

Entwicklung einer Strategie zur Unterstützung des Energieeinsparverhaltens von Nutzern/innen in Büro- und Verwaltungsgebäuden

Endbericht

Forschungsprogramm

Zukunft Bau

Projektlaufzeit

01. Dezember 2017 bis 30. Juni 2019

Aktenzeichen

10.08.17.7-17.15

im Auftrag

des Bundesinstituts für Bau-, Stadt-, und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

bearbeitet von

Dr. Carolin Baedeker, Prof. Dr. Viktor Grinewitschus,
Benjamin Krisemendt, Dr. Katja Lepper, Philipp Themann

Projektkoordination:

Dr. Carolin Baedeker

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (WI)

Stellvertretende Forschungsgruppenleitung

Forschungsgruppe Nachhaltiges Produzieren und Konsumieren

Tel. + 49-(0)202-2492-244

carolin.baedeker@wupperinst.org

Postadresse:

Döppersberg 19

D - 42103 Wuppertal

Projektpartner:

Prof. Dr. Viktor Grinewitschus

EBZ Business School – University of Applied Sciences (EBZ)

Tel. +49 234 9447 837

v.grinewitschus@ebz-bs.de

Postadresse:

Springorumallee 20

D- 44795 Bochum

Inhalt

Kurzfassung	5
Abstract.....	11
1. Ziele und Aufgabenstellung des Projekts.....	16
2. Strategien zur Optimierung des Energieeinspar-verhaltens der Nutzer*innen.....	21
2.1 Sondierung möglicher Strategien	21
2.2 Bestandsaufnahme Betriebsführung und Nutzerverhalten (Empirische Erhebung Heizperiode 2017/2018).....	24
2.2.1 Mitarbeiter*inneninterviews.....	24
2.2.2 Raumklima-Monitoring.....	26
2.3 Schlussfolgerungen und Konzeption von Modulen einer Interventionsstrategie.....	31
2.3.1 Raumklima-Monitoring im Abgleich der Daten der Gebäudeleittechnik (GLT).....	32
2.3.2 SWOT-Analyse unter Einbezug definierter Qualitätskriterien im Rahmen einer nutzerzentrierten Betriebsführung.....	48
2.4 Erprobung von Modulen einer Interventionsstrategie (Empirische Erhebung 2 Heizperiode 2018/2019).....	51
2.4.1 Konzeption und Test eines Assistenzsystems Piaf	51
2.4.2 Onlinebefragung zum Energieeinsparverhalten im BMU.....	61
2.4.3 Abfrage über persönliches Wohlbefinden (“Suppenchallenge”)	63
3. Synthese: Vorschlag für eine nutzerzentrierte Betriebsführung.....	71
3.1 Potenziale einer nutzerzentrierten Betriebsführung	71
3.2 Handlungsempfehlungen für eine nutzerzentrierte Betriebsführung	75
4. Ausblick.....	77
5. Literatur	79
Anlagen.....	81
Anlage 1: Gegenüberstellung der geplanten und tatsächlich durchgeführten Arbeitsschritte	81
Anlage 2: Pressemitteilung 07.02.2019	88
Anlage 3: Fragebogen Mitarbeiter*innen-Interviews	92
Anlage 4: Fragebogen Techniker-Interviews	94
Anlage 5: Onlinebefragung Fragebogen.....	97

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wirksamkeit verschiedener Energieeinsparstrategien auf Grundlage der Ergebnisse aus der explorativen Recherche	22
Abbildung 2: EBZ-Lüftungsassistenzsystem "Hangar" mit der Anzeige für unterschiedliche CO ₂ -Konzentrationen.....	30
Abbildung 3: Detailbetrachtung einer Heatmap am Beispiel der Raumtemperaturen in Büro 3.....	33
Abbildung 4: Detailbetrachtung einer Heatmap am Beispiel der CO ₂ -Konzentration in Büro 9.....	34
Abbildung 5: Heatmaps der Temperaturen (Extech).....	35
Abbildung 6: Heatmaps der Luftfeuchtigkeit (Extech)	35
Abbildung 7: Heatmaps der CO ₂ -Konzentration (Extech).....	36
Abbildung 8: Scatterplots der Raum- und Außentemperaturen (Extech).....	39
Abbildung 9: Heatmap der Vorlauftemperaturen im Neubau (GLT)	40
Abbildung 10: Scatterplots der Raum- und Außentemperaturen (GLT).....	40
Abbildung 11: Verlaufsbeispiel zur Berechnung des Einsparpotenzials	41
Abbildung 12: Einsparpotenzial je Szenario.....	43
Abbildung 13: Boxplots der CO ₂ -Konzentration (Extech)	45
Abbildung 14: CO ₂ - und Temperaturverläufe in Büro 3	47
Abbildung 15: CO ₂ - und Temperaturverläufe in Büro 9	48
Abbildung 16: Nutzerzentrierte Betriebsführung	50
Abbildung 17: Detailbetrachtung Heatmap: Lüftungsvorgang	55
Abbildung 18: Detailbetrachtung CO ₂ - und Temperaturverlauf: Lüftungsvorgang	56
Abbildung 19: CO ₂ - und Temperaturverlauf: Beispiel 1	57
Abbildung 20: CO ₂ - und Temperaturverlauf: Beispiel 2	57
Abbildung 21: CO ₂ - und Temperaturverläufe - Büro 3.....	58
Abbildung 22: CO ₂ - und Temperaturverläufe - Büro 5.....	59
Abbildung 23: CO ₂ - und Temperaturverläufe - Büro 6.....	59
Abbildung 24: CO ₂ - und Temperaturverläufe - Büro 8.....	60
Abbildung 25: CO ₂ - und Temperaturverläufe - Büro E	60
Abbildung 26: Gebäudeteile BMU	61
Abbildung 27: Handhabung der Fenster (A: Fensterstellung; B: Lüftungszeitraum).....	62
Abbildung 28: Erwartungen und Interessen der Befragten.....	63
Abbildung 29: Bewertungsmöglichkeiten innerhalb der Abfrage	64
Abbildung 30: Empfundene Raumtemperatur (A: insgesamt; B: männlich; C: weiblich).....	66
Abbildung 31: Temperaturwahrnehmung nach Gebäudeteilen (Grün: Passivhaus; Rot: Altbau).....	67
Abbildung 32: Scatterplots der Raum- und Außentemperatur sowie Nutzerwertung.....	68
Abbildung 33: Stimmungsbild der Suppenchallenge.....	70
Abbildung 34: Thermostatventil an der Fußleiste (B, gelb gefärbter Kreis), Temperaturregler im Schrank (A).....	73
Abbildung 35: Übersicht über den Arbeitsplan	81
Abbildung 36: Übersicht über Arbeitsplan nach Projektaufstockung 2019	83

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Büros mit Extech-Datenloggern	29
Tabelle 2: Szenarien für Einsparpotenzialermittlung.....	42
Tabelle 3: Büros mit Piaf	52
Tabelle 4: Signalcharakteristika Piaf.....	53
Tabelle 5: Übersicht über die geplanten Arbeitsschritte	82
Tabelle 6: Übersicht über die geplanten Arbeitsschritte innerhalb der Projektaufstockung 2019	83

Kurzfassung

Das Projekt „Entwicklung einer Strategie zur Unterstützung des Energieeinsparverhaltens von Nutzern*innen in Büro- und Verwaltungsgebäuden“ im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) in Berlin zielte darauf ab, anhand ausgewählter Gebäude des BMU mögliche Strategien zur Unterstützung des Energieeinsparverhaltens zu eruieren. Die im Rahmen des Projekts umgesetzten Maßnahmen haben gezeigt, dass ein energieeffizienteres Nutzerverhalten in Kombination mit einer nutzerzentrierten Betriebsführung der Anlagentechnik den Energieverbrauch im BMU um bis zu 20% Prozent senken können. Es wurde ein nutzerzentrierter Ansatz¹ verfolgt, an dem alle entsprechenden Akteure (z. B. Nutzer*innen von Büros, Facility Management, Gebäudeeigentümer) beteiligt sind. Das Projekt fokussierte somit auf die Entwicklung von Energieeffizienzstrategien, die den Energie- und Ressourcenverbrauch des Gebäudebetriebs des BMU maßgeblich verringern sollen. Durch den Forschungsschwerpunkt auf die Mensch-Technik-Interaktion und sozio-technische Innovationen² stellte das Projekt die Nutzer*innen eines Gebäudes und deren Verhaltensweisen in den Mittelpunkt. Die sozio-technische Erforschung dieser Verhaltensweisen und deren Wirkungen auf die Betriebsführung kann erhebliche nutzerbedingte Energieeffizienzpotenziale identifizieren und dazu beitragen, diese langfristig und anwendungsbezogen heben zu können.

Das Projekt unterteilt sich in vier Forschungsphasen: In der **ersten Projektphase** wurden mithilfe einer explorativen, kriteriengestützten und systematischen Recherche von Studien, Projekten und Ansätzen Energieeffizienzstrategien in Büro- und Verwaltungsgebäuden analysiert und hinsichtlich Ihrer Wirksamkeit bewertet. Um die Anwendbarkeit der analysierten Energieeffizienzstrategien für das BMU zu überprüfen und die Möglichkeiten des Einflusses durch die Nutzer*innen abschätzen zu können, wurde in der **zweiten Projektphase** die Raumklima-Situation durch Interviews und einem Raumklima-Monitoring in den Projektgebäuden sondiert. Auf Basis dieser Grundlage und weiterführenden Schlussfolgerungen wurden innerhalb der **dritten Projektphase** erste Handlungsempfehlungen abgeleitet. Um die Implementierung einer nutzerzentrierten Betriebsführung besser abzuschätzen, wurden während der **vierten Projektphase** potenzielle Module einer entsprechenden Gesamtstrategie erprobt und bewertet. Im Folgenden werden die Projektergebnisse zusammenfassend dargestellt:

¹ Der nutzerzentrierte Ansatz zielt darauf, auf Grundlage von kontinuierlichen Feedback der entsprechenden Zielgruppe(n) die Bedürfnisse und Anforderungen aller Nutzer*innen (z. B. Nutzer*innen von Büros, Facility Management, Gebäudeeigentümer) in den Mittelpunkt des Anlagenbetriebes zu stellen (vgl. Textkasten 1, Kap. 1).

² Die sozio-technische Erforschung von Innovationen zielt auf technologische Veränderungen und Weiterentwicklungen, die in ihrer Folge zu veränderten sozialen Praktiken führen können (Scheidewind u. Scheck 2013, vgl. Textkasten 2, Kap. 1).

Sondierung möglicher Energieeffizienzstrategien

Die Stellschrauben möglicher Energieeffizienzstrategien betreffen sowohl alltäglich wiederholte Routinen (z. B. Lüften, Heizen, Umgang mit elektronischen Geräten) als auch die technische Betriebsführung und Einstellung der entsprechenden Anlagentechnik sowie die Kommunikationswege zwischen Büronutzer*innen und Facility Management. Heutige Energieeffizienzstrategien fokussieren zumeist nur auf eine der genannten Stellschrauben, so dass diese in der Regel nicht in ihrer gemeinsamen Dynamik betrachtet werden können. Die Folge sind zahlreiche Optimierungsmaßnahmen, die sich entweder an die technische Einstellung und Modernisierung der Anlagentechnik richten oder nachhaltigkeitsrelevante Routinen am Arbeitsplatz befördern sollen. Dabei erscheint die ausschließliche Vermittlung von Wissen und Information (Broschüren, Flyer, Energieeinspartipps) weitaus weniger effektiv zu sein als kombinierte Strategien, die aktivierende Kommunikationsinstrumente (Gruppenfeedbacks, Individuelle Datenplattformen, Prompts/Reminder), Beratung und Qualifizierung mit einem Monitoring der individuellen Verbrauchsdaten und einem direkten Feedback in Form von Anzeigesystemen (CO₂-Ampel, smart-meter) im Büroalltag verbinden.

Verhaltensmuster und Routinen aller Gebäudenutzer in ihrer Interaktion und Wechselwirkung führen vielfach zu Ineffizienzen und Rebound-Effekten, die Energie verbrauchen und damit Kosten verursachen. Um die Energieeffizienz von Büros und Bürogebäuden langfristig zu steigern, sollten deshalb verstärkt Gebäudeeigenschaften, Gebäudemanagement, Anlagentechnik, technische Innovationen im Büro, Büroausstattung und Nutzungsverhalten in ihrer gemeinsamen Dynamik betrachtet und bewertet werden. Vielfach geht es im Wechselspiel der unterschiedlichen Nutzer*innen des Gebäudes (Büroangestellte, Gebäudemanagement/Haustechnik) um ein "Verhandeln" des Mindest-Komforts in den Büros und Gemeinschaftsräumen. Idealerweise stehen sich hier die Interessen eines "effizienten Anlagenbetriebs und der Energieeinsparung" (Gebäudemanagement) sowie der "Komfortmaximierung am Arbeitsplatz" nicht entgegen. Die Praxis zeigt jedoch, dass das Gebäudemanagement sich häufig den Anforderungen der Büronutzer*innen beugt und die Anlagentechnik entsprechend einstellt, das heißt die technischen Anlagen sind auf maximalem Komfort ausgerichtet unter Einbußen der Energieeffizienz.

Bestandsaufnahme der Betriebsführung und Nutzerverhalten

Der lokale Energieverbrauch wird grundsätzlich durch das jeweilige Raumklima einzelner Büros bestimmt. Das Raumklima steht in Abhängigkeit zum Nutzerverhalten und der Handhabung der lokalen Gebäudephysik (z. B. natürliche Belüftung über die Fenster, geöffnete Türen), der lokalen Regelungstechnik (z. B. Einstellung der individuellen Wohlfühltemperatur über das Heizungsthermostat) sowie der Regelung des zentralen Anlagenbetriebs. Im gesamten Gebäudemanagement bestehen Rückkopplungen zwischen den lokalen Einflussfaktoren (s. o.) und der gesamten Gebäudephysik (z. B. Bausubstanz, Lage, Exponiertheit), der zentralen Anlagentechnik (z. B. Funktionalität, Modernisierungsgrad) sowie der Betriebsführung durch das Facility Management (FM, technisches Personal).

Einsparpotenziale in den genannten Bereichen ergeben sich in Bezug auf das Nutzerverhalten in Büros und die Einstellung der Anlagentechnik: Die Belüftung von Büros dient zur Verbesserung des Raumklimas in Bezug auf die CO₂-Konzentration. An kalten Tagen, an denen eine Beheizung der Büros stattfindet, ist es energetisch sinnvoll, Lüftungsvorgänge zeitlich zu begrenzen. Das Fenster sollte wieder geschlossen werden, sobald eine niedrige CO₂-Konzentration, d.h. ein CO₂-Niveau von ca. 750 ppm, erreicht wird. Wird das Fenster auch nach Unterschreiten dieses Werts nicht geschlossen, so trägt der Lüftungsvorgang nur noch geringfügig zur Verbesserung der CO₂-Konzentration bei, die Raumtemperatur sinkt jedoch weiter ab. Ein frühzeitiges und an das CO₂-Niveau angepasstes Schließen des Fensters verhindert eine nicht notwendige Abkühlung des Raums und spart damit Heizenergie. Einsparungen sind weiterhin durch eine zentrale Absenkung der Temperaturen, innerhalb und insbesondere außerhalb der Arbeitszeit sowie an Wochenenden und Feiertagen in den Büros möglich. Die Projektergebnisse zeigen, dass technische Assistenzsysteme zur aktuellen CO₂-Konzentration dabei unterstützen können, energieeffizientes Verhalten am Arbeitsplatz zielgerichtet umsetzen zu können. Dies betrifft insbesondere den positiven Einfluss auf das Lüftungsverhalten. Vor allem Büros mit energetisch affinen Lüftenden (keine Dauerlüftenden) profitieren von der sensorbasierten Unterstützung, da nicht mehr nach Gefühl gelüftet werden muss.

Es zeigte sich, dass in den Gebäuden des BMU keine gemeinsame Energieeffizienzstrategie umgesetzt wird. Vielmehr scheinen die Nutzer*innen in den Büros eine intuitive Individualstrategie zu verfolgen, die auf Basis ihrer routinierten Erfahrungswerte beruht. Obwohl das Wissen und die Motivation um energieeffizientes Verhalten am Arbeitsplatz auf Seiten der Befragten vergleichsweise hoch sind, scheint die Umsetzung geeigneter Maßnahmen durch Defizite an Informationen zu den baulich-technischen Randbedingungen erschwert zu werden. Weiterhin zeigte sich, dass sich die Kommunikation zwischen Nutzer*innen von Büros und technischem Personal in der Regel an individuellen Problemfällen orientiert. Aufgrund dessen dominiert ein stark negativ geprägtes Feedback, was einen zielführenden Austausch über Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz zusätzlich erschwert. Darüber hinaus können die individuellen Verbrauchswerte und die tatsächlichen Wohlfühlzonen aufgrund fehlender Feedbacksysteme weder für das technische Personal noch für die Nutzer*innen von Büros sichtbar gemacht werden. Diese Informationen wären jedoch grundlegend dafür, Ansatzpunkte einer gemeinsamen Energieeffizienzstrategie ableiten zu können und ein daran angepasstes Gebäudemanagement zu entwickeln.

Die Ziele des gesamten Gebäudemanagements sind in der Regel auf drei Aspekte zurückzuführen: (1) die Zufriedenheit der Nutzer*innen, (2) eine produktive Arbeitsatmosphäre und (3) ein angemessener (minimal notwendiger) Energieaufwand. Die Voraussetzungen zur Erfüllung dieser Ziele bestehen darin, die Zufriedenheit der Nutzer*innen, die Arbeitsproduktivität und den Energieverbrauch messen zu können, um gegebenenfalls darauf einwirken zu können. Wenn man davon ausgeht, dass die Produktivität der Nutzer*innen durch den Zufriedenheitsgrad mitbestimmt ist, wird deutlich, dass diese Kriterien kontinuierlicher Überprüfung bedürfen. Vor diesem Hintergrund erscheint eine gemeinsame nutzerzentrierte

Effizienzstrategie, die sich an verschiedenen Feedbacksystemen orientiert, besonders sinnvoll. Grundsätzlich zeigte sich, dass der Anlagenbetrieb nach einer Komfortstrategie betrieben wird. Diese zeichnet sich dadurch aus, dass eine möglichst hohe Zufriedenheit der Nutzer*innen mit dem Raumklima im Vordergrund steht. Kennzeichen dieser Strategie sind, dass sich die Nutzer*innen bis auf wenige Meinungsführer*innen weitgehend unauffällig verhalten und einige Nutzer*innen Strategien entwickeln um mit dem Überangebot an Wärme und Energie umgehen zu können (z. B. Weglüften des Überangebotes). Darüber hinaus wird der (Un)Sinn von Einstellungen und Provisorien bzw. vorläufigen Lösungen nicht kontrolliert und nicht hinterfragt. Dies kann ebenfalls dadurch bedingt sein, dass keine organisierte Kommunikation zwischen den Nutzer*innen des Gebäudes besteht. Dies betrifft sowohl die Kommunikation über Verbrauchs-, Vergleichs- und Zufriedenheitswerte zwischen den Nutzer*innen von Büros, als auch die Weiterleitung dieser Informationen an das Facility Management und die Gebäudeeigentümer.

