

# **Stromverbrauchsmessungen in Mietwohnungen: Ist Transparenz der Schlüssel für Energiebewusstsein und Einsparungen?**

**Tobias Rehm, Stefanie Könen, Lukas Hilger, Leon Petersen, Prof. Dr. Thorsten Schneiders**

Technische Hochschule Köln

**Graz, 14.-16.02.2024**

18. Symposium Energieinnovation (EnInnov2024)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## 1. Hintergrund & Motivation

Digitale Lösungen & Smart Metering  
Stand der Forschung



## 2. Methodik

Vorstellung Feldtests (Messobjekt und Messtechnik)  
Qualitative Sozialforschung (Leitfadeninterviews)



## 3. Ergebnisse

Herleitung von Parametern zum energetischen Vergleich von Haushalten  
Ableitungen für Fragenkategorien für Leitfadeninterviews



## 4. Zusammenfassung & Ausblick



# Hintergrund & Motivation



# Hintergrund zum Projekt



Akzeptanz von Technologien für die Umsetzung der Energiewende durch innovative Kommunikationsformate

- Forschungsprojekt: **MEnergie – Meine Energiewende**
  - Partizipative Methoden, um wesentliche Themen der Energiewende zu erfassen
  - Ansatzpunkte für verbesserte Kommunikation zur Bewusstseinsbildung und Erhöhung der Handlungsbereitschaft ableiten




## Erste Erkenntnisse aus Workshops zeigen:

- „Energie“ ist für Menschen abstrakt
- Verwendung, Formen, Vorkommen, Mengen usw. sind nicht klar definiert oder verstanden
- Energie ist für sehr viele Menschen = „Strom“


**Forschungsfrage:** *Entsteht aus dem verbesserten Verständnis ein Bewusstsein für den individuellen Stromverbrauch und eine Reflexion bis hin zu Veränderungen der individuellen Nutzergewohnheiten?*



### Vergleich unterschiedlicher Feedbackarten

-  • Indirektes Feedback
-  • Direktes Feedback
-  • Disaggregiertes Feedback

### Einsparungen

-  • Studien zeigen effektive Einsparungen zwischen 5% und 20% durch den Einsatz verschiedener Arten von Feedback zum Energieverbrauch

(Podgornik et. al., 2016, Klobasa et. al., 2012, Aydin et. al., 2018, Zangheri et. al. 2019, Carrie et. al. 2013)

### Ziele

- Identifizierung von Ineffizienzen
- Indirekte und Direkte Nachvollziehbarkeit von Handlungen im Stromverbrauch
- Ableitung spezifischer Handlungsempfehlungen für den Haushalt



# Methodik



Empirische Feldforschung – technisch und sozial

## 1. Feldtest

### Indirektes Feedback

- Entwicklung von Parametern und Kennzahlen basierend auf erhobenen Messdaten
- Klassifizierung der teilnehmenden Haushalte basierend auf Angaben zur Wohnsituation

## 2. Feldtest

### Direktes Feedback

- Visualisierung des Stromverbrauchs durch Smartphone-App

### Indirektes Feedback

- Individuelle Feedbacks zum Stromverbrauch basierend auf entwickelten Parametern und Kennzahlen

### Qualitative Interviews

- Wie bewerten die Haushalte das direkte und indirekte Feedback?
- Welche Wirkung hat das Feedback?
- Inwiefern besteht Handlungsbereitschaft für Veränderungen?

# Vorstellung Messobjekt und Messtechnik

## Empirischer Feldtest in Mietwohnungen

### Gebäudedaten

- n = 5 Haushalte nehmen teil
  - Wohnfläche (75-100 m<sup>2</sup>)
  - Personen 2-5 Personen pro Haushalt
- Auslesung digitaler Zähler im Keller

### Eingesetzte Messtechnik

- Info-DSS, optischer Lesekopf, Gateway und Übertragung Messdaten in Cloud
- Mobiler Router zur Datenübertragung
- Messungen Sommer (01.05.2023 bis 31.05.2023)
- Messungen Winter (01.12.2023 bis 31.01.2024)





# App zur Visualisierung der Stromverbräuche

Direktes Feedback zum Stromverbrauch

## Informationen in Echtzeit

- Aktuelle Leistungswerte (Live-Daten)
- Grafische Visualisierung der Historische Verbräuche (24h; 6h; 1h; 5min)
- Tagesverbrauch (kWh)
- Max. und Min.-Werte (Watt)

