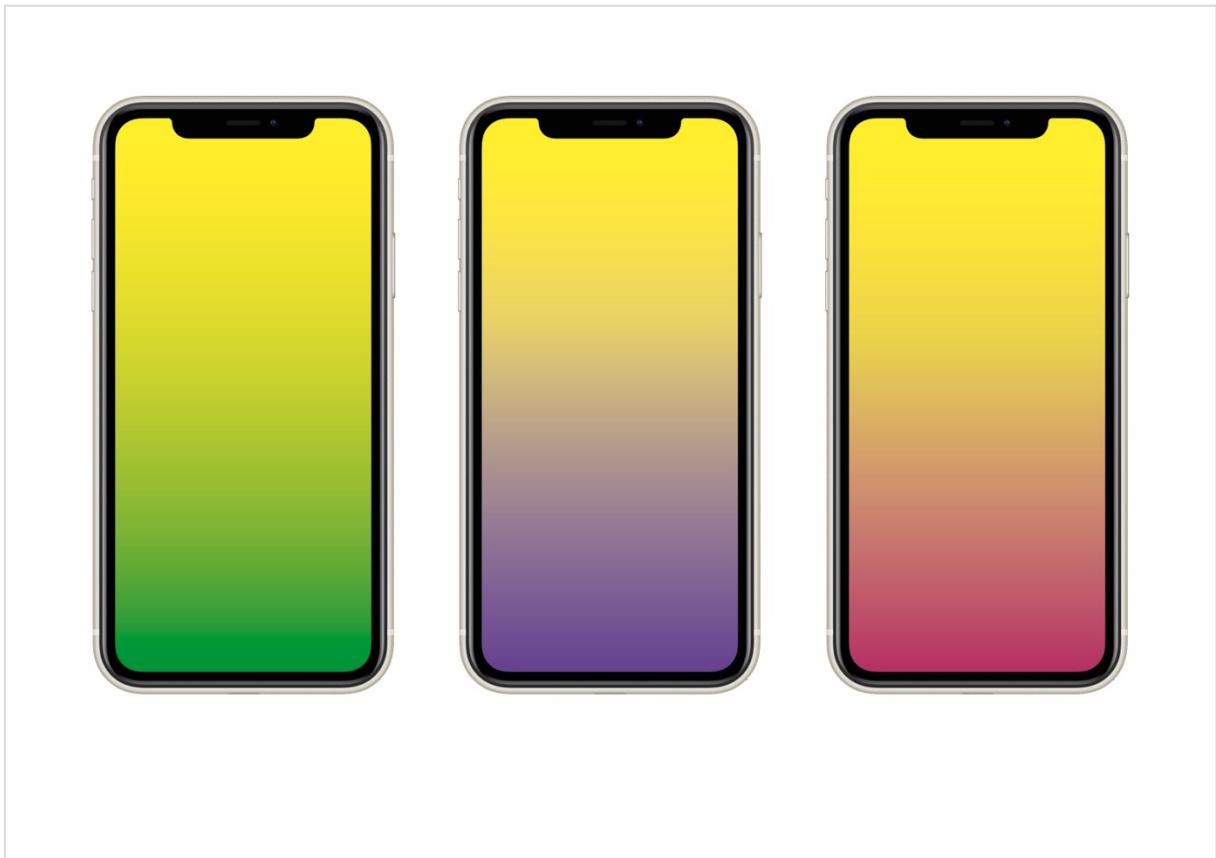


Abbildung 44. Farbverläufe mit Smartphone Mockup, Farbuntersuchungen I

Farbverläufe mit Smartphone Mockup - Verschiedene Farbuntersuchungen und Überlegungen zu Energiebezüger/Zuweisungen

- Überlegungen und Problematiken:
 - Gelb bleibt dabei als positive, warme und sonnige Farbe immer bestehen.
 - Grün wirkt natürlich, positiv, gut. Hier zeigt es aber die verbrauchte Energie.
 - Gleichzeitig assoziieren wir die Farbe Grün mit aufgeladenen Energiespendern, wie z.B. Batterien.
 - Violett: Eher neutral, nicht gut zuzuordnen; Komplementärfarbe zu Gelb.
 - Magenta: eher neutral, geht Richtung Rot, Verbrauch, Warnung.



Abbildung 45. Farbuntersuchungen II

- Überlegungen und Problematiken:
 - Blau wirkt kalt (wenn Heizenergie bezogen wird, wäre es aber warm ...). Assoziation zu Wasser.
 - Türkis zu Weiss wirkt sehr kalt; Bestätigung, dass Gelb beibehalten werden soll.
 - Rot ist eher eine Warnfarbe, Feuer.

