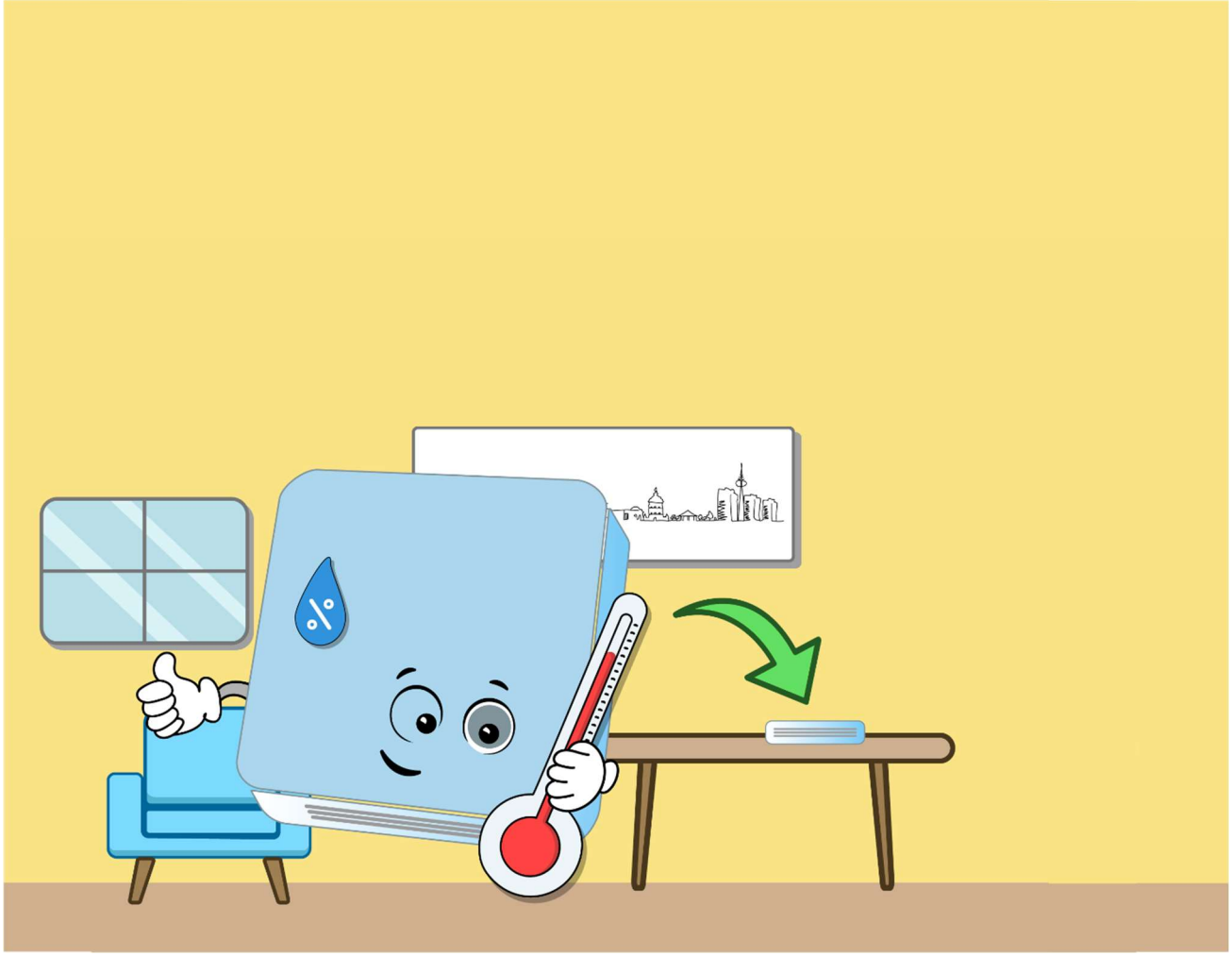
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

sMArt
Smart City Mannheim

FAKULTÄT
FÜR WIRTSCHAFTS- UND SOZIALWISSENSCHAFTEN



SMARTE DATEN FÜR EIN ENERGIESPARENDES RAUMKLIMA

WIRKUNGSZUSAMMENHANG VON ECHTZEITDATENKOMMUNIKATION UND ENERGIESPARENDEM VERHALTEN VON BÜRGER*INNEN

INHALT

KURZZUSAMMENFASSUNG **3**
Das Projekt 3
Die Ergebnisse 3

DAS FORSCHUNGSPROJEKT „INNENRAUMKLIMA IN MANNHEIM“ **4**

DIE GRUNDANNAHME: EINFACH DATEN BEREITSTELLEN REICHT NICHT **4**
Ein Stups in die energiesparende Richtung: Nudging 4
Drei Varianten an Dashboards 5

PROJEKTUMSETZUNG **6**

DIE TEILNEHMENDEN IM ÜBERBLICK **8**

ERGEBNISSE DER WIRKUNGSEVALUATION **8**
Zugrundeliegendes Evaluationsverständnis 8
Output: Bereitgestellte Dashboards, Nutzungsverhalten und -zufriedenheit 9
Outcome: Veränderung in Wissen, Verhalten und Raumklima 10

EINORDNUNG DER PROJEKTERGEBNISSE **12**

FAZIT: EIN ERFOLG FÜR SMART CITIES UND KLIMASCHUTZ **13**

KONTAKTANGABEN **14**

LITERATURVERZEICHNIS **15**

ANHANG A: WIRKUNGSEVALUATION ERGEBNISÜBERBLICK **16**

ANHANG B: RAUMTEMPERATUREN IM PROJEKTVERLAUF **17**

KURZZUSAMMENFASSUNG

DAS PROJEKT

- Projektziel war zu verstehen, wie sich durch die Bereitstellung von Echtzeitinformationen energiesparendes Verhalten fördern lässt.
- Dazu erhielten 115 Bürger*innen Echtzeitinformationen über ihr Raumklima. Diese sollten sie darin unterstützen, in ihrem Alltag Heizenergie zu sparen.
- Zur Erhebung der Echtzeitinformationen installierten die Teilnehmenden Klimamessstationen in ihrem Zuhause, die alle 15 Minuten Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit erfassten.
- Ausgehend von der Annahme, dass die bloße Bereitstellung von Echtzeitinformationen nicht zur Förderung von energiesparendem Verhalten ausreicht, wurden wissenschaftlich fundierte Verhaltensimpulse, sogenannte normative Nudges, im Rahmen der Datenaufbereitung angewandt.
- Normatives Nudging macht sich die menschliche Neigung zunutze, sich an der Mehrheit zu orientieren, indem es durch Hinweise auf das Verhalten und die Einstellungen anderer zu einem gewünschten Handlungsimpuls anregt[1].
- Es wurden drei verschiedene Varianten der Datenkommunikation umgesetzt: Variante 1 zeigte individuelle Echtzeitinformationen kombiniert mit Energiespartipps, Variante 2 zusätzliche Vergleichsinformationen über alle Teilnehmenden und Variante 3 darüber hinaus eine Einordnung anhand von Behaglichkeitsempfehlungen des Umweltbundesamtes[2].
- Das Projekt wurde anhand der IOOI-Methode im Hinblick auf seine Wirkungszusammenhänge zwischen erbrachten Leistungen (Outputs) und erzielten Wirkungen auf Seiten der teilnehmenden Bürger*innen (Outcomes) evaluiert.
- Es wurde ein feldexperimentelles Vorgehen mit mehreren Messzeitpunkten umgesetzt: Die Teilnehmenden erhielten ihr Dashboard via Zufallsprinzip in einer der drei entwickelten Varianten und wurden vor, während und zum Ende ihrer Dashboardnutzung zu ihrem energiesparenden Heiz- und Lüftungsverhalten befragt. Ergänzend dazu wurden Veränderungen der Raumtemperatur im Zeitraum vor und während der Dashboardnutzung analysiert.

