



WISE
Smart Metering KMU

Technology
Arts Sciences
TH Köln

Energiesystemanalyse mit mobiler Messtechnik: Systematische Auswertung von Messkampagnen in KMU und öffentlichen Gebäuden

Lukas Hilger¹, Prof. Dr. Thorsten Schneiders¹, Prof. Dr. Frank Scholzen²

¹TH Köln | ²University of Luxembourg

Graz, 14.-16.02.2024

18. Symposium Energieinnovation (EnInnov2024)

Gefördert durch:

Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



1. Hintergrund & Motivation

Energieeffizienz in KMU und öffentlichen Gebäuden

Standardisierung der Datenanalyse für Kurzzeitmessungen

2. Methodik

Vorstellung des Mess- und Analysekonzeptes

3. Ergebnisse

Vorstellung der Messkampagnen

Anwendung der Disaggregationsanalysen und Lastprofil-Charakterisierung

Standardisierung der Datenanalyse

4. Zusammenfassung & Ausblick

Hintergrund & Motivation



KMU und öffentliche Gebäude

- KMU haben oft keinen Zugang zu grundlegenden Energiedaten und verfügen nicht über ausreichende Informationen über ihre Energiekosten [1]
- Ohne Sensoren und Messeinrichtungen sind KMU „data poor“ und haben keine Transparenz über ihre Energie- und Lastflüsse [2]
- Auch in öffentlichen Gebäuden fehlen häufig die Ressourcen und das Know-How, um Energieeinsparpotenziale aufzudecken [3]

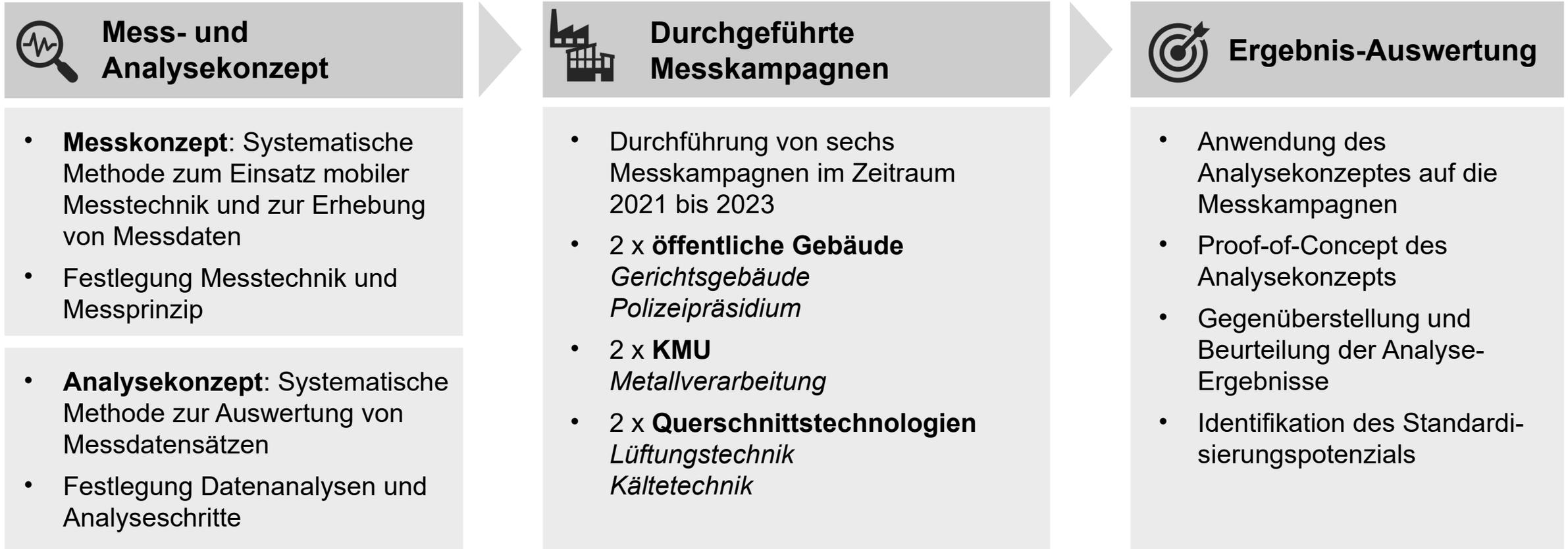
▶ Smart Metering und Energiemonitoring

- Verbesserung der Informationsbasis für KMU und öffentliche Gebäude durch Erfassung, Visualisierung und Analyse hochaufgelöster Energieverbrauchsdaten [4]
- Aufgrund des zeitl. Aufwands wird Messtechnik bisher nicht standardmäßig in für Energiesystemanalysen eingesetzt [5]