Erste Schlussfolgerungen und Konzeption von Modulen einer Interventionsstrategie

Das Raumklima-Monitoring und die zur Verfügung gestellten Daten der Gebäudeleittechnik im BMU weisen Einsparpotenziale zwischen sieben und 28 Prozent auf. Diese können je nach Gebäude(teil) durch eine angepasste Automation der Anlagentechnik während und außerhalb der Arbeitszeiten gehoben werden. Demnach lässt sich die Effizienz der Anlagentechnik in den betrachteten Gebäuden grundsätzlich durch eine bessere Einstellung der witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung und durch ein Absenken der Temperaturniveaus außerhalb der Arbeitszeit steigern. Insgesamt gibt es in dem Gebäudekomplex keine funktionierende nacht- oder Wochentagsabsenkung. Die Begründung hierfür ist, dass einige der Büros auch während dieser Zeiträume prinzipiell zur Verfügung stehen müssen. Für die nicht betroffenen Büros lässt sich eine solche Absenkung entweder auf der Basis der verschiedenen Heizkreise im Gebäudekomplex realisieren, im Neubau lässt sich die vorhandene Raumautomation für den Absenkbetrieb durch entsprechende Zeitprogramme nutzen. Feedbacksysteme können in Bezug auf die Luftqualität, die individuelle Performance und den thermischen Komfort dazu beitragen, Kommunikationswege zwischen technischem Personal und Nutzer*innen von Büros zu intensivieren und den energieeffizientesten Weg zur individuellen Wohlfühlzone auch tatsächlich im Einzelfall zu benennen. Feedbacksysteme machen die Qualität des Gebäudemanagements durch Rückmeldung zur Zufriedenheit der Büronutzer*innen nicht nur sichtbar und vergleichbar (Zufriedenheit Nutzer*innen, Arbeitsproduktivität, möglichst geringer Energieaufwand), sondern motivieren anschließend dazu diese selbst formulierten Einsparziele durch Nutzerintegration und Verhaltensveränderung auch tatsächlich zu erreichen (z. B. durch Live-Daten-Plattform, Anreize, Wettbewerbe).

Vor diesem Hintergrund wird vorgeschlagen, die Betriebsführungsstrategie hinsichtlich einer nutzerzentrierten Effizienzstrategie umzustellen. Diese muss die unterschiedlichen Nutzer*innen des Gebäudes (Mitarbeiter*innen, technisches Personal, Facility Management) integrieren und eine Interaktion durch unterschiedliche Feedbacksysteme ermöglichen (bspw. Raumluftqualität, individuelle Performance, Wohlfühlzone, Vergleichsdaten) sowie Möglichkeiten

gemeinschaftlicher Anreize und Wettbewerbe schaffen. Langfristig ist es erforderlich, ein Gesamtsystem einer nutzerzentrierten Betriebsführung für das BMU zu entwickeln, welches die Verzahnung unterschiedlicher Methodenbausteine erlaubt. Da technische und soziale Interaktionen in einem engen Beziehungsgefüge zueinanderstehen und sich wechselseitig beeinflussen, können diese nur unter einer sozio-technischen Betrachtung ihrer gemeinsamen Dynamik miteinander in Einklang gebracht werden. Diese richtet sich explizit an die Identifikation fehlerhafter (teilw. gewollten) Einstellungen der Anlagentechnik, nicht energieeffizientem Nutzerverhalten und an die Kommunikation zwischen Büronutzer*innen und Facility Management. Um das Potenzial der entsprechenden Anlagentechnik und energieeffizientes Nutzerverhalten am Arbeitsplatz langfristig heben zu können, ist die Verzahnung und das Wechselspiel von sozio-technischen Maßnahmen und Interaktionen unabdinglich. Dies könnte bedeuten neben den Auswertung zu der allgemeinen Zufriedenheit von Büronutzer*innen auch Analysen über unterschiedliche Zeithorizonte hinweg zu integrieren sowie dabei gegebenenfalls Teilauswertungen aus der Gebäudeleittechnik zu verwenden und diese einen Optimierungszyklus fließen zu lassen. Dementsprechend ist die Konsistenz und die langfristige Wirksamkeit einer nutzerzentrierten Betriebsführung auch davon abhängig, inwiefern sämtliche Interaktionsansätze gebäudescharf und aufeinander abgestimmt implementiert werden können.

Erprobung von Modulen einer Interventionsstrategie

Um die Implementierung einer nutzerzentrierten Betriebsführung besser abschätzen zu können, wurden potenzielle Module einer entsprechenden Gesamtstrategie erprobt. Dazu zählte beispielsweise der Einsatz des EBZ-Lüftungsassistenzsystems „Piaf“. Die Lüftungsassistenz „Piaf“ ist ein Feedbacksystem zur Unterstützung des energieeffizienten Lüftungsverhaltens der Nutzer*innen und damit Teil eines Gesamtsystems einer nutzerzentrierten Betriebsführung. Das Feedbacksystem kann beispielsweise dazu beitragen eine angemessene und energiebewusste Raumlüftung zu erreichen. In der Kombination mit einfachen und schnell zu beantwortenden Abfragen, wie der Abfrage der individuellen Wohlfühltemperatur, werden zusätzliche Gebäude(teil)- sowie Etagen bezogene und akteurspezifische Informationen abgeleitet. Dies ist insbesondere bei der Definition von gebäude- und nutzerspezifischen Qualitätskriterien und deren Integration in eine nutzerzentrierte Betriebsführung hilfreich. Gebäude- und nutzerspezifischen Qualitätskriterien sind in diesem Zusammenhang sowohl für die energieeffiziente Handhabung der lokalen Anlagentechnik durch die Nutzer*innen von Büros relevant, als auch für die Bezifferung und Freisetzung von nutzerzentrierten Energie- und Kosteneinsparpotenzialen durch das technische Personal. Im Fokus steht dabei, den Teilnehmer*innen nicht nur einen Überblick über ihre individuellen Verbrauchswerte im Vergleich zu anderen Mitarbeitern*innen zu geben, sondern das Nutzerverhalten durch direktes und kontinuierliches Feedback und Handlungsempfehlungen aktiv mitzugestalten. Auf diese Weise werden das gewünschte Raumklima und die individuellen Komfortzonen der Mitarbeiter*innen so energieeffizient wie möglich gestaltet, wobei Kosten gesenkt und Emissionen reduziert werden, ohne die Arbeitsproduktivität zu beeinflussen.

Ausblick

Das erarbeitete Wissen um energieeffizientes Verhalten im BMU weist auf ein hervorragendes Fundament zur Implementierung einer nutzerzentrierten Betriebsführung hin. Aufgrund der zu erwartenden Kosten-, Energie- und Ressourcen- sowie CO₂-Einsparung und der grundsätzlichen Übertragbarkeit auf andere Büro- und Verwaltungsgebäude, könnte das BMU eine Vorbildfunktion übernehmen und damit einen wesentlichen Beitrag zum Erreichen des Ziels eines klimaneutralen Gebäudebestands zu leisten. Dieser Vorbildfunktion gerecht zu werden, erfordert nutzerbezogene Feedbacksysteme (weiter) zu entwickeln und in unterschiedlichen Gebäude(teile)n des BMU zu erproben sowie diese in einem transferfähigen Gesamtsystem zusammenzuführen.

Abstract

The project "Development of a strategy to support the energy saving behaviour of users in office and administrative buildings" at the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) in Berlin aimed at identifying possible strategies to support energy saving behaviour on the basis of selected BMU buildings. The measures implemented within the framework of the project have shown that a more energy-efficient user behaviour in combination with a user-centred management of the plant technology can reduce energy consumption in the BMU by up to 20%. A user-integrated approach³ was pursued, involving all relevant stakeholders (e.g. users of offices, facility management, building owners). The project thus focused on the development of energy efficiency strategies that should significantly reduce the energy and resource consumption of the BMU's building operations. Through the research focus on human-technology interaction and socio-technical innovations⁴, the project focused on the users of a building and their behaviour. The socio-technical investigation of these behaviours and their effects on management can identify considerable user-related energy efficiency potentials and contribute to their long-term and application-related improvement.

The project is divided into four research phases: In the first project phase, energy efficiency strategies in office and administration buildings were analysed and evaluated with regard to their effectiveness with the help of an explorative, criterion-based and systematic research of studies, projects and approaches. In order to check the applicability of the analysed energy efficiency strategies for the BMU and to be able to assess the possibilities of the influence of the users, the indoor climate situation was sounded out in the second project phase through interviews and an indoor climate monitoring in the project buildings. Based on this and further conclusions, initial recommendations for action were derived in the third project phase. In order to better assess the implementation of a user-centred management, potential modules of a corresponding overall strategy were tested and evaluated during the fourth project phase. The project results are summarised below:

Exploration of possible energy efficiency strategies

Important aspects of possible energy efficiency strategies include routines that are repeated every day (e.g. ventilation, heating, handling electronic devices) as well as the technical management and adjustment of the corresponding system technology and the communication channels between office users and facility management. Today's energy efficiency strategies

³ The user-centred approach aims to place the needs and requirements of all users (e.g. users of offices, facility management, building owners) at the centre of plant operation on the basis of continuous feedback from the relevant target group(s) (cf. text box 1, chapter 1).

⁴ The socio-technical research of innovations aims at technological changes and further developments, which in their consequence can lead to changed social practices (Scheidewind and Scheck 2013, cf. text box 2, chapter 1).

usually focus only on one of the above-mentioned aspects, so that these cannot usually be considered in their common dynamics. This results in numerous optimisation measures, which are either aimed at the technical adjustment and modernisation of the system technology or at promoting sustainability-relevant routines at the workplace. The exclusive transfer of knowledge and information (brochures, flyers, energy-saving tips) appears to be far less effective than combined strategies that combine activating communication instruments (group feedback, individual data platforms, prompts/reminders), advice and qualification with monitoring of individual consumption data and direct feedback in the form of display systems (CO₂ lights, smart meters) in everyday office life.

Behavioural patterns and routines of all building users in their interaction often lead to inefficiencies and rebound effects, which consume energy and thus cause costs. In order to increase the energy efficiency of offices and office buildings in the long term, building characteristics, building management, systems engineering, technical innovations in the office, office equipment and usage behaviour should be considered and evaluated in their common dynamics. In many cases, the interplay between the different users of the building (office workers, building management/ building services) is about "negotiating" the minimum level of comfort in the offices and common rooms. Ideally, the interests of "efficient system operation and energy saving" (building management) and "maximising comfort at the workplace" do not conflict here. Practice shows, however, that building management often focuses on the requirements of office users and adjusts the system technology accordingly, i.e. the technical systems are designed for maximum comfort with a loss of energy efficiency.

Inventory of operational management and user behaviour

Local energy consumption is basically determined by the indoor climate of offices. The indoor climate depends on user behaviour and the handling of local building physics (e.g. natural ventilation via windows, open doors) as well as local control technology (e.g. setting the individual comfort temperature via the heating thermostat). In the overall building management there is feedback between the local influencing factors (see above) and the overall building physics (e.g. building substance, location, exposure), the central system technology (e.g. functionality, degree of modernization) as well as the operational management by the facility management (FM, technical personnel).

Savings potentials in the above-mentioned areas arise with regard to user behaviour and the adjustment of plant technology: The ventilation of offices serves to improve the indoor climate with regard to CO₂ concentration. On cold days, when the offices are heated, it makes energetic sense to limit ventilation processes to a certain period of time. The window should be closed again as soon as a low CO₂ concentration, i.e. a CO₂ level of approx 750 ppm, is reached. If the

window is not closed even if the CO₂ level falls below this value, the ventilation process contributes only slightly to improving the CO₂ concentration, but the room temperature continues to drop. Early closing of the window, adapted to the CO₂ level, prevents unnecessary cooling of the room and thus saves heating energy. Savings can also be made by lowering temperatures centrally, within and especially outside working hours, as well as at weekends and on public holidays in the offices. The project results show that technical assistance systems for the current CO₂ concentration can support the targeted implementation of energy-efficient behaviour at the workplace. This applies in particular to the positive influence on ventilation behaviour. Especially offices with energetically affine ventilators (not permanent ventilators) benefit from the sensor-based support, as ventilation no longer has to be according to feeling.

It turned out that no common energy efficiency strategy was implemented in the buildings of the BMU. Rather, users in the offices seem to be pursuing an intuitive individual strategy based on their individual experience. Although the respondents' knowledge and motivation for energy-efficient behaviour at the workplace are comparatively high, the implementation of suitable measures appears to be hampered by poor interaction and communication. Possible reasons for this may be the communication channels between users* of offices and technical staff, which are usually oriented towards individual problem cases and thus dominate a strongly negative feedback. In addition, a target-oriented exchange about measures to increase energy efficiency is made more difficult by the fact that the individual consumption values and the actual feel-good zones are not made visible to the technical staff and users of offices due to a lack of feedback systems.

The quality criteria of the entire building management are generally based on three aspects: (1) the satisfaction of the users, (2) a productive working atmosphere and (3) the appropriate (minimum necessary) energy expenditure. The prerequisites for fulfilling these quality criteria are the ability to measure user satisfaction, work productivity and energy consumption in order to influence them if necessary. If one assumes that the productivity of users* is determined by their satisfaction, it becomes clear that the satisfaction of users (or productive working atmosphere) can only be evaluated in part. Against this background, a common user-centered efficiency strategy based on various feedback systems seems to be particularly useful. Basically, it was found that plant operation is based on a comfort strategy. This is characterised by the fact that the focus is on the highest possible level of user satisfaction with the indoor climate. Characteristics of this strategy are that, apart from a few opinion leaders, the users behave largely inconspicuously and some users develop strategies to deal with the excess supply of heat and energy (e.g. ventilation of the excess supply). Furthermore, the sense of attitudes and provisional solutions is not controlled and not questioned. This can also be due to the fact that there is no organised communication between all stakeholders of the building.

First conclusions and conception of modules of an intervention strategy

Room climate monitoring and the data provided by the BMU's central building control system show potential savings of between 7 and 28 percent. Depending on the building (part of the building), this can be achieved by adapting the automation of the system technology during and outside working hours. Accordingly, the efficiency of the system technology in the buildings under consideration can basically be increased by a weather-dependent setting of the flow temperature control and by lowering the temperature levels outside working hours. If offices are used outside working hours, it is advisable to use room automation to individualise the lowering mode by means of appropriate time programmes. With regard to air quality, individual performance and thermal comfort, feedback systems can help to intensify communication between technical staff and users of offices and to name the most energy-efficient way to the individual comfort zone. Feedback systems not only make quality criteria of building management visible and comparable (user satisfaction, labour productivity, minimum energy consumption), but also motivate users to actually achieve these self-formulated savings targets through user integration and behavioural change (e.g. through live data platforms, incentives, competitions).

Against this background, it is proposed to change the management strategy with regard to a user-centered efficiency strategy. This strategy must integrate the different stakeholders of the building (users of offices, technical staff, facility management) and enable interaction through different feedback systems (e.g. indoor air quality, individual performance, feel-good zone, comparative data) and create opportunities for joint incentives and competitions. In the long term, it will be necessary to develop an overall system of user-centred management for the BMU that enables the interlocking of different interventions and methods. Since technical and social interactions are interrelated in a close relationship and influence each other, they can only be reconciled under a socio-technical consideration of their common dynamics.

This is explicitly aimed at the identification of faulty (partly intentional) settings of the system technology, non-energy-efficient user behaviour and the communication channels between office users and facility management. In order to be able to increase the potential of the corresponding system technology and energy-efficient user behaviour at the workplace in the long term, it is essential that socio-technical measures and interactions are precisely adjust to each other. Accordingly, the consistency and long-term effectiveness of a user-centered management system also depends on the extent to which all interaction approaches can be implemented in a way that is building specific and coordinated with each other.

Testing modules of an intervention strategy

In order to be able to better assess the implementation of a user-driven operational management, potential modules of a corresponding overall strategy were tested. This included, for example, the use of the EBZ ventilation assistance system "Piaf". "Piaf" ventilation assistance system is a feedback system to support the energy-efficient ventilation behaviour of office users and thus forms part of an overall system for user-centred operations management - for example, to achieve appropriate and energy-conscious room ventilation. In combination with simple and quick to answer queries such as the individual feel-good temperature, additional building (partial) and floor-related and actor-specific information is derived. This is particularly helpful when defining building and user-specific quality criteria and integrating them into a user-centred management system. This applies both to the energy-efficient handling of local system technology by office users and to the quantification and release of user-centred energy and cost-saving potential by technical staff. The focus is not only on giving the participants an overview of their individual consumption values in comparison to other employees, but also on actively shaping user behaviour through direct and continuous feedback and recommendations for action. In this way, the desired room climate and the individual comfort zone of the employees are made as energy-efficient as possible and costs and emissions are reduced without impairing work productivity.

Outlook

The knowledge acquired about energy-efficient behaviour in the BMU points to an excellent foundation for the implementation of user-centred operational management. Due to the expected savings of costs, energy, resources and CO₂ and the fundamental transferability to other office and administration buildings, the BMU could thus make a significant contribution to achieving the goal of a climate-neutral building stock. In order to achieve this goal, user-related feedback systems in various BMU buildings must be further developed, tested and combined to form a transferable overall system.

1. Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Um die Energieeffizienz in Büro- und Verwaltungsgebäuden zu verbessern, werden viele technische Lösungen entwickelt und angewendet. Die tatsächliche Wirksamkeit und Nachhaltigkeit dieser Lösungen entsprechen allerdings häufig nicht den Erwartungen. Dies liegt vor allem an der Tatsache, dass die Nutzer*innen den Gebäudebetrieb erheblich mit beeinflussen. Alltägliche Verhaltensmuster und Routinen führen vielfach zu (negativen) Rebound-Effekten, die Ressourcen verbrauchen und Kosten verursachen. Die Stellschrauben betreffen sowohl alltäglich wiederholte Routinen (z. B. Lüften, Heizen, Umgang mit elektronischen Geräten) als auch die technische Betriebsführung und Einstellung der entsprechenden Anlagentechnik sowie die Kommunikationswege zwischen Büronutzer*innen und Facility Management. Heutige Energieeffizienzstrategien fokussieren zumeist nur auf eine der genannten Stellschrauben, so dass diese in der Regel nicht in ihrer gemeinsamen Dynamik betrachtet werden können. Die wechselseitige Beeinflussung zwischen Einstellung der Anlagentechnik und Nutzerverhalten sowie die dafür relevanten Akteure werden dabei kaum beachtet.

Das vom Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung (BBSR), dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und dem Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) geförderte Projekt zielt darauf, anhand ausgewählter Gebäude des BMU mögliche Strategien zur Unterstützung des Energieeinsparverhaltens zu eruiieren. Nutzerverhalten und Nutzerakzeptanz sowie eine dauerhafte intrinsische Motivation stehen dabei im Fokus der Betrachtung, um eine nachhaltige Wirksamkeit der Maßnahmen zu gewährleisten.

Die einzelnen, in diesem Projekt zu leistenden **Arbeitspakete** und **-schritte** waren u. a.:

- Auf Grundlage der Erkenntnisse aus der explorativen Recherche (s. Kap. 2.1) sowie der Vorerfahrung der Auftragnehmer wurden qualitative Interviews (s. Kap. 2.2.1) und ein Raumklima-Monitoring (s. Kap. 2.2.2) durchgeführt. Die qualitativen Interviews wurden dabei von dem Raumklima-Monitoring in insgesamt 11 Büros begleitet (7 Stresemannstraße, 4 Krausenstraße), um die Aussagen der Befragten in einen direkten Bezug miteinander zu setzen und mit tatsächlich gemessenen Raumklimadaten vergleichen zu können.
- Auf Basis der Ergebnisse der qualitativen (s. Kap. 2.2.1) und quantitativen (s. Kap. 2.2.2) Datenaufnahme wurden mögliche nutzerzentrierte Energieeffizienzstrategien (s. u.) im Rahmen zweier Fokusgruppenworkshops durch die Projektteilnehmer*innen und Projektverantwortlichen diskutiert und bewertet.

