EBZ Business School
University of Applied Sciences

die Immobilien-hochschule

Einflüsse des Nutzerverhaltens auf die Energienutzung

35. GLT-Anwendertagung 2023

Andre Beblek M. Sc.

Vorstellung Andre Beblek

EBZ Business School
University of Applied Sciences
die Immobilien-hochschule

- Seit 7/2017: Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der EBZ Business School GmbH im Team von Prof. Dr.-Ing. Viktor Grinewitschus
- Vorher: Tätigkeit in Ingenieurbüros, Durchführung von Energieaudits sowie Untersuchung der Energieeffizienz der Gebäudetechnik
- Seit 2019: Seminar- und stellvertrender Lehrgangsleiter im VDI-Zertifikatslehrgang „Fachingenieur Gebäudeautomation“
- Forschungs- und Promotionsschwerpunkt: Einfluss des Gebäudenutzers auf die Effizienz der Betriebsführung der Gebäudetechnik

Themenschwerpunkte und Kernfragen

EBZ Business School
University of Applied Sciences
die Immobilien-hochschule

- Welche Möglichkeiten hat der Gebäudenutzer, Einfluss auf den Energieverbrauch zu nehmen?
- Berechneter Energiebedarf und gemessener Energieverbrauch: Wieso gibt es hier eine Diskrepanz, wie lässt sich die ermittelte Differenz erklären und wovon hängt diese ab?
- Welche Maßnahmen gibt es, den Gebäudenutzer beim energieeffizienten Verhalten zu unterstützen und wie sind die energetischen Auswirkungen bei unterschiedlichen Verbrauchstypen?
- Wie lässt sich der Gebäudenutzer in die Betriebsführung der Gebäudetechnik einbinden, wie lässt sich der Informationsfluss in die Gebäudeautomation integrieren?

Möglichkeiten des Nutzers, in die Gebäuderegelung einzugreifen

EBZ Business School
University of Applied Sciences
die Immobilien-hochschule

- Einstellen angemessener Sollwerte der Temperatur beim Heizen und Kühlen.
- Aktives Ein- und Ausschalten der Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlagen sowie der elektrischen Verbraucher nach Bedarf.
- Begrenzung der Klimatisierung auf aktuell benutzte Räume. Entsprechende Räume und Zonen voneinander trennen (Türen schließen).
- Bedarfsorientiertes Lüften, um die Luftqualität zu steigern.
- Jalousien je nach Anwendungsfall (Als Blende, Verschattung, Sonnenstrahlen im Winter) nutzen.

	vom Nutzer beeinflussbar	Relevanz für den Energiebedarf
Raumtemperatur	direkt	++
Fensterlüftung	direkt	++
Anlagenluftwechsel	direkt/indirekt	+
Teilbeheizung	direkt	++
Innere Wärmequellen	indirekt	+
Belegungsdichte / Personenanwesenheit	indirekt	+
Elektroenergieverbrauch	direkt	+
Verschattung / Verschmutzung	direkt	+
Warmwasserverbrauch	direkt	++
Anlagenregelung	indirekt	+

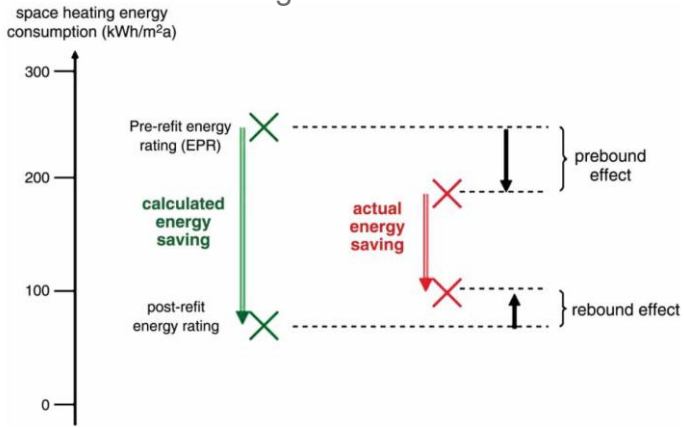
Quelle: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen. BBSR-Online-Publikation 04/2019, Bonn, März 2019.

Prebound- und Rebound-Effekt

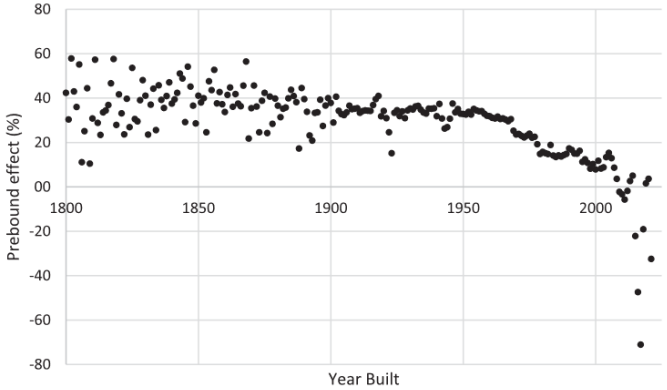
EBZ Business School
University of Applied Sciences
die Immobilien-hochschule

Der Vergleich der berechneten Energiekennwerte zeigt in vielen Untersuchungen eine Diskrepanz zu dem realen, gemessenen Verbrauch. Dabei sind zwei Effekte sichtbar:

- Rebound-Effekt: Der gemessene Energieverbrauch in einem Gebäude, z.B. nach einer Sanierung, ist höher als der rechnerische Bedarf.
- Prebound-Effekt: Der gemessene Energieverbrauch, vor allen Dingen in Gebäuden mit schlechten Energiekennwerten, ist geringer als der berechnete Bedarfswert, je nach Untersuchung wird der Prebound-Effekt auf bis zu 30-35 % beziffert.
- Ein Teil der Diskrepanz lässt sich bspw. mit unzureichenenden Annahmen bei der Bewertung der Bauphysik zurückführen, jedoch nicht vollständig.