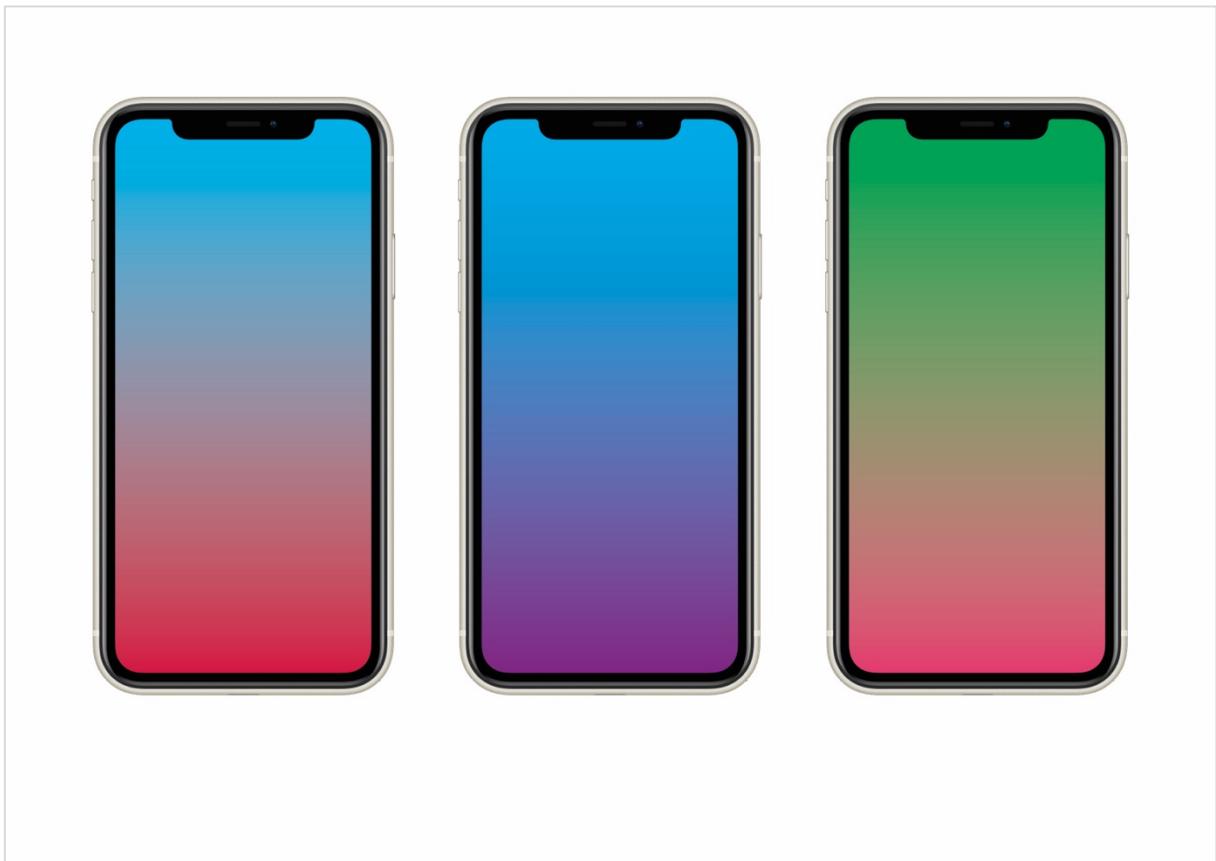


Abbildung 46. Farbuntersuchungen III

- Überlegungen und Problematiken:
 - Werden für alle Energieverbraucher ZWEI unterschiedliche Farben verwendet, geht die Orientierung verloren. Die Farbe für den noch nicht verbrauchten Teil sollte gleichbleiben, z.B. Gelb (positive Wirkung/Ästhetik).



Abbildung 47. Definitive Farbselektion für die drei Hauptverbrauchsquellen Heizung, Wasser und Elektrizität



Abbildung 48. Priorisierter Farbverlauf um Energieverbrauch anzuzeigen



Abbildung 49. Integration in Betriebssystem/Screen Konzept

- **Links:**
Gezeigter Farbverlauf stellt einen aktuellen Schnitt zwischen Heizung, Warmwasser und Strom dar. Der Farbverlauf agiert als dynamischer Sperrbildschirm.
- **Mitte und Rechts:**
Untersuch zur App-Icon-Darstellung im Kontrollzentrum.
- Die App kann aus dem Kontrollzentrum oder regulär auf dem Smartphone gestartet werden.



8.3 Prototypischer Durchlauf «Laien-Visualisierung»

«Die prototypische Entwicklung aus Kapitel 8.2 zeigt einmal mehr – wie in praktisch allen Designprojekten – dass der Weg zum brauchbaren Endergebnis ein langer ist. Es braucht Aufwand und den Mut zu entschlacken, Ideen über Bord zu werfen oder für andere Projekte aufzusparen – zumindest für die hier ins Auge gefasste Zielgruppe der LaienanwenderInnen.» - Robert Bossart

Abbildung 50 zeigt eine Übersicht der Screens. Mit den Pfeilen werden die Swipe-Bewegungen angedeutet, die dem Screen-Wechsel dienen.



Abbildung 50. Smartphone-App: Übersicht der Screens (die Pfeile zeigen, wie man von einem Screen mit Swipen zum anderen gelangt)



Abbildung 51. Smartphone-App: Sperrbildschirm mit Farbverlauf als Energieverbrauchsindikator

- Der Sperrbildschirm (Abbildung 51) zeigt im Hintergrund durch einen Farbverlauf dynamisch den aktuellen Energie-Verbrauch einer Wohnung oder eines Liegenschaftsobjekts an.
- Je mehr Energie verbraucht wird, umso höher steht der angezeigte Füllstand, sprich, umso rotstichiger wird der Bildschirm.