- Schließlich wurden aus der explorativen Recherche sowie der qualitativen und quantitativen Datenaufnahme erste Schlussfolgerungen gezogen und für die weiterführende Verarbeitung zugänglich gemacht (s. Kap. 2.3).
- Auf Basis der aufbereiteten Schlussfolgerungen wurde eine SWOT-Analyse durchgeführt (s. Kap. 2.3.2). In projektinternen Workshops wurde diese SWOT Analyse vom Projektteam diskutiert und erweitert. Ziel war es, anhand der Ergebnisse besonders vielversprechende Strategien zu identifizieren, die ggf. in Form von Fallstudien in einem Folgeprojekt angewendet werden können.
- Die zusammenfassende Ergebnispräsentation fand am 10. Oktober 2018 im BMU statt und zielte darauf, die Ergebnisse aus unterschiedlichen Perspektiven (Büroangestellte, Facility Management, Haustechnik) zu beleuchten. Der Perspektivwechsel ermöglicht noch einmal mit Hilfe von Fachexpertise die Potentialabschätzungen der verschiedenen untersuchten Strategien zu bewerten und ggf. in Richtung eines Folgeprojektes entsprechende Maßnahmen vorab zu diskutieren.
- Die aufbereiteten Ergebnisse der Projekts wurden innerhalb der Heizperiode 2018/2019 genutzt, um ein breiter angelegtes Monitoring im Alt- und Neubau des BMU Gebäudes in der Stresemannstraße zu verfolgen, erste Interaktionsstrategien mit den Beschäftigten umzusetzen und eine gemeinsame Gesamtstrategie für Dienstgebäude des BMU weiter auszuarbeiten (s. Kap. 2.4).
- Um dieses umsetzen zu können, wurde eine Auftragsverlängerung im Zuge einer Projektaufstockung bis zum 21.08.2019 vorgenommen (s. Anlage 1).
- Im Rahmen der Aufstockung erfolgte zunächst eine Teilnehmendenrekrutierung sowie die Installation des Raumklima-Assistenzsystems Piaf inkl. einer Livedatenplattform (s. Kap. 2.4.1).
- Parallel dazu erfolgte eine Onlinebefragung (s. Kap. 2.4.2) und die vierwöchige Abfrage des persönlichen Wohlbefindens (s. Kap. 2.4.3).
- In einem Feedback-Workshop wurden die Ergebnisse der Messungen vorgestellt und die Funktionstätigkeit des Raumklima-Assistenzsystems Piaf diskutiert.
- Im Anschluss erfolgte die Querauswertung aller erhobenen Ergebnisse aus der Projektaufstockung, die in einem Abstimmungsgespräch im Rahmen einer Ergebnispräsentation vorgestellt wurden. Das gesamte Projekt mit seinen Arbeitspaketen, Vorgehensweisen und Methoden sowie seinen Ergebnissen fließen in diesen Endbericht

ein.

Textkasten 1: Energieeffizienzstrategien durch Nutzerzentrierung im Rahmen von Sustainable LivingLabs und Innovationsprozessen

Viele Produkt- und Dienstleistungsinnovationen mit hohen Nachhaltigkeitspotenzialen scheitern an mangelnder Nutzerakzeptanz oder werden falsch angewendet. Vor diesem Hintergrund fokussierte das Projekt einen experimentellen Forschungsansatz, der Nutzer*innen in den Mittelpunkt des Forschungsinteresses stellt und diese am Forschungsvorhaben partizipieren lässt (Liedtke et al. 2015). Das Forschungsdesign ist dabei an den Sustainable LivingLab Ansatz angelehnt (Baedeker et al. 2017, Liedtke et al. 2008, 2015). Sustainable LivingLabs eröffnen neue Perspektiven für die Integration aller beteiligten Stakeholder und binden diese in den Innovationsprozess mit ein (Liedtke et al. 2015). Die Nutzer*innen sind dabei aktiv am Entwicklungsprozess beteiligt, um wirksame und langfristig einsetzbare Nachhaltigkeitslösungen entwickeln zu können (Bergvall-Kåreborn 2009; Liedtke et al. 2008, 2015). Living Labs stellen in diesem Zusammenhang ein nutzerzentriertes Innovationsmilieu dar, das auf täglicher Praxis und Forschung aufbaut, um den Einfluss von Anwendern und beteiligten Akteuren in Innovationsprozessen zu erleichtern und Akzeptanz für neue Produkte und Dienstleistungen zu erhöhen (Bergvall-Kåreborn et al. 2009, Baedeker et al. 2017, Liedtke et al. 2008, 2015).

Im Rahmen des Projekts wurden so einzelne Interventionen und Innovationen auf Basis der Projektergebnisse immer wieder durch die Projektverantwortlichen und -teilnehmenden diskutiert und reflektiert. Der nutzerzentrierte Ansatz des Projekts folgte dabei einer iterativen Vorgehensweise, die eine frühzeitige Fokussierung der Nutzerbedürfnisse und des Nutzerverhaltens erlaubt. Auf Grundlage von kontinuierlichem Feedback der entsprechenden Zielgruppe(n) wurden die Bedürfnisse und Anforderungen aller Nutzer*innen (z. B. Nutzer*innen von Büros, Facility Management, Gebäudeeigentümer) in den Mittelpunkt des Anlagenbetriebes gestellt. Dabei stand die empirische Überprüfung aller relevanten Einflussfaktoren, die Erfassung aller beteiligten Stakeholder und die Veränderung des individuellen Energieeinsparverhaltens im Vordergrund.

Textkasten 2: Sozio-technische Interaktionen und das Wirkungsgefüge zwischen Nutzerverhalten und Anlagentechnik

Da im Gebäudebetrieb technische und soziale Maßnahmen in einem engen Beziehungsgefüge zueinander stehen und sich wechselseitig beeinflussen, können diese nur unter der Betrachtung ihrer gemeinsamen Dynamik miteinander in Einklang gebracht werden. Sozio-technische Interaktionen zielen in diesem Zusammenhang auf technologische Veränderungen und Weiterentwicklungen, die in einer wechselseitigen Beziehung zu sozialen Praktiken stehen können (Schneidewind u. Scheck 2013).

Herausragende Bedeutung hat in diesem Zusammenhang das technische Subsystem (z. B. lokale Anlagentechnik, Betriebsführung, technische und räumliche Arbeitsbedingungen) in Verschränkung mit dem sozialen Subsystem (z. B. Handhabung der lokalen Anlagentechnik, Nutzerverhalten), das innerhalb potenzieller Energieeffizienzstrategien zu einem Gesamtsystem zusammengeführt wird. Das Wissen um Wechselwirkungen zwischen individuellem Nutzerverhalten und Anlagenbetrieb stellt eine wesentliche Stellschraube möglicher nutzerzentrierter Effizienzstrategien dar. Da bisherige Energieeffizienzstrategien zumeist nur auf ein Subsystem fokussieren, richtet sich die Entwicklung entsprechender sozio-technischer Maßnahmen konkret an die Erforschung dieses sozio-technologischen Wirkungsgefüges. Der Blick richtet sich damit auf die spezifischen Einflussfaktoren, Abläufe und Dynamiken die nicht mehr nur sichtbar gemacht werden, sondern auch präzise rekonstruiert und lösungsorientiert dargestellt werden können.

2. Strategien zur Optimierung des Energieeinsparverhaltens der Nutzer*innen

Im Folgenden werden mögliche Strategien zur Optimierung des Energieeinsparverhaltens von Nutzer*innen zusammenfassend dargestellt. Diese werden auf Grundlage einer Sondierung zu möglichen nutzerzentrierten Energieeffizienzstrategien erörtert (Kap. 2.1) und in Anlehnung an die aktuelle Betriebsführung des BMU (s. Kap. 2.2) aufbereitet. Daran anschließend erfolgt eine Bewertung potenzieller Energieeffizienzstrategien im BMU (s. Kap. 2.3) sowie die Abschätzung von darin integrierbaren Modulen und Interventionsstrategien (s. Kap. 2.4).

2.1 Sondierung möglicher Strategien

Das Ziel der „Sondierung“ bestand in der Erarbeitung möglicher Strategien zur Beeinflussung/Optimierung des Energieeinsparverhaltens der Nutzer*innen. Beginnend mit einer explorativen, kriteriengestützten und systematischen Recherche von Studien, Projekten und Ansätzen bezüglich der Beeinflussung des Energieeinsparverhaltens der Nutzer*innen in Nichtwohngebäuden und hier insbesondere in Büro- und Verwaltungsgebäuden startete das Screening. Insgesamt wurden 17 nationale und internationale Studien sowie neun Projekte/Ansätze erfasst. Die Herausarbeitung und Bewertung von Strategien zur Unterstützung des Energieeinsparverhaltens von Nutzer*innen erfolgte auf Grundlage eines Rasters und einer darauf aufbauenden Matrix. Auf Basis der Ergebnisse erfolgte abschließend die Ableitung von Schlussfolgerungen im Projektteam. Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse des Screenings und der Sondierung möglicher Strategien zur Beeinflussung/Optimierung des Energieeinsparverhaltens der Nutzer/innen zusammenfassend dargestellt:

Um die Energieeffizienz in Büro- und Verwaltungsgebäuden zu erhöhen, werden verschiedene Maßnahmen und Interventionen genutzt. Hochinvestive Maßnahmen fokussieren zumeist auf die (Neu)Planung oder Sanierung von Gebäuden und deren Anlagentechnik. Niedriginvestive Maßnahmen setzen zumeist auf unterschiedliche Strategien, um potenzielle Energieeinsparpotenziale durch Optimierung der vorhandenen Anlagentechnik oder durch entsprechende Verhaltensänderung der Nutzer*innen zu erzielen. Eine Möglichkeit, um die Energieeffizienz von Gebäuden in der Betriebsführung nachhaltig zu steigern, besteht in der Beseitigung von Fehlern in der Anlagentechnik. Dieser Ansatz erscheint auf den ersten Blick trivial und selbstverständlich, allerdings unterstützen moderne Gebäude mit einer umfangreichen Gebäudeautomation nur selten die Fehlerdetektion und -analyse. Zum einen können technische Komponenten (wie Sensoren oder Stellantriebe) defekt sein, zum anderen kann es bei der Implementierung der regelungstechnischen Software zu Fehlern kommen. In der Regel ist hierzu umfangreiches Expertenwissen notwendig. Hier gibt es verschiedene Ansätze, diese Fehler zu detektieren. Meist wird das Sollverhalten der Anlagentechnik, wie es

z. B. von einem/einer Planer*in konzipiert wurde, Ausgangspunkt der Betrachtungen. Über modellbasierte Verfahren wird das Sollverhalten mit dem Istverhalten abgeglichen, Fehler in der Hard- und Software lassen sich so erkennen.

Ein anderer Ansatz zielt darauf, das Nutzerverhalten zu verändern, welches den Energieverbrauch beeinflusst. Hierbei werden Verhaltensroutinen hinterfragt, die den Energieverbrauch erhöhen und im optimalen Fall verändert. Beispiele sind hier das Abschalten von Geräten bei Nichtnutzung oder das Reduzieren der Raum-Sollwerttemperaturen beim Verlassen des Büros. Aktuelle Projekte und Ansätze in dem Themenfeld zeigen, dass es eine große Bandbreite unterschiedlicher Strategien gibt, Nutzerverhalten im Büro zu beeinflussen - mit divergierendem Potenzial bezüglich Verhaltensveränderungen und Energieeinsparungen (vgl. Abb. 1). Da die Angestellten in öffentlichen Gebäuden in der Regel keinen eigenen monetären Nutzen aus potenziellen Energieeinsparungen erzielen, ist deren intrinsische Motivation zu potenziellen Verhaltensänderungen von besonderer Bedeutung.

		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Feedbacksysteme ▪ Monitoring/ Messsysteme ▪ Selbstverpflichtung/ Engagement ▪ Anreizsysteme: Rankings ▪ <i>Aktivierende</i> Kommunikationsinstrumente: Prompts/Reminder ▪ Qualifizierungs-/ Bildungsinstrumente: Workshops und Fokusgruppen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Statische Kommunikationsinstrumente: Aufkleber ▪ Kommunikationsinstrumente: Kommunikationsplattformen ▪ Automationen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beratungs-/ Informationssysteme: Broschüren, Flyer, Poster, Energieeinspartipps ▪ Qualifizierungs-/ Bildungsinstrumente: Sparschulungen ▪ Anreizsysteme: Boni, Prämien ▪ Statische Kommunikationsinstrumente: Hinweisschilder

Abbildung 1: Wirksamkeit verschiedener Energieeinsparstrategien auf Grundlage der Ergebnisse aus der explorativen Recherche

Strategien, die dazu angewendet werden, umfassen beispielsweise Instrumente zur Beratung und Informationsverbreitung (z. B. Magalia 2012, BBSR 2017), Qualifizierungs- und Bildungsformate (z. B. Suschuk-Berger et al. 2014, Murtagh et al. 2013), Kommunikationsinstrumente (z. B. Wohlgemuth 2017, Stumpf 2014, EE-Office), Feedbacksysteme (z. B. EEA 2013, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2016, LLEC

2018⁵), monetäre und nicht monetäre Anreize (z. B. Magalia 2012, Ruhr-Universität Bochum⁶, Bremer Energie-Konsens GmbH⁷), Messungen und Monitoring (z. B. EEA 2013) sowie Steuerungs- und Automationssysteme (z. B. Suschuk-Berger et al. 2014, BBSR 2017). Auffallend ist in diesem Zusammenhang, dass die tatsächlichen Einsparungen oft unter den erwarteten Energieeffizienzpotenzialen liegen oder keine dauerhaft regulierende Wirkung entfalten können. Dies liegt unter anderem daran, dass bisher keine Forschungsansätze entwickelt wurden, die auf eine Verschränkung dieser verschiedenen Ansätze fokussieren.

Die Sondierung zeigte, dass die jeweilige Form der Vermittlung von Wissen und Informationen zu energieeffizientem Verhalten am Arbeitsplatz von besonderer Bedeutung ist. Da Verhaltensmuster und Routinen am Arbeitsplatz in ihrer Interaktion häufig zu Rebound-Effekten und Ineffizienzen führen, ist der Energieverbrauch von Büro- und Verwaltungsgebäuden in einigen Fällen somit höher und kostenintensiver als erwartet. So weisen einige Studien und Projekte darauf hin, dass energieeffizientes Verhalten erst dann zielgerichtet und dauerhaft umgesetzt werden kann, wenn aktivierende Kommunikationsinstrumente sowie Beratungs- und Qualifizierungsformate mit einem Monitoring der individuellen Verbrauchsdaten sowie direktem Feedback verschränkt werden. Darüber hinaus erscheint eine gemeinsame Strategie zur Optimierung des Energiesparverhaltens erst dann wirklich sinnvoll, wenn alle beteiligten Akteure gleichermaßen mit einbezogen werden. Dementsprechend sollten neben den Mitarbeiter*innen in Büros auch die Gebäudemanager*innen sowie die Haustechnik als Zielgruppen miteinbezogen werden müssen. In diesem Zusammenhang wird ebenfalls vermehrt darauf hingewiesen, dass eine gemeinsame Energieeinsparstrategie auf die jeweilige Gebäudeeigenschaft und die darin enthaltene Anlagentechnik abgestimmt werden muss. In der Praxis geschieht dies in der Regel durch das technische Personal, welches den Anforderungen der Büronutzer*innen entsprechend die Anlagentechnik, unter Einbußen der Energieeffizienz, auf maximalen Komfort ausrichtet.

Aufbauend auf der Bewertung der Erfolgchancen aller gescreenten Studien und Projekte, sollten idealerweise in einem Wechselspiel der unterschiedlichen Akteure sowohl die Interessen eines "effizienten Anlagenbetriebs und der Energieeinsparung" als auch die "Komfortmaximierung am Arbeitsplatz" umfänglich berücksichtigt und in Maßnahmen und Strategien umgewandelt werden. Dementsprechend müssen Gebäudeeigenschaften, Gebäudemanagement, Anlagentechnik, technische Innovationen im Büro, Büroausstattung und Nutzungsverhalten in ihrer gemeinsamen Dynamik betrachtet und bewertet werden. Dazu ist

⁵ https://www.fz-juelich.de/1lec/DE/Home/home_node.html

⁶ <http://www.change-energie.de/>

⁷ <http://www.energiekonsens.de/mitarbeitereinbindung-unternehmen.html>

sowohl notwendig, dass die Nutzer*innen das Raumklima den Anforderungen an Energieeffizienz und ihren Bedürfnissen entsprechend gestalten können als auch, dass die jeweilige Hausleitung Maßnahmen und Strategien umsetzen sowie Anreize setzen, die alle Gebäudenutzer integrieren und einbinden.

Die zusammengefassten Schlussfolgerungen aus Kapitel 2.1 sind:

- Die Vermittlung von Wissen und Information ist nur effektiv als kombinierte Intervention unter Einbeziehung aktivierender Kommunikationsinstrumente, Beratung und Qualifizierung mit einem Monitoring der individuellen Verbrauchsdaten sowie direktem Feedback durch Ampelsysteme.
- Bei der Anwendung von Strategien zur Optimierung des Energieeinsparverhaltens in öffentlichen Gebäuden sollten zudem die Gebäudemanager und die Haustechnik als Zielgruppe einbezogen werden, da diese den Gebäudebetrieb erheblich beeinflussen.
- Strategien zur langfristigen Steigerung der Energieeffizienz von Büros und Bürogebäuden sollten Gebäudeeigenschaften, Gebäudemanagement, Anlagentechnik, technische Innovationen im Büro, Büroausstattung und Nutzungsverhalten in ihrer gemeinsamen Dynamik betrachten und bewerten.

2.2 Bestandsaufnahme Betriebsführung und Nutzerverhalten (Empirische Erhebung Heizperiode 2017/2018)

Das Ziel der empirischen Untersuchung in der Heizperiode 2017/2018 war die Bestandsaufnahme der Energieeffizienz sowie des Nutzerverhaltens in zwei Gebäuden des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Stresemannstraße 128-130, Alt- und Neubau; Krausenstraße 17-20). Um den aktuellen Stand der Energieeffizienz der Gebäude untersuchen zu können, wurden Mitarbeiter*inneninterviews und ein dazu parallel stattfindendes Raumklima-Monitoring durchgeführt. Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse der Interviews mit den Mitarbeiter*innen und des Raumklima-Monitorings zusammenfassend dargestellt.

2.2.1 Mitarbeiter*inneninterviews

Im Rahmen des Projektes wurden 19 semi-strukturierte Interviews geführt (s. Anlage 3 u. 4). Bei den Befragten handelt es sich um 17 Nutzer*innen von Büros und 2 Mitarbeiter*innen des technischen Personals bzw. der Hausverwaltung. Die Interviewten repräsentieren unterschiedliche Gebäude (Stresemannstraße – Alt- und Neubau; Krausenstraße), Referate und Hierarchieebenen. Die Ergebnisse der Mitarbeiterinterviews können in fünf Oberkategorien unterteilt werden. Die Herausforderungen des energieeffizienten Verhaltens bestehen in (1) der

Temperaturregulierung, (2) dem Umgang mit der Sonneneinstrahlung, (3) den Lüftungsintervallen, (4) der Interaktion und Kommunikation zum Thema Energieeffizienz im Arbeitsalltag sowie (5) der Etablierung nutzerzentrierter Effizienzstrategien. Die Interaktion zum Thema Energieeffizienz und die Etablierung nutzerzentrierter Effizienzstrategien finden im Folgenden besondere Beachtung.

Auf der Grundlage der Interviews ist festzustellen, dass in beiden Gebäuden keine gemeinsame Energieeffizienzstrategie erkennbar ist. Vielmehr scheinen die Nutzer*innen in den Büros eine intuitive Individualstrategie zu verfolgen, die auf ihren routinierten Erfahrungswerten beruht. Obwohl das Wissen und die Motivation um energieeffizientes Verhalten am Arbeitsplatz auf Seiten der Befragten vergleichsweise hoch ist, scheint die Umsetzung geeigneter Maßnahmen durch fehlerhafte Interaktions- und Kommunikationswege erschwert zu werden. Etwaige Gründe dafür können die Kommunikationswege zwischen Nutzer*innen von Büros und technischem Personal darstellen, die sich in der Regel an individuellen Problemfällen orientieren und aufgrund dessen ein stark negativ geprägtes Feedback erhalten. Darüber hinaus wird ein zielführender Austausch über Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz dadurch erschwert, dass die individuellen Verbrauchswerte und die tatsächlichen Wohlfühlzonen aufgrund fehlender Feedbacksysteme weder für das technische Personal noch für die Nutzer*innen von Büros sichtbar gemacht werden.