Quelle: Minna Sunikka-Blank & Ray Galvin (2012) Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption, Building Research & Information, 40:3, 260-273, DOI: 10.1080/09613218.2012.690952



Prebound effect (Bedarf - Verbrauch/Bedarf), averaged by year of build, for houses for sale in Germany 2007–2021.

Quelle: Ray Galvin (2023): How prebound effects compromise the market premium for energy efficiency in German house sales, Building Research & Information, DOI: 10.1080/09613218.2023.2176284

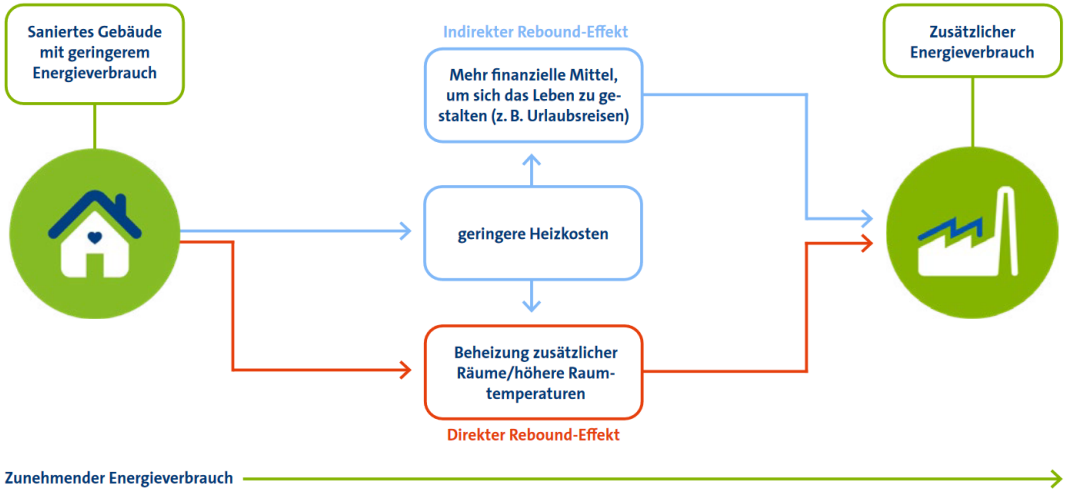
Prebound- und Rebound-Effekt

EBZ Business School
University of Applied Sciences

die Immobilien-hochschule

Je höher der Innovationsgrad bzw. die technische Ausstattung des Gebäudes, desto höher ist tendenziell der Rebound-Effekt. Zu unterscheiden sind dabei zwei Ausprägungen:

- Direkter Rebound-Effekt: Bspw. Beheizung vorher ungenutzter Räume, erhöhte Raumtempertatur durch höhere Komfortansprüche nach einer Sanierung.
- Indirekter Rebound-Effekt: Ersparnisse der Energiedienstleistung werden an anderer Stelle verbraucht, z.B: Flugreise statt Bahnfahrt in den Urlaub.



Quelle: ista Whitepaper: Rebound-Effekt: So beeinflusst das Nutzerverhalten den Energieverbrauch, Januar 2022

Nutzerassistenz durch Smart Home

EBZ Business School
University of Applied Sciences

die Immobilien-hochschule

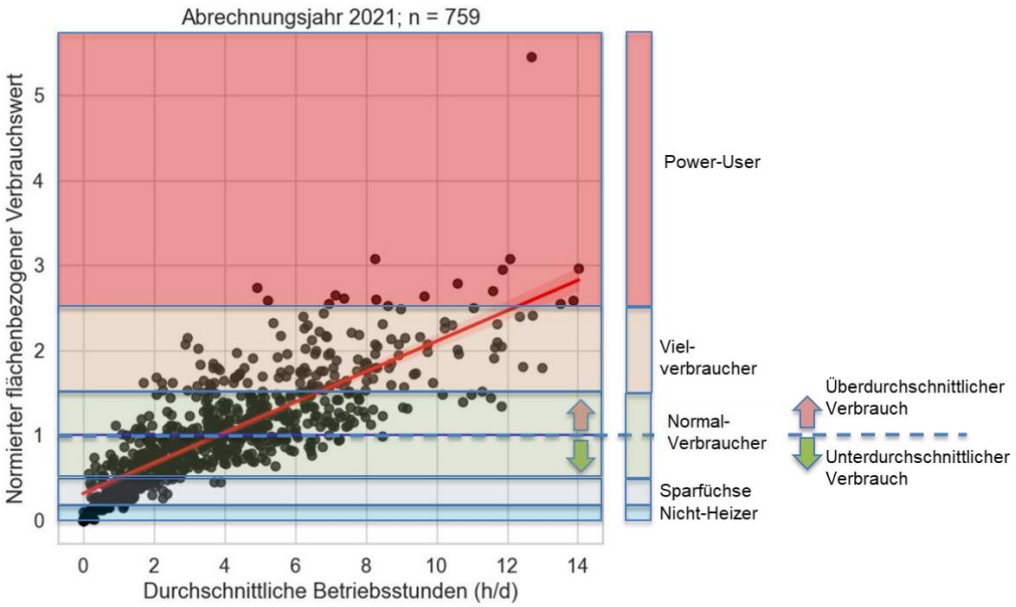
Power-User: Wenig sachgerechtes Lüften,keine Profilierung in den Raumtemperaturen, Smart Home-Systeme können wesentlichen Beitrag liefern.

Vielverbraucher: Verbrauche enthalten Anteil an ineffizientem Lüftungsverhalten, Nutzer profitieren von Zeitrprogrammen und Heizkörperabschaltung bei Fensteröffnung.

Normalheizer: relativ gleichmäßige Wärmeverteilung, Smart Home ermöglicht die Profilierung einzelner genutzter Räume.