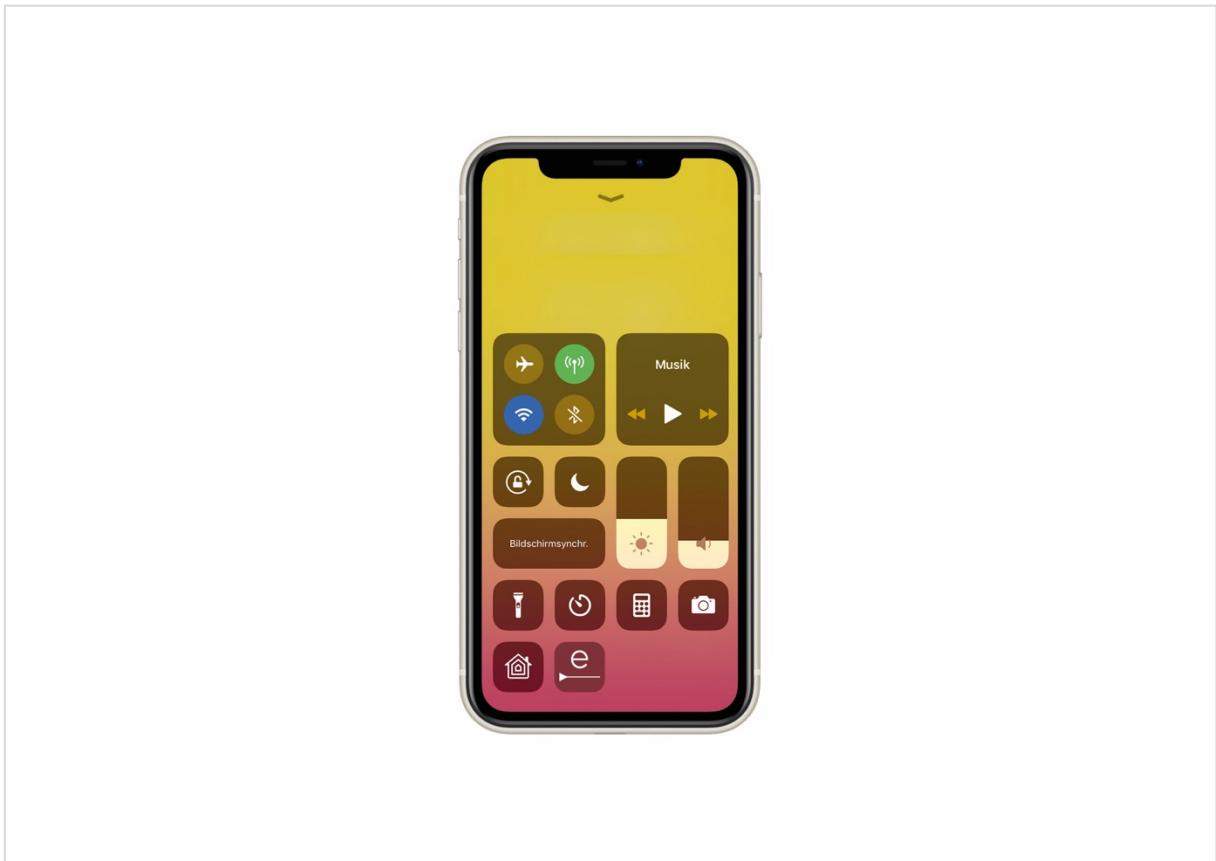


Abbildung 52. Smartphone-App: Zugriff/Start der App

- Zugriff/Start der Applikation in Abbildung 52 über das Kontrollzentrum.
- Der Zugriff kann auch regulär über den Homescreen via App-Icon geschehen.