In diesem Zusammenhang scheint die Wahrnehmung der gebäudespezifischen Anlagentechnik von besonderer Bedeutung zu sein, da diese die Toleranzgrenze der Büronutzer*innen beeinflusst. Einige Interviews deuteten darauf hin, dass die Kommunikation mit dem technischen Personal aufgrund der veralteten Technik (Krausenstraße) als nicht zielführend interpretiert wird. Vor dem Hintergrund zu hoher Raumtemperaturen (vgl. Kap. 2.3) und dadurch ausgelösten langen Lüftungsintervallen kann der geringe Kommunikationsgrad somit zu ungenutzten und eigentlich leicht umsetzbaren Einsparpotenzialen führen. Kontrastiert wurden diese Beobachtungen durch die Wahrnehmung „modernerer“ Anlagentechnik (Stresemannstraße), die zu höheren Ansprüchen zu führen scheint und somit eine intensiviertere Interaktion zwischen technischem Personal und Nutzer*innen von Büros auslöst. Gegenstand dieser Interaktionen sind in der Regel Beschwerden über die zu niedrigen Raumtemperaturen. Dabei scheint die Kommunikationsart, mit der die Beschwerden übermittelt werden, in einigen Fällen zu zusätzlicher Belastung des technischen Personals zu führen. In diesem Zusammenhang ist darüber hinaus festzustellen, dass Anreiz- und Feedbacksysteme sowie Informations- und Kommunikationselemente zum Umgang mit Raumklima von den Befragten in beiden Gebäuden als wünschenswert angesehen worden ist, so dass die große Motivation der Befragten als eine wesentliche und grundlegende Stärke für eine gemeinsame Energieeffizienzstrategie verstanden werden kann. Feedbacksysteme können in diesem

Zusammenhang dazu beitragen, die negativ geprägten Kommunikationswege aufzubrechen und auf Basis von Vergleichs- und Zufriedenheitswerten des gesamten Gebäudes erfolgen zu lassen. Darüber hinaus könnten sie dazu beitragen, die Empfindung von zu hohen Raumtemperaturen für das technische Personal sichtbar zu machen.

Neben den Kommunikationswegen und möglichen Feedback-Systemen bezüglich energieeffizientem Verhalten am Arbeitsplatz konnten darüber hinaus einige gebäudebezogene Herausforderungen festgestellt werden. Bautechnische Besonderheiten wie eine Geruchsbildung durch Teppichböden (Krausenstraße) oder gefühlt schlechte Lüftungsmöglichkeiten durch Lage zum Innenhof (Stresemannstraße; Luft aus Innenhof wird nicht als Frischluft empfunden) können auch im Winter zu längeren und häufigeren Lüftungsintervallen durch dauerhaft geöffnete Fenster führen. Dies gilt auch für Büros, deren Tür dauerhaft geöffnet ist und aufgrund dessen bedenkliche CO²-Grenzwerte vergleichsweise spät oder gar nicht erreicht werden. Einige Befragte entwickelten im Laufe des Gesprächs eigenverantwortlich potenzielle Lösungsansätze wie z. B. eine Einweisung (neuer) Kollegen*innen in das Anlagenbetriebssystem sowie das optimale Raumklima im Büro im Rahmen der Schlüsselübergabe. In diesem Zusammenhang wird eine gemeinsame Effizienzstrategie mit Monitoring (Live-Daten-Feedback), Anreizsystemen (z. B. Belohnungssysteme, Wettbewerbe) und Kommunikationselementen (z. B. Plattform, Pop-ups) auf Nachfrage von allen Beteiligten als positiv und wünschenswert empfunden. Dabei wird immer wieder angesprochen, dass die Informationen leicht zugänglich sein sollen und dementsprechend keine zusätzlichen Belastungen im Arbeitsalltag entstehen.

2.2.2 Raumklima-Monitoring

Ziel des Projektes ist die Erarbeitung von Strategien, mit denen sich Nutzer*innen dazu bewegen lassen, sich in öffentlichen Gebäuden energieeffizient zu verhalten. Deren Einflussmöglichkeiten liegen hier bei der Einstellung eines behaglichen und angemessenen Raumklimas über den Raumtemperaturregler, der manuellen Lüftung der Büroräume und dem sparsamen Umgang mit elektrischer Energie, indem z. B. bei längeren Abwesenheitszeiten die Raumbelichtung, der Bildschirm oder der Arbeitsplatz-PC abgeschaltet werden.

Im Fokus dieses Projektes standen dabei die Einflüsse der Nutzer*innen auf das Raumklima. Grundsätzlich gibt es hier ein Zusammenspiel zwischen den Einstellmöglichkeiten der Nutzer*innen einerseits und die Bereitstellung von Wärme/Raumluft durch die zentrale Anlagentechnik. Aus verschiedenen Projekten ist bekannt, dass es nicht das eine Raumklima gibt, welches bei einem größeren Personenkreis für alle gleichermaßen akzeptabel ist. Die zentrale Anlagentechnik muss daher so viel Wärmeleistung zur Verfügung stellen, damit

individuelle Unterschiede durch Wärmeempfinden über die lokalen Regelungsmöglichkeiten in den Büros ausgeglichen werden können.

Einsparmöglichkeiten auf Nutzerebene sind immer dann möglich, wenn es zu einer Überversorgung der Räume mit Wärme und Frischluft kommt. Dies setzt voraus, dass die Höhe der Überversorgung vom Nutzenden erkannt und von ihm/ihr beeinflusst werden kann. Dies gilt sowohl bei der Raumtemperatur als auch bei der Luftqualität. Während über das Wärme- und Kälteempfinden die Behaglichkeit des Raumklimas durch die Personen zunächst gut eingeschätzt werden kann, ist es bei der Raumluft ungleich komplizierter. Zum einen lässt sich die Luftqualität schwerer einschätzen und wird z.B. von Gerüchen und Ausdünstungen stark beeinflusst, zum anderen ist die Anlagentechnik so konzipiert, dass immer versucht wird, eine bestimmte Raumtemperatur einzuhalten. Wird z.B. das Fenster gekippt, kommt es zu einem Temperaturabfall, den die lokale Anlagentechnik durch Erhöhung der Wärmezufuhr versucht auszugleichen. Das gekippte Fenster wird nicht mehr bemerkt, die Wärme des Heizkörpers verschwindet nach draußen. Die Folge ist ein hoher Energieverbrauch durch eine nicht angemessene Raumlüftung.

Um die Möglichkeiten des Einflusses durch die Nutzer*innen abschätzen zu können, wurde daher zunächst die Raumklima-Situation in den Projektgebäuden analysiert. Dabei ist zu beachten, dass die Nutzer*innen ja zunächst nur den Energieverbrauch beeinflussen können, solange sie sich in dem Gebäude aufhalten. Bei einem 8-h Tag ist dies ja nur zu weniger als einem Drittel der Zeit der Fall, insbesondere dann, wenn man das Wochenende und Feiertage berücksichtigt. Ein Raumklima-Monitoring erfasst auch die Situation außerhalb der Arbeitszeiten, hier ist es die Aufgabe der zentralen Anlagentechnik, das Gebäude in diesen Zeiträumen nicht "überzuversorgen". In der Regel weisen Bürogebäude eine Gebäudeleittechnik auf, mit der hier die entsprechenden Strategien gefahren werden können.

Hier im Projekt wiesen die drei Gebäude sowohl von der Anlagentechnik als auch von der Bauphysik sehr unterschiedliche Voraussetzungen auf:

- **Erna-Berger Straße:** Anlagentechnik mit GLT-Raumtemperaturreglern und kontrollierter Raumbelüftung. Die Fenster ließen sich trotzdem öffnen, die Gebäudehülle entspricht einem Passivhaus-Standard.
- **Stresemannstraße:** Sanierter Altbau, Raumtemperaturregelung über Thermostatventile, keine Anlage zur kontrollierten Be- und Entlüftung, Natürliche Be- und Entlüftung über die Fenster.
- **Krausenstraße:** Altbau, Raumtemperaturregelung über Thermostatventile, keine Anlage zur kontrollierten Be- und Entlüftung, Natürliche Be- und Entlüftung über die Fenster.

In der Erna-Berger-Straße standen über die zentrale GLT für die Auswertung auch Daten der Raumtemperaturregler zur Verfügung, allerdings nur die Istwerte, nicht die eingestellten Sollwerte. Grundsätzlich wurden beim Raumklima-Monitoring die folgenden Ziele verfolgt:

- Messung der “Nulllinie”, d.h. die Erfassung des Raumklimas ohne Nutzerintervention.
- Vermittlung eines “Feedbacks”, d.h. die Nutzer*innen werden quantitativ oder qualitativ über die aktuelle Raumklima-Situation informiert und zum Handeln aufgefordert.

Am 21.02.2018 wurden in Büros in der Erna-Berger-Straße (drei Büros), der Krausenstraße (fünf Büros) und der Stresemannstraße (vier Büros) Datenlogger der Firma Extech (Model SD800) eingebracht (vgl. Tab. 1). Die Datenlogger zeichneten im Beobachtungszeitraum vom 21.02.2018 bis zum 08.05.2018 die relative Luftfeuchtigkeit, die Temperatur sowie die Kohlendioxid-Konzentrationen in dem entsprechenden Büro in Ein-Minuten-Intervallen auf. Die Displays der Logger wurden abgeklebt, die Nutzer*innen aufgefordert, diese nicht zu beachten und ihr Verhalten nicht zu ändern. Die Nutzer*innen wurden auch nicht über die Bedeutung der möglicherweise angezeigten Werte z.B. relative Feuchte in % oder CO₂-Konzentration in ppm informiert.

Seitens der zuständigen Haustechnik wurden ergänzende Daten aus der Gebäudeleittechnik (GLT) zur Verfügung gestellt (vgl. Tab. 1). Dazu zählen die Raumtemperaturen aus 10 Büros, die Vor- und Rücklauftemperaturen der Heizkreise sowie die Energiemengen aus den Heiz- und Stromkreisen des Neubaus. Die Daten wurden für den Zeitraum vom 30.09.2017 bis 30.04.2019 in einer Auflösung von 15-Minuten-Intervallen bereitgestellt.

Tabelle 1: Büros mit Extech-Datenloggern

Gebäudeteil	Büro	Extech-Daten	GLT-Daten
Erna-Berger-Straße	1	X	
	2	X	
	5	X	
	13		X
	14		X
	15		X
	16		X
	17		X
	18		X
	19		X
	20		X
	21		X
	22		X
Krausenstraße	4	X	
	7	X	
	10	X	
	11	X	
	12	X	
Stresemannstraße	3	X	
	6	X	
	8	X	
	9	X	

Ab dem 19.03.2018 wurden drei Büros in der Stresemannstraße sowie zwei Büros in der Krausenstraße mit einem von der EBZ entwickelten Lüftungsassistenzsystem (Arbeitsbezeichnung "Hangar") ausgestattet, um die Wirkung einer Interventionsstrategie zu überprüfen. Die Grundidee besteht darin, den Nutzer*innen ein Feedback über die aktuelle Luftqualität zu geben und sie so zu einem angemessenen und energieeffizienten Lüftungsverhalten zu bewegen bzw. sie dabei zu unterstützen. Den Nutzer*innen wird dabei nicht der Messwert, sondern ein quantitatives/qualitatives Signal zur Verfügung gestellt. Das EBZ-Lüftungsassistenzsystem bildet die gemessene Kohlendioxid-Konzentration auf einer RGB-LED-Farbskala ab (vgl. Abb. 2):

- Hellblau/wenige LEDs an: „Lüftungsvorgang beenden / Fenster schließen“
- Grün/ 50 % der LEDs an: „Luft in Ordnung“
- Gelb/75% der LEDs an: „Kohlendioxidkonzentration nimmt zu“
- Rot/alle LEDs an: „Hohe Kohlendioxidkonzentration / Jetzt Lüften“



Abbildung 2: EBZ-Lüftungsassistenzsystem "Hangar" mit der Anzeige für unterschiedliche CO₂-Konzentrationen

Die ausgestatteten Teilnehmer*innen erhielten eine Erläuterung zur Bedeutung der Farben. Die Assistenzsysteme verblieben gemeinsam mit den Extech-Datenloggern bis zum Ende des Beobachtungszeitraums am 08.05.2018 in den Büros. Die Geräte zeichneten die gemessenen Werte ebenfalls auf, so dass die Reaktionen der Nutzer*innen beim Lüften anhand der Messwerte überprüft werden konnten.

Die zusammengefassten Schlussfolgerungen aus Kapitel 2.2 sind:

- Keine gemeinsame Energieeffizienz- und Interaktionsstrategie erkennbar, die von allen Nutzer*innen des Gebäudes (z. B. Nutzer*innen von Büros, technisches Personal, Facility Management, Gebäudebetreiber) gleichermaßen und nachvollziehbar umgesetzt werden kann.
- Notwendigkeit zum Übergang von bisheriger Vermeidungs-, Individual- und Komfortstrategie (bspw. Vermeidung von Beschwerden durch möglichst komfortable Einstellung der Anlagentechnik, Energieeinsparverhalten auf Grundlage routinierter und individueller Erfahrungswerte) zu gemeinsamer Interaktions- und Energieeffizienzstrategie.
- Heterogene Voraussetzungen in Bezug auf die Bauphysik, Anlagentechnik, Raumtemperaturregelung und Belüftung bei den unterschiedlichen Gebäuden/Gebäudeteilen.

2.3 Schlussfolgerungen und Konzeption von Modulen einer Interventionsstrategie

Im Rahmen einer zusammenfassenden Reflektion der Ergebnisse wurden unter Einbezug aller relevanten Daten und Beobachtungen erste Schlussfolgerungen gezogen. Die Bewertung der Ergebnisse wurden im Rahmen einer SWOT-Analyse aufbereitet und im Hinblick auf mögliche Potenziale und Herausforderung einer nutzerzentrierten Betriebsführung analysiert (s. Kap 2.3.2). Um anwendungsbezogene und auf das BMU abgestimmte Leitlinien zu entwickeln, wurden Qualitätskriterien einer nutzerzentrierten Betriebsführung formuliert und eine tiefgehende Analyse der zur Verfügung gestellten Daten der Gebäudeleittechnik durchgeführt (s. Kap. 2.3.1). Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse der SWOT-Analyse sowie die darauf aufbauende Definition der Qualitätskriterien und die Daten der Gebäudeleittechnik zusammenfassend dargestellt:

2.3.1 Raumklima-Monitoring im Abgleich der Daten der Gebäudeleittechnik (GLT)

Für die Auswertung der Situation in den untersuchten Büros in den drei Gebäuden lagen nach dem Monitoring umfangreiche Daten vor. Diese wurden zu folgenden Fragestellungen ausgewertet:

- Wie stellt sich das Raumklima (Temperatur, relative Luftfeuchte, Raumluftqualität) in den untersuchten Büros dar?
- Gibt es Indikatoren für vorhandene Energie-Einsparpotenziale durch ein verbessertes Nutzerverhalten?
- Gibt es Indikatoren für vorhandene Energie-Einsparpotenziale durch Optimierungen im Gebäudebetrieb?

Einsparpotenziale in den genannten Bereichen ergeben sich in Bezug auf das Nutzerverhalten sowie die Einstellung der Anlagentechnik:

Die Belüftung von Büros dient zur Verbesserung des Raumklimas in Bezug auf die CO₂-Konzentration. An kalten Tagen, an denen eine Beheizung der Büros stattfindet, ist es energetisch sinnvoll Lüftungsvorgänge zeitlich zu begrenzen. Das Fenster sollte wieder geschlossen werden, sobald eine sehr gute CO₂-Konzentration, d.h. ein CO₂-Niveau von ca. 750 ppm, erreicht wird. Wird das Fenster auch nach Unterschreiten dieses Werts nicht geschlossen, so trägt der Lüftungsvorgang nur noch geringfügig zur Verbesserung der CO₂-Konzentration bei, die Raumtemperatur sinkt jedoch weiter ab. Ein frühzeitiges und an das CO₂-Niveau angepasstes Schließen des Fensters verhindert eine nicht notwendige Abkühlung des Raums und spart damit Heizenergie, die zur Aufheizung des Büros eingesetzt werden müsste. Einsparungen sind weiterhin durch eine Absenkung der Temperaturen, innerhalb und insbesondere außerhalb der Arbeitszeit sowie an Wochenenden und Feiertagen, in den Büros möglich.

Zur Untersuchung des Raumklimas in den untersuchten Büros wurden die erhobenen Messdaten in Form von sog. Heatmaps bzw. Scatterplots aufbereitet. Heatmaps stellen den Messwert in Form eines "Stundenplanes" dar. Jeder Tag wird dabei in Form einer Spalte dargestellt, die Zeit läuft auf der Y-Achse von 0:00 Uhr bis 23:59 Uhr, der Messwert selbst wird als Farbe eines Pixels visualisiert. Diese Methode ist besonders geeignet, um regelmäßig wiederkehrende Abläufe bzw. Muster zu analysieren.

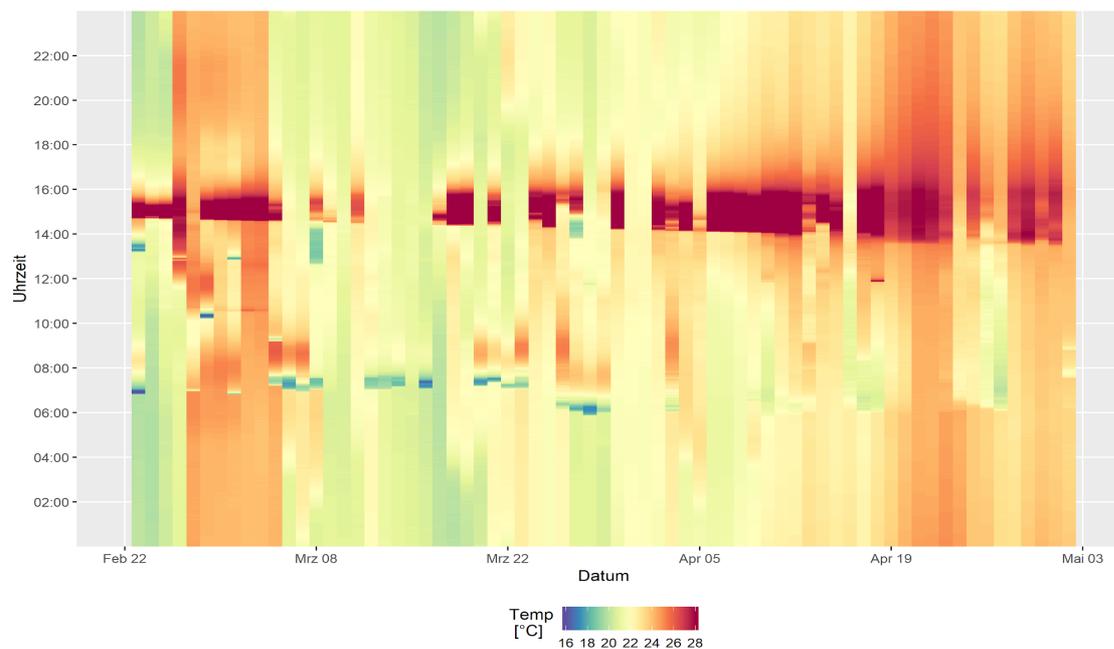


Abbildung 3: Detailbetrachtung einer Heatmap am Beispiel der Raumtemperaturen in Büro 3

Abbildung 3 zeigt eine Heatmap der Raumtemperaturen in Büro 3 in der Stresemannstraße. Jede Spalte spiegelt einen Tag im Messzeitraum vom März bis Mai 2018 wider. Der Tagesverlauf der Raumtemperatur wird in jeder Spalte horizontal von unten (00:00 Uhr) nach oben laufend (23:59 Uhr) mit Hilfe der Einfärbung dargestellt. Die farbliche Skalierung erstreckt sich von blau-grün (niedrige Temperaturen, 16 - 20 °C) über grün-gelb (angemessene Bürottemperaturen, 20 - 22 °C) bis gelb-orange-rot (hohe Temperaturen, über 22 °C). In der dargestellten Heatmap sind Lüftungsvorgänge gut zu erkennen. Am ersten Tag bzw. in der ersten Spalte ist zunächst eine konstante Temperatur von ca. 19 °C abgebildet. Gegen 7 Uhr morgens fällt die Temperatur durch eine Belüftung des Büros dann schlagartig auf unter 16 °C ab (blaue Färbung) und steigt danach wieder auf ein Temperaturniveau von ca. 20 °C an. Um ca. 13.30 Uhr findet erneut ein Lüftungsvorgang statt, der wieder gut am starken Temperaturabfall zu erkennen ist. Das betrachtete Büro ist nach Westen ausgerichtet und somit von ca. 14 bis 16 Uhr der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt. Der Sonnenverlauf ist deutlich in der Heatmap zu erkennen. Während die Sonneneinstrahlung im Februar erst gegen 14.30 Uhr für ca. 30 Minuten das Büro auf 28 °C aufheizt (dunkelrote Färbung), ist der Raum im Mai bereits um 14 Uhr der direkten Einstrahlung für ca. 2 Stunden ausgesetzt.