Sparfüchse: Meist keine Verbrauchsreduzierung, sondern eher Komfortsteigerung durch Smart Home-Systeme möglich.

Nicht-Heizer: Quasi keine Betriebszeiten der Heizkörper, Verbrauch steigt durch Smart Home-Einsatz eher an, da zumindest eine grundlegende Temperaturprofilierung eingestellt wird.



Quelle: Abschlussbericht zum Vorhaben BaltBest: Einfluss der Betriebsführung auf die Effizienz von Heizungsaltanlagen im Bestand, Förderkennzeichen 03ET1616A, 2022

Nutzerassistenz durch Smart Home

EBZ Business School
University of Applied Sciences

die Immobilien-hochschule

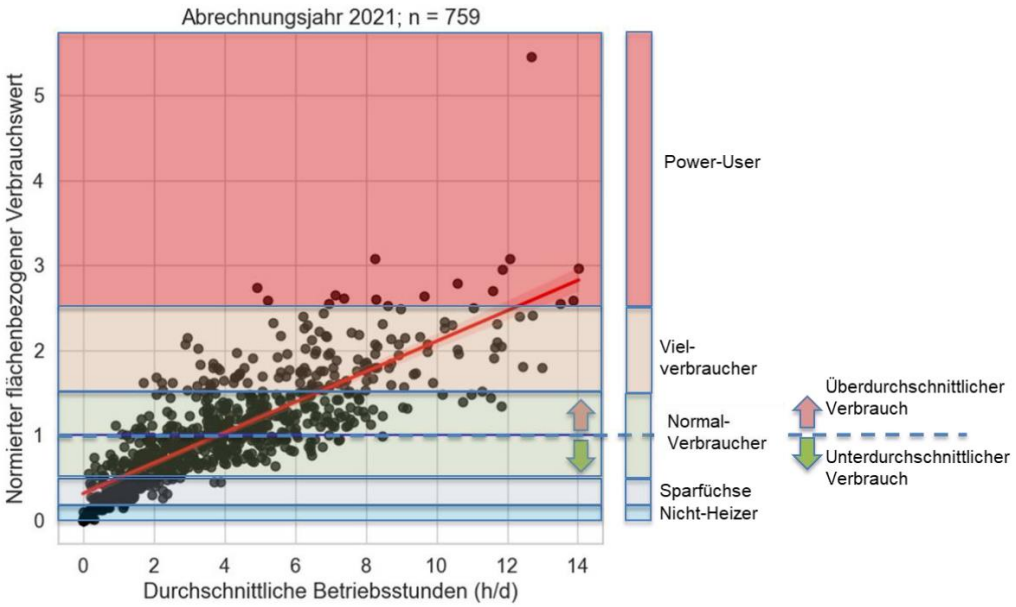
Auswirkung auf Wohnungsebene

Nutzergruppe	Anzahl der Wohnungen	Änderung des Verbrauches (witterungsbereinigt)
ausgestattete Nichtheizer	1	+8,8%
ausgestattete Geringverbraucher	2	+10,6%
ausgestattete Normalverbraucher	36	-6,7%
ausgestattete Vielverbraucher	7	-16,1%
nicht ausgestattete Referenzgruppe	10	+15,2%

Tabelle 4: Änderung der Energieverbräuche in den Gruppen nach Einbau der smarten Thermostate

Auswirkung auf Gebäudeebene

Nr. der Liegenschaft	Absoluter Verbrauch (vor Einbau) in kWh/m²	Änderung des Verbrauchs nach Einbau (witterungsbereinigt)
15	130,2	-7%
21	128,4	+0,13%
23	66141	+0,41%
47	106732	+1,21%
50	136865	-15%



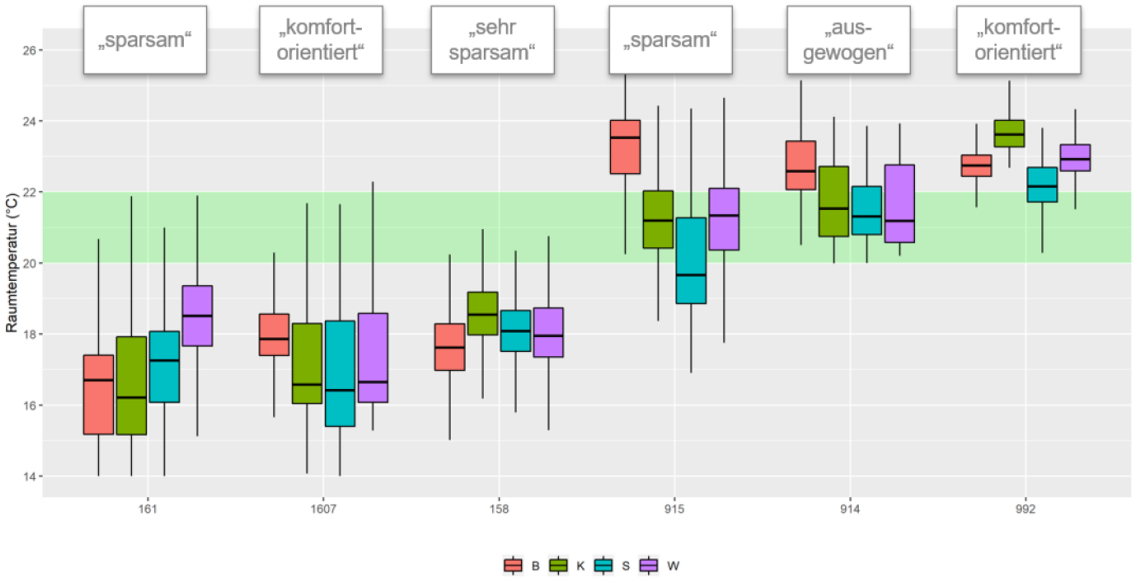
Quelle: Abschlussbericht zum Vorhaben BaltBest: Einfluss der Betriebsführung auf die Effizienz von Heizungsaltanlagen im Bestand, Förderkennzeichen 03ET1616A, 2022

Diskrepanz zwischen der Selbsteinschätzung und dem Energieverbrauch

EBZ Business School
University of Applied Sciences
die Immobilienhochschule

Die Selbsteinschätzung der Mieter über Ihr Verbrauchsverhalten entspricht häufig nicht dem realen Verhalten und dem Energieverbrauch:

- Die Einschätzungen der IDs 161 (sparsam),158 (sehr sparsam) und 992 (komfort-orientiert) stimmen mit den gemessenen Raumtemperaturen relativ gut überein.
- Die Einschätzungen der IDs 1607 (komfort-orientiert) und 915 (sparsam) passen nicht zu den realen Temperaturen und Verbräuchen.