DIE ERGEBNISSE

- **Aufbereitung der Echtzeitinformationen beeinflusst Einsparungen:** Der größte Unterschied bestand zwischen Nutzer*innen, die neben ihren eigenen Informationen Durchschnittswerte aller Teilnehmenden angezeigt bekamen, und jenen, die zusätzlich Behaglichkeitsinfos erhielten. So betrug der durchschnittliche Temperaturunterschied 0,52 °C. Was nach wenig klingen mag, kann jedoch einen spürbaren Unterschied im Geldbeutel ausmachen. Nach der Faustregel von 1 °C = 6 % geringeren Energiekosten entspricht das einem Kostenunterschied von etwa 3 %[3].
- **Vergleich mit anderen Haushalten:** Im Vergleich zur bloßen Abbildung der eigenen Temperaturinformationen förderte der Abgleich mit Durchschnittswerten aller Haushalte ein sparsameres Heizverhalten. Der Temperaturanstieg während der Dashboard-Nutzung war 0,18 °C niedriger als bei Nutzer*innen, die nur ihre eigenen Werte sahen. Der generelle Anstieg über den Projektverlauf ist auf ansteigende Außentemperaturen zurückzuführen.
- **Behaglichkeitsempfehlungen:** Zusätzliche Empfehlungen zu einem „behaglichen Raumklima“ verringerten die Energieeinsparung. Hier lag der Temperaturanstieg um 0,34 °C höher als bei Teilnehmenden, die lediglich ihre eigenen Werte einsehen konnten.
- **Bürgerengagement für digitale, nachhaltige Stadtentwicklung macht Spaß:** Teilnehmende blicken positiv auf das Projekt zurück und wünschen sich weitere Projekte dieser Art.

DAS FORSCHUNGSPROJEKT „INNENRAUMKLIMA IN MANNHEIM“

Ein Ziel der Smart City Mannheim ist die transparente Bereitstellung von Echtzeitdaten zur Unterstützung von Ressourceneffizienz in Mannheim. Doch wie können beispielsweise Echtzeitdaten über das eigene Raumklima so kommuniziert werden, dass sie Nutzer*innen in ihrem energiesparenden Verhalten unterstützen? Mit dieser Frage beschäftigte sich das Forschungsprojekt „Innenraumklima in Mannheim“, das von der Universität Hamburg in Zusammenarbeit mit der sMArt City Mannheim durchgeführt wurde.

Wie können Echtzeitdaten Nutzer*innen in ihrem energiesparenden Verhalten unterstützen?

Im folgenden Bericht wird zunächst ein Überblick über die entwickelten Dashboards zur Kommunikation von Echtzeitdaten vermittelt. Nachfolgend wird das Vorgehen beschrieben, anhand dessen die verschiedenen Dashboards auf ihren Effekt auf energiesparendes Heiz- und Lüftungsverhalten hin untersucht wurden. Zuletzt werden die Ergebnisse beschreiben und eingeordnet.

DIE GRUNDANNAHME: EINFACH DATEN BEREITSTELLEN REICHT NICHT

Damit Echtzeitinformationen über das eigene Raumklima Bürger*innen in ihrem energiesparenden Verhalten unterstützen können, müssen diese zunächst in einer angemessenen Art und Weise aufbereitet und bereitgestellt werden. Dabei stellt sich die Frage, welche Form notwendig ist, um energiesparendes Verhalten auf Seiten der Bürgerschaft zu fördern. Erkenntnisse aus den Verhaltenswissenschaften legen nahe, dass energiesparendes Verhalten häufig mit anderen Bedürfnissen in Konflikt steht[4]. Ein Beispiel: Personen möchten Heizenergie einsparen, wollen aber zugleich nicht frieren. Angesichts dieser Zielkonflikte erscheint es unwahrscheinlich, dass die bloße Bereitstellung von Echtzeitinformationen automatisch zu energiesparendem Heizverhalten und einer Senkung der Raumtemperatur führt.

EIN STUPS IN DIE ENERGIESPARENDE RICHTUNG: NUDGING

Unter Wissenschaftler*innen, die sich unter anderem mit der Förderung von energiesparenden Verhalten beschäftigen, erfreut sich das bereits 2008 von den Verhaltensökonomen Richard Thaler und Cass Sunstein geprägte Konzept des „Nudgings“[1] zunehmender Beliebtheit. Nudging beschreibt geringfügige Veränderungen der individuellen Verhaltensumwelt, die Menschen dazu motivieren, ein bestimmtes Verhalten zu zeigen – ohne dabei ihren Handlungsspielraum durch monetäre Anreize oder rechtliche Vorgaben zu beinflussen. Die verhaltenslenkende Wirkung von Nudges basiert stattdessen auf der Anwendung grundlegender menschlicher Verhaltensmuster. Diese reichen von unserer Neigung zur Bequemlichkeit bis hin zur Tendenz, unser Verhalten am Verhalten von Freund*innen und Bekannten auszurichten.

NUDGING MIT SOZIALEN NORMEN Insbesondere Nudges, die sich unsere Neigung zur Anpassung an andere Menschen zunutze machen, wurden bereits vielfach wissenschaftlich hinsichtlich ihrer Effektivität untersucht[5]. Dabei wird meist zwischen Nudges unterschieden, die deskriptive oder injunktive Normen vermitteln:

- **Deskriptive Normen** liegen vor, wenn Informationen über das tatsächliche Verhalten der Mehrheit kommuniziert werden – oder solche Informationen, die ein entsprechendes Verhalten nahelegen[6]. Ein Beispiel wäre die Mitteilung der durchschnittlichen Raumtemperatur aller Teilnehmenden, um zu suggerieren, dass „die meisten“ Menschen auf eine bestimmte Weise heizen.
- **Injunktive Normen** beziehen sich darauf, was die Mehrheit als „richtig“ oder „wünschenswert“ empfindet[6]. Das kann laut wissenschaftlichen Erkenntnissen auch sehr subtil erfolgen, beispielsweise durch die Abbildung eines lächelnden oder traurigen Smileys neben einer Raumtemperatur.

Die Forschung hat gezeigt, dass die kombinierte Vermittlung deskriptiver und induktiver Normen am wirksamsten ist, um energiesparendes Verhalten zu fördern[7].

NUDGING IM DIGITALEN RAUM Nudges werden seit 2016 unter dem von Markus Weinmann[8] eingeführten Begriff „digitales Nudging“ auch zunehmend im digitalen Raum angewandt. Dabei ist noch nicht abschließend verstanden, wie sich das Prinzip von normativen Nudging sinnvoll bei der Kommunikation von Echtzeitdaten mithilfe von webbasierten Dashboards einsetzen lässt.

Wie kann die Verwendung normativer Nudges bei der Kommunikation von Echtzeitdaten dazu beitragen, energiesparendes Verhalten der Nutzer*innen zu unterstützen?