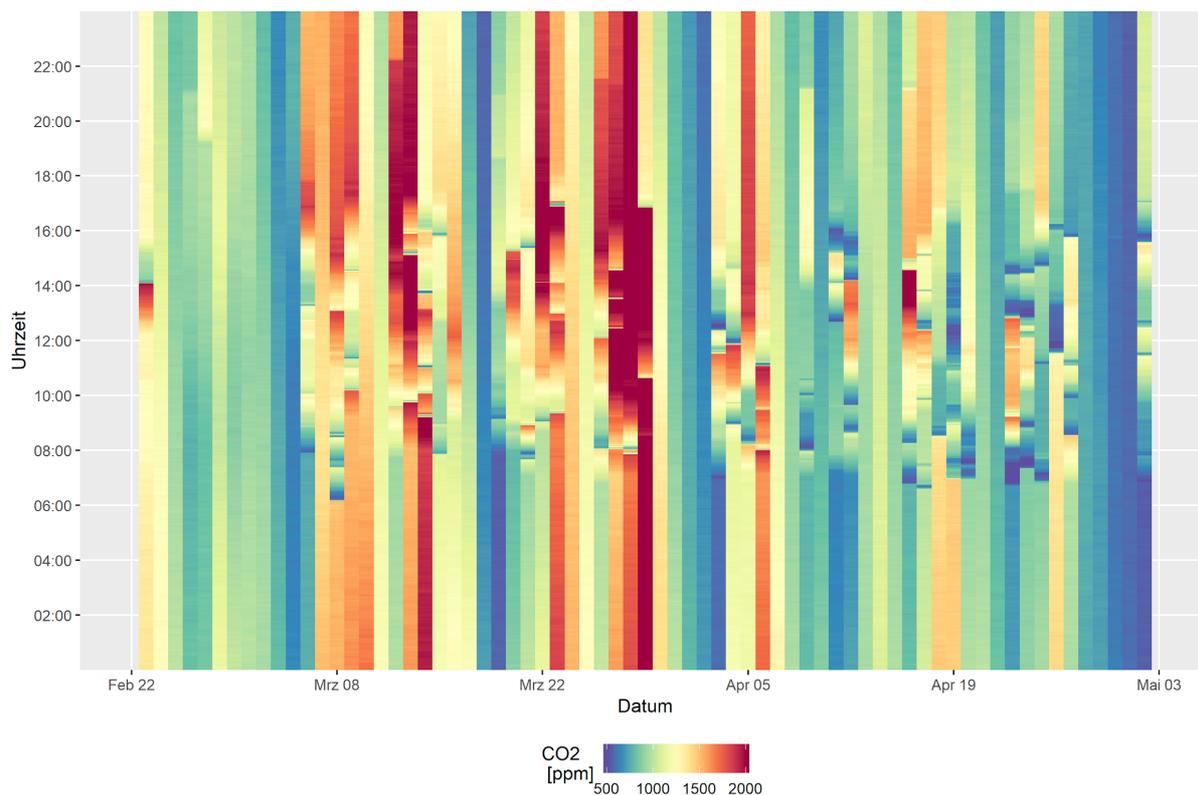


Abbildung 4: Detailbetrachtung einer Heatmap am Beispiel der CO₂-Konzentration in Büro 9

Abbildung 4 zeigt die CO₂-Konzentration in Büro 9 in der Stresemannstraße. Auch in diesem Büro sind Lüftungsvorgänge gut erkennbar. So sinkt beispielsweise am 8. März die CO₂-Konzentration von 12:00 Uhr Nachts langsam ab. Um ca. 6:30 Uhr am Morgen öffnet der/die Nutzer*in das Fenster und die CO₂-Konzentration sinkt schlagartig von 1.500 ppm auf ein Niveau von ca. 500 ppm. Anschließend steigt der CO₂-Wert langsam wieder an bis um ca. 7:30 Uhr und 9:00 Uhr erneut gelüftet wird. Im Verlauf des Tages steigt der CO₂-Wert dann bis zu einem sehr hohen Wert von in etwa 1.800 ppm an bis um 13:00 Uhr erneut ein Lüftungsvorgang stattfindet, der den CO₂-Wert jedoch nur auf ein Niveau von ca. 1.300 ppm absenkt. Bis 15:30 Uhr steigt der CO₂-Wert konstant an und fällt dann im weiteren Zeitverlauf langsam ab. Der/die Nutzer*in hat den Arbeitstag beendet und das Büro verlassen.

Mit relationalen Plots oder Scatterplots kann die Abhängigkeit eines Messwertes von zwei Parametern untersucht werden. Dabei wird ein Parameter auf der X-Achse, der zweite Parameter auf der Y-Achse aufgetragen. Der sich ergebende Punkt stellt das Verhältnis der betrachteten Parameter zueinander dar. Diese Methode ist besonders geeignet, um z.B. zu untersuchen, ob Raumtemperaturen abhängig von der Außentemperatur sind (was sie üblicherweise nicht sein sollten, da die lokale Raumtemperatur-Regelung die Aufgabe hat, diese Abhängigkeit zu kompensieren).

Gebäude(teil)spezifisches Raumklima

Zunächst wurde das Raumklima, d.h. die Raumtemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit sowie die CO₂-Konzentration, in den 12 Büros anhand von Heatmaps untersucht. Abbildungen 5 und 6 zeigen die Messergebnisse im Tagesverlauf über den gesamten Beobachtungszeitraum im Frühjahr 2018.

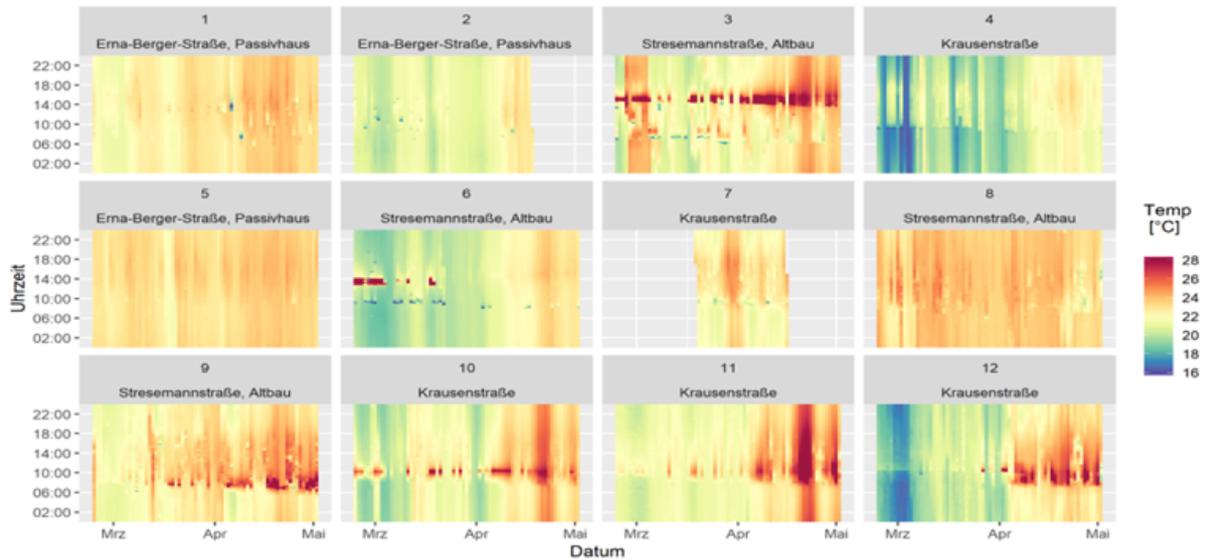


Abbildung 5: Heatmaps der Temperaturen (Extech)

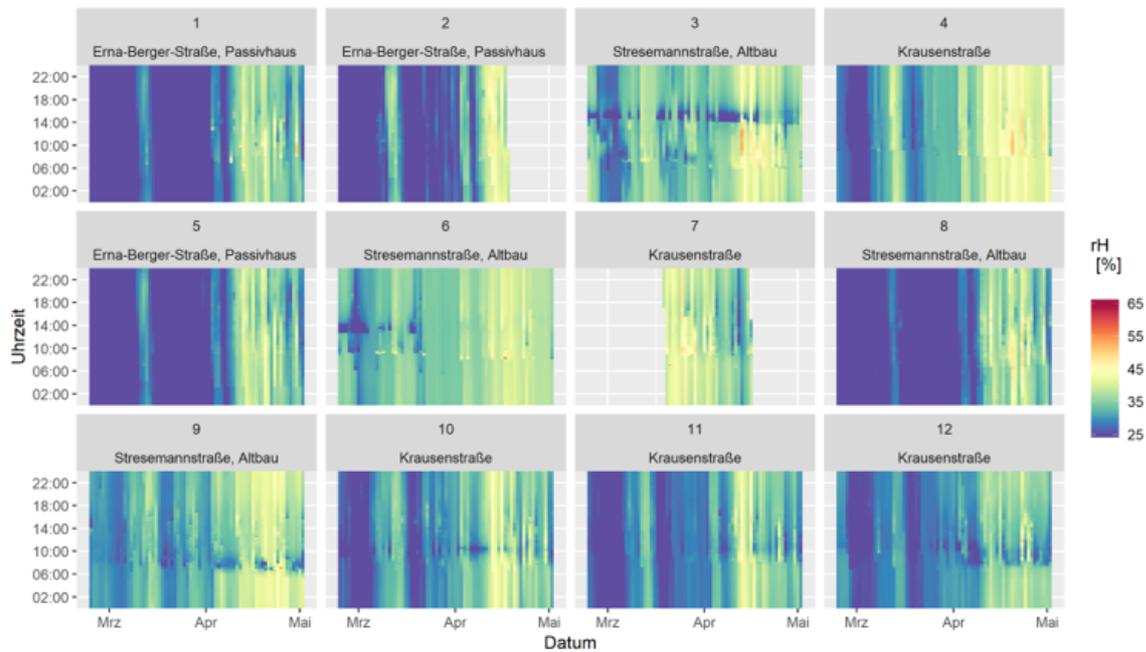


Abbildung 6: Heatmaps der Luftfeuchtigkeit (Extech)

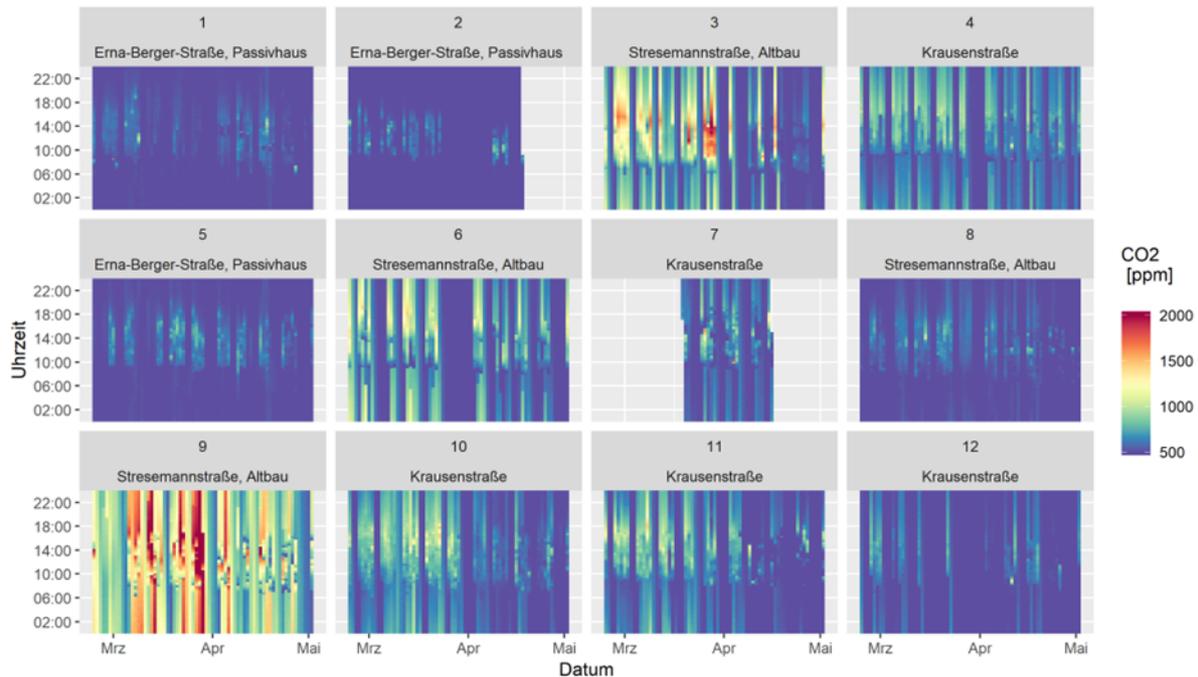


Abbildung 7: Heatmaps der CO₂-Konzentration (Extech)

Die CO₂-Konzentration ist ein guter Indikator für die Anwesenheit von Personen in einem Raum. So sind die Anwesenheitszeiten in allen Büros (Abbildung 7) anhand der Heatmaps der CO₂-Konzentration gut zu erkennen. Diese zeigen ein deutliches Tageszeiten- und Wochentagsraster. Bei Gebäuden mit einer funktionierenden Nacht- und Wochenendaabsenkung muss in den Heatmaps der Raumtemperaturen das entsprechende Zeitraster ebenfalls deutlich zu erkennen sein. Dies ist hier nicht der Fall. Eine Absenkung der Temperaturen außerhalb der Nutzungszeiten der Büros findet nicht statt (Abbildung 5). Dies wurde zum einen vom Facility Management damit begründet, dass auch außerhalb der Geschäftszeiten Büros spontan genutzt werden. Zum anderen wurde bei einer Begehung festgestellt, dass in der GLT eine Absenkung der Vorlauftemperaturen tatsächlich vorhanden ist, diese allerdings nach Einschätzung der Autor*innen viel zu gering ist, um eine Wirkung zu erzielen. Daher ist in keinem der Gebäude(-teile) eine klare Nacht- oder eine Wochenendaabsenkung der Temperaturen zu beobachten. Die Luftfeuchte ist in den Büros verhältnismäßig gering (Abbildung 6), sie liegt über lange Zeiträume in den Büros bei unter 40 %. Es gibt in den Gebäuden keine Anlagentechnik für die Befeuchtung der Raumluft.

Zu den Ergebnissen im Detail (Abbildungen 5-7):

In der **Erna-Berger-Straße** sind die Raumtemperaturen in den Büros 1 und 5, insbesondere an warmen Frühlingstagen, hoch, überschreiten eine Temperatur von 25 °C jedoch nicht. In Büro 2 sind die Temperaturen hingegen vergleichsweise niedrig. In den Büros 1 und 2 sind wenige lange Lüftungsvorgänge (erkennbar an der spontanen Absenkung der Raumtemperatur), in

Büro 5 sind keine Lüftungsvorgänge sichtbar. Die Luftqualität kann mit einer niedrigen CO₂-Konzentration, die während der Arbeitszeit im Bereich von 500 bis 600 ppm liegt und selten auf bis zu 750 ppm ansteigt, in allen drei Büros als sehr gut beurteilt werden. Ursache ist die hier vorhandene kontrollierte Be- und Entlüftung, die eine Öffnung der Fenster für die Verbesserung der Luftqualität als nicht notwendig erscheinen lässt. Weiterhin ist die Luftfeuchtigkeit zunächst mit ca. 25 % sehr niedrig und steigt erst ab Mitte April auf ca. 45 % an.

In der **Krausenstraße** ist in den Büros 10, 11 und 12 ein Problem mit solarer Einstrahlung erkennbar. Am Vormittag steigen die Raumtemperaturen durch direkte Sonneneinstrahlung auf bis zu 28 °C an. In Büro 7 ist keine vollständige Messung vorhanden. Die verfügbaren Daten von Mitte März bis Mitte April zeigen zwar eine leichte Absenkung der Temperaturen in der Nacht, das Temperaturniveau ist jedoch insgesamt als hoch zu bewerten. In den Büros 4, 10, 11 und 12 sind die Raumtemperaturen bis April mit ca. 18 bis 20 °C vergleichsweise niedrig, steigen dann im April mit steigenden Außentemperaturen und der zunehmenden solaren Einstrahlung an. Lüftungsvorgänge sind nur in zwei Büros erkennbar (4 und 7). Wie in der Erna-Berger-Straße ist die Luftfeuchtigkeit auch in der Krausenstraße im März niedriger als im April. Das CO₂-Niveau ist vergleichsweise höher als in den Büros in der Erna-Berger-Straße. Die CO₂-Konzentration liegt während der Arbeitszeit bei in einem niedrigen Bereich von 500 bis 800 ppm und steigt in seltenen Fällen auf bis zu 1100 ppm an.

Auch in der **Stresemannstraße** wird ein Teil der Büros (3, 6 und 9) durch direkte Sonneneinstrahlung zeitweise stark aufgeheizt. Weiterhin sind die Raumtemperaturen in den vier Büros heterogen. Während in Büro 8 und 9 durchgehend sehr hohe Temperaturen (ca. 22 bis 26 °C) gemessen werden, sind die Temperaturen in Büro 3 und 6 im März noch moderat (um die 20 °C) und steigen erst im April an. In Büro 3 ist von Ende Februar bis Anfang März ein Zeitraum zu beobachten, in dem die Raumtemperaturen deutlich höher sind. Hierfür liegt keine Erklärung vor. In allen Büros in der Stresemannstraße, insbesondere in Büro 3 und 6, sind Lüftungsvorgänge deutlich zu erkennen. Die Luftfeuchtigkeit ist in den Büros 3, 6 und 9 im gesamten Messzeitraum vergleichsweise höher und erreicht bereits im März ein Niveau von ca. 35 %. In Büro 8 übersteigt die Luftfeuchtigkeit, wie in der Erna-Berger-Straße und der Krausenstraße, erst ab April ein Niveau von 25 %. Die CO₂-Konzentration ist in den Büros 3, 6 und 9 kritisch zu beurteilen. Insbesondere Büro 3 und 9 erreichen im März CO₂-Werte von bis zu 2000 ppm und das, obwohl häufige Lüftungsvorgänge erkennbar sind.

Überangebot an Heizleistung

Im nächsten Schritt wurde der Temperaturverlauf in den Büros mit dem Verlauf der Außentemperatur verglichen. Gebäude müssen über eine witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung oder über ähnlichen Mechanismen betrieben werden, die dafür

sorgen, dass bei einem abnehmenden Wärmebedarf die Heizleistung in den Räumen reduziert wird, um eine Überversorgung zu verhindern und so das Potenzial zur Energieverschwendung einzudämmen. Bei einer adäquat arbeitenden Heizungsanlage und Raumautomation sollte die Raumtemperaturen nicht von der Außentemperatur abhängen.