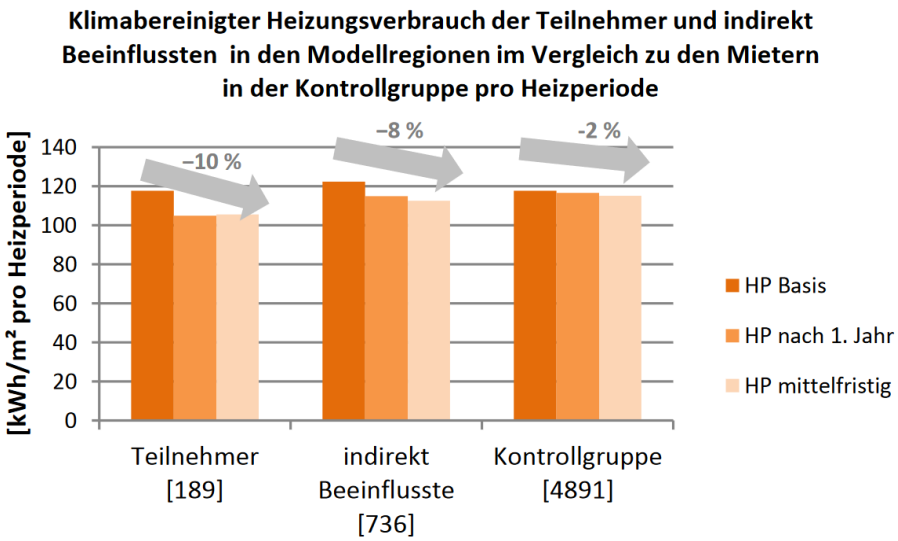


B: Bad (rot); K: Küche (grün); S: Schlafzimmer (türkis); W: Wohnzimmer (lila)

Modellvorhaben “Bewusst heizen, Kosten sparen“

EBZ Business School
University of Applied Sciences
die Immobilien-hochschule

- Projektpartner: dena, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), ista Deutschland GmbH, Deutscher Mieterbund e.V. (DMB)
- 189 teilnehmende Haushalte mit Zugang zum ista Energiedatenmanagement; Gesamtlaufzeit über mehrere Heizperioden (2013–2016); Verbrauch zwischen April und Oktober, Klimabereinigung gemäß VDI 3807 in drei Modellregionen (Essen, München, Berlin)
- Indirekt Beeinflusste: Gleiche Liegenschaft, für bewusstes Heizen sensibilisiert, aber keine monatlichen Verbrauchsinformationen zur Verfügung gestellt.



Quelle: dena-Modellvorhaben: Bewusst heizen, Kosten sparen; Abschlussbericht „Verbrauchsauswertung und Mieterbefragungen in den Heizperioden 2012 bis 2016“

Modellvorhaben
“Bewusst heizen, Kosten sparen“

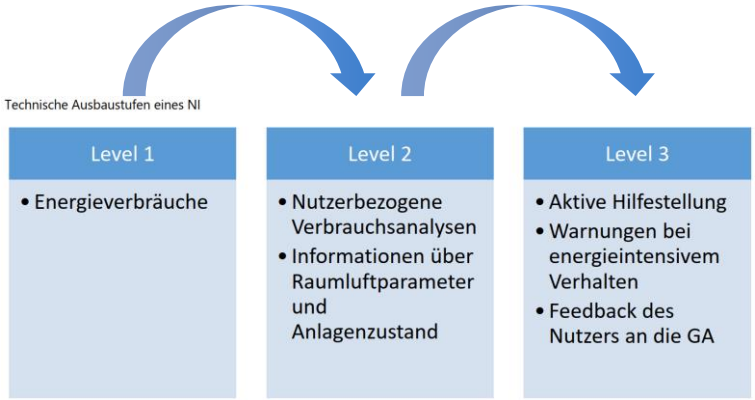
EBZ Business School
University of Applied Sciences
die Immobilien-hochschule

- Befragung zur Nutzung der Verbrauchsinformation und dem eigenen Wärmeverbrauch inkl. sozioökonomischer Faktoren (Alter, Einkommen etc.):
  - 90 Prozent der Mieter, die am Projekt teilnahmen, konnten Freunden und Kollegen grundsätzlich die Nutzung des Energiedatenmanagements empfehlen.
  - Mehr als 70 Prozent der Mieter haben ihren Umgang mit Heizenergie seit dem Projektstart effizienter gestaltet.
  - In den Gebäuden in den Modellregionen sank der Heizungsverbrauch im Durchschnitt um 8 Prozent.
  - Die Einsparungen wurden insbesondere im ersten Jahr realisiert und konnten über die nächsten Jahre weitgehend gehalten werden.
  - Breakeven der Dienstleistung ist ab einer Einsparung von 3 - 4 Prozent gegeben.