DREI VARIANTEN AN DASHBOARDS

Ausgehend von diesem wissenschaftlichen Fundament wurden im Rahmen des Forschungsprojektes drei verschiedene Varianten von Dashboards entwickelt (siehe Abbildung 1). Je nach Variante wurden die gesammelten Raumklimadaten visuell wie folgt aufbereitet:

- **Variante 1** zeigte die eigene Raumtemperatur und -feuchtigkeit der vergangenen 7 Tage ergänzt um Tipps zu energiesparenden Heiz- und Lüftungsverhalten.
- **Variante 2** zeigte die eigene Raumtemperatur und -feuchtigkeit der vergangenen 7 Tage im Vergleich zu den Durchschnittswerten aller Teilnehmenden ergänzt um Tipps zu energiesparenden Heiz- und Lüftungsverhalten. Der Vergleich der eigenen Raumtemperaturen mit den Durchschnittstemperaturen der anderen Teilnehmenden, sollte die Nutzer*innen dazu motivieren, die eigene Raumtemperatur zu senken, falls diese oberhalb des Durchschnitts liegt. Die Vergabe eines positiven Feedbacks in Form eines Smileys für den Fall, dass die eigene Raumtemperatur unterhalb des Durchschnitts liegt, sollte Teilnehmende darin bestärken, ihr vergleichsweise energiesparendes Verhalten beizubehalten.

- **Variante 3** zeigte dieselben Informationen wie Variante 2 und ermöglichte zusätzlich eine Einordnung der eigenen Daten vor dem Hintergrund der Empfehlungen für einen behagliches Raumklima durch das Umweltbundesamt[2]. Ziel der Umsetzung dieser Variante war zu verstehen, inwiefern die Wirkung sozialer Vergleichsinformationen durch die Kommunikation zusätzlicher verhaltensrelevanter Vergleichsinformationen in Bezug auf das eigene Heiz- und Lüftungsverhalten beeinträchtigt ist.

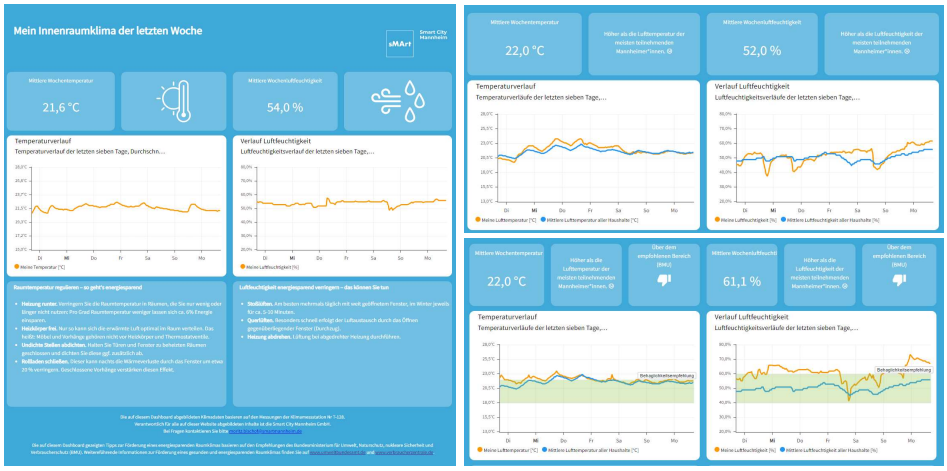


ABBILDUNG 1 Dashboardvariante 1 (links) sowie vorgenommene Abwandlungen in Dashboardvarianten 2 (oben rechts) mit zusätzlichen Vergleichsinformationen zu Durchschnittstemperaturen aller Haushalte und 3 (unten rechts) mit zusätzlichen Empfehlungen für ein behagliches Raumklima durch das Bundesumweltamt.

PROJEKTUMSETZUNG

Um die Wirkung von Echtzeitdatenkommunikation auf energiesparendes Verhalten in einem realen, projektrelevanten Kontext zu untersuchen und gleichzeitig Bürger*innen die Tätigkeiten der sMArt City Mannheim lebensnah zu vermitteln, wurde das Forschungsprojekt im Winter 2024 gemeinsam mit Mannheimer*innen durchgeführt.

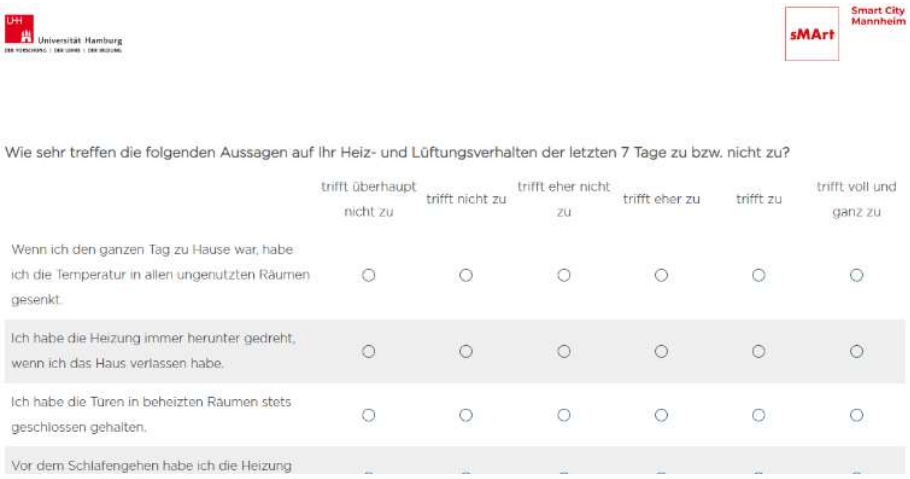
Rekrutierung und Ausstattung: Im Dezember 2023 startete der Projektaufruf. Über Newsletter, die Website der Smart City Mannheim, Social Media und den Neujahrsempfang der Stadt Mannheim meldeten sich schließlich 121 Bürger*innen zur Teilnahme an dem Projekt an.

Erhebung der Raumklimadaten: Alle Teilnehmenden erhielten per Post eine kleine Klimamessstation mit einer Anleitung, die eine einfache Einrichtung ermöglichte. Die Messstationen erfassten alle 15 Minuten Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit und sendeten diese Daten über das LoRaWAN-Funknetz an die Datenplattform der sMArt City Mannheim. Dort wurden die Daten genutzt, um individuelle Dashboards zu erstellen, die den Teilnehmenden per E-Mail zugänglich gemacht wurden.

ABBILDUNG 2 Klimamessstation, die Temperatur- und Feuchtigkeitsinformationen in 15-Minutenabständen via LoRaWan-Funknetz an die sMArt City Mannheim Datenplattform gesendet hat.

Zufällige Zuordnung zu Dashboards: Um die Wirkung der verschiedenen Kommunikationsformen von Echtzeittemperaturdaten miteinander vergleichen zu können, wurde ein feldexperimentelles Vorgehen umgesetzt: Die Teilnehmenden wurden zufällig einer der drei im Vorfeld entwickelten Dashboardvarianten zugeteilt. Je nachdem welcher Dashboardvariante die Teilnehmenden zugeteilt wurden, wurden ihre Temperatur- und Feuchtigkeitsdaten entweder um Energiespartipps (Variante 1), um zusätzliche Informationen zu den Durchschnittstemperaturen aller teilnehmenden Haushalte (Variante 2), oder noch darüber hinaus um Empfehlungen zu Behaglichkeitsstandards erweitert (Variante 3).