## Technische Voraussetzungen

- Hardware zur Zählerauslesung
- Mobiles Endgerät



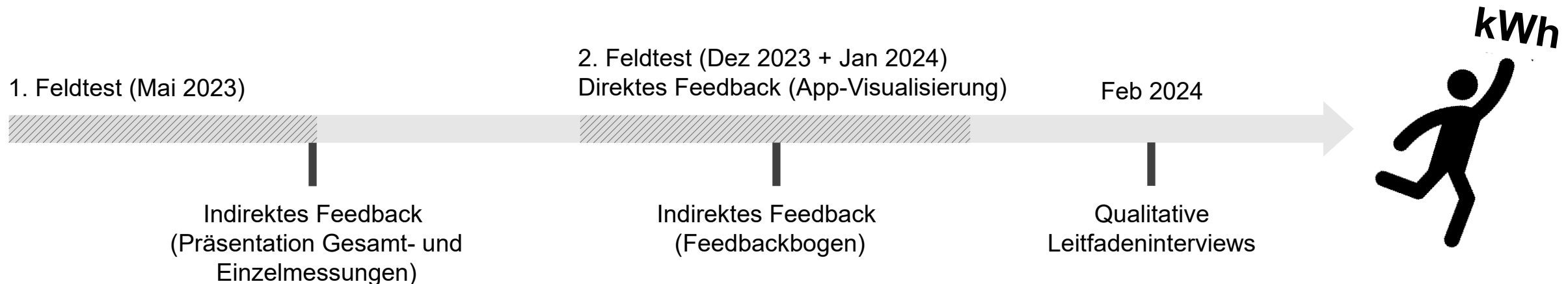
Beispielhafte Visualisierung vom Tibber Pulse, Tibber Deutschland GmbH





## Leitfadeninterviews

- Menschliches Verhalten, Einstellungen und Meinungen
- Vertrauen zu den Teilnehmenden aufbauen und tiefe Einsicht in soziale Dynamiken
- Leitfadeninterviews
  - Erhebung der Veränderung der Gewohnheiten und des Energiebewusstseins
  - Wirkung von indirektem und direktem Feedback zum Stromverbrauch messen
  - Offene Fragen regen zum Erzählen an, möglichst geringe Einflussnahme durch Forschende
  - Ableitung der Fragekategorien aus Feldtest Erfahrungen



# Ergebnisse



# Herleitung von Parametern

## Kennzahlenbasierter Vergleich von Haushalten

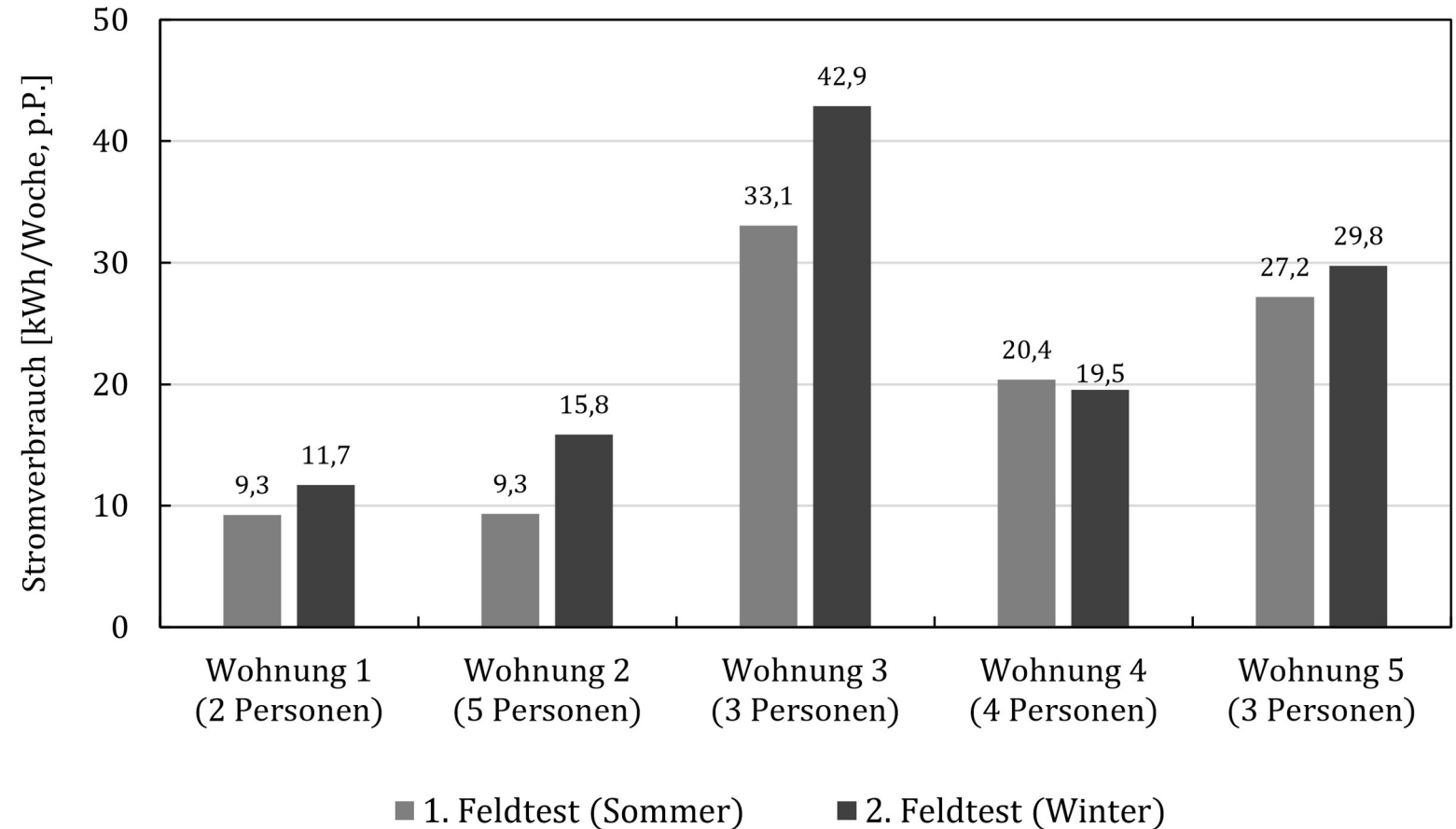
Parameter	Einheit	Beschreibung	Herleitung/Bestimmung	Anwendungszweck
$E_x$	[kWh/ p.P].	Stromverbrauch pro Person (Woche, Monat, Jahr)	Bestimmung über arithmetisches Mittel; Nutzerzentrierte Indikatoren basierend auf Anzahl der Personen	Einordnung der Gesamtverbräuche mit vergleichbaren Wohnungen sowie der Literatur
$P_{base}$	[W]	Durchschnittliche Grundlast der Wohnung	Berechnung der mittleren Grundlast in zwei Iterationsschritten	Für Bestimmung des Grundlast-Anteils und Benchmarking
$k_{base}$	[-]	Grundlast-Anteil	Grundlastverbrauch bezogen auf den Gesamtstromverbrauch in der Messreihe	Maß für den Anteil des Grundlastverbrauchs am Gesamtstromverbrauch
$P_{peak}$	[kW]	Aufgetretene Maximalleistung	Maximaler Wert in der aufgezeichneten Datenreihe	Steigerung des Bewusstseins für Zeiträume mit hohem Stromverbrauch