So wurde mit Hilfe der Temperatur-Signaturen der 12 Büros die Versorgungssituation in den betrachteten Gebäuden analysiert (vgl. Abb. 8). Gegenübergestellt werden dabei die gemessenen und auf Stundenwerte gemittelten Raumtemperaturen und die durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) erfassten stündlichen Außentemperaturen für die Wetterstation in Berlin-Tegel (Stations-ID 00430). Die Betrachtung wurde auf Heiztage, d.h. Tage bei denen die durchschnittliche Außentemperatur 15 °C nicht überschreitet, entsprechend VDI-Richtlinie 2067/DIN 4108 T6 beschränkt. In 10 Büros ist eine deutliche Abhängigkeit der Raumtemperatur von der Außentemperatur erkennbar, d.h. die Raumtemperaturen steigen im Temperaturbereich von -15 °C bis 20 °C mit steigender Außentemperatur. Die Pearson-Korrelationen beider Temperaturen liegen bei den 10 Büros im mittleren bis hohen Bereich (siehe Zahlenwert in den Feldern oben links in Abbildung 8). Es ist in allen untersuchten Gebäuden ein Überangebot an Heizleistung vorhanden, bei steigenden Außentemperaturen wird die Leistung der Heizungsanlage nicht ausreichend abgesenkt. Die Raumautomation bzw. die vorhandenen Thermostatventile funktionieren offensichtlich nicht. Bei der Begehung wurden stichprobenartig die Einstellungen der Raumtemperaturregler überprüft, diese waren meist auf den oberen Anschlag gestellt. Auch ist zu vermuten, dass die Thermostatventile nicht in dem passenden Regelbereich arbeiten. Ein auf Stufe 4 eingestelltes Thermostatventil versucht, eine Raumtemperatur von 24 °C zu erreichen, die witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung verhindert dies an kälteren Tagen, nicht aber dann, wenn es wärmer wird. Dies könnte das erfasste Verhalten erklären. In Kapitel 3.1 wird die Nutzerfreundlichkeit der Raumautomation eingehender betrachtet.

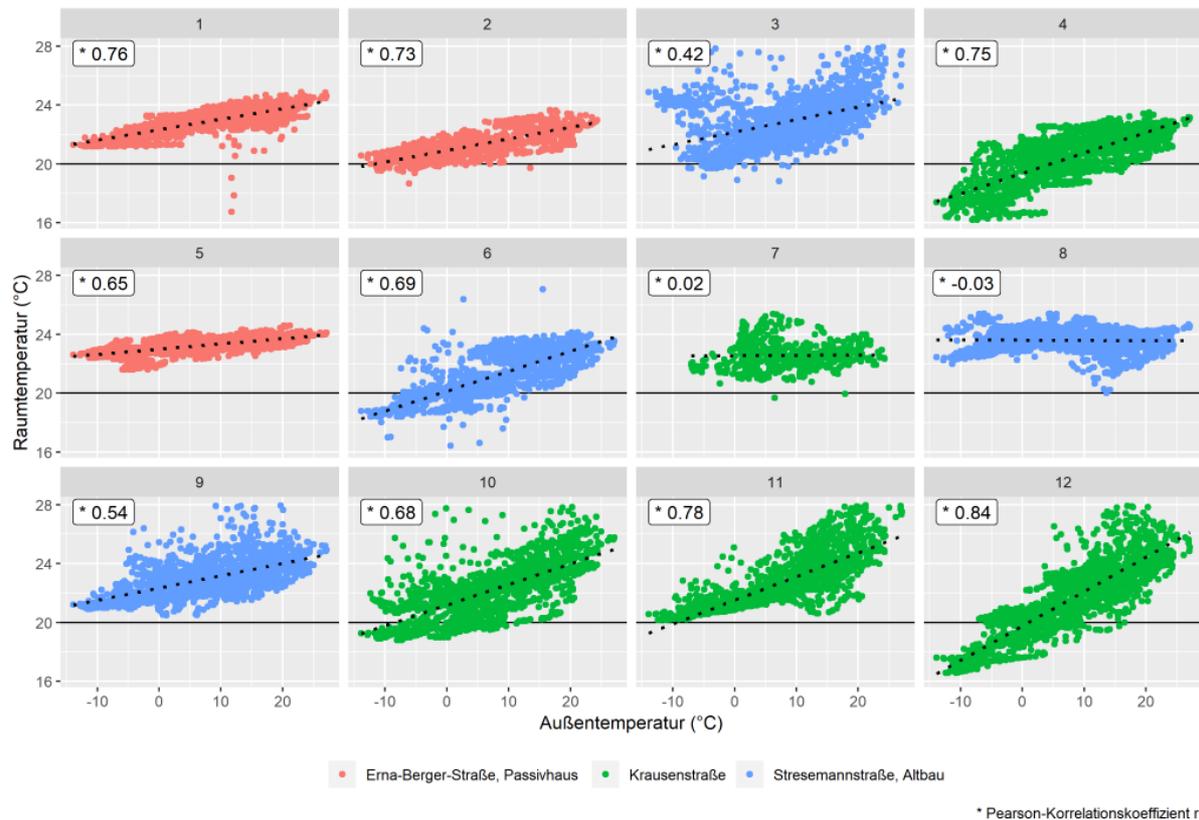


Abbildung 8: Scatterplots der Raum- und Außentemperaturen (Extech)

Betriebsführung

Um die zugrundeliegende Betriebsführung näher zu untersuchen, wurden die bereitgestellten Rohdaten der GLT analysiert. Abbildung 9 zeigt die Vorlauftemperaturen des Heizkreises im Neubau, d.h. der Erna-Berger-Straße, anhand einer Heatmap. Bei Betrachtung der Vorlauftemperaturen des Neubaus bestätigt sich die Vermutung eines Überangebots an Heizleistung. Im Betrachtungszeitraum Februar bis Mai 2018 ist keine Nacht- oder Wochenendabsenkung sowie keine Witterungsführung erkennbar. An Stelle der erwarteten Absenkung der Vorlauftemperatur in der Nacht und abnehmenden Temperaturen im April/Mai nehmen die Vorlauftemperaturen in diesem Zeitraum sogar zu.

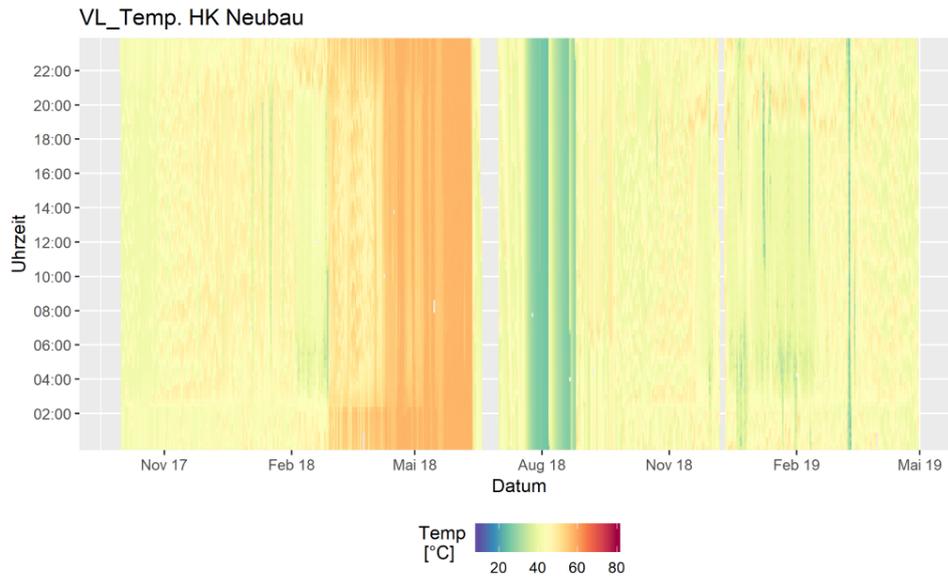


Abbildung 9: Heatmap der Vorlauftemperaturen im Neubau (GLT)

Zusätzlich zu den Vorlauftemperaturen wurden die Raumtemperaturen aus den 10 Büros im Neubau untersucht (vgl. Abb. 10). Die Datenbasis beschränkt sich erneut auf Heitzage entsprechend VDI-Richtlinie 2067/DIN 4108 T6. Auch die Temperatur-Signaturen von 9 der 10 Büros bestätigen den positiven Zusammenhang zwischen Raum- und Außentemperatur als Konsequenz eines bereitgestellten Leistungsüberschusses. Die Pearson-Korrelationen beider Temperaturen liegen bei diesen Büros vornehmlich im mittleren Bereich.

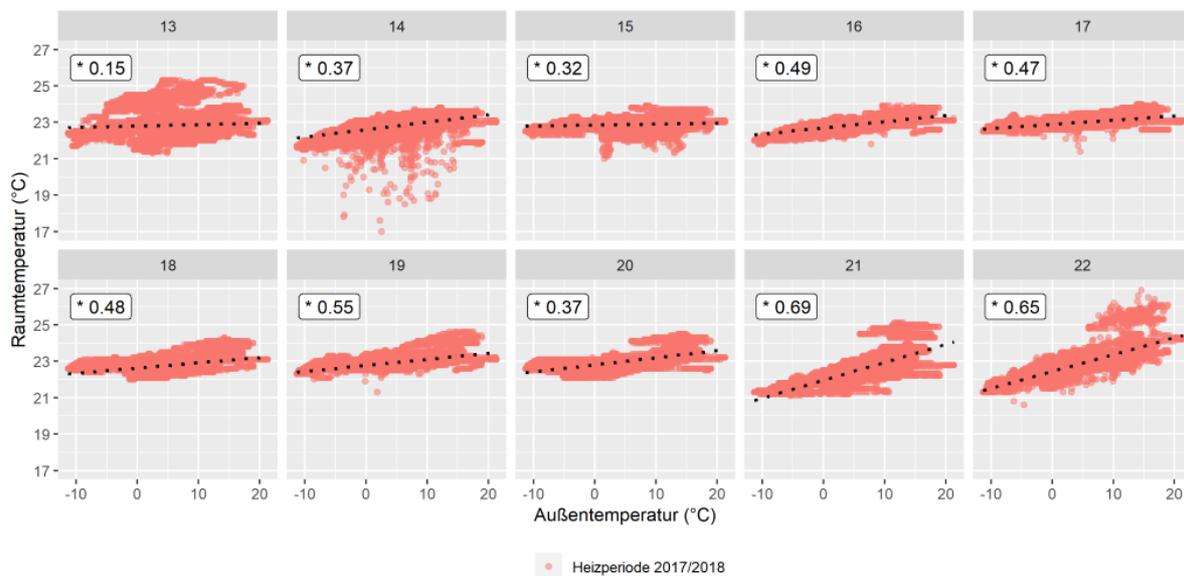


Abbildung 10: Scatterplots der Raum- und Außentemperaturen (GLT)

Einsparpotenziale durch Absenkbetrieb

Auf Basis der gemessenen Raumtemperaturen sowie angenommener Soll-Temperaturen wird ein mögliches Einsparpotenzial je Büro ermittelt, welches durch eine Absenkung der Temperaturen während und insbesondere außerhalb der Arbeitszeit erreicht werden könnte.

Das Einsparpotenzial ergibt sich aus dem Integral der Temperaturdifferenz zwischen der Raumtemperatur (Ist- bzw. Soll-Temperatur) und der Außentemperatur:

$$\text{Einsparpotenzial (\%)} = \frac{\int (\text{Soll-Temperatur} - \text{Außentemperatur})}{\int (\text{Ist-Temperatur} - \text{Außentemperatur})} * 100$$

Damit basiert die angewandte Methodik auf der Idee der Gradstunden. Gradstunden beschreiben die Differenz der durchschnittlichen Außentemperatur und der durchschnittlichen Raumtemperatur in einer Stunde. Bei einer Außentemperatur von 5 °C und einer Raumtemperatur von 20 °C würden damit 15 K Gradstunden vorliegen. Abbildung 11 verdeutlicht das methodische Vorgehen beispielhaft für einen kurzen Betrachtungszeitraum von zwei Tagen. Angezeigt werden die gemessene Außentemperatur (blaue Linie), die angenommene Solltemperatur (grüne Linie) sowie die tatsächlich gemessene Raumtemperatur (rote Linie) im Zeitverlauf. Zur Berechnung des Einsparpotenzials werden die Gradstunden auf Basis der Soll-Temperatur (grüne Fläche) ins Verhältnis zu den Gradstunden auf Basis der Ist-Temperatur (rote + grüne Fläche) gesetzt. Die rote Fläche spiegelt damit die Einsparung an Gradstunden wider, die durch eine Absenkung der Ist-Temperaturen auf die Soll-Temperaturen erreicht werden kann.

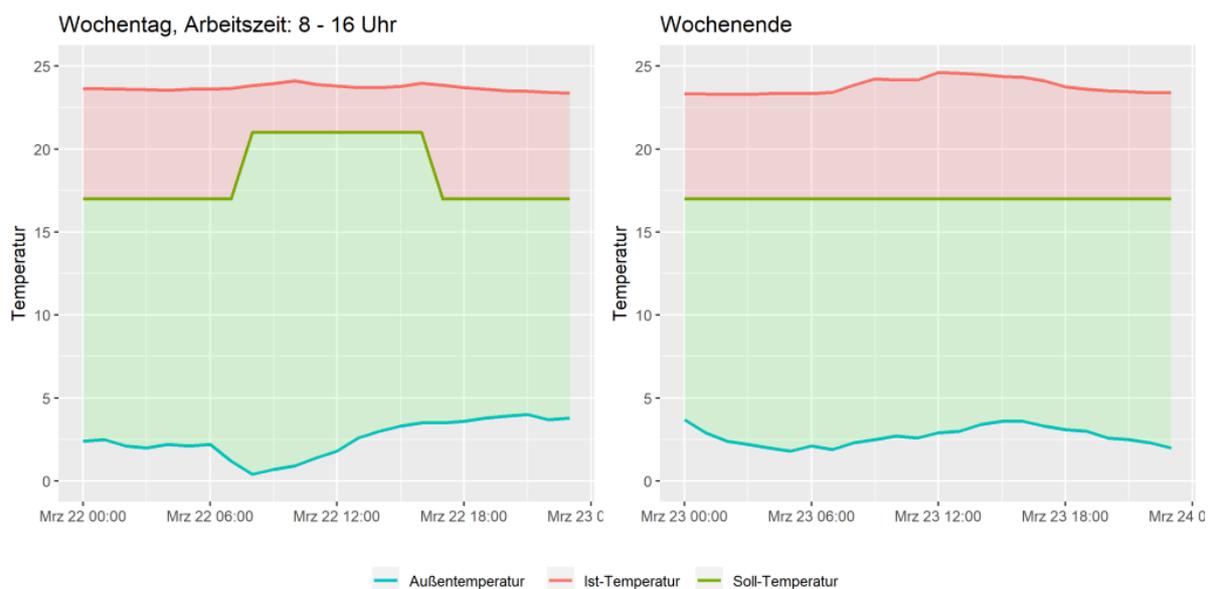


Abbildung 11: Verlaufsbeispiel zur Berechnung des Einsparpotenzials

Es sei darauf hingewiesen, dass der zusätzliche Energieverbrauch, der durch Dauerlüften entstehen kann bei dieser Betrachtung keine Berücksichtigung findet. Die Trägheit des

Gebäudes kann ebenfalls nicht einbezogen werden. Die Speicherfähigkeit des Gebäudes verhindert, dass die Temperaturen sich so schnell ändern, wie es in dem Profil vorgegeben ist, dennoch liefert die Methode einen guten Indikator, ob und wieviel Energie sich durch ein Zeitprofil einsparen lassen würde.

Analysiert wurden 3 mögliche Szenarien (vgl. Tab. 2):

Tabelle 2: Szenarien für Einsparpotenzialermittlung

	Temperatur während der Arbeitszeit (8 - 16 Uhr)	Temperatur außerhalb der Arbeitszeit und am Wochenende
Szenario 1: Profil 1	21 °C	17 °C
Szenario 2: Profil 2	20 °C	18 °C
Szenario 3: Kein Profil	21 °C	21 °C

In **Szenario 1** wird während der Arbeitszeit eine Temperatur von 21 °C gehalten. Außerhalb der Arbeitszeit und am Wochenende wird die Temperatur auf 17 °C abgesenkt. In **Szenario 2** wird ebenfalls von einer Profilierung der Temperaturen ausgegangen, jedoch mit einer niedrigeren Temperatur von 20 °C während der Arbeitszeit und einer höheren Temperatur von 18 °C außerhalb der Arbeitszeit. In **Szenario 3** findet weder außerhalb der Arbeitszeit noch am Wochenende eine Absenkung der Temperaturen statt. Die Raumtemperatur wird auf einem konstanten Niveau von 21 °C gehalten.

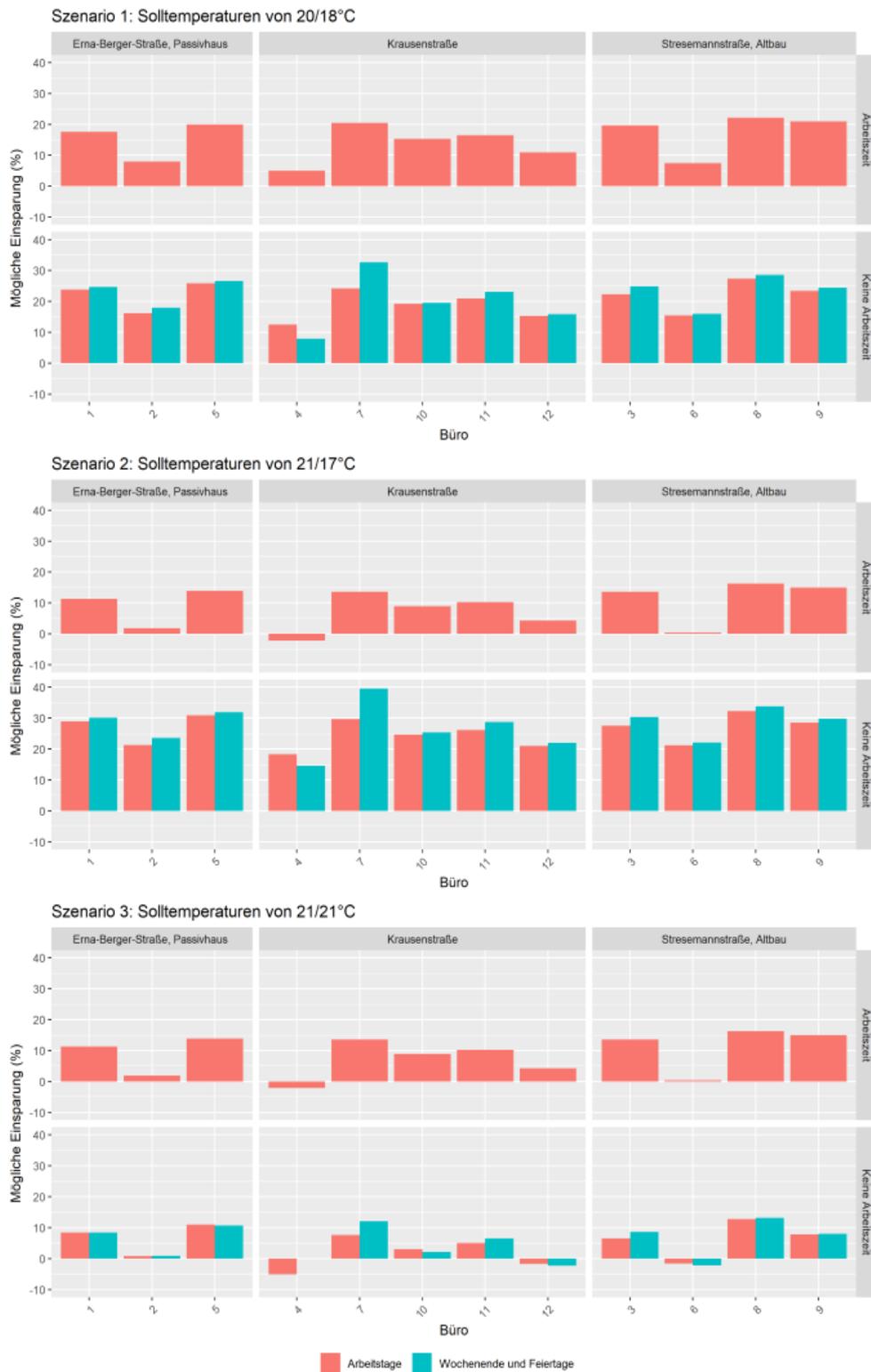


Abbildung 12: Einsparpotenzial je Szenario

Abbildung 12 stellt die möglichen Einsparungen je Szenario, differenziert nach Arbeitstagen und Arbeitszeiten, je Büro dar. In der **Erna-Berger-Straße** besteht in allen drei Szenarien in den drei Büros ein Einsparpotenzial. In Szenario 1 sind während der Arbeitszeit durch eine Begrenzung der Raumtemperatur auf maximal 20 °C Einsparungen von 8 % (Büro 2), 18 % (Büro 1) und 20 % (Büro 5) möglich. In Szenario 2 und 3 liegen die Einsparungen lediglich bei 2 %, 11 % und 14

% . Durchschnittlich ergeben sich so Einsparpotenziale von 15 % (Szenario 1) bzw. 9 % (Szenario 2 und 3). Bei einer Absenkung auf 17 °C (18 °C) wäre ein Einsparpotenzial von durchschnittlich 27 % (22 %), an Wochenenden und Feiertagen von 28 % (23 %) zu realisieren. Ohne Vorliegen einer Temperaturabsenkung wäre durchschnittliche eine Einsparung von 7 % möglich.