Begleitende Onlinebefragung: Zusätzlich nahmen die Teilnehmenden vor, während und zum Ende der Heizperiode an mehreren Onlinebefragungen teil, in denen sie zum einem die Zufriedenheit mit den bereitgestellten Dashboards und deren Nutzen bewerteten und zum anderen zu ihrem Heiz- und Lüftungsverhalten befragt wurden. Auch dem individuellen Heiz- und Lüftungsverhalten zugrundeliegende Einflussfaktoren, wie das eigene Raumkomfortempfinden, die Einstellung zu energiesparendem Heizen und äußere Einflussfaktoren auf Gebäude- und Heizungssystemebene wurden zur weiteren Einordnung der Ergebnisse abgefragt. Ein Teil der gestellten Fragen zur Erfassung von Heiz- und Lüftungsverhalten ist beispielhaft in Abbildung 3 dargestellt.



Wie sehr treffen die folgenden Aussagen auf Ihr Heiz- und Lüftungsverhalten der letzten 7 Tage zu bzw. nicht zu?

	trifft überhaupt nicht zu	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft zu	trifft voll und ganz zu
Wenn ich den ganzen Tag zu Hause war, habe ich die Temperatur in allen ungenutzten Räumen gesenkt.	○	○	○	○	○	○
Ich habe die Heizung immer herunter gedreht, wenn ich das Haus verlassen habe.	○	○	○	○	○	○
Ich habe die Türen in beheizten Räumen stets geschlossen gehalten.	○	○	○	○	○	○
Vor dem Schlafengehen habe ich die Heizung						

ABBILDUNG 3 Beispielfrage zu energiesparendem Heiz- und Lüftungsverhalten aus der mehrwelligen Befragung mit 115 Teilnehmenden. Teilnehmende gaben anhand von 7 Optionen (1 = trifft gar nicht zu bis 7 = trifft voll und ganz zu) ihre Zustimmung zu 6 Aussagen zum energiesparenden Verhalten an.

DIE TEILNEHMENDEN IM ÜBERBLICK

Von den 121 angemeldeten Bürger*innen beteiligten sich 115 an der Startbefragung und erhielten Zugang zu ihren personalisierten Dashboards. Die Teilnehmenden waren durchschnittlich 46,6 Jahre alt und bestanden zu etwa gleichen Teilen aus Männern und Frauen. Die Mehrheit der Haushalte lebte in älteren Mehrparteienhäusern, häufig in Dachgeschosswohnungen. Als Heizsystem wurde überwiegend Fernwärme mit manuellen Thermostaten genutzt (siehe Abbildung 4). Die Klimamessstation, die an die Teilnehmenden verteilt wurde, installierten die meisten im Wohnzimmer, das im Durchschnitt eine Fläche von 27,73 m² hatte. Etwa 40 % der Teilnehmenden wohnten in Eigentumswohnungen oder -häusern.

ABBILDUNG 4 Verteilung verwendeter Heizsysteme und Thermostattypen aller 115 Haushalte.

ERGEBNISSE DER WIRKUNGSEVALUATION

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse des Projektes dargestellt und eingeordnet. Dazu wird zunächst das der Wirkungsevaluation zugrundeliegende Evaluationsverständnis erläutert. Nachfolgend werden die Evaluationsergebnisse entsprechend der einzelnen Wirkungsebenen dargestellt. Eine umfassende Ergebnisübersicht befindet sich in Anhang A.

ZUGRUNDELIEGENDES EVALUATIONSVERSTÄNDNIS

Um ein umfassendes Verständnis für den Zusammenhang zwischen der Kommunikation von Echtzeittemperaturdaten und dem individuellen Heiz- und Lüftungsverhalten zu gewinnen, wurde der vermutete Wirkungszusammenhang entsprechend dem Wirkungsmodell der sMArt City Mannheim nach der IOOI-Methode im Hinblick auf den Ressourceneinsatz (Input), die erbrachten Leistungen (Output) und deren Wirkung auf die Zielgruppen (Outcome) hin evaluiert. Übergeordnete Effekte auf die Stadtgesellschaft (Impact) wurden in diesem Projekt nicht berücksichtigt, da im Hinblick auf den Projektumfang und den zeitlichen Rahmen keine gesamtgesellschaftlichen Veränderungen zu erwarten waren. Die im Rahmen dieses Projekts konkret angenommenen Wirkungsschritte sind in Abbildung 5 dargestellt. Im Fokus dieses Berichts

steht die Evaluation der Projektergebnisse auf Output und Outcome-Ebene. Diese sind im Folgenden beschrieben.

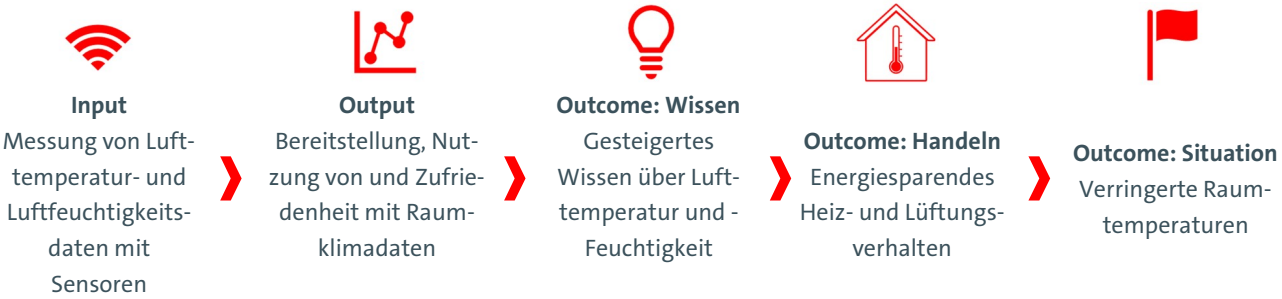


ABBILDUNG 5 Angenommene Wirkungskette von der Erhebung und Bereitstellung von Echtzeitinformationen über das Innenraumklima an Bürger*innen zu Veränderung in deren Raumtemperaturen

OUTPUT: BEREITGESTELLTE DASHBOARDS, NUTZUNGSVERHALTEN UND -ZUFRIEDENHEIT

BEREITGESTELLTE DASHBOARDS Nachdem die Teilnehmenden die Startbefragung abgeschlossen hatten, konnten sie ihr individuelles Dashboard über einen Zeitraum von maximal 103 Tagen nutzen – vom 19. Januar bis zum 30. April 2024. Da nicht alle der 121 angemeldeten Teilnehmenden an der Startbefragung teilnahmen, erhielten nur 115 der 121 Teilnehmenden Zugriff auf ihr Dashboard. Das entspricht etwa 95 % der erstellten Dashboards. Im Durchschnitt nutzten die 115 Teilnehmenden ihre Dashboards über einen Zeitraum von 94 Tagen.

NUTZUNGSVERHALTEN Die Analyse der Abschlussbefragung, an der 93 Personen teilnahmen, zeigte, dass die meisten ihr Dashboard wöchentlich oder monatlich aufriefen (siehe Abbildung 6). Besonders spannend: Teilnehmende, deren Dashboard zusätzlich zu den eigenen Temperaturinformationen auch Durchschnittsdaten anderer Haushalte anzeigte, verwendeten ihr Dashboard häufiger. Dies deutet darauf hin, dass der Vergleich mit anderen Teilnehmenden die Aktivität und das Interesse an der Nutzung des Dashboards steigern kann.