Mögliche Integration von Nutzern in den GA-Informationsfluss

EBZ Business School
University of Applied Sciences
die Immobilien-hochschule

- Level 1: Grundlegende Informationen zum Energieverbrauch sind in nahezu allen Liegenschaften verfügbar und bilden die Basis zum Nutzerfeedback.
- Level 2: Berücksichtigung personenbezogener Informationen (Präsenzsensoren, Türkontakte), Verbindung zwischen Handlungen im Raum und dem Energieverbrauch des Nutzers.
- Level 3: Aktiver Eingriff in die Handlungsanweisungen der Nutzer, Warnungen bei bei energieintensiven Handlungen (Dauerlüften), ggfs. Umkehr des Kommunkationsflusses: Rückmeldung der Nutzer bspw. als Sollwertvorgabe an die GA.



Quelle: Grinewitschus, Viktor; Fransen, Karsten; Jurkschat, Simon, 2022, Nutzerinformationssysteme zur Verbesserung der Gebäudeenergieeffizienz; BBSR-Online-Publikation 262/2022, Bonn.

Hindernisse bei der Nutzerinteraktion

EBZ Business School
University of Applied Sciences

die Immobilien-hochschule

Quelle: Eigene Aufnahme

Nutzerzentrierte Betriebsführung?

Raumtemperaturregler im Schrank:
Keine sinnvolle Messung der Ist-Raumtemperatur bei geschlossenem Schrank möglich

Quelle: Eigene Aufnahme

Nutzerzentrierte Betriebsführung?

Positionierung Thermostatventil:
Keine anwenderfreundliche Nachjustierung möglich

Zentrale Herausforderungen beim Anlagenbetrieb in Nutzgebäuden

EBZ Business School
University of Applied Sciences
die Immobilien-hochschule

1

Bürolage und Heizstränge - Überangebot an Heizenergie

Büros am gleichen Heizstrang haben unterschiedliche Raumtemperaturen (z.B. Nord-, Süd-Ausrichtung; Innenhof, Außenwand).

2

Absenkstrategien - Überangebot an Heizenergie

Fehlerhafte, witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung und fehlende Absenkung außerhalb der Arbeitszeit (Wochenende, Feiertage).

3

Beschwerdemanagement - Überangebot an Heizenergie

Einige Büronutzer*innen empfinden das Raumklima als zu kalt und informieren das FM – um Konflikte zu vermeiden wird z.T. die Temperatur erhöht.

ComfortLab: Lösung

EBZ Business School
University of Applied Sciences
die Immobilien-hochschule

Relevantes auf einen Blick

ENERGIEVERBRAUCH

Effizienz der Betriebsführung

KOMFORT

Wohlbefinden der Mitarbeiter:innen

BESCHWERDE-MANAGEMENT

Transparenz und Interpretation der Beschwerden

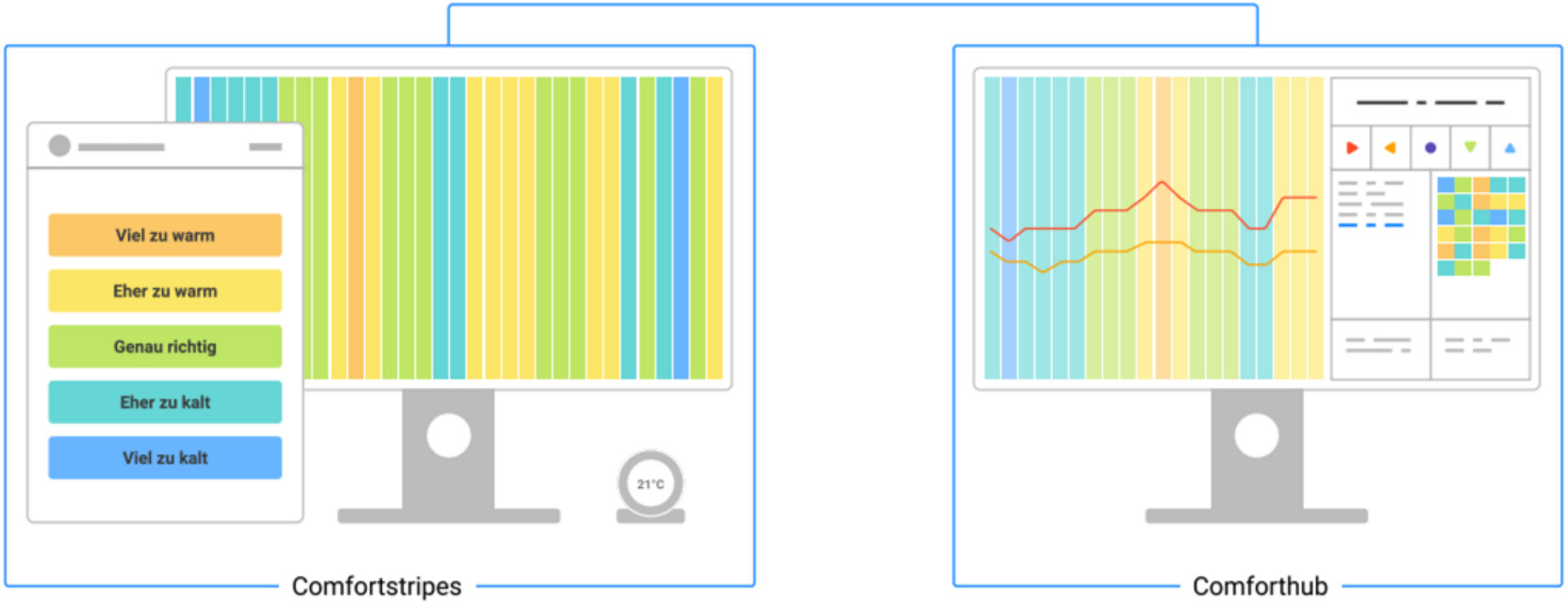
Wuppertal Institut | EBZ Business School University of Applied Sciences | IBG