▶ Lösungsansatz

- Systematische Energiesystemanalyse mit **mobiler Messtechnik**
- Entwicklung eines universellen Mess- und Analysekonzeptes für den Einsatz mobiler Messtechnik (spezifiziert auf elektrische Leistungsmessungen)

Standardisierung der Datenanalyse für Kurzzeitmessungen

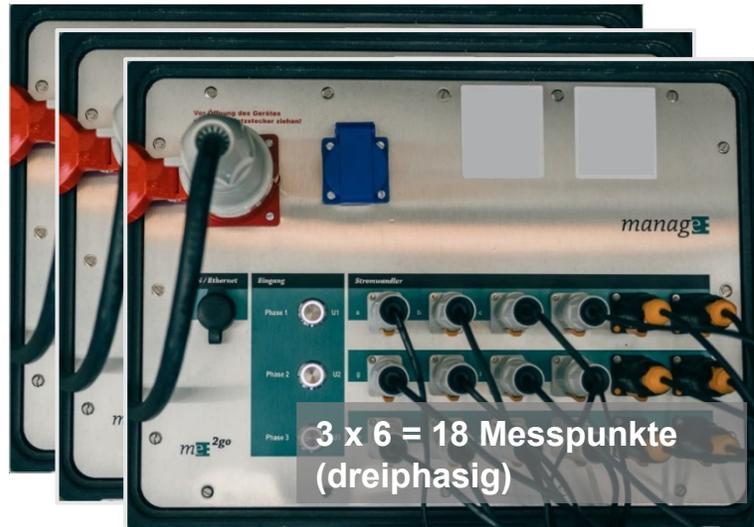


Zielsetzung: Identifikation eines universell anwendbaren Ansatzes zur Auswertung von Kurzzeitmessungen

Methodik

Messequipment

- Mobile Messkoffer zur Wirkleistungsmessung
- Je Koffer werden sechs Messpunkte parallel erfasst (je Messpunkt drei Phasen)