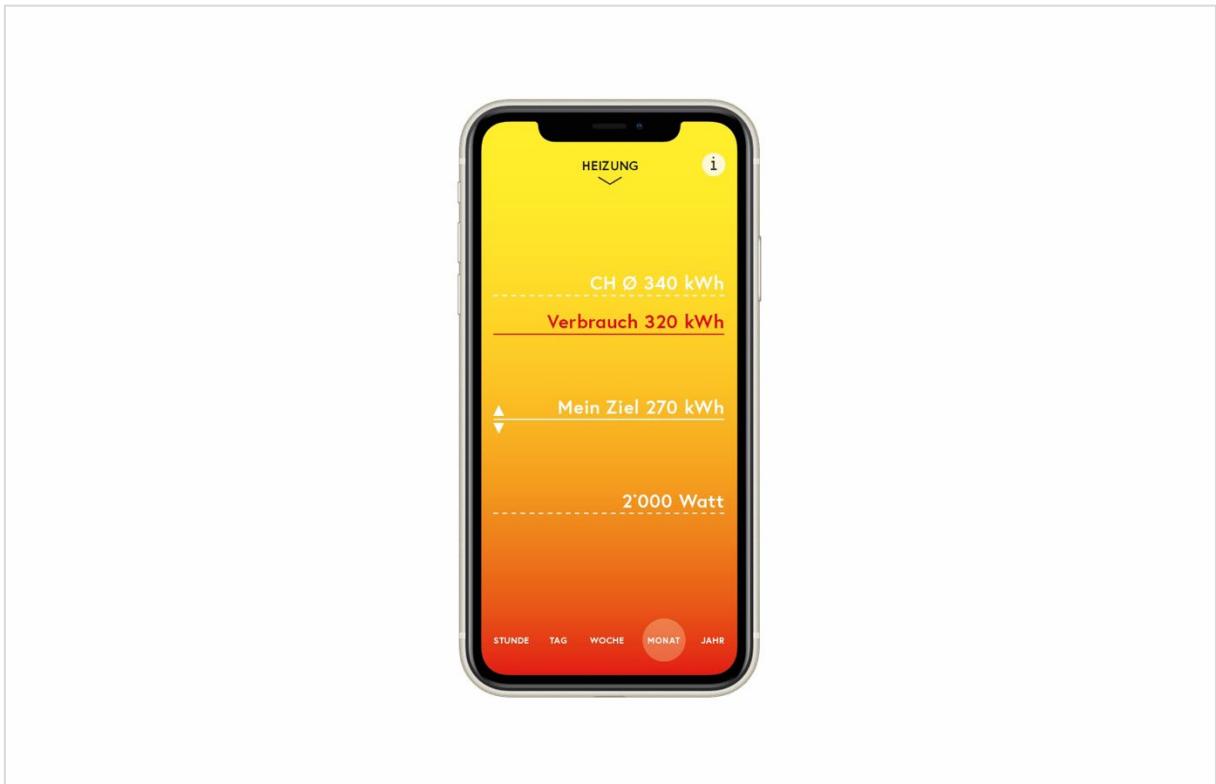


Abbildung 53. Smartphone-App: Screen nach dem Start bereits eine Energieansicht

- Nach dem Öffnen der App kommt der/die User*in die Übersicht, und die erste Energie-Quelle und deren Verbrauch wird angezeigt.
- Hier wird der Heizverbrauch einer ganzen Wohnung oder eines kompletten Hauses abgebildet.
- Der Verlauf im Hintergrund visualisiert wiederum den ungefähren, aktuellen Stand des Energieverbrauchs. Dieses Mal mittels einer feuerrote Färbung.
- Am unteren Ende des Bildschirmes kann die Ansicht für den gewünschten Zeitraum durch Antippen gewechselt werden. Die Einstellung für den Zeitraum erfolgt durch Antippen der entsprechenden Aggregationseinheit. Der Farbverlauf ändert in Echtzeit.
- Die gewählte Einstellung gilt auch für die Folgescreens im Bereich Heizenergie-Verbrauch.
- Im mittleren Sichtfeld zeigen sich die Benchmarks und der exakte Verbrauch. Letzterer könnte auch spezifisch z.B. in kWh/m² abgebildet werden.
- Der exakte Verbrauch wird mit einem roten Level angezeigt.
- Benchmarks (Weiss):
 - Schweizer Durchschnitt
 - Persönliches Ziel
 - Erfüllung der Anforderungen gemäss 2000 Watt-Gesellschaft
- Meinen persönlichen Benchmark kann ich durch Anfassen der Linie im Pfeilbereich nach oben oder unten korrigieren. Der entsprechende kWh-Wert wird in Echtzeit angezeigt.
- Das «Informations-Icon» oben rechts führt zu den Energiespartipps.



Abbildung 54. Smartphone-App: die drei verschiedenen Energieansichten

- Es gibt drei detaillierte Ansichten: «Heizung», «Warmwasserbezug an Armaturen und Geräten» und «Elektrizität» (Abbildung 54). Auf Kaltwasser wurde vorerst verzichtet.
- Es können unterschiedliche Zeitbereiche gewählt werden (Screen am unteren Rand). Letzte Stunde, Letzte 24 Stunden, letzte 7 Tage, letzte 365 Tage.
- Der Farbverlauf im Hintergrund passt sich an den gewählten Zeitraum an und gibt visuelles Feedback.
- Durch horizontales Swipen wird zwischen den drei Ansichten gewechselt.
- Swipe nach unten ist ein Wechsel zur Ansicht des Verbrauchs nach Räumen.
- Wechseln der Ansichten durch Swipen (siehe dazu auch Abbildung 50):
 - Durch horizontales Swipen wechselt die User*in zwischen «Heizung», «Wasser» und «Elektrizität» vor und zurück
 - Durch Swipen nach unten wird zu den Detailansichten geführt (siehe Folgeseiten) Bei der Heizung ist das die Temperatur pro Raum, bei Wasser und Elektrizität zuerst der Verbrauch nach Raum und dann pro Bezüger
 - Durch erneutes Swipen nach unten gelangt man zu den einzelnen Verbrauchsquellen.
 - Zurück gelangt man durch Swipen nach oben
 - Durch horizontales Swipen gelangt man zu den anderen Energiequellen