# Parametervergleich der Wohnungen

Vergleich durchschnittlicher Stromverbräuche pro Woche und pro Person

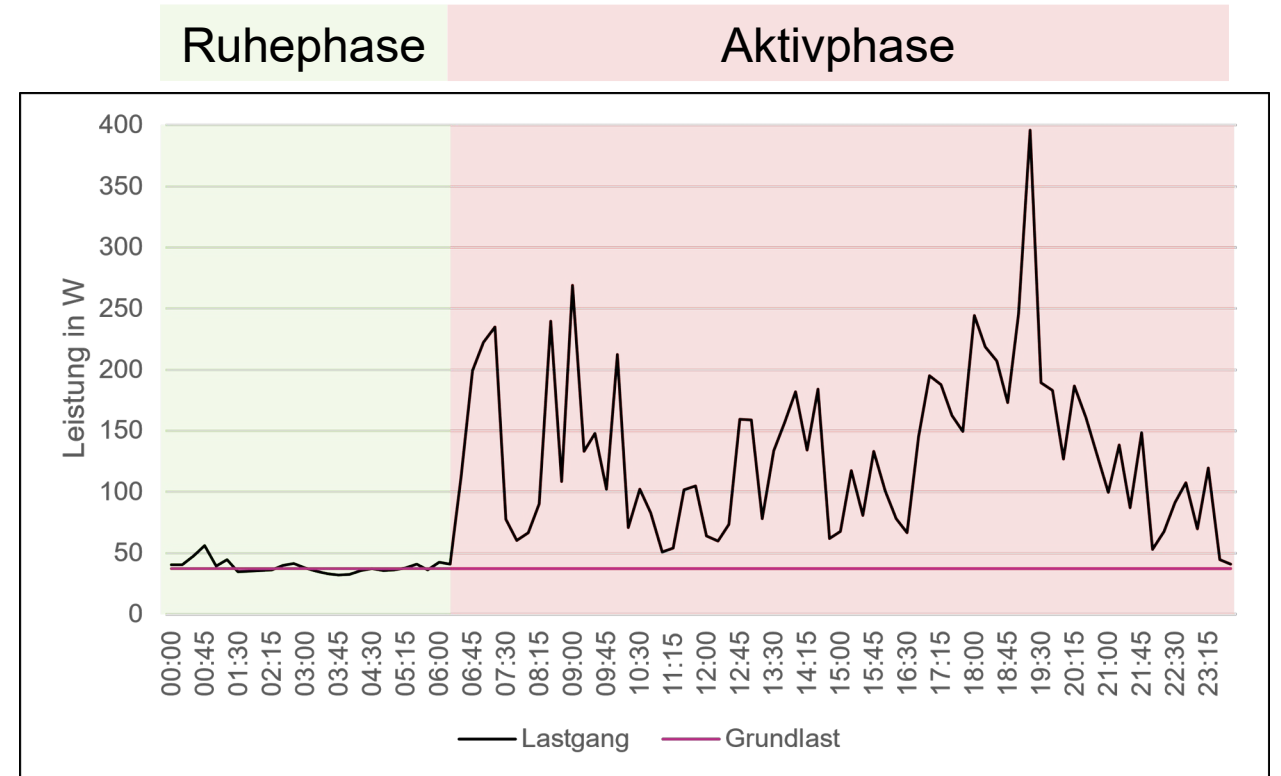
- Individueller Stromverbrauch der Wohnungen pro Kopf – deutliche Unterschiede
- Effekt der elektrischen Grundausstattung:
  - Mit steigender Personenanzahl sinkt i.d.R. der Verbrauch pro Kopf
- „Leichte“ saisonale Unterschiede
- Ergebnisse zur Reflektion mit Teilnehmenden in Leitfadeninterviews