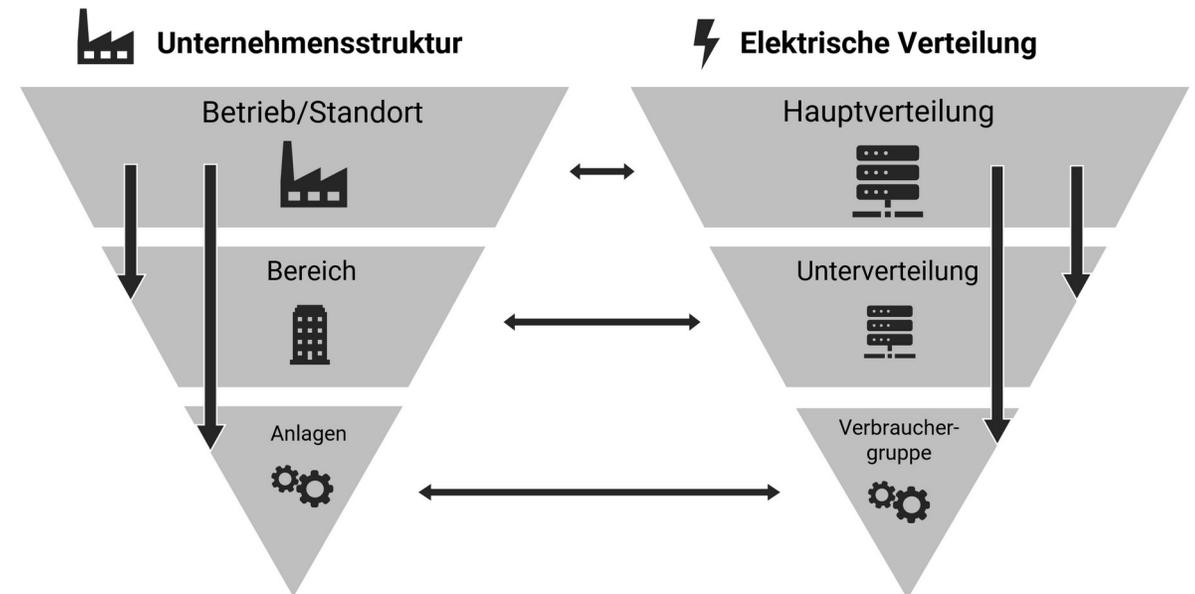
Kabelumbau-
Stromwandler



Rogowski-
Spulen

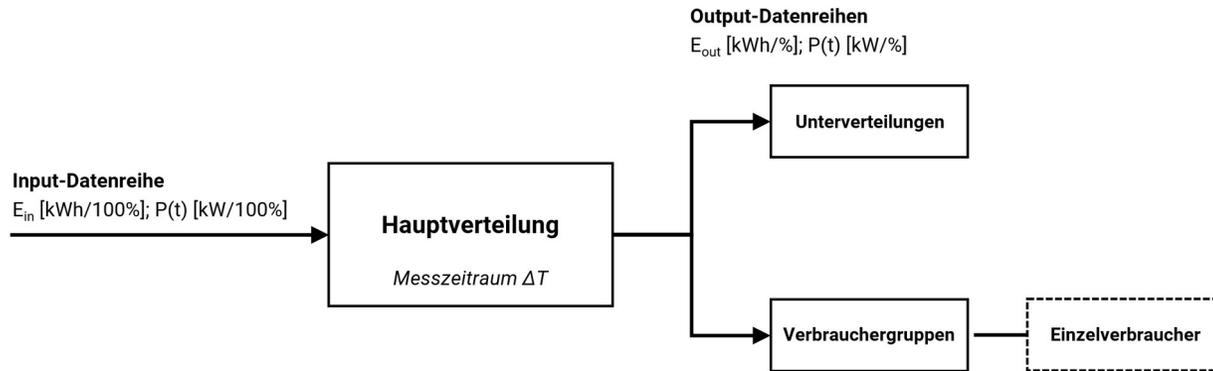
Messprinzip und -prioritäten

- Top-Down-Messprinzip: stufenweise Zuordnung des Stromverbrauchs ausgehend von der elektrischen Hauptverteilung [6]



- Priorisierung nach Typ (Unterverteilung, Verbrauchergruppe) und Größe der Messpunkte
- Messzeitraum 1-4 Wochen

Messdatensatz



Datenanalysen

Disaggregationsanalysen

Schaffung von Transparenz und Identifikation relevanter Stromverbraucher

- ▶ Verbrauchsdisaggregation
- ▶ Grundlast-Disaggregation
- ▶ Lastspitzen-Disaggregation

Statistische Parameter

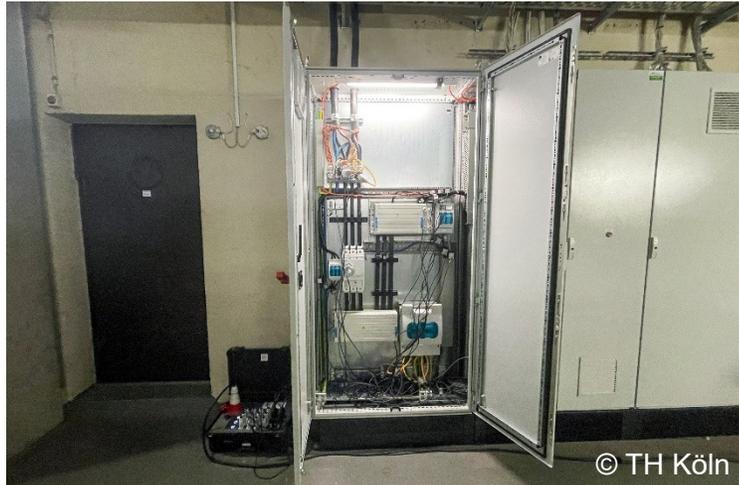
Beurteilung des Last- und Betriebsverhaltens der erfassten Datenreihen