In der **Krausenstraße** besteht nur in Szenario 1 in allen 5 Büros ein Einsparpotenzial. In Szenario 2 und 3 besteht in Büro 4 während der Arbeitszeit und in Szenario 3 in Büro 4 und 12 außerhalb der Arbeitszeit kein Einsparpotenzial. Während der Arbeitszeit wäre durchschnittlich eine Einsparung von 7 % (21 °C) bzw. 14 % (20 °C) erreichbar gewesen. Außerhalb der Arbeitszeit wäre bei einer Absenkung auf 17 °C eine Einsparung von 24 % an Arbeitstagen und 26 % an Wochenenden und Feiertagen erreicht worden. Bei 18 °C sinkt die Einsparung an Arbeitstagen auf 18 % und an Wochenenden auf 20%. Ohne Absenkung ist nur eine geringfügige Einsparung von 1 % (Arbeitstage) bzw. 2 % (Wochenenden) möglich.

In der **Stresemannstraße** wäre in den Szenarios 1 und 2 in allen Büros eine Einsparung möglich gewesen. Während die Büros 3, 8 und 9 ein vergleichbares Einsparpotenzial vorweisen, ist dieses in Büro 6 vergleichsweise gering. In Szenario 3 besteht in diesem Büro nahezu keine Möglichkeit zu sparen. Über alle vier Büros hinweg betrachtet hätte eine Temperaturabsenkung auf 20 °C bzw. 21 °C während der Arbeitszeit zu einer Einsparung von 18 % bzw. 11 % geführt. Außerhalb der Arbeitszeit an Arbeitstagen wären Einsparungen in Höhe von 27 % (17 °C), 22 % (18 °C) und 6 % (21 °C) möglich. An Wochenenden liegen die Einsparpotenziale bei 29 % (17 °C), 24 % (18 °C) und 7 % (21 °C).

Luftqualität und assistiertes Lüftungsverhalten

Im nächsten Schritt wurde untersucht, ob und inwieweit das EBZ-Lüftungsassistenzsystem in diesem Setting die Nutzer*innen beeinflussen und im Hinblick auf ein energiesparendes Verhalten unterstützen kann. Die Auswertung der erhobenen Messdaten des Raumklimas ermöglichen dabei eine indirekte Annäherung, bei der Verhaltensänderungen anhand von Veränderungen im Raumklima nach Ausstattung mit dem Assistenzsystem abgeleitet werden können.

Zunächst wurde die CO₂-Konzentration in den 12 Büros evaluiert. Die Datenbasis wurde dabei auf reguläre Anwesenheitszeiten, d.h. Arbeitstage (Mo - Fr) in der Zeit zwischen 8 und 16 Uhr beschränkt. Um weiterhin auszuschließen, dass Arbeitstage in die Analyse einbezogen werden, an denen das betreffende Büro nicht besetzt war, wurden Tage, an denen der CO₂-Wert die Schwelle von 600 ppm im Tagesverlauf nicht übersteigt, ausgeschlossen. Die Betrachtung beschränkt sich weiterhin auf Heiztage entsprechend VDI-Richtlinie 2067/DIN 4108 T6. So

sollen warme Frühlingstage an denen längeres Lüften, insbesondere durch Kipplüften, denkbar ist, ebenfalls von der Betrachtung ausgeschlossen werden.

Abbildung 13 zeigt die Verteilung der CO₂-Konzentrationen in den Büros über den gesamten Messzeitraum mit Hilfe von Boxplots. Boxplots sind geeignet, um die grundsätzliche Verteilung eines Merkmals zu untersuchen. Dabei repräsentiert die Box den Interquartilsabstand, d. h. den Wertebereich in dem sich 50 % der CO₂-Werte befinden. Die untere und obere Grenze der Box spiegeln jeweils das untere Quartil (25 %-Grenze) und das obere Quartil (75 %-Grenze) wider. Die horizontale Linie innerhalb der Box kennzeichnet den Median. Dieser Wert gibt den mittleren, d.h. exakt in der Mitte aller CO₂-Werte liegenden, CO₂-Wert wieder. Ergänzend zeigt die linke Spalte der Graphik die Farbskala des EBZ-Lüftungsassistenzsystems an.

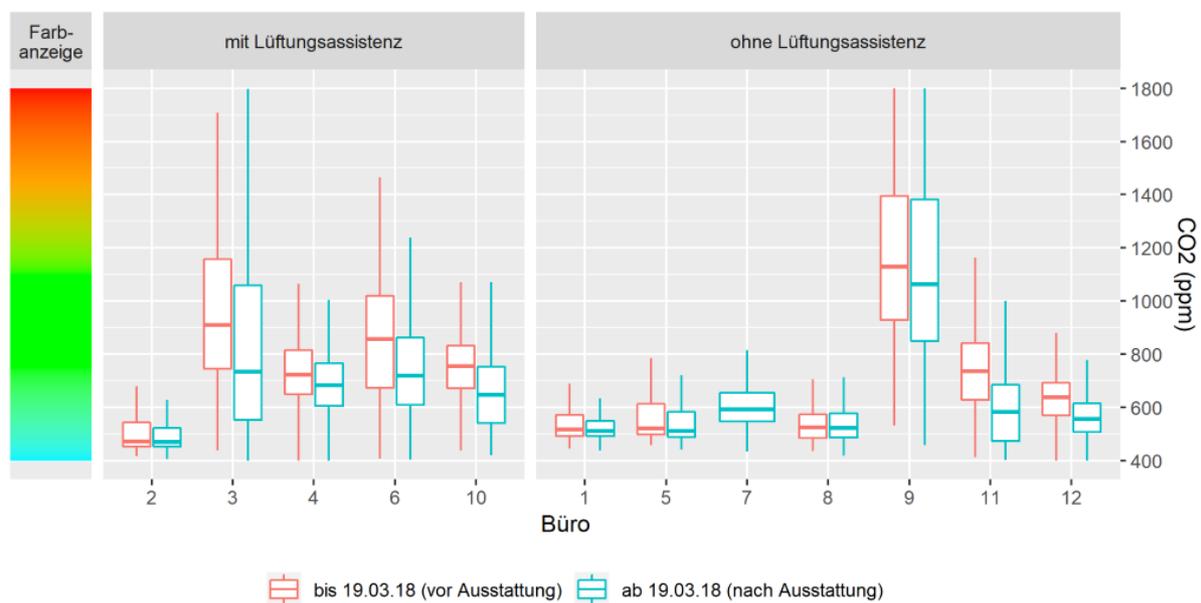


Abbildung 13: Boxplots der CO₂-Konzentration (Extech)

Bei Beeinflussung der Nutzer*innen durch das Assistenzsystem wären folgende Effekte zu erwarten:

- Bei Nutzer*innen mit bisher hohen CO₂-Werten sollten sich die Verteilungen vor und nach Ausbringung der Systeme deutlich unterscheiden. Konkret sollte eine Verhaltensänderung zu einer Verschiebung der Boxplots nach unten in den grünen Bereich, d.h. zu einer grundlegenden Absenkung der CO₂-Konzentration führen.
- Bei Nutzer*innen mit bisher sehr niedrigen CO₂-Werten sind zwei Effekte möglich. Wurde die niedrige CO₂-Konzentration bisher über zu häufiges und langes Lüften erreicht, so kann das System dazu führen, dass der/die Nutzer*in nun seltener lüftet und zudem die Lüftungsdauer verkürzt. Ein solches Verhalten wäre durch eine Verschiebung der Boxplots nach oben, d.h. eine Zunahme der CO₂-Konzentration in den grünen Bereich, gekennzeichnet. Es ist aber auch denkbar, dass die niedrige CO₂-

Konzentration durch eine ständig geöffnete Tür zum Flur entsteht. Bei Vorliegen dieser Voraussetzung kann das System keinen Einfluss auf das Verhalten der Nutzer*innen ausüben.

- Nutzer*innen ohne Assistenzsystem sollten keine Verhaltensänderung und somit keine Veränderung der CO₂-Verteilung vorweisen.

Es zeigt sich, dass in einem Großteil der betrachteten Büros ohne Assistenzsystem eine sehr geringe CO₂-Konzentration – unterhalb von 1000 ppm - vorhanden ist. Es fällt auf, dass in vier der sieben Büros, die im späteren Verlauf kein Assistenzsystem erhalten (1, 5, 7 und 8), im gesamten Messzeitraum eine sehr geringe CO₂-Konzentration zu beobachten ist. Nur ein Büro (2) hat eine sehr niedrige CO₂-Konzentration und wird im März 2018 mit einem Assistenzsystem ausgestattet. Lediglich in drei Büros (3, 6 und 9) ist die CO₂-Konzentration sehr hoch. Die CO₂-Konzentration erreicht dabei in Büro 3 und 6 ein Niveau, das bei dem eingebrachten Assistenzsystem durch Aufleuchten der orangenen/roten LEDs einen deutlichen Lüftungshinweis geben sollte.

Die Gegenüberstellung der CO₂-Konzentrationsverteilung der Büros vor und nach dem 19.03.2018 zeigt ein generelles Absinken der CO₂-Konzentration. Da dieser Effekt in allen betrachteten Büros auftritt, ist zu vermuten, dass dieser Effekt auf einen Einflussfaktor zurückzuführen ist, der auf alle Büros – unabhängig vom Lüftungsassistenzsystem – einwirkt (z. B. ein verändertes Lüftungsverhalten bedingt durch die wärmere Witterung im Frühjahr). In den drei Büros mit deutlich hoher CO₂-Konzentration lässt sich bei den zwei Büros mit Assistenzsystem (3 und 6) allerdings nach Ausbringung eine signifikante Verbesserung der CO₂-Konzentration feststellen, während die Verbesserung im Büro ohne Assistenzsystem marginal bleibt (9). Hier verschieben sich zwar der Median wie auch das untere Quartil nach unten, das obere Quartil bleibt jedoch nahezu unverändert. Das Büro erreicht also auch ab März 2019 sehr hohe CO₂-Werte.

Zur näheren Untersuchung des Lüftungsverhaltens mit und ohne Assistenzsystem wurden weiterhin die CO₂- und Temperaturverläufe untersucht. Die Farbskala im linken Bereich der Grafik spiegelt erneut die durch das Lüftungssystem angezeigte Farbskala wider. Weiterhin sind hohe CO₂-Konzentrationen (ab 1300 ppm) und niedrige CO₂-Konzentrationen (bis 750 ppm) rot bzw. blau hinterlegt.

Abbildungen 14 und 15 zeigen die Verläufe in Büro 3 und 9 in der Stresemannstraße über den gesamten Messzeitraum. Beide Büros zeichnen bis zum 19.03.2018 (blaue Linie) durch sehr hohe CO₂-Konzentrationen aus. Während Büro 3 im März das EBZ-Lüftungsassistenzsystem erhielt und die CO₂-Konzentration vermeintlich in Folge dessen sank, wurde Büro 9 nicht ausgestattet und zeigt lediglich eine geringe Abnahme des CO₂-Niveaus.

Die Wochengänge sind teilweise gut erkennbar. Auf Arbeitstage mit starken Anstiegen und Abfällen der CO₂-Konzentration folgen Wochenenden, an denen das CO₂-Niveau über einen längeren Zeitraum langsam sinkt. In beiden Büros sind in dem kurzen Zeitraum bis zur Einbringung des EBZ-Assistenzsystems nur wenige Anwesenheitstage zu beobachten, an denen die CO₂-Konzentration nicht auf über 1300 ppm ansteigt.

Wird der Zeitraum in beiden Büros nach Einbringung des Systems verglichen, so fällt auf, dass Büro 3 ab April nur noch wenige Anwesenheitstage mit hohem CO₂-Niveau zu beobachten sind. Ab der zweiten Aprilwoche finden Lüftungsvorgänge bereits bei sehr niedrigen CO₂-Konzentrationen (unter 750 ppm) statt. In Büro 9 können im selben Zeitraum ab April hingegen keine Anwesenheitstage identifiziert werden, an denen das CO₂-Niveau während des Arbeitstages nicht weit über 1300 ppm ansteigt, bevor ein Lüftungsvorgang stattfindet.

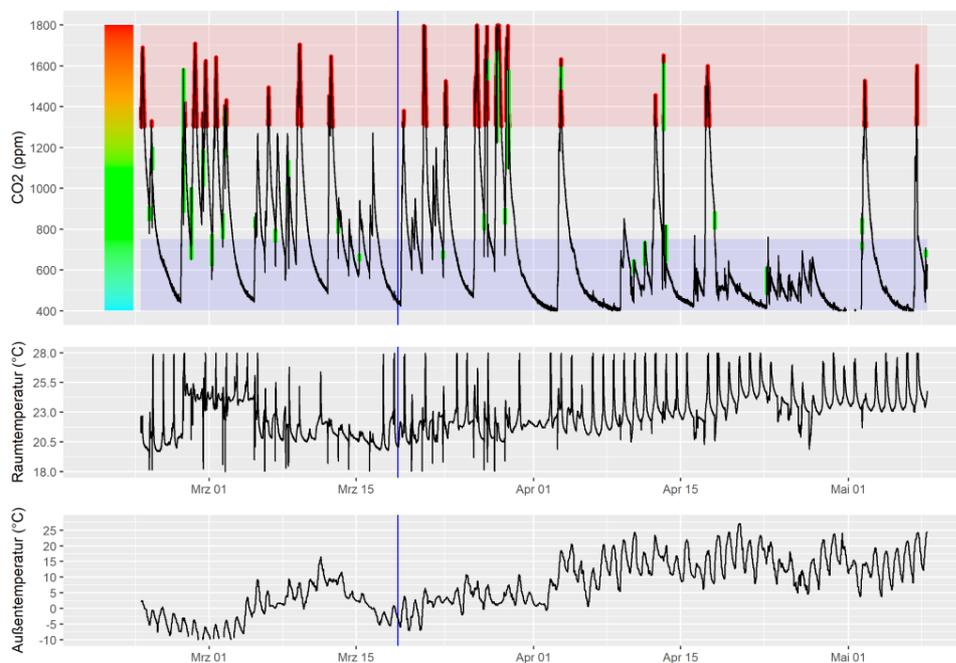


Abbildung 14: CO₂- und Temperaturverläufe in Büro 3

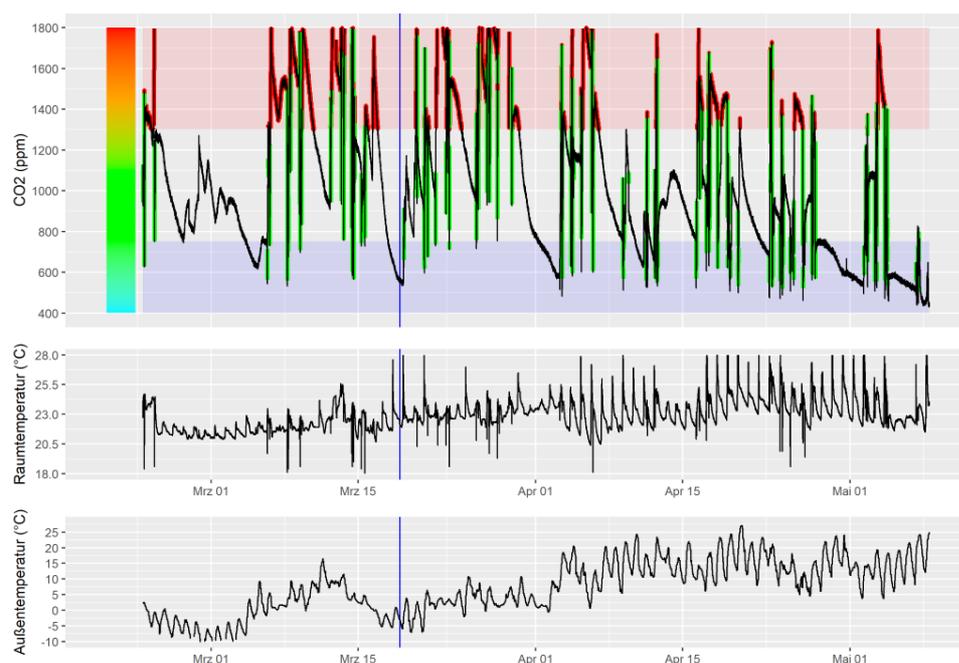


Abbildung 15: CO₂- und Temperaturverläufe in Büro 9

2.3.2 SWOT-Analyse unter Einbezug definierter Qualitätskriterien im Rahmen einer nutzerzentrierten Betriebsführung

Im Rahmen einer SWOT-Analyse werden die potenziellen Handlungsfelder und Andockpunkte einer nutzerzentrierten Betriebsführung dargestellt. Diese beziehen sich hauptsächlich auf die Potenziale einer nutzerzentrierten Betriebsführungsstrategie des BMU und kontrastiert diese mit potenziellen Schwächen und Risiken. Die Grundlage für die Auswertung bildeten die Interviews mit den Mitarbeiter*innen, das Raumklima-Monitoring, der Fokusgruppenworkshop und der daraus resultierenden zweiten Zwischenbericht. Im Ergebnis steht eine Energieeffizienzstrategie auf Basis der Anforderungen des BMU, die von den – im Rahmen des Fokusgruppenworkshops – definierten Qualitätskriterien einer nutzerzentrierten Betriebsführung flankiert wird.

Um das Gebäudemanagement zu optimieren, können verschiedene Stellschrauben herausgearbeitet werden. Dazu zählen zum Beispiel alltäglich wiederholte Routinen (z. B. Lüften, Heizen, Umgang mit elektronischen Geräten), die technische Betriebsführung und Einstellung der entsprechenden Anlagentechnik sowie die Kommunikationswege zwischen Büronutzer*innen und Facility Management angepasst werden. Die bisherigen Energieeffizienzstrategien fokussieren zumeist nur auf eine der genannten Stellschrauben, so dass diese in der Regel nicht in ihrer gemeinsamen Dynamik betrachtet werden können. Die Folge sind zahlreiche Optimierungsmaßnahmen, die sich größtenteils an die technische Einstellung und Modernisierung der Anlagentechnik richten oder individuelle nachhaltigkeitsrelevante Routinen am Arbeitsplatz befördern sollen. Die wechselseitige

Beeinflussung zwischen Einstellung der Anlagentechnik und Nutzerverhalten sowie die dafür relevanten Akteure werden dabei kaum beachtet. Qualitätskriterien wie beispielsweise der Zufriedenheitsgrad aller Nutzer*innen, eine produktive Arbeitsatmosphäre, die Höhe des individuellen Energieverbrauchs sowie der dafür minimal einsetzbare Energieaufwand sind für die Nutzer*innen von Büros sowie für das Facility Management weitestgehend unbekannt. In diesem Sinne sind diese Schlussfolgerungen auch ein Ausdruck dafür, dass die Nutzer*innen bisher nicht im notwendigen Maße in Energieeffizienzstrategien einbezogen werden können, obwohl auf Seiten der Mitarbeiter*innen die Motivation und Qualifikation dazu durchaus besteht.