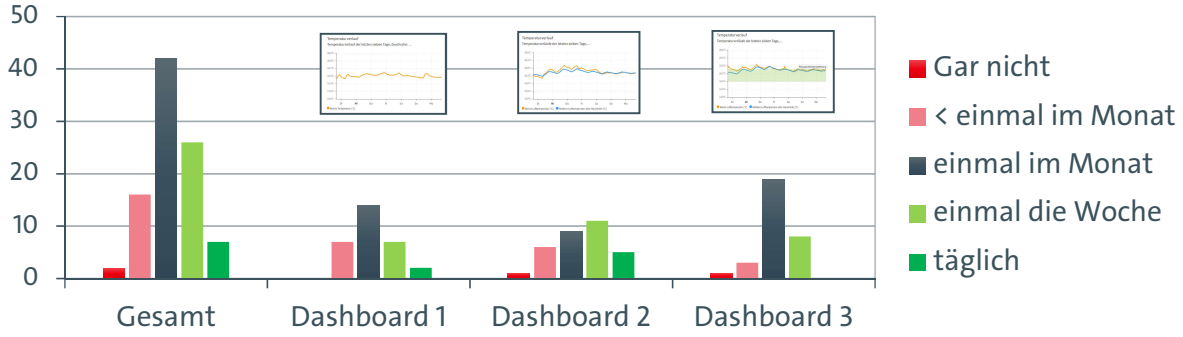


ABBILDUNG 6 Häufigkeit der Dashboardnutzung insgesamt und je Dashboardvariante.

NUTZUNGSZUFRIEDENHEIT Um etwas über die Nutzungszufriedenheit der Teilnehmenden zu lernen, wurden die Teilnehmenden im Rahmen der Abschlussbefragung ebenfalls dazu befragt,

wie sie die Nutzung ihres Dashbaords erlebt haben. Die Rückmeldungen aus der abschließenden Befragung von 93 Teilnehmenden sind in Abbildung 7 dargestellt und zeigen, dass die meisten Teilnehmenden mit der Nutzung ihres Dashboards insgesamt zufrieden waren: 77,42 % der Teilnehmenden gab an, die Nutzung des Dashboards habe ihnen Spaß gemacht. Dabei variierten die Zustimmungswerte in Abhängigkeit der bereitgestellten Dashboardvariante zwischen 80 % unter den Nutzenden von Dashboardvariante 1 und 74,2 % unter den Nutzenden von Variante 3.

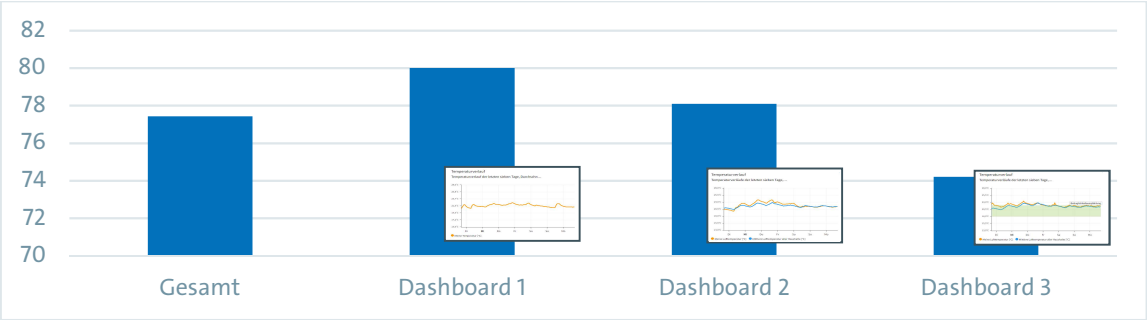


ABBILDUNG 7 Anteil der 93 Teilnehmenden an der Abschlussbefragung, die der Aussage „Die Nutzung meines Dashboards hat mir Spaß gemacht“ auf einer Skala von 1 bis 5 zugestimmt haben.

OUTCOME: VERÄNDERUNG IN WISSEN, VERHALTEN UND RAUMKLIMA

WISSEN ÜBER DAS EIGENE RAUMKLIMA Um zu erfassen, wie die Dashboards das Wissen der Teilnehmenden über ihr Raumklima beeinflusst haben, wurden diese gebeten, ihr eigenes Dashboard zu bewerten. Dabei sollten sie angeben, ob ihnen die Nutzung neue Erkenntnisse gebracht hat. 82,8 % der Teilnehmenden bestätigten, dass das Dashboard ihnen mindestens teilweise neue Einsichten vermittelt habe. Abbildung 8 zeigt, dass die Zustimmung der Teilnehmenden je nach genutzter Dashboardvariante unterschiedlich ausfiel: Teilnehmende, die Variante 3 nutzten, waren am häufigsten davon überzeugt, dass das Dashboard ihr Wissen über das Raumklima erweitert habe.

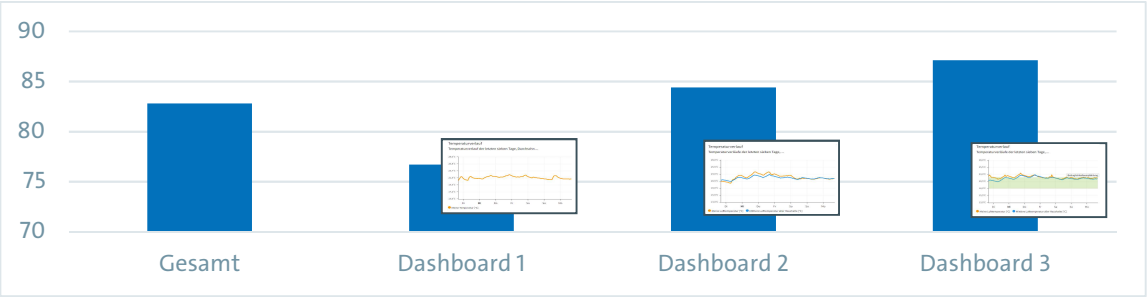


ABBILDUNG 8 Anteil der 93 Teilnehmenden an der Abschlussbefragung, die der Aussage „Die Nutzung meines Dashboards hat mir neue Erkenntnisse bereitet“ auf einer Skala von 1 bis 5 mindestens teilweise zugestimmt haben.

ENERGIESPARENDES HEIZ- UND LÜFTUNGSVERHALTEN Ergänzend zu der Veränderung in den Innenraumtemperaturen wurden die Teilnehmenden zu ihrem Heiz- und Lüftungsverhalten

befragt. Dazu wurden ihnen unter anderem vor und nach der Bereitstellung der Echtzeitinformationen sechs Aussagen zum energiesparenden Verhalten vorgelegt, wie z. B. „Beim Lüften drehe ich normalerweise die Heizung aus“. Sie wählten aus sieben Optionen (1 = trifft gar nicht zu bis 7 = trifft voll und ganz zu). Die Veränderung des Verhaltens wurde anhand der mittleren Zustimmungswerte über alle Aussagen hinweg analysiert. Abbildung 9 zeigt, dass vor allem Haushalte mit der zweiten Dashboardvariante ein bewussteres und sparsameres Verhalten entwickelten. Die Ergebnisse stimmen mit den gemessenen Raumtemperaturveränderungen überein.