- ▶ Lastprofil-Charakterisierung

	Input			Output	
Zeitstempel	HV _n (kW)	UV _n (kW)	...	VG _n (kW)	
t ₁	P _{HV} (t ₁)	P _{UV} (t ₁)	...	P _{VG} (t ₁)	
...	
t ₂	P _{HV} (t ₂)	P _{UV} (t ₂)	...	P _{VG} (t ₂)	

Messdatenaufösung: 15min

Ergebnisse



Vorstellung der Messkampagnen

Überblick und Einordnung durchgeführter Messkampagnen

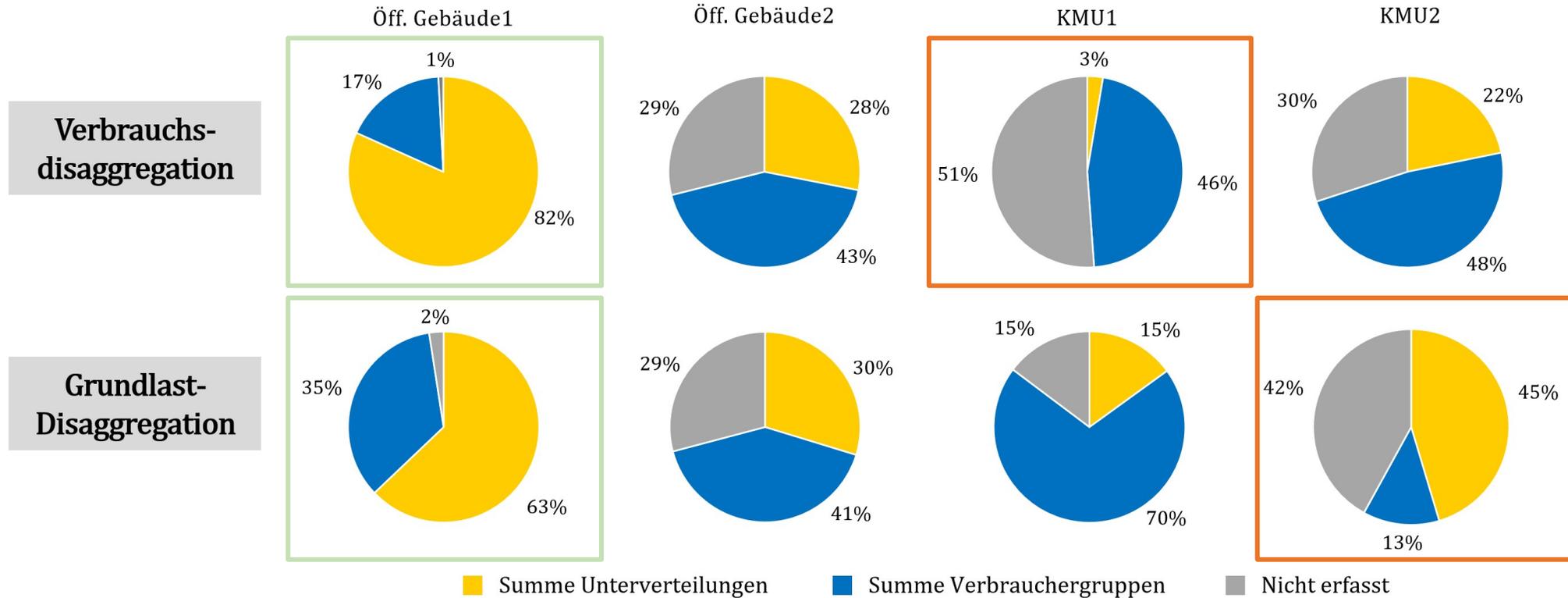
Messobjekt	Stromverbr. (GWh/a)	Messreihen	Messzeitraum (Tage)	Messlokationen (input)			Messpunkte (output)			Summe
				HV	UV	VG	HV	UV	VG	
Öff. Gebäude1	~ 1,0	1	35	1	-	-	-	7	4	12
Öff. Gebäude2	~ 3,5	3	17+7+18	6	2	-	3	29	20	60
KMU1	~ 0,2	1	15	2	-	-	-	6	11	19
KMU2	~ 0,4	1	8	3	-	-	2	4	9	18
QT1*	-	1	22	-	1	-	-	-	5	6
QT2*	-	1	34	-	-	1	-	-	2	2