Dies liegt unter anderem auch darin begründet, dass es bisher keine ganzheitlichen sozio-technologischen Ansätze gibt, die das Nutzerverhalten und die Einstellung der Anlagentechnik gebäudescharf miteinander verbinden können. Entsprechende sozio-technologische Interventionen müssen sich gleichermaßen an die Identifikation fehlerhafter (teilw. gewollten) Einstellungen der Anlagentechnik, nicht energieeffizientem Nutzerverhalten und an die Kommunikationswege zwischen Büronutzer*innen und Facility Management richten. Da eine Verschränkung dieser Ansätze mit den bisher etablierten Energieeffizienzstrategien (vgl. Kap. 2.1) in der Regel nicht möglich ist, gleicht die Betriebsführung in vielen Fällen einer Vermeidungsstrategie, die sich zwangsläufig daran orientiert, möglichst viel Komfort und wenig Beschwerden zu generieren. Zwangsläufig bedeutet in diesem Zusammenhang, dass Komfort beziehungsweise „wenig Beschwerden“ das einzig evaluierbare nutzerspezifische Qualitätskriterium darstellt, da keine individuellen und vergleichbaren Informationen über Verbrauchs- und Zufriedenheitswerte vorliegen – obwohl diese unabdingbar wären, um gemeinsame Qualitätskriterien eines energieeffizienten Anlagenbetriebs überhaupt erst definieren, umsetzen und evaluieren zu können.

Da der lokale Energieverbrauch durch das jeweilige Raumklima einzelner Büros bestimmt wird, ist das Nutzerverhalten und -empfinden für die Einstellung des gesamten Gebäudebetriebes grundlegend. Darauf aufbauend bestehen im gesamten Gebäudemanagement Rückkopplungen zwischen den lokalen Einflussfaktoren (z. B. lokale Anlagentechnik, Büroausstattung, Handhabung von Fenster, Türen und Thermostat, Sonneneinstrahlung), der gesamten Gebäudephysik (z. B. Bausubstanz, Lage, Exponiertheit), der zentralen Anlagentechnik (z. B. Funktionalität, Modernisierungsgrad) sowie der Betreuung und Verwaltung durch das Facility Management (vgl. Abb. 16). In diesem Zusammenhang sollte die Interaktion zwischen technischem Personal und Nutzer*innen von Büros besondere Beachtung finden. Dies gilt insbesondere dafür, den Anlagenbetrieb sowohl an energieeffizienten Kriterien als auch an den Bedürfnissen der Nutzer*innen von Büros auszurichten. Feedbacksysteme zur individuellen Performance, der Luftqualität und dem thermischen Komfort können dazu beitragen, diese Gütesiegel aus verschiedenen Perspektiven heraus sichtbar werden zu lassen und im

Anlagenbetrieb umzusetzen (bspw. durch eine Live-Datenplattform über individuelle Zufriedenheits- und Verbrauchswerte). Auf Grundlage der Projektergebnisse wird vorgeschlagen, die Betriebsführungsstrategie hinsichtlich einer nutzerzentrierten Effizienzstrategie umzustellen (vgl. Abb. 16). Hierzu wird empfohlen, eine Gesamtstrategie einer „nutzerzentrierten Betriebsführung“ für das BMU zu entwickeln. Diese muss die unterschiedlichen Nutzer*innen des Gebäudes (Mitarbeiter*innen, technisches Personal, Facility Management, Gebäudebetreiber) integrieren und eine Interaktion durch unterschiedliche Feedbacksysteme ermöglichen (bspw. Raumluftqualität, individuelle Performance, Wohlfühlzone, Vergleichsdaten), sowie Möglichkeiten gemeinschaftlicher Anreize und Wettbewerbe schaffen.

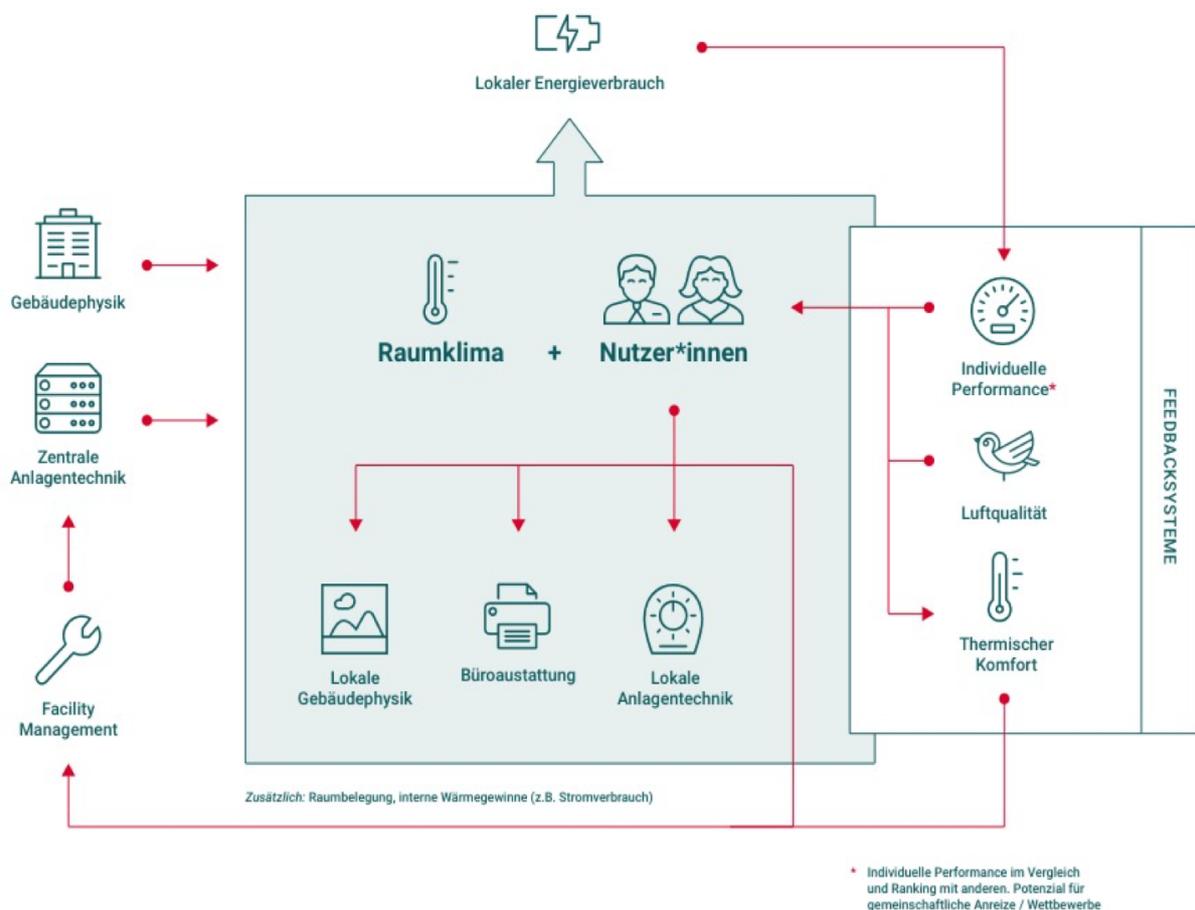


Abbildung 16: Nutzerzentrierte Betriebsführung

Die Effizienz der Anlagentechnik in den betrachteten Gebäuden lässt sich durch eine bessere Einstellung der witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung und durch ein Absenken der Temperaturniveaus außerhalb der Arbeitszeit steigern. Wenn Büros außerhalb der Arbeitszeit genutzt werden, empfiehlt es sich, mit der Raumautomation den Absenkbetrieb durch Hinterlegung von Zeitprogrammen zu individualisieren. Wenn die Vorhersagbarkeit der Bedarfslagen für die Büroheizung für einzelne Büros nicht gegeben ist, kann dies über

Raumautomation individuell berücksichtigt werden. Dies sollte aufgrund der Ausstattung in der Erna-Berger Straße funktionieren.

Die zusammengefassten Schlussfolgerungen aus Kapitel 2.3 sind:

- Technische Assistenzsysteme beeinflussen die Luftqualität und das Lüftungsverhalten.
- Einsparpotenziale ergeben sich aus dem gebäude(teil)spezifischen Raumklima, dem Überangebot an Heizleistung, dem individuellen Nutzerverhalten sowie aus der Betriebsführung durch das technische Personal.
- Einsparpotenziale sind insbesondere im Rahmen einer Gesamtstrategie einer „nutzerzentrierten Betriebsführung“ zu erzielen, in der die unterschiedlichen Nutzer*innen des Gebäudes (Mitarbeiter*innen, technisches Personal, Facility Management, Gebäudebetreiber) gleichermaßen integriert werden können und eine Interaktion durch unterschiedliche Feedbacksysteme ermöglicht wird (bspw. Raumluftqualität, individuelle Performance, Wohlfühlzone, Vergleichsdaten).

2.4 Erprobung von Modulen einer Interventionsstrategie (Empirische Erhebung 2 Heizperiode 2018/2019)

Im Rahmen der Erprobung von Modulen einer Interventionsstrategie wurden während der zweiten empirischen Erhebung unterschiedliche Ansätze von Methodensets einer nutzerzentrierten Betriebsführung erprobt. Dazu zählte der Einsatz des technischen Assistenzsystems Piaf (s. Kap. 2.4.1) sowie eine gebäude(teil)bezogene Onlinebefragung (s. Kap. 2.4.2) und Abfrage des persönlichen Wohlbefindens (s. Kap. 2.4.3). Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse der erprobten Module zusammenfassend dargestellt:

2.4.1 Konzeption und Test eines Assistenzsystems Piaf

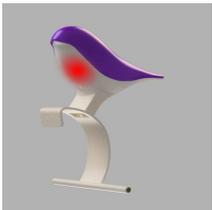
Zum Start des neuen Beobachtungszeitraums vom 13.12.2018 bis 16.04.2019 wurden 27 Büros mit dem von der EBZ entwickelten Lüftungsassistenzsystem „Piaf“ ausgestattet. 21 Büros wurden direkt zu Beginn des Messzeitraums ausgestattet, die anderen sechs Büros erhielten das System schrittweise bis 06.02.2019 (vgl. Tab. 3):

Tabelle 3: Büros mit Piaf

Gebäudeteil	Büro	Piaf-Daten	GLT-Daten	Extech-Daten
Neubau - West	29	X		
	33	X		
Neubau - Nord	5	X		X
	17	X	X	
	21	X	X	
	24	X		
	25	X		
	34	X		
	35	X		
Altbau - Ost	9	X		X
	23	X		
	26	X		
	30	X		
	36	X		
Altbau - Innenhof	8	X		X
	28	X		
	37	X		
	39	X		
	42	X		
	41	X		
Altbau - Süd	27	X		
	31	X		
	40	X		
Altbau - West	3	X		X
	6	X		X
	32	X		
	38	X		

In Kombination mit Piaf erhielten sämtliche Teilnehmer*innen Tablets, welche einen Zugriff auf die aktuellen Messwerte, sowie die Trendkurven der aufgezeichneten Daten der jeweils letzten drei Stunden ermöglichten (Live-Daten-Plattform). Das EBZ-Assistenzsystem Piaf bietet sowohl visuelle wie auch akustische Signale zur Unterstützung eines energieeffizienten Lüftungsverhaltens (vgl. Anlage 2). Das System ist in einem, stilistisch einem Vogel nachempfundenen, Gehäuse untergebracht und kann im Sichtfeld der Nutzer*innen am Monitor befestigt werden. Die den Nutzer*innen zugewandte Unterseite des Gehäuses (der "Bauch" des Vogels) leuchtet im Betrieb gemäß nachfolgenden Charakteristika (vgl. Tab. 4):

Tabelle 4: Signalcharakteristika Piaf

Leuchtfarbe	“Atemfrequenz”	Bedeutung	CO2 Konzentration
	Langsam pulsierend (ca. 45s/Puls)	Alles in Ordnung	Ca. 750-1000ppm
	Pulsierend (ca. 35s/Puls)	Luftqualität gut / keine Aktion erforderlich	Ca. 1000-1200ppm
	Schnell pulsierend (ca. 27s/Puls)	Luftqualität nimmt ab / keine Aktion erforderlich	Ca. 1200-1450ppm
	Sehr schnell pulsierend (ca. 16s/Puls)	Luftqualität schlecht / Bitte Lüften	>1450ppm
	Sehr langsam pulsierend (ca. 60s/Puls)	Luftqualität gut, Raum kühlt aus / Fenster schließen	<750ppm

Eine weiße und grüne Färbung in Kombination mit einer langsamen Atemfrequenz vermitteln den Nutzer*innen, dass die Luftqualität als gut bzw. sehr gut beurteilt werden kann (bis 1200 ppm CO₂) und keine Lüftung erforderlich ist. Eine gelbe Färbung sowie zunehmende Atemfrequenz weisen die Nutzer*innen darauf hin, dass die Luftqualität abnimmt, sich aber noch in einem akzeptablen Bereich befindet und nach wie vor keine Belüftung des Raums erforderlich ist. Mit einer roten Färbung und schnellen Atemfrequenz signalisiert Piaf, dass die Luftqualität ein inakzeptables Niveau erreicht hat (ab ca. 1450 ppm CO₂) und eine Lüftung des Büros zu empfehlen ist. Wird ein Lüftungsvorgang durchgeführt und der untere Schwellenwert

von 750 ppm CO₂ erreicht, so verfärbt sich Piaf blau und es ertönt zusätzlich ein akustisches Signal in Form eines Zwitschens („Zwitscher-Schwelle“). Das Signal soll die Nutzer*innen auffordern, das Fenster zu schließen, um ein weiteres Auskühlen des Büros zu verhindern, das aufgrund der erreichten Luftqualität nicht mehr notwendig ist. So hilft Piaf Energie einzusparen, die für das Aufheizen des Büros nach einer Belüftung notwendig ist. Neben der Feedback-Funktion besitzt Piaf zusätzlich eine Monitoring-Funktion und hinterlegt sämtliche Messwerte in 1-Minuten-Intervallen auf einer integrierten SD-Karte. Ergänzend zu den durch Piaf gesammelten Messdaten wurden seitens der Haustechnik erneut GLT-Daten für den Beobachtungszeitraum bereitgestellt. Siehe hierzu Kapitel 2.3.1.

Assistenzsystem „Piaf“

Das in der Messperiode 2018/19 eingesetzte EBZ-Assistenzsystem „Piaf“ gibt den Nutzer*innen auf Basis der gemessenen CO₂-Konzentration Lüftungsempfehlungen. Dazu leuchtet die integrierte RGB-LED in einer der CO₂-Konzentration entsprechenden Farbe. Zusätzlich pulsiert die LED in ihrer Intensität und stilisiert damit eine Atmung (s. o.). Das akustische Signal, das bei Unterschreitung des festgelegten Zwitscher-Schwellwerts von 750 ppm CO₂ ertönt, fungiert als Aufforderung, den Lüftungsvorgang zu beenden und das Fenster zu schließen. Das akustische Signal ertönt nur nach zuvor erreichter Überschreitung des oberen Schwellwertes von 1450 ppm CO₂. Diese Verkettung von Bedingungen ermöglicht es in den aufgezeichneten Daten den Zusammenhang zwischen dem beobachteten Lüftungsverhalten und dem Assistenzsystem herzustellen. Ein vom EBZ entwickelter Algorithmus identifiziert Lüftungsvorgänge mit den genannten Kriterien im Datenbestand. In den nachfolgenden Darstellungen sind diese Lüftungsvorgänge mit einem gelben Punkt gekennzeichnet. Lüftungsvorgänge ohne vorheriges Erreichen des Warn-Niveaus und somit ohne abschließendes akustisches Signal werden allein grün hervorgehoben. Wird das Warn-Niveau erreicht, so wird dies in den Abbildungen rot gekennzeichnet.

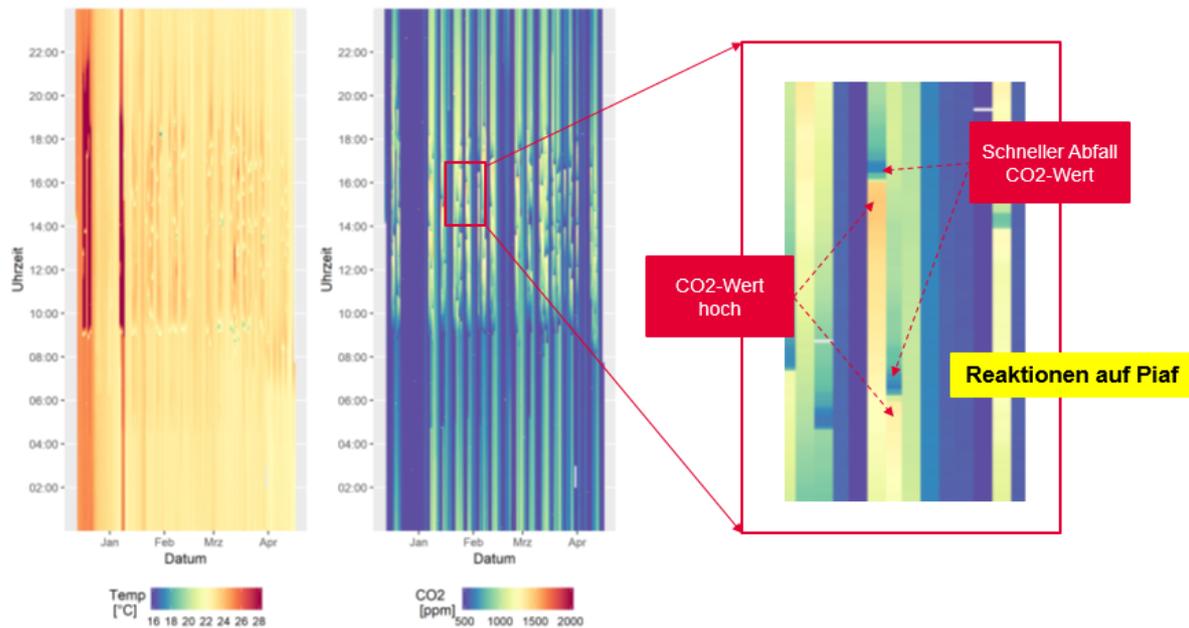


Abbildung 17: Detailbetrachtung Heatmap: Lüftungsvorgang

Abbildung 17 zeigt exemplarisch an einem Büro den Verlauf der CO_2 -Konzentration anhand einer Heatmap. Im vergrößerten Detailausschnitt sind Reaktionen auf das Assistenzsystem gut erkennbar. Auf eine hohe CO_2 -Konzentration bis in den Warnsignalbereich folgt ein rapider Konzentrationsabfall (Fenster geöffnet) bis zur Zwitscher-Signal-Schwelle und anschließend langsamer Zunahme (Fenster wieder geschlossen).

Bei detaillierter Betrachtung über 2 Tage (vgl. Abb. 18) wird das assistierte Lüftungsverhalten deutlich sichtbar. Am Wochenende wird das Büro nicht genutzt, so dass die CO_2 -Konzentration auf einen sehr niedrigen Wert von ca. 400 ppm fällt. Der/die Nutzer*in beginnt den Arbeitstag mit einer starken Belüftung des Büros. Dieser Lüftungsvorgang ist deutlich am kurzzeitigen Absinken der Raumtemperatur von ca. 23 °C auf 20 °C zu erkennen. Am Vormittag nimmt die CO_2 -Konzentration dann langsam über den Vormittag hinweg zu. Zur Mittagszeit erfolgt ein Lüftungsvorgang bei einer guten Luftqualität von ca. 1000 ppm, d.h. ohne vorherige Warnung durch Piaf. Da der Lüftungsvorgang bereits bei einem niedrigen CO_2 -Niveau ausgeführt wird, bleibt das akustische Signal durch Piaf aus und die CO_2 -Konzentration fällt deutlich unter die "Zwitscher"-Schwelle bis ca. 600 ppm. Am Nachmittag steigt die CO_2 -Konzentration schließlich bis zu einem Wert von ca. 1500 ppm an. Bei diesem Wert wurde dem/der Nutzer*in durch eine rote Färbung und schnelle "Atemfrequenz" von Piaf ein deutlicher Lüftungshinweis gegeben, in dessen Folge der/die Nutzer*in das Büro belüftet. Es folgt ein rapider Abfall der CO_2 -Konzentration, verbunden mit einem deutlichen Einbruch in der Raumtemperaturkurve; beides Indikatoren für einen Lüftungsvorgang. Bereits kurz nach Unterschreiten der Zwitscher-Schwelle nimmt die Konzentration wieder zu; das Fenster wurde geschlossen. Mit dem Ende der Arbeitszeit beginnt ein langsamer Abfall der CO_