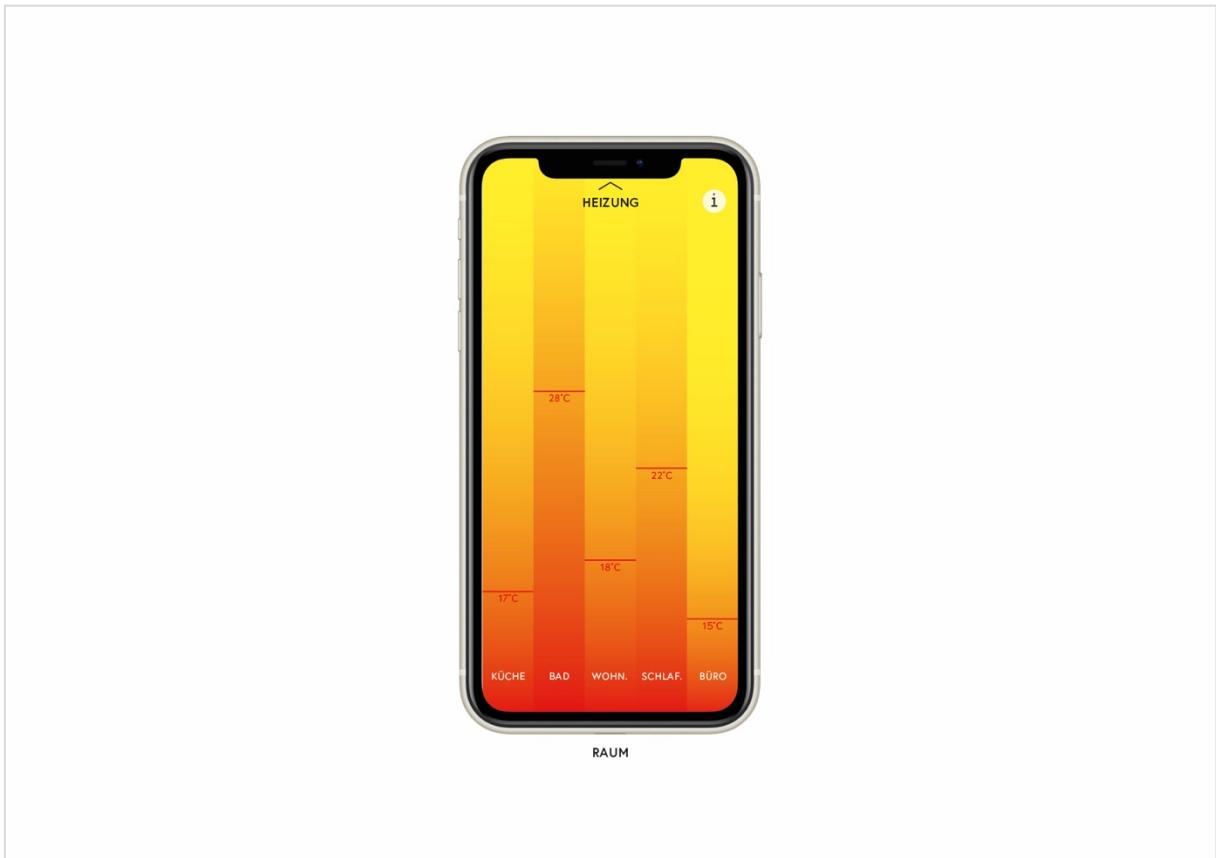


Abbildung 55. Smartphone-App: Heizung pro Raum

- Von der Übersicht Heizung aus Abbildung 54 gelangt man durch Swipen nach unten auf die Ansicht gemäss **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..**
- Der Screen wird nun für die Darstellung des Verbrauchs nach Räumen aufgeteilt. Bei der Heizung ist dies die Raumtemperatur, da auf Raumbene normalerweise keine Wärmezähler vorhanden sind.
- Die roten Marken zeigen die Durchschnitts-Temperaturen in den entsprechenden Räumen für den in der vorhergehenden Ansicht definierten Zeitraum.
- Durch Swipen nach oben, kann wieder in die Ansicht gemäss Abbildung 54 gewechselt werden.
- Eine weitere Ansicht für den Energieverbrauch nach Geräten (hier Temperaturfühler pro Raum) erübrigt sich. Bei den anderen Energiequellen gibt es dann eine nochmals detailliertere Ansicht pro Gerät/Bezüger, falls solche Geräte vorhanden sind.