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

Unterstützt durch:
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

ComfortLab: Bestandteile

EBZ Business School
University of Applied Sciences
die Immobilien-hochschule



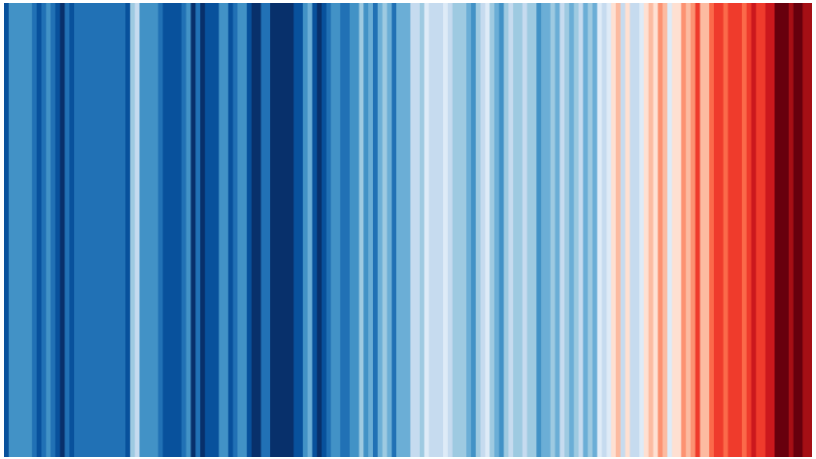
Hintergrund: Warming Stripes und Comfort Stripes

EBZ Business School
University of Applied Sciences
die Immobilien-hochschule

Im Jahr 2016 entwickelte der Klimaforscher Ed Hawkins eine Visualisierung, um die Folgen des Klimawandels einfach und intuitiv erfahrbar zu machen.

Er wandelte die Temperaturwerte der letzten 100 Jahre in farbige Striche um. Jedes Jahr variiert – je nach Temperaturabweichung vom Durchschnittswert – von dunkelblau (sehr kühl) über hellblau und hellrot bis dunkelrot (sehr heiß). Auf einen Blick erschließt sich auch für Laien, dass die Häufigkeit warmer und heißer Jahre zuletzt außergewöhnlich stark zugenommen hat.

Er löste damit einen kleinen Hype aus und die Streifen werden seither unter dem Hashtag #ShowYourStripes verbreitet.



Quelle: https://showyourstripes.info/

ComfortLab: Umsetzung

EBZ Business School
University of Applied Sciences

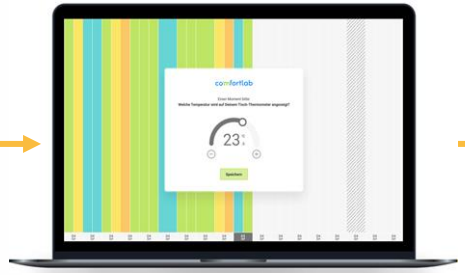
die Immobilien-hochschule

Schritt 1

Das individuelle Temperaturempfinden wird zweimal pro Tag via E-Mail erfasst.

Angabe von Abwesenheiten möglich (Homeoffice, Urlaub etc.), Link zur individuellen Übersicht der Abstimmungen.

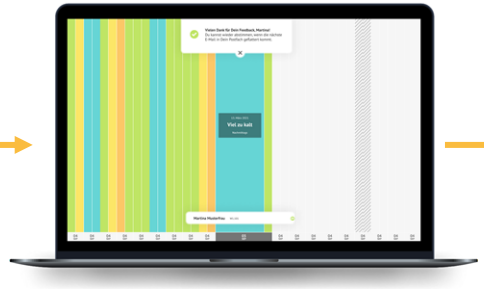
Schritt 2



Dann wird die tatsächliche Temperatur zum Abstimmungs-zeitpunkt mithilfe eines Tischthermometers eingetragen.

Dieser Schritt kann automatisiert werden (Derzeit nicht erfolgt, da datenschutzrechtliche Hindernisse).

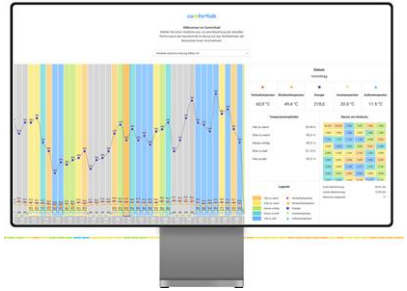
Schritt 3



Persönliche Übersicht des Temperaturempfindens auf Grundlage der täglichen Abstimmungen.

Jeder Streifen steht für einen Vor- oder Nachmittag. Die Blautöne stehen für kälteres Wärmeempfinden. Der Grünton steht für ein optimales Temperaturempfinden. Die Orangetöne zeigen ein wärmeres Temperaturempfinden an.