*Querschnittstechnologie

- Unterschiedliche Größen der Messobjekte zur Validierung des Messkonzeptes
- Komplexität steigt mit Anzahl erforderlicher Messlokationen
- Insgesamt wurden in den Messkampagnen durch die Anwendung des Messkonzeptes bis zu 60 Messpunkte (dreiphasig) erfasst

Anwendung der Disaggregationsanalysen

Verbrauchs- und Grundlast-Disaggregation

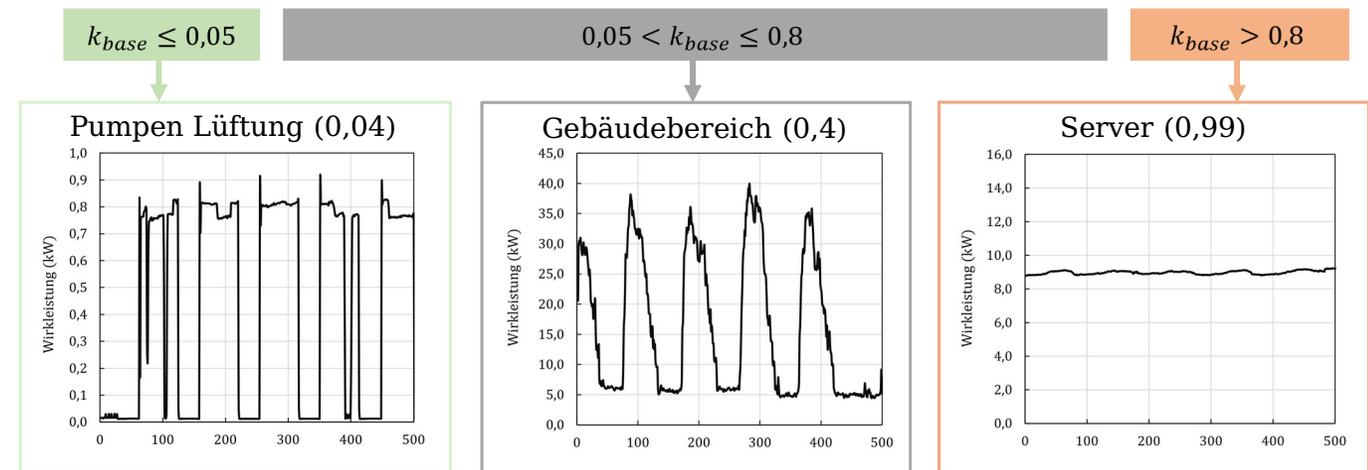
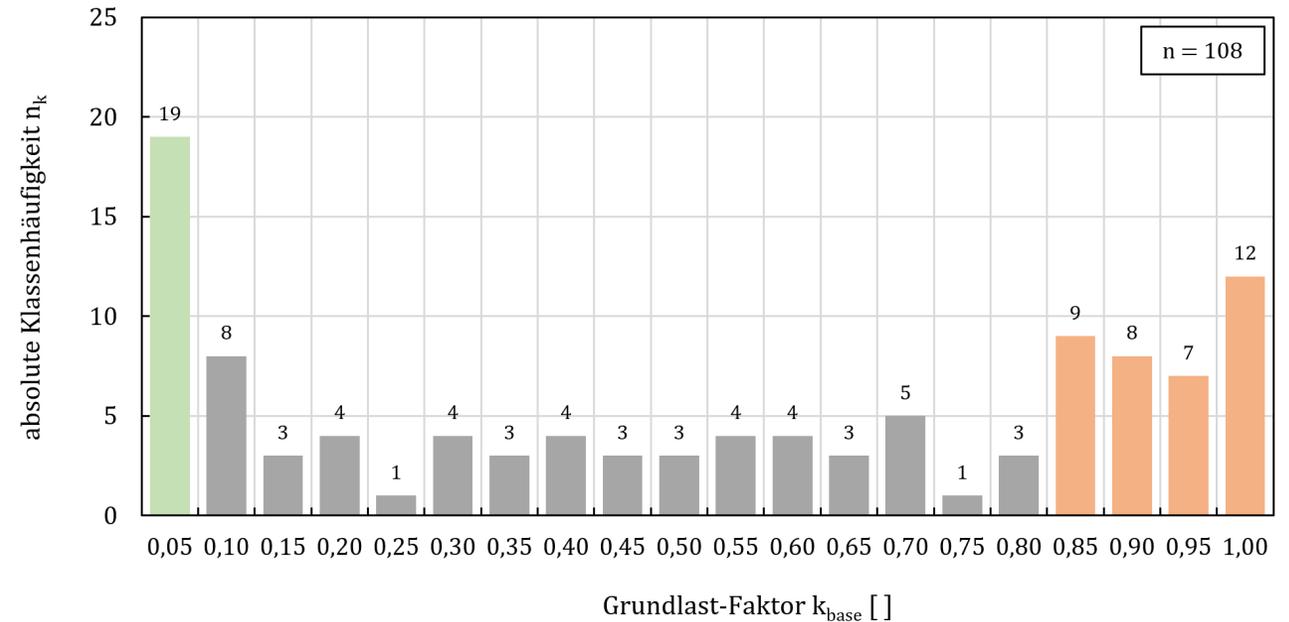