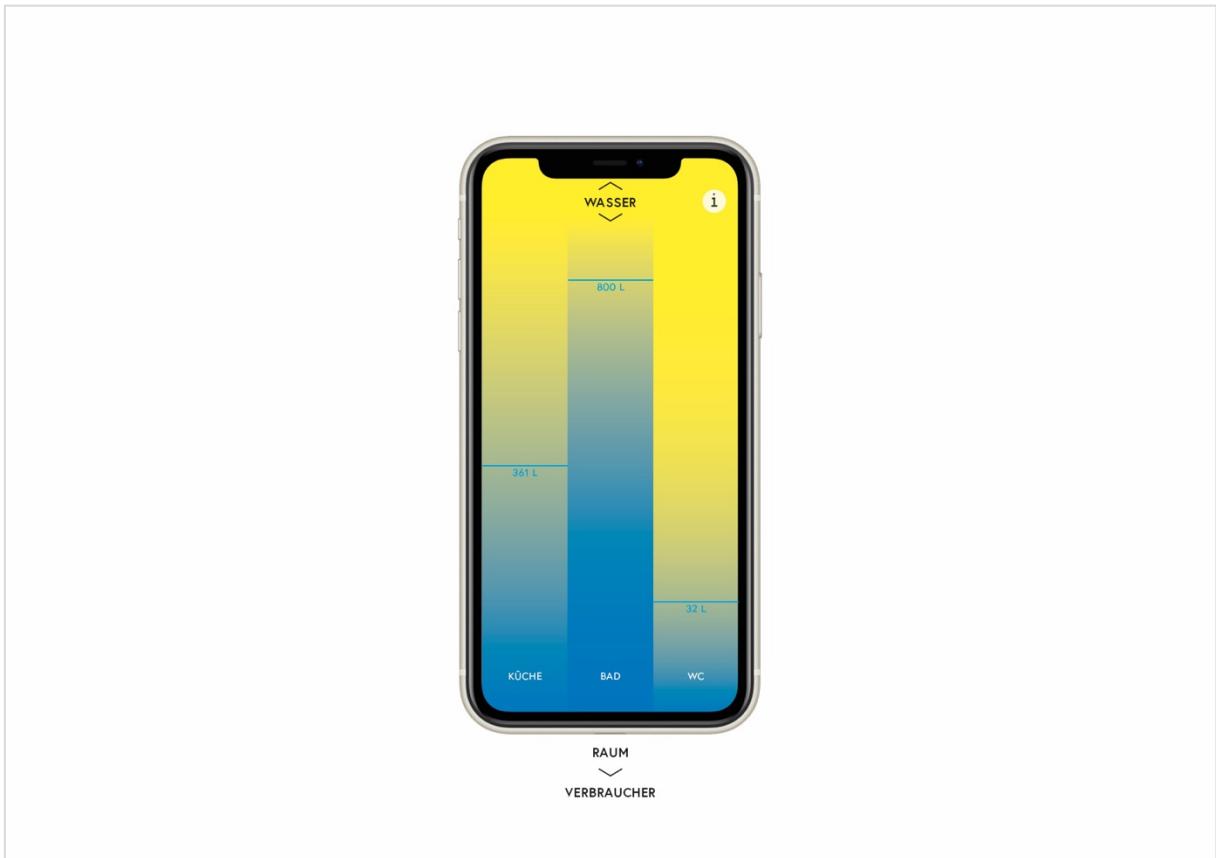


Abbildung 56. Smartphone-App: Warmwasser pro Raum

- Von der Übersicht Warmwasser aus Abbildung 54 gelangt man durch Swipen nach unten auf die Ansicht gemäss Abbildung 56.
- Der Screen wird nun für die Darstellung des Verbrauchs nach Räumen aufgeteilt.
- Die blauen Marken zeigen den Verbrauch in den entsprechenden Räumen für den in der vorhergehenden Ansicht definierten Zeitraum.
- Durch Swipen nach oben, kann wieder in die Ansicht gemäss Abbildung 54 gewechselt werden.
- Durch erneutes Swipen nach Unten gelangt man zur Verbrauchsansicht nach Geräten/Bezügen/Verbrauchern sofern auf dieser Stufe Geräte vorhanden sind (siehe Abbildung 57).