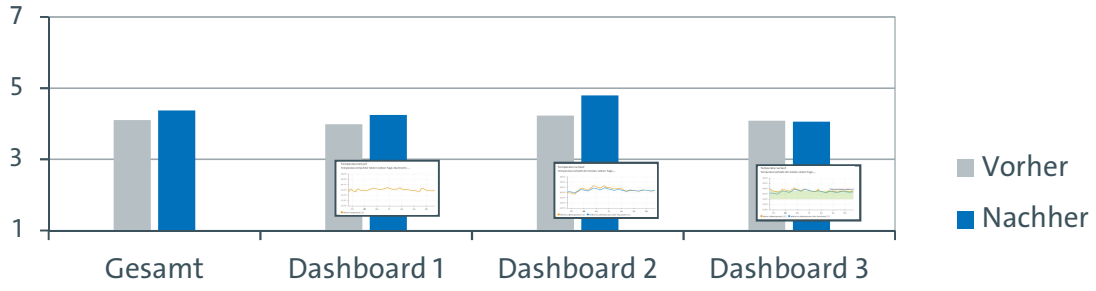


ABBILDUNG 9 Mittleres energiesparendes Heiz- und Lüftungsverhalten je nach Dashboardvariante vor und nach Ende der Temperaturmessaktion. Je höher der Wert desto energiesparender das selbstberichtete Verhalten.

VERÄNDERTE RAUMTEMPERATUREN In Abbildung 10 sind die durchschnittlichen Unterschiede der Raumtemperaturen während der Dashboardnutzung im Vergleich zu den Ausgangstemperaturen zu Beginn des Projekts dargestellt, getrennt nach Dashboardvariante. Auf der linken Seite wird die tägliche durchschnittliche Abweichung gezeigt, auf der rechten Seite die durchschnittliche Gesamtabweichung über den gesamten Zeitraum hinweg.

Einhergehend mit dem Anstieg der Außentemperaturen im Projektverlauf, waren die durchschnittlichen Raumtemperaturen während der Dashboardnutzung höher als die Ausgangstemperaturen. Dabei zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Gruppen:

- Der größte Unterschied bestand zwischen Nutzer*innen, die neben ihren eigenen Informationen Durchschnittswerte aller Teilnehmenden angezeigt bekamen, und jenen, die zusätzlich Behaglichkeitsinfos erhielten. So betrug der durchschnittliche Temperaturunterschied 0,52 °C. Was nach wenig klingen mag, kann aber einen spürbaren Unterschied im Geldbeutel ausmachen. Nach der Faustregel von 1 °C = 6 % geringeren Energiekosten entspricht das einem Kostenunterschied von etwa 3 % .

- Im Vergleich zur bloßen Abbildung der eigenen Temperaturinformationen förderte der Abgleich mit Durchschnittswerten ein sparsameres Heizverhalten. Der Temperaturanstieg während der Dashboard-Nutzung war 0,18 °C niedriger als bei Nutzer*innen, die nur ihre eigenen Werte sahen. Der generelle Anstieg über den Projektverlauf ist auf ansteigende Außentemperaturen zurückzuführen.

- Zusätzliche Empfehlungen zu einem „behaglichen Raumklima“ verringerten die Energieeinsparung. Hier lag der Temperaturanstieg um 0,34 °C höher als bei Teilnehmenden, die lediglich ihre eigenen Werte einsehen konnten.

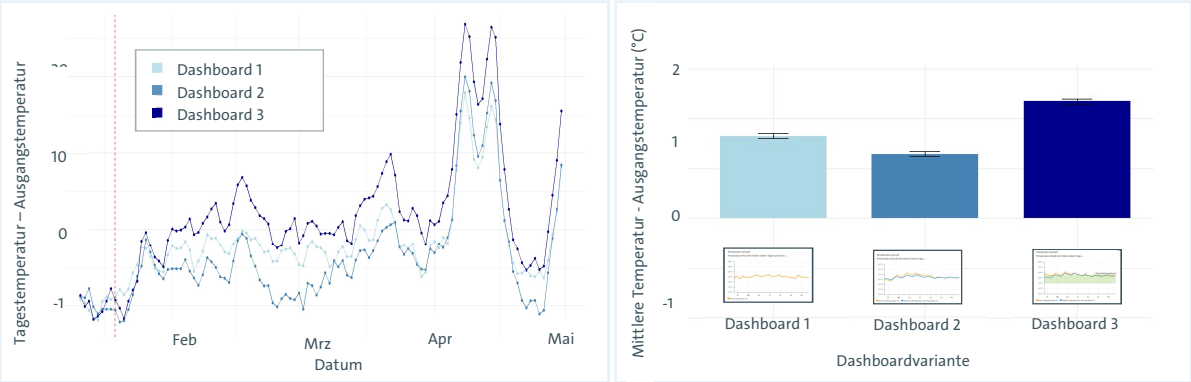


ABBILDUNG 10 (Rechts) Die durchschnittliche Abweichung der Raumtemperaturen je nach Dashboardvariante während der Nutzung im Vergleich zu den Temperaturen vor Projektbeginn. (Links) Die tägliche Abweichung der mittleren Raumtemperaturen von den Temperaturen vor Projektbeginn im Verlauf der Dashboardnutzung je Dashboardvariante.

EINORDNUNG DER PROJEKTERGEBNISSE

Die in diesem Bericht dargestellten Veränderungen der Raumtemperaturen sind deskriptiver Natur. Ihre Bewertung erfolgt ausschließlich im Hinblick auf unterschiedliche Dashboard-Varianten sowie den zeitlichen Verlauf. Einflussfaktoren wie Gebäudeeigenschaften, das eingesetzte Heizungssystem, Außentemperaturschwankungen oder individuelle Einstellungen zum Heiz- und Lüftungsverhalten wurden im Rahmen dieses Evaluationsprojekts bewusst nicht berücksichtigt, um die Komplexität des Berichts überschaubar zu halten. Eine ergänzende inferenzstatistische Auswertung, die eine Einschätzung der Wirkung verschiedener Dashboard-Varianten unter Kontrolle der genannten Einflussgrößen erlaubt, befindet sich derzeit in Vorbereitung.

Im Rahmen der inferenzstatistischen Auswertung wird es ebenfalls möglich sein, auf den ersten Blick nicht nachvollziehbare Ergebnisse genauer zu untersuchen. So werfen die dargestellten Ergebnisse zum Beispiel die Frage auf, warum die Nutzer*innen von Dashboardvariante 3, die den vergleichsweise größten subjektiven Wissenszuwachs berichteten, ihr Energiesparverhalten am vergleichsweise wenigsten steigerten. Ein Grund dafür könnte sein, dass die in Dashboardvariante 2 und 3 angewandten normativen Nudging-Strategien, sowie alle Nudging Strategien, menschliches Verhalten vor allem *unbewusst* beeinflussen[1]. Es ist daher durchaus möglich, dass Nutzer*innen von Dashboardvariante 2 im Vergleich zu Nutzer*innen von Variante 3 gleichzeitig weniger häufig den Eindruck hatten, zusätzliches Wissen zu erlangen und ihr Verhalten dennoch stärker an den kommunizierten normative Information über das

Verhalten der anderen Teilnehmenden ausrichteten. Ein Grund dafür, dass die unbewusste Wirkung derselben normativen Nudges in Dashboardvariante 3 weniger stark ausgeprägt war, könnte darin liegen, dass die gleichzeitige Bereitsstellung von Behaglichkeitsempfehlungen dazu geführt hat, dass Personen ihr Heizverhalten eher am individuellen Komfortempfinden ausgerichtet haben anstatt energiesparendes Verhalten zu priorisieren ohne die eigenen Komfortbereiche zu übergehen. Diese Erklärungsansätze gilt es im Rahmen zusätzlicher inferenzstatistischer Analysen genauer in den Blick zu nehmen.