# Parametervergleich der Wohnungen

## Vergleich der berechneten Grundlast

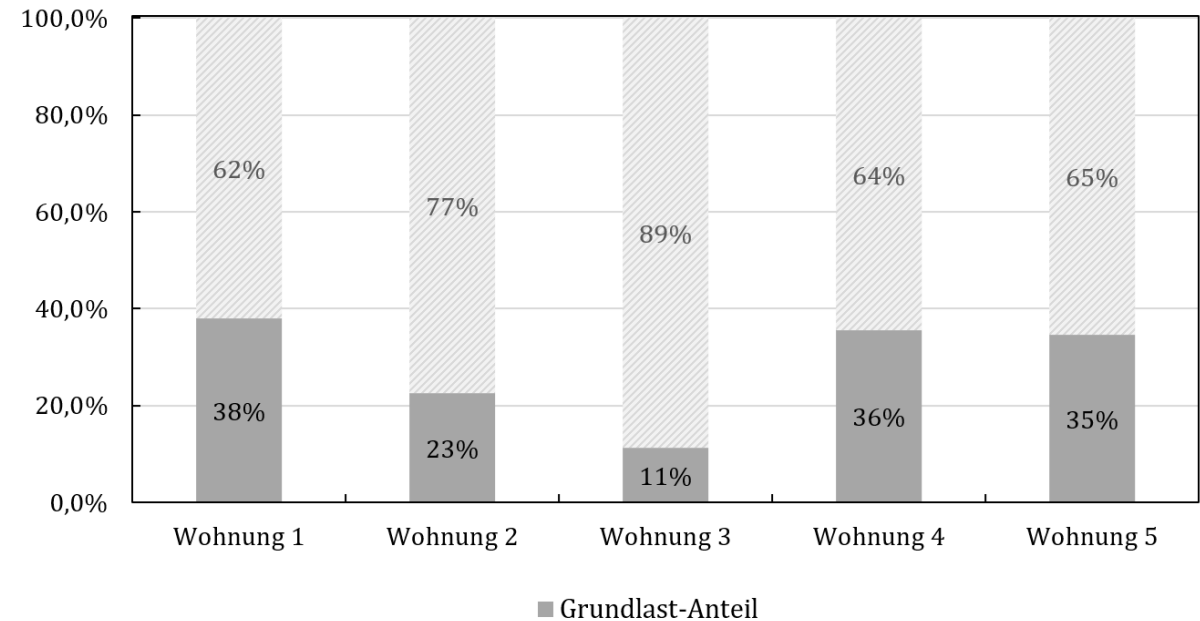
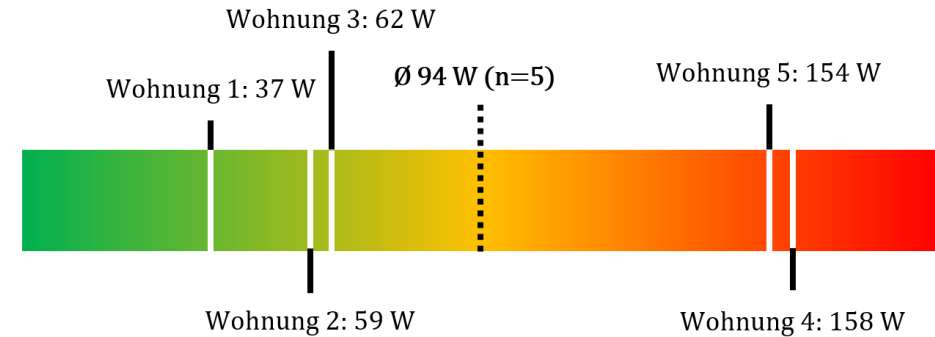
- Grundlast ist die permanente minimal anliegende Last
- Grafische Ermittlung anhand der Aktiv- und Ruhephasen
- Ergebnisse zur Reflexion mit Teilnehmenden in Leitfadeninterviews
  - Hohe Grundlast deutet auf viele vermeidbare Standby-Verbräuche hin
  - Bietet Potenzial für abschaltbare Geräte