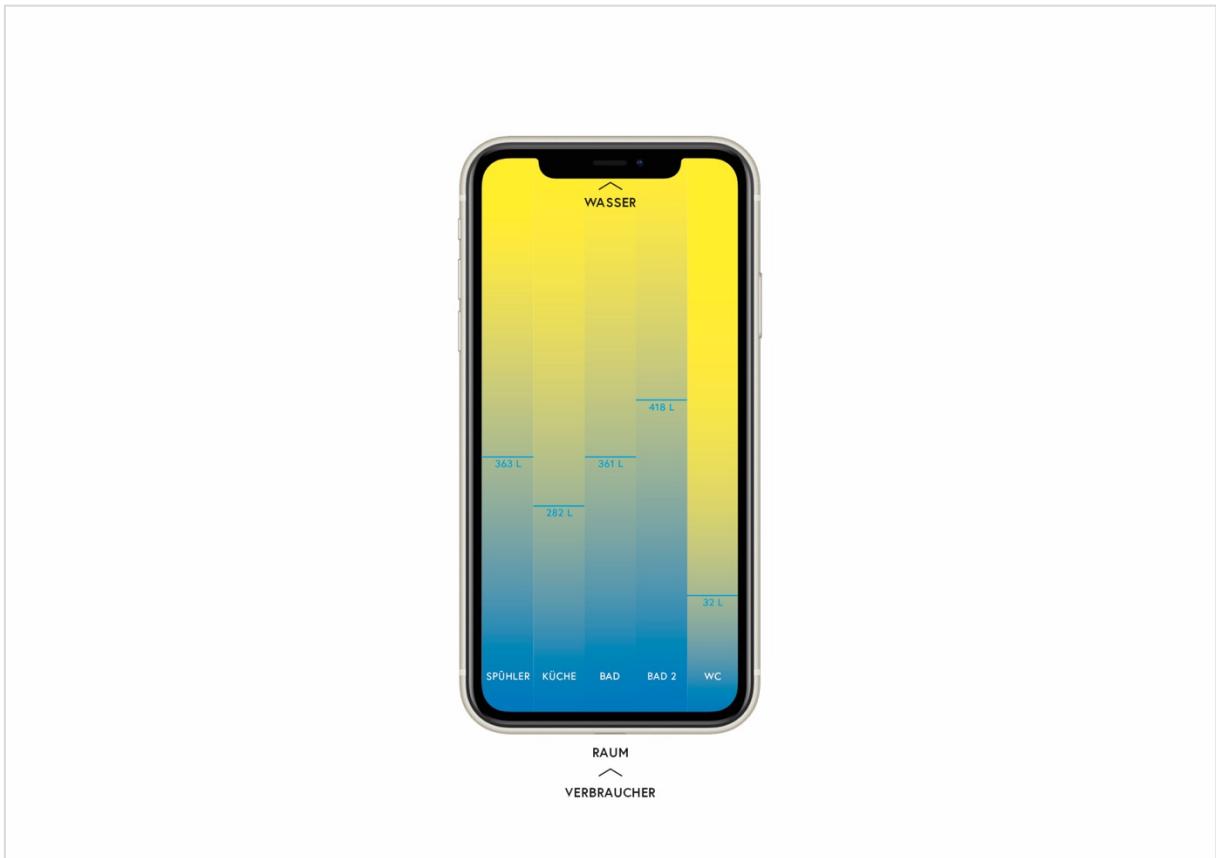


Abbildung 57. Smartphone-App: Warmwasser pro Bezüger

- Von der Übersicht Warmwasser pro Raum aus Abbildung 56 gelangt man durch Swipen nach unten auf die Ansicht gemäss Abbildung 57.
- Der Screen wird nun für die Darstellung des Energieverbrauchs nach Quellen, Bezügern oder Verbrauchern aufgesplittet.
- Die Darstellung ist identisch mit der Raumdarstellung, die Beschriftungen ändern sich jedoch entsprechend dem Verbraucher (unterer Anzeigebereich).
- Die zeitliche Eingrenzung wird ebenfalls von der ersten Einstellungsseite übernommen.
- Durch einmaliges, vertikales Swipen nach oben gelangt man wieder zur Raumansicht aus Abbildung 56.