- **Limitationen:** Technische Einschränkungen (u.a. limitiertes Messequipment) und bauliche Gegebenheiten (Platzbedarf Sensorik)
- Größte identifizierte Messpunkte: Gebäudebereiche, Kälte- und Klimatechnik, Produktionsmaschinen
- Größte identifizierte Grundlast-Verbraucher: Server, Kälte- und Klimatechnik, Kompressoren

Grundlast-Faktor

$$k_{base} = \frac{P_{base} \times \Delta t}{E} \quad (0 < k_{base} < 1)$$

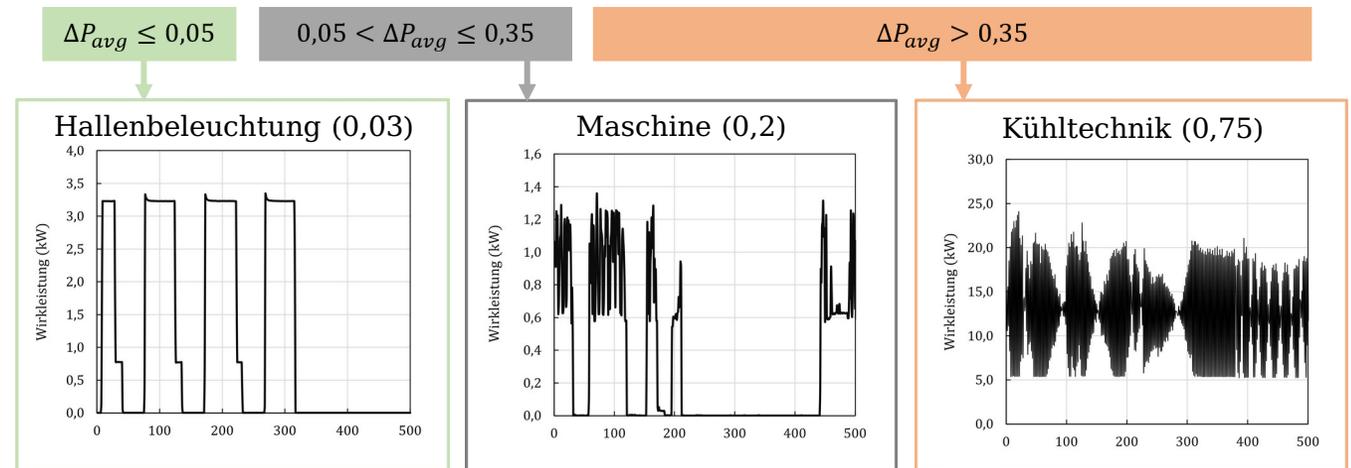
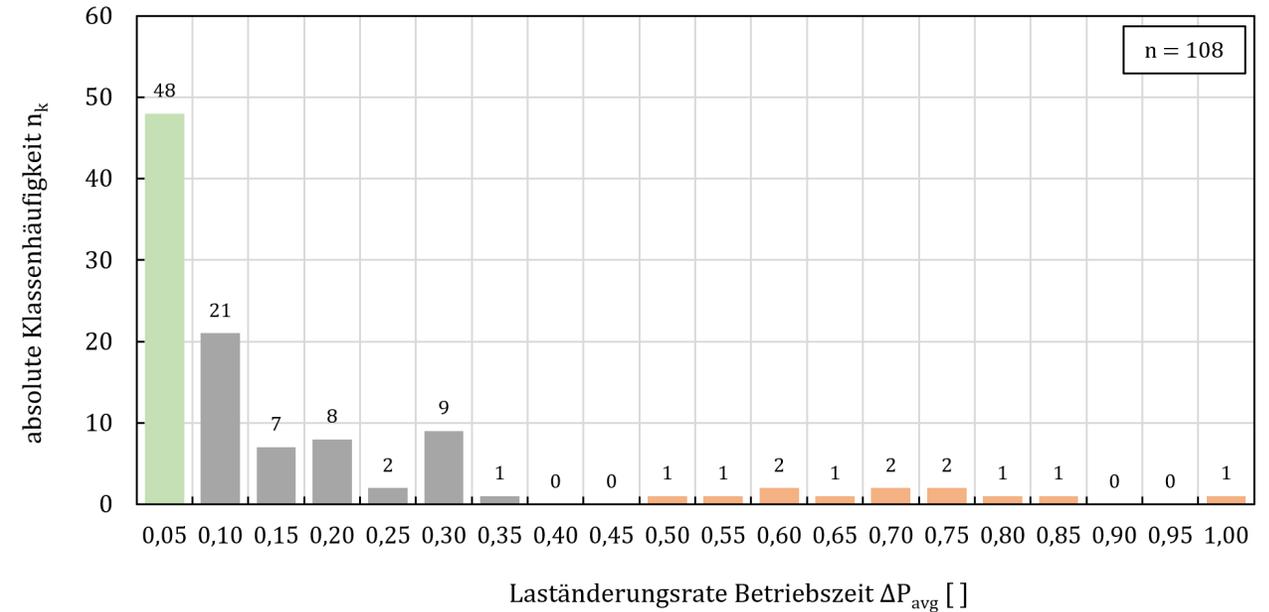
- Maß für den Anteil des Grundlastverbrauchs am Gesamtstromverbrauch der Datenreihe
- : Indikator für Datenreihen mit geringem oder keinem Standby-Verbrauch während des Ruhezeitfensters
- : Indikator für Datenreihen mit hohen Vollbenutzungsstunden (Grundlast-Verbraucher)
- Kombination mit Absolutwert (mittlere Grundlast) zur Identifikation von Messpunkten, die die Gesamtgrundlast maßgeblich beeinflussen