# Parametervergleich der Wohnungen

## Vergleich der berechneten Grundlast

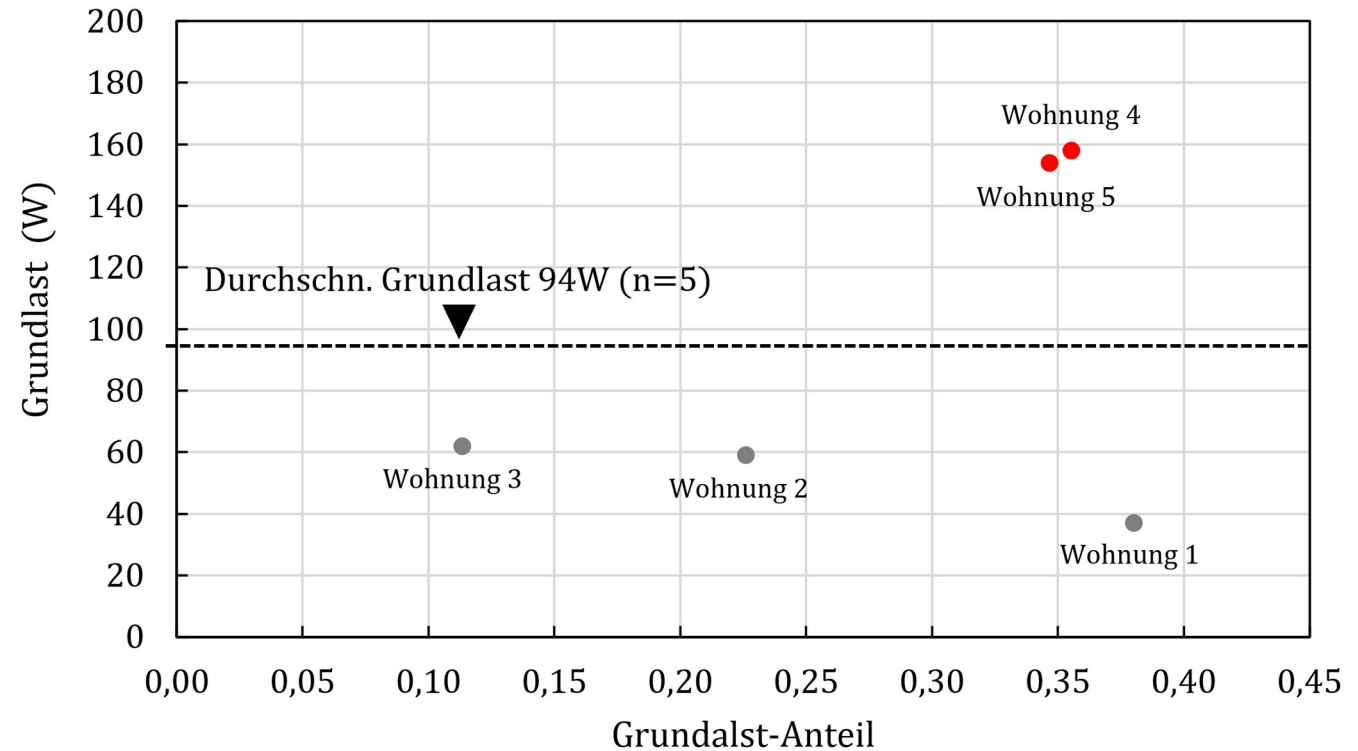
- Grundlast ist die permanente minimal anliegende Last
- Grafische Ermittlung anhand der Aktiv- und Ruhephasen
- Ergebnisse zur Reflexion mit Teilnehmenden in Leitfadeninterviews
  - Hohe Grundlast deutet auf viele vermeidbare Standby-Verbräuche hin
  - Bietet Potenzial für abschaltbare Geräte



# Parametervergleich der Wohnungen

## Vergleich der berechneten Grundlast

- Grundlast ist die permanente minimal anliegende Last
- Grafische Ermittlung anhand der Aktiv- und Ruhephasen
- Ergebnisse zur Reflexion mit Teilnehmenden in Leitfadeninterviews
  - Hohe Grundlast deutet auf viele vermeidbare Standby-Verbräuche hin
  - Bietet Potenzial für abschaltbare Geräte