FAZIT: EIN ERFOLG FÜR SMART CITIES UND KLIMASCHUTZ

Das Forschungsprojekt „Innenraumklima in Mannheim“ zeigt, wie digitale Technologien und Echtzeitinformationen unter Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse zu digitalem Nudging das Bewusstsein für energiesparendes Verhalten auf Seiten der Bürgerschaft stärken können. Insbesondere der soziale Vergleich mit anderen Haushalten erwies sich als wirksamer Anreiz zur Reduzierung des Heizenergieverbrauchs.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Art und Weise, wie Informationen aufbereitet werden, maßgeblich das Nutzerverhalten beeinflusst. Die Bereitstellung von sozialen Vergleichswerten führte nachweislich zu einer geringeren Raumtemperatursteigerung, während zusätzliche Behaglichkeitsempfehlungen eher zu einer Erhöhung der Temperaturen beitrugen. Diese Erkenntnisse liefern wertvolle Hinweise für die künftige Gestaltung smarter Klimadaten-Dashboards und können zur Optimierung von Smart-City-Projekten beitragen.

Gleichzeitig unterstreicht das Projekt die Bedeutung der aktiven Bürgerbeteiligung in der digitalen Stadtentwicklung. Die hohe Teilnahmebereitschaft und positive Rückmeldungen zeigen, dass innovative, datengetriebene Lösungen nicht nur funktional, sondern auch wertvoll für die Bevölkerung sein können.

KONTAKTANGABEN

KONTAKT UND ANSPRECHPARTNER
Wissenschaftliche Projektleitung

Universität Hamburg
Fakultät für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
Fachbereich BWL, insb. nachhaltiges Wirtschaften
Renzelstraße 7
22527 Hamburg
www.wiso.uni-hamburg.de/fachbereich-sozoek

LISA PFEIFFER
lisa.pfeiffer@uni-hamburg.de

PROF. DR. LAURA MARIE EDINGER-SCHONS
laura.marie.edinger-schons@uni-hamburg.de

KONTAKT UND ANSPRECHPARTNER
Projektmanagement & Technologie

sMArt City Mannheim GmbH
Landteilstraße 33
68163 Mannheim

www.smartmannheim.de

MORITZ BISCHOF
moritz.bischof@smartmannheim.de

Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

sMArt Smart City Mannheim

Gefördert durch

Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen

KFW

LITERATURVERZEICHNIS

[1] Thaler, R. H., & Sunstein, C. R. (2008). Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness. Yale University Press.

[2] Umweltbundesamt. (o. D.). Heizen & Raumtemperatur. https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/heizen-raumtemperatur

[3] ÖKO-TEST. (2025, 5. März). *1 Grad weniger heizen: Wie viel Euro lassen sich damit sparen?* Abgerufen am [aktuelles Datum], von https://www.oekotest.de/freizeit-technik/1-Grad-weniger-heizen-Wie-viel-Euro-lassen-sich-damit-sparen_13132_1.html

[4] Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 50(2), 179–211. https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T

[5] Melnyk, V., Carrillat, F. A., & Melnyk, V. (2022). The Influence of Social Norms on Consumer Behavior: A Meta-Analysis. Journal of Marketing, 86(3), 98–120. https://doi.org/10.1177/00222429211029199

[6] Cialdini, R. B., Kallgren, C. A., & Reno, R. R. (1991). A Focus Theory of Normative Conduct: A Theoretical Refinement and Reevaluation of the Role of Norms in Human Behavior. In Advances in Experimental Social Psychology (Bd. 24, S. 201–234). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S0065-2601(08)60330-5

[7] Schultz, P. W., Nolan, J. M., Cialdini, R. B., Goldstein, N. J., & Griskevicius, V. (2007). The Constructive, Destructive, and Reconstructive Power of Social Norms. Psychological Science, 18(5), 429–434. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01917.x

[8] Weinmann, M., Schneider, C., & Brocke, J. V. (2016). Digital Nudging. Business & Information Systems Engineering, 58(6), 433–436. https://doi.org/10.1007/s12599-016-0453-1

ANHANG A: WIRKUNGSEVALUATION ERGEBNISÜBERBLICK

	Output						Outcome		
Ziel	*Bereitstellung von 150 Dashboards and Bürgerinnen und Bürger während der Heizperiode 2024.*	*Die Bürger*innen nutzen ihre Dashboards im Rahmen der Heizperiode 2024.*				*Die Bürger*innen haben Spaß an der Nutzung ihres Dashboards.*	*Die Bürger*innen gewinnen neue Erkenntnisse über ihr Innenraumklima.*	*Die Bürger*innen verstärken ihr energiesparendes Heiz- und Lüftungsverhalten.*	*Die Raumtemperaturen der Bürger*innen verändern sich abhängig von der Aufbereitung der Temperaturdaten im Dashboard.*
Indikator	Bereitgestellte Dashboards	Dashboardnutzung				Nutzungszufriedenheit	Wissen über das eigene Raumklima	Energiesparendes Heiz- und Lüftungsverhalten	Veränderte Raumtemperatur
Operationalisierung	Anzahl bereitgestellter Dashboards	Summe an Dashboardaufrufen von 19. Januar bis 30. April 2024	Durchschnittliche Dashboardaufrufe pro Tag und Teilnehmenden	Anteil Teilnehmende mit mindestens monatlicher selbstberichteter Nutzung*	Anteil Teilnehmende mit selbstberichteter täglicher Nutzung*	Anteil Teilnehmenden, denen die Nutzung ihres Dashboards Spaß gemacht hat. *	Anteil Teilnehmende, denen die Nutzung ihres Dashboards neue Erkenntnisse bereitet hat. **	Mittleres Energiesparendes Heiz- und Lüftungsverhalten zum Ende der Aktion – Verhalten vor Aktionsbeginn***	Mittlere Abweichung der Raumtemperatur aller Teilnehmenden während Nutzung von den Ausganstemperaturen vor Nutzung****
Skala	#	Kumulative Häufigkeit	Relative Häufigkeit	%	%	%	%	Mittlerer Differenzwert 7er-Lickert [Median]	Differenzwert in °C
Evaluationsergebnis	**115**	**9705**	**0,82**	**80,65**	**7,53**	**77,42**	**82,8**	**0,33 [0,6]**	**0,88**
Ergebnis Variante 1	40	2180	0,53	76,67	6,67	80	76,7	0,26 [0,8]	0,83
Ergebnis Variante 2	37	5020	1,32	78,13	15,63	78,1	84,4	0,57 [0,8]	0,65
Ergebnis Variante 3	38	2505	0,64	87,10	0,00	74,2	87,1	-0,03 [0,4]	1,17

Anmerkungen. Variante 1 = Innenraumklima-Cockpit mit Heiz- und Lüftungstipps. Variante 2 =Innenraumklima-Cockpit mit Heiz- und Lüftungstipps und Durchschnittswerten aller Teilnehmenden. Variante 3 =Innenraumklima-Cockpit mit Heiz- und Lüftungstipps, Durchschnittswerten aller Teilnehmenden und Behaglichkeitsfeedback.