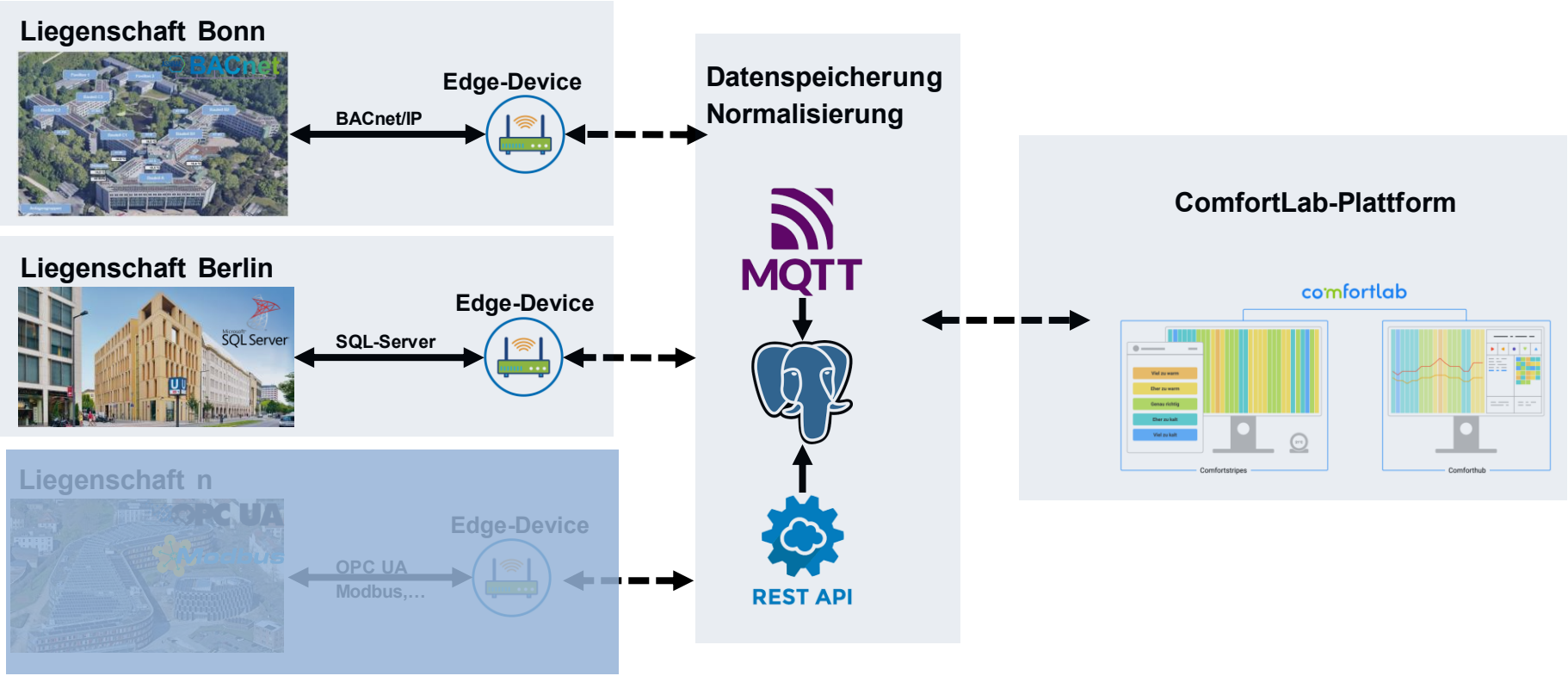
Schritt 4



Die Haustechnik kann mithilfe der Comfortstripes einzelne Heizstränge optimieren. Tagesgenaue Werte pro Abstimmung. Abstimmungsverhalten entlang eines Strangs, evtl. auch Vergleich von zwei Strängen möglich.

ComfortLab: Technische Infrastruktur

EBZ Business School
University of Applied Sciences
die Immobilien-hochschule

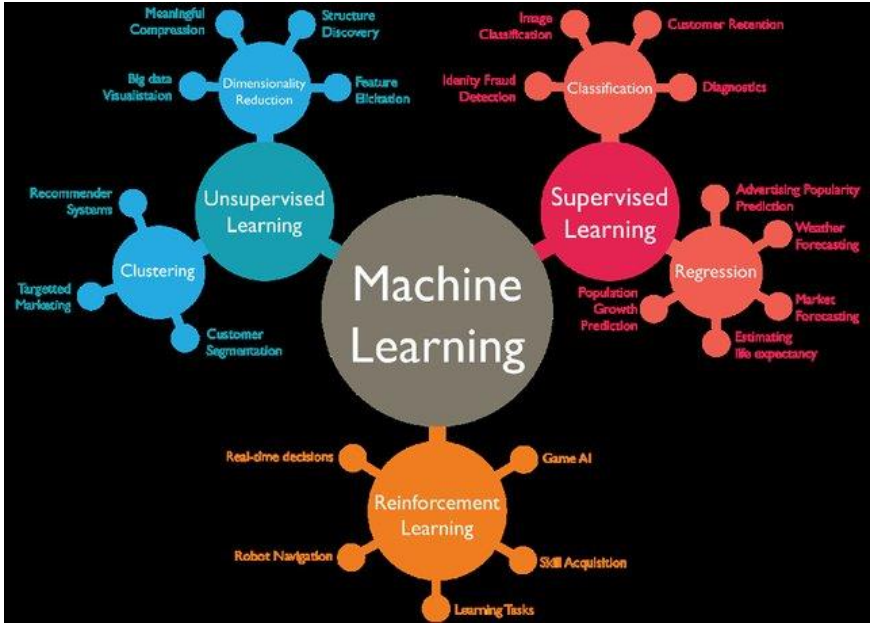


Einbindung der Daten in Verfahren des Maschinellen Lernens

EBZ Business School
University of Applied Sciences
die Immobilien-hochschule

Grundlegend lassen sich Machine Learning-Algorithmen in drei Arten unterteilen:

- **Supervised Learning (überwachtes Lernen):** Der Algorithmus lernt Muster und Zusammenhänge aus bekannten Daten. Beispiel: Klassifizierung von Tieren aus einer Vielzahl von Trainigbildern, anschließend sollen neue Bilder möglichst präzise einer Klasse zugeordnet werden
- **Unsupervised Learning (unüberwachtes Lernen):** Dem Algorithmus stehen keine bekannten Daten zur Verfügung, er soll im Gegensatz zum überwachten Lernen eigenständig Muster erkennen.
- **Reinforcement Learning (bestärkendes Lernen):** Der Algorithmus interagiert eigenständig mit der Umgebung, dafür erhält er Belohnungen und Zustandsinformationen und lernt mit der Zeit eigenständige Strategien, um die Belohnungen zu maximieren.