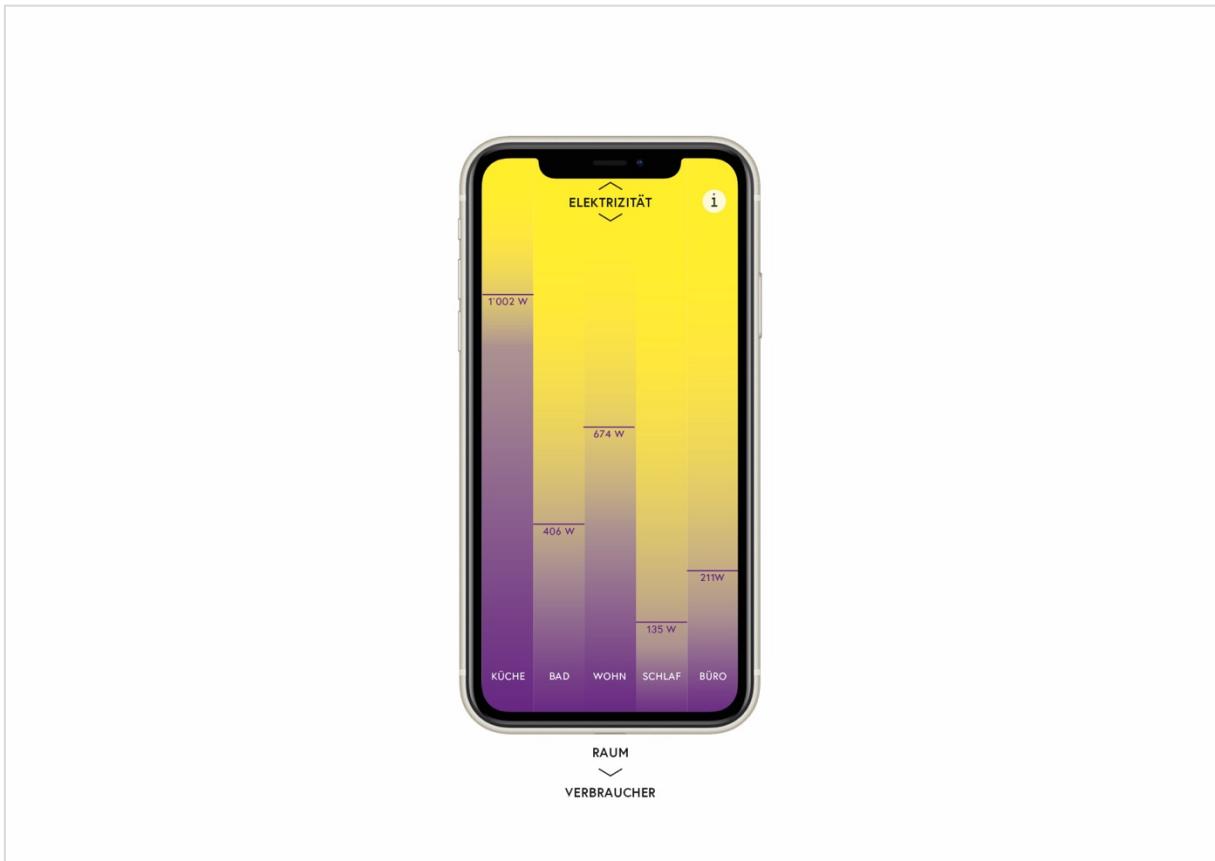


Abbildung 58. Smartphone-App: Elektrizität pro Raum

- Von der Übersicht Elektrizität aus Abbildung 54 gelangt man durch Swipen nach unten auf die Ansicht gemäss Abbildung 58.
- Der Screen wird nun für die Darstellung des Verbrauchs nach Räumen aufgeteilt. Anstatt der Leistung in Watt könnte hier auch der Verbrauch in kWh angezeigt werden.
- Die violetten Marken zeigen den Verbrauch in den entsprechenden Räumen für den in der vorhergehenden Ansicht definierten Zeitraum.
- Durch Swipen nach oben, kann wieder in die Ansicht gemäss Abbildung 54 gewechselt werden.
- Durch erneutes Swipen nach Unten, gelangt die User*in zur Verbrauchsansicht nach Geräten/Quellen/Verbrauchern.
- Durch erneutes Swipen nach Unten gelangt man zur Verbrauchsansicht nach Geräten/Bezügern/Verbrauchern, sofern Geräte auf dieser Stufe vorhanden sind (siehe Abbildung 59).

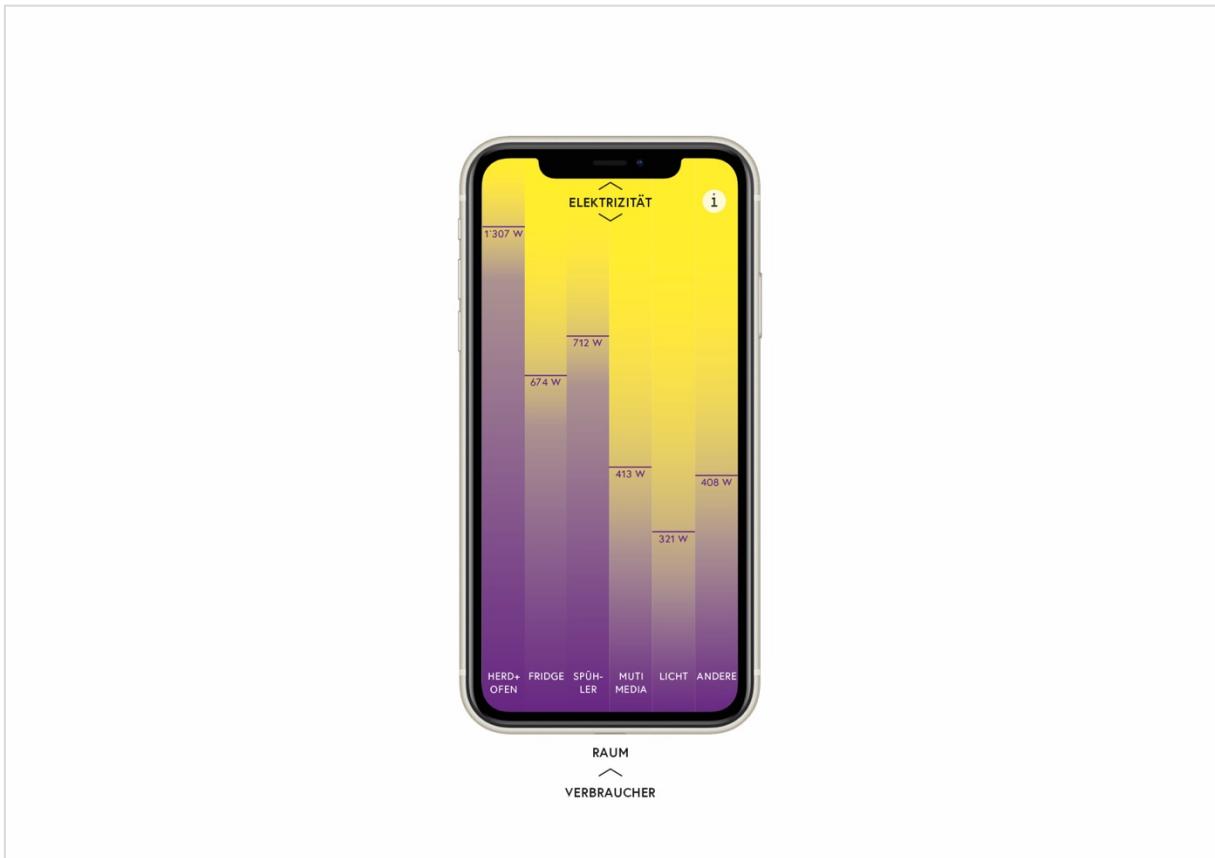


Abbildung 59. Smartphone-App: Elektrizität pro Verbraucher

- Von der Übersicht Stromverbrauch pro Raum aus Abbildung 58 gelangt man durch Swipen nach unten auf die Ansicht gemäss Abbildung 59.
- Der Screen wird nun für die Darstellung des Energieverbrauchs nach Quellen, Bezügern oder Verbrauchern aufgesplittet. Anstatt der Leistung in Watt könnte hier auch der Verbrauch in kWh angezeigt werden.
- Die Darstellung ist identisch mit der Raumdarstellung, was sich ändert sind die Beschriftungen für die Verbraucher (unterer Screenbereich).
- Die zeitliche Eingrenzung wird ebenfalls von der ersten Einstellungsseite übernommen.
- Durch einmaliges, vertikales Swipen nach oben gelangt man wieder zur Raumansicht aus Abbildung 58.