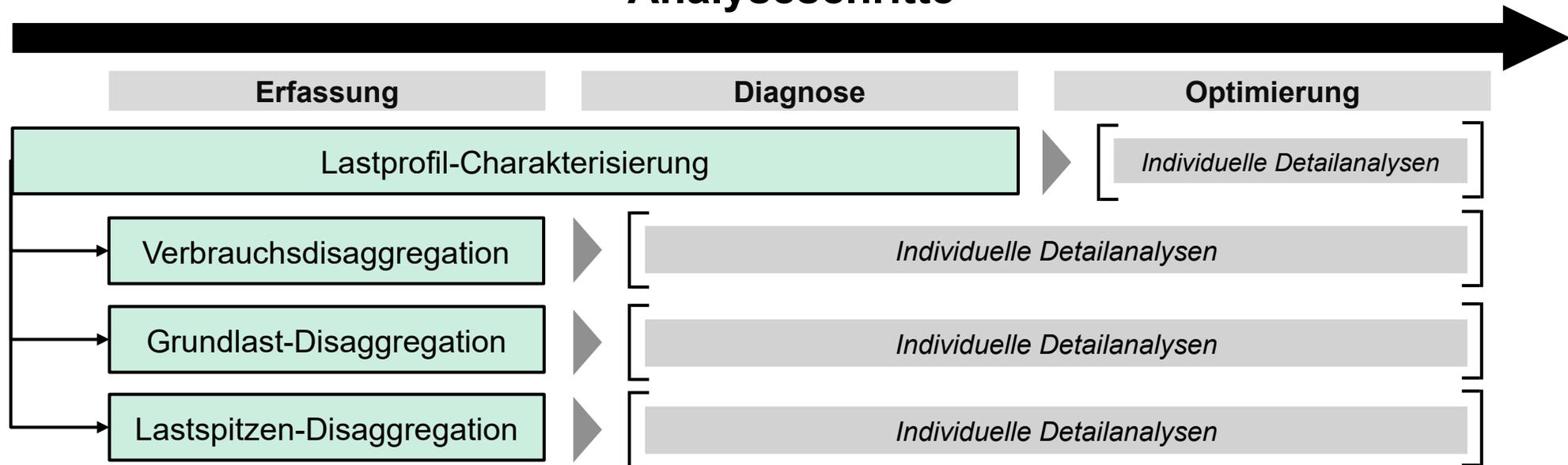
Laständerungsrate

$$\Delta P_{avg} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - x_{i-1}|}{\bar{x}} \quad (0 < \Delta P_{avg} < 1)$$