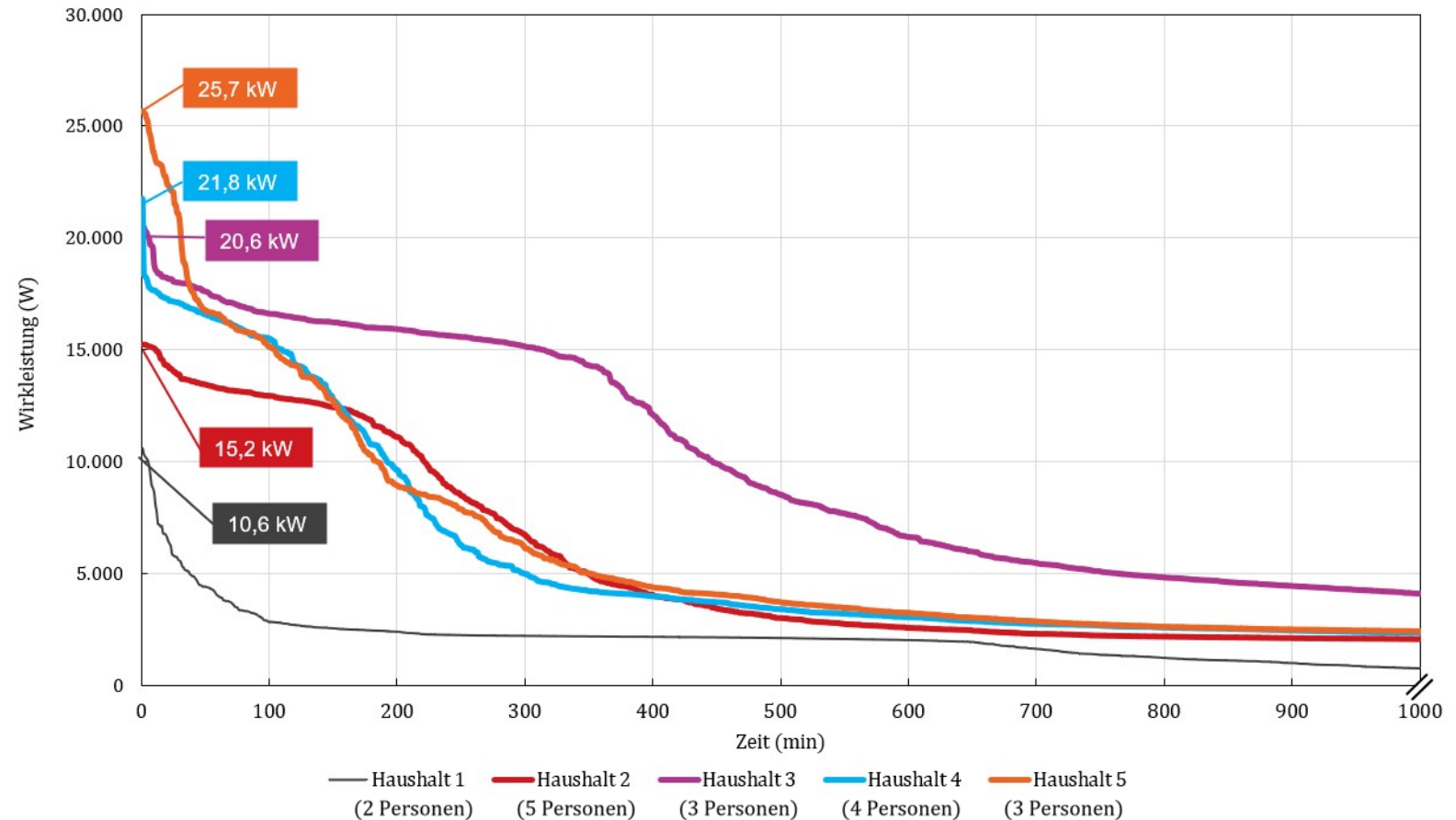




# Spitzenlastvergleich der Wohnungen

Unterschiedliches Spitzenlast-Verhalten erkennbar

- Sortierte Dauerlinie der Leistungswerte ermöglicht Beurteilung der Spitzenlast
- Größter elektrischer Verbraucher ist der Durchlauferhitzer (Einstellung der Temperatur möglich)
- Höhe der Lastspitzen und Dauer der Spitzenlast-Niveaus geben Aufschluss über Nutzerverhalten
- Wohnungen mit höchster Grundlast weisen auch höchste Lastspitzen auf



# Entwicklung eines Feedbackbogen aus Messdaten

## Indirektes Feedback zum Stromverbrauch

- Wöchentlicher und jährlicher Stromverbrauch (kWh) inkl. Äquivalenzrelationen zur verständlichen Vermittlung
- Wöchentliche und jährliche Stromkosten (€)
- Durchschnittlicher täglicher Stromverbrauch und Wochentagsvergleich
- Efficiency-Scores zum jährlichen Stromverbrauch sowie individueller Grundlast
  - Ranking des Verbrauchs (Nudging-Ansatz)
  - Vergleich zu Durchschnittswert des Feldtests sowie zu Literaturwerten
- Aufklärung über höchste Verbrauchswerte (Lastspitzen)

**Ihre Stromverbrauchsinfos** Köln, 15.01.2024  
Liegenschaft: [ ] | Name: [ ] | Messzeitraum: 02.05.2023 - 31.05.2023

Ihr Stromverbrauch in der Woche beträgt durchschnittlich 81,5 kWh. Das entspricht hochgerechnet einem Jahresverbrauch von 4.240 kWh.