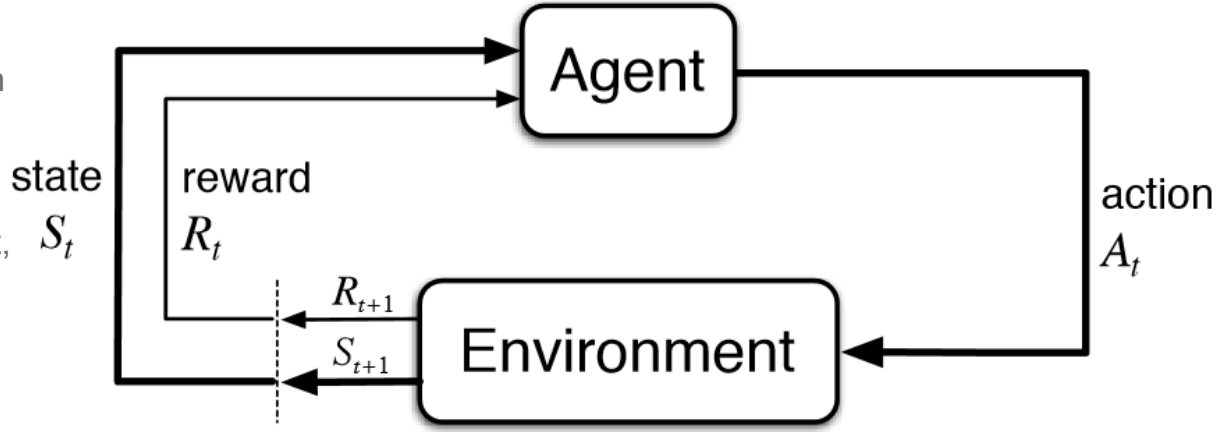


Quelle: https://www.researchgate.net/publication/344227988_On_the_Generation_and_Evaluation_of_Tabular_Data_using_GANs

Einbindung der Daten in Verfahren des Maschinellen Lernens

EBZ Business School
University of Applied Sciences
die Immobilien-hochschule

- **Bestärkendes Lernen (Reinforcement Learning):** Ein Agent (Regler) erhält eine Reihe von Zustandsinformationen (states: Temperaturen, Volumenströme etc.) und Belohnungen (rewards: Komfort, Energieverbrauch) aus der Umgebung (Environment) und leitet daraus mit der Zeit möglichst optimale Aktionen (actions: Vorgabe Solltemperatur) mit dem Ziel der Maximierung der Belohnungen ab.

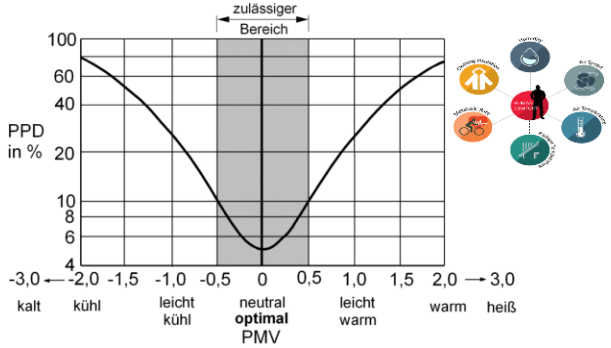


Quelle: Sutton, R.S. & Barto, A.G., 2018. Reinforcement learning: An introduction, MIT press.

Einbindung der Daten in Verfahren des Maschinellen Lernens

EBZ Business School
University of Applied Sciences
die Immobilien-hochschule

Quelle: https://www.e-genius.at/lernfelder/energieeffiziente-gebaeudekonzepte/thermische-behaglichkeit/bewertung-der-thermischen-behaglichkeit



Klassischerweise werden Gebäude mit fixen Parametern (bspw. Sollwerte anhand eines Zeitplans) betrieben, der Komfort wird anhand generalisierter Modelle (Bspw. PMV nach ASHRAE 55 und ISO 7730) bewertet.

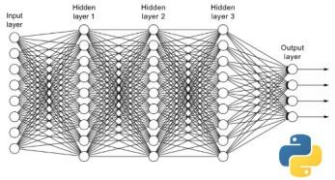
Simulation des Energieverbrauchs und des Komforts

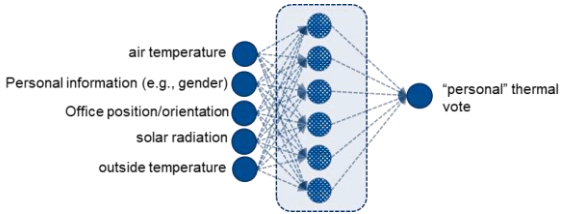
EnergyPlus

Simulation des Energieverbrauchs und des Komforts

OpenAI

Ziel: Optimierung des individualisierten Komforts und des Energieverbrauchs





Personalisierte Komfortmodelle ersetzen die Universalansätze

Der Reinforcement Learning-Agent lernt optimale Handlungen um den personalisierten Komfort und die Energieeffizienz zu maximieren

Zusammenfassung & Fazit

EBZ Business School
University of Applied Sciences
die Immobilien-hochschule

- Der Nutzer hat ein durchaus beachtliches Potential, den Energieverbrauch in Gebäuden zu beeinflussen (zu verringern oder auch zu erhöhen).
- Individuelle Ansprüche (bspw. Raumtemperatur) und Handlungsmotivationen (Komfort, Kosten, Umweltbewusstsein) in unterschiedlichen Gebäudetypen (Wohnbereich: Finanzielle Anreize, Nutzgebäude: Im Wesentlichen wirken nicht-monetäre Areize) fordern passgenaue Lösungen, um eine optimale Nutzerzufriedenheit in Einklang mit Energieeffizienz zu bringen.
- Der Informationsfluss zwischen den Nutzern und dem technischem Betriebspersonal bietet Potential, Komfort und Energieeffizienz zu erhöhen.

EBZ Business School
University of Applied Sciences

die Immobilien-hochschule

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Andre Beblek, M.Sc.
EBZ Business School GmbH
Springorumallee 20, D-44795 Bochum
a.beblek@ebz-bs.de