- Maß für die mittlere Laständerung aufeinander folgender Leistungswerte einer Datenreihe
- : Indikator für Datenreihen mit statischem Lastverhalten ohne hohe Lastgradienten (Rampen)
- : Indikator für Datenreihen mit sehr dynamischen, zyklisch taktenden Lastverhalten
- Kombination mit Absolutwert (mittlerer Lastgradient) zur Identifikation von Messpunkten, deren Laständerung sich maßgeblich auf das Gesamtlast-profil des Messobjektes auswirkt



Analyseschritte



- Die **Disaggregationsanalysen** dienen zunächst zur Identifikation relevanter Stromverbraucher und Bereiche sowie Grundlast- und Lastspitzen-Verbrauchern
- Die **Lastprofil-Charakterisierung** ermöglicht eine schnelle Identifikation von Auffälligkeiten durch Beurteilung der Lastcharakteristik
- An die standardisierten Datenanalysen schließen sich **individuelle Detailanalysen** an

Zusammenfassung & Ausblick

- Durchführung von sechs Messkampagnen (2021 bis 2023) in öffentlichen Gebäuden, KMU und Querschnittstechnologien zur Schaffung von Transparenz über die Energie- und Lastflüsse
 - Die Anwendung der **Disaggregationsanalysen** auf die Messobjekte ergab eine Aufschlüsselung von über 70% des Gesamtstromverbrauchs bzw. der Gesamtgrundlast selbst in größeren Messobjekten
 - Die **Lastprofil-Charakterisierung** ermöglicht eine automatisierte, parameterbasierte Beschreibung des Lastverhaltens
 - Das limitierte Messequipment sowie bauliche Gegebenheiten können die Aussagekraft der Datenanalysen einschränken
 - Eine **Standardisierung** der Datenanalyse ist v.a. für den Analyseschritt „Erfassung“ und teilweise auch für „Diagnose“ möglich
- Next-Steps:
- Ausarbeitung weiterer Datenanalysen (u.a. Lastspitzen-Disaggregation), zugehöriger Parameter (z.B. Lastspitzen-Faktor) und Parametervergleiche



WISE
Smart Metering KMU

Technology
Arts Sciences
TH Köln



“Wenn man das, worüber man spricht, messen und in Zahlen ausdrücken kann, weiß man etwas darüber; wenn man es aber nicht messen kann, wenn man es nicht in Zahlen ausdrücken kann, ist das Wissen dürftig und unbefriedigend. – Lord Kelvin (1883)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



M.Sc. Lukas Hilger
Technische Hochschule Köln
lukas.hilger@th-koeln.de
+49 0221 8275 4547

Gefördert durch:

Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



- [1] K.B. Janda, C. Bottrill and R. Layberry, „Learning from the data poor: energy management in understudied organizations“, *Journal of Property Investment & Finance*, vol. 32, no. 4, pp. 424-442, 2014.
- [2] A. Mickovic and M. Wouters, „Energy costs information in manufacturing companies: A systematic literature review“, *Journal of Cleaner Production*, vol. 254, p. 119927, 2020.
- [3] dena, Den Kommunen das Energiesparen erleichtern,
<https://www.dena.de/themen-projekte/energieeffizienz/gebäude/sanierungsstrategien-und-immobilienwirtschaft/oeffentliche-hand-kommunen/>
- [4] N. Efkarpidis, M. Geidl, H. Wache, M. Peter, und M. Adam, *Smart Metering Applications*. Springer International Publishing, 2022
- [5] *VDI 3922: Energieberatung – Energieberatungsprozess und –methoden*, 2021
- [6] M. Helfert, P. Schraml, „*Leitfaden: Monitoring von Energieeffizienzmaßnahmen*“, 2021