32,60 €/Woche<sup>1</sup> 119 km/Woche<sup>2</sup> 47 kg/Woche<sup>3</sup>  
1.696 €/Jahr<sup>1</sup> 6.180 km/Jahr<sup>2</sup> 2.442 kg/Jahr<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 40 ct/kWh, <sup>2</sup> 7 l/100 km, <sup>3</sup> 9,8 kWh/l, <sup>4</sup> 576 g/kWh

**Auch wenn es dunkel ist und Sie schlafen, verbrauchen einige Ihrer Geräte immer noch Strom.** Diese Leistung wird durch Geräte erzeugt, die dauerhaft eingeschaltet sind, auch wenn diese gerade nicht aktiv verwendet werden. Dazu gehören z.B. Kühl- und Gefrierschränke sowie andere elektrische Geräte im „Standby-Modus“. In der Wissenschaft wird diese Leistung als Grundlast bezeichnet. Wenn Sie diese Grundlast reduzieren, können Sie nicht nur Energie, sondern auch Geld sparen. Das ist besonders sinnvoll, da Sie viele elektrische Geräte in der Nacht oft gar nicht brauchen.

Im Schnitt liegt in Ihrem Haushalt eine Last von 154 W an. Sie verbrauchen im Jahr hochgerechnet ungefähr 1.350 kWh Grundlast (pro Tag: 3,7 kWh). Das bedeutet, dass ca. 32 % der jährlich verbrauchten Strommenge durch Geräte entstehen, die dauerhaft betrieben werden oder sich im Standby befinden.

Im Vergleich mit den anderen teilnehmenden Haushalten ist Ihre Grundlast hoch. Das kann darauf hindeuten, dass in der Nacht viele Geräte eingeschaltet oder im Standby sind, was zu einem entsprechend hohen Stromverbrauch führen kann.

Ø 94 W (n=5, Rochusstraße 309)

Ihr Haushalt: 154 W

Die jährlichen Stromkosten, die durch diese Geräte entstehen, liegen bei etwa 540 €.

Falls Sie Ihren Grundlastverbrauch und damit auch Ihre Kosten reduzieren möchten, können Sie in einem ersten Schritt prüfen, welche Geräte dauerhaft aktiv sind und ob Sie auf diese in der Nacht verzichten können. Geräte im Standby können z.B. durch Steckerleisten vollständig ausgeschaltet werden. Darüber hinaus kann es sinnvoll sein, alte, ineffiziente Geräte gegen moderne austauschen.

Mittele Messsteckdosen können Sie schnell und simpel Ihre Stromfresser unter den Geräten ermitteln.

**Fragen an Sie:**

1. Auf welcher Temperatur ist Ihr Durchlauferhitzer aktuell eingestellt?
2. Wie viel ct/kWh zahlen Sie aktuell für Ihren Strom (Arbeits-, Grundpreis)?
3. Haben Sie ein Gefühl, welche Geräte neben dem Durchlauferhitzer zu einem hohen Stromverbrauch beitragen?

**Unter der Woche** verbrauchen Sie am Freitag den wenigsten Strom. Den meisten Strom verbrauchen Sie dagegen am Samstag und Dienstag, wie in der Grafik unten zu sehen ist.

Ø Stromverbrauch in der Woche (Mai 2023)

Tag	Stromverbrauch (kWh)
Montag	10,78
Dienstag	12,62
Mittwoch	10,94
Donnerstag	11,87
Freitag	9,74
Samstag	13,10
Sonntag	12,48

Im Vergleich mit anderen Haushalten entspricht Ihr Stromverbrauch der **Stromspiegel-Klasse D** [1]. Das bedeutet, dass Ihr Verbrauch im Durchschnitt mit vergleichbaren Haushalten bzw. leicht darüber liegt. Dies zeigt auch der direkte Vergleich mit Referenzhaushalten [2] und den anderen teilnehmenden Haushalten aus der Feldstudie:

Ø 1.150 kWh [2]

Ihr Haushalt: 1.413 kWh

Ø 1.031 kWh (n=5, Rochusstraße 309)

In einer ersten Umfrage schätzten Sie Ihren Stromverbrauch als eher hoch ein.

Die **Spitzenlast** entsteht durch kurzfristige intensive Stromnutzung, besonders bei Geräten mit hohem Leistungsbedarf wie dem Durchlauferhitzer in Ihrem Haushalt. Dieser steigert den Leistungsbedarf bei Ihnen auf bis zu 25 kW.