* Anteil von N = 93 Teilnehmende an der Abschlussbefragung, die der Aussage „Die Nutzung meines Dashboards hat mir Spaß gemacht“ eher zustimmten oder zustimmten.

** Anteil von N = 93 Teilnehmende an der Abschlussbefragung, die der Aussage „Die Nutzung meines Dashboards hat mir neue Erkenntnisse bereitet“ mindestens teilweise zustimmten.

*** N = 93 Teilnehmende an Start- und Abschlussbefragung. Mittlere Zustimmung der Teilnehmenden zu 6 Aussagen bezüglich ihres energiesparenden Heiz- und Lüftungsverhaltens. Höhere Werte indizieren energiesparenderes Verhalten.

**** 11,429 aggregierte Tagesraumtemperaturen von N = 115 Teilnehmenden an 103 Aktionstagen (19. Januar bis 30. April 2024). 780 aggregierte Tagesraumtemperaturen von N = 115 Teilnehmenden an 7 Tagen vor Aktionsbeginn (von 12. bis 19. Januar 2024)

ANHANG B: RAUMTEMPERATUREN IM PROJEKTVERLAUF

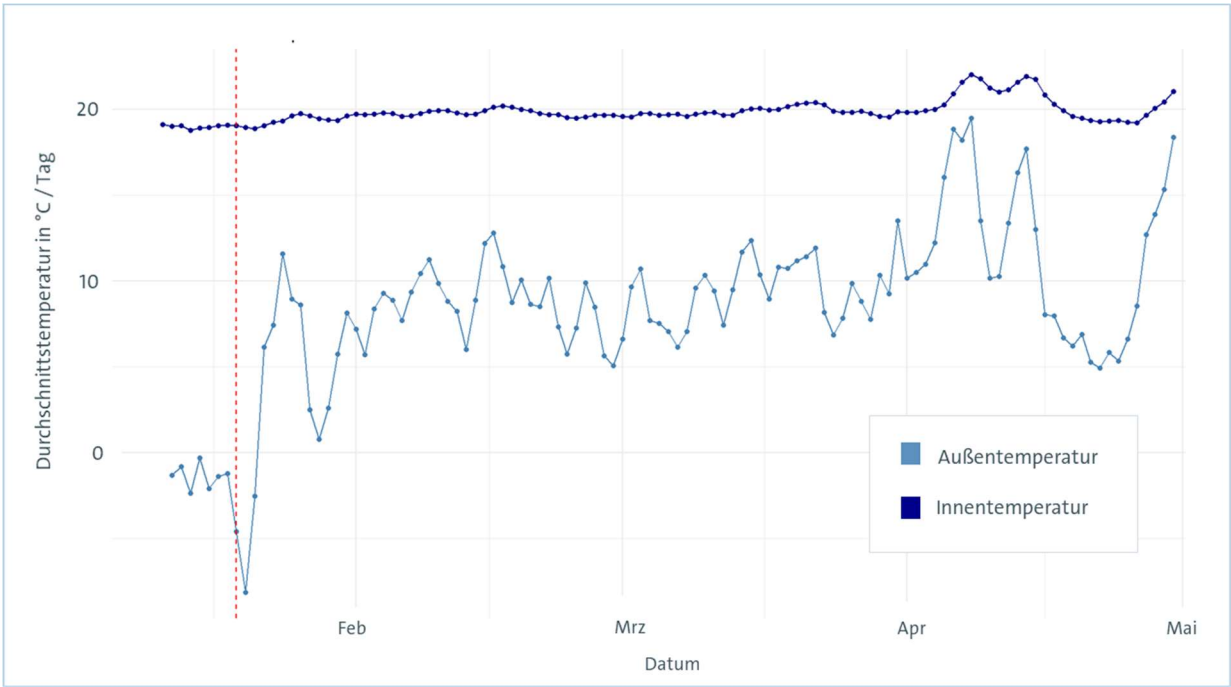


ABBILDUNG 11 Durchschnittliche Außen- und Innenraumtemperaturen im Projektverlauf. Die rote Linie markiert den Beginn der Dashboardbereitstellung am 19.01.2024.

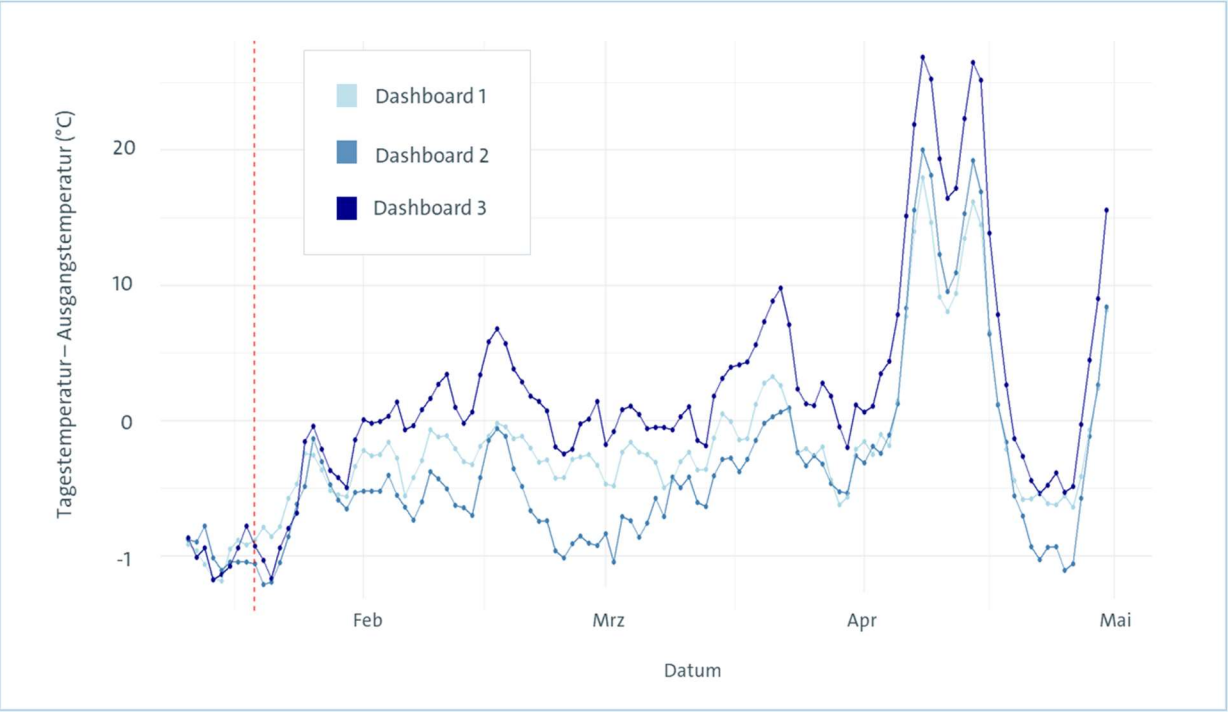


ABBILDUNG 12 Tägliche Abweichung der mittleren Raumtemperaturen von den Temperaturen vor Projektbeginn im Verlauf der Dashboardnutzung je Dashboardvariante. Die rote Linie markiert den Beginn der Dashboardbereitstellung am 19.01.2024.