Durch bewusste Veränderungen im Umgang mit diesen elektrischen Geräten können Sie den Stromverbrauch (kWh) senken. Dazu kann z.B. die Verringerung der eingestellten Temperatur und die Verkürzung der Warmwasserzeit hilfreich sein.



# Zusammenfassung & Ausblick



### **Positive Teilnehmenden-Rückmeldungen & Effekte:**

- Direktes Verbrauchsfeedback durch App-Visualisierung (spielerisch Verständnis & Optimierung)
- Mietende zeigen Interesse und sind gesprächsbereit
- Beobachtete Verhaltensänderungen und gesteigerte Aufmerksamkeit

### **Negative Rückmeldungen aufgrund von technischen Einschränkungen:**

- Echtzeit-Visualisierung der Daten zeitweise nicht möglich
- Interesse geht verloren aufgrund von Erreichbarkeitsproblemen des Dashboards

### **Beurteilung der Datenerhebung**

- Kurzzeitmessungen von vier bis acht Wochen wurden durchgeführt (Feldtest 1 & 2)
- Keine Langzeiteffekte sichtbar (Saisonale Einflüsse)

### **Datenauswertung der Stromverbräuche**

- Entwicklung von Parametern zum energetischen Vergleich der Wohnungen und Umsetzung in Feedbackbogen
- Effektivität des Feedbacks durch Leitfadeninterviews mit Teilnehmenden zu überprüfen



# Fragekategorien für Leitfadeninterview

Verbessert Transparenz durch digitale Technik das Verständnis für den eigenen Stromverbrauch?

Fragekategorien	Zentrale Fragen
Motivation	<ul style="list-style-type: none"><li>• Welches Interesse besteht am Feedback zum Stromverbrauch?</li><li>• Warum beteiligen sich die Haushalte an der Studie?</li><li>• Welche Erwartungen haben die Teilnehmenden?</li></ul>
Wahrnehmung	<ul style="list-style-type: none"><li>• Wie nehmen die Haushalte das Feedback (direkt und indirekt) wahr?</li><li>• Ist es inspirierend sich mit den eigenen Stromverbräuchen zu beschäftigen?</li><li>• Macht die App Freude? / Gibt es Überraschungen?</li></ul>
Bewertung	<ul style="list-style-type: none"><li>• Wie bewerten die Haushalte das Feedback?</li><li>• Wie wird der eigene Stromverbrauch eingehordnet?</li><li>• Können bestimmte Geräte zugeordnet werden?</li><li>• Kann Verhalten abgeleitet werden?</li></ul>
Wirkung	<ul style="list-style-type: none"><li>• Welche Wirkungen hat die Visualisierung der Stromverbräuche?</li><li>• Welche Gefühle werden ausgelöst?</li><li>• Sind Änderungen wünschenswert?</li></ul>
Handlungsbereitschaft	<ul style="list-style-type: none"><li>• Werden Maßnahmen zum Einsparen geplant? Umgesetzt?</li><li>• Gibt es Änderungen im Stromverbrauchsverhalten?</li></ul>





## Danksagung

Wir danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) für die Förderung dieses Projektes *MEnergie – Meine Energiewende* (Förderkennzeichen: 03EI5223A).

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

**Tobias Rehm**, M.Sc.  
Technische Hochschule Köln  
[tobias.rehm@th-koeln.de](mailto:tobias.rehm@th-koeln.de)  
+49 0221 8275 2417



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

A. Podgornik, B. Sucic und B. Blazic, "Effects of customized consumption feedback on energy efficient behaviour in low-income households," *Journal of Cleaner Production*, Jg. 130, S. 25–34, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.02.009.

M. Klobasa, J. Schleich und S. Gölz, "Welche Einspareffekte lassen sich durch Smart Metering erzielen: Ergebnisse eines Feldversuchs," in *Tagungsband EnInnov 2012*. Zugriff am: 23. Januar 2024. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.tugraz.at/fileadmin/u-ser\\_upload/Events/Eninnov2012/files/lf/LF\\_Klobasa.pdf](https://www.tugraz.at/fileadmin/u-ser_upload/Events/Eninnov2012/files/lf/LF_Klobasa.pdf)

E. Aydin, D. Brounen und N. Kok, "Information provision and energy consumption: Evidence from a field experiment," *Energy Economics*, Jg. 71, S. 403–410, 2018, doi: 10.1016/j.eneco.2018.03.008.

Zangheri, Serrenho und Bertoldi, "Energy Savings from Feedback Systems: A Meta-Studies' Review," *Energies*, Jg. 12, Nr. 19, S. 3788, 2019, doi: 10.3390/en12193788.

K. Carrie Armel, A. Gupta, G. Shrimali und A. Albert, "Is disaggregation the holy grail of energy efficiency? The case of electricity," *Energy Policy*, Jg. 52, S. 213–234, 2013. doi: 10.1016/j.enpol.2012.08.062. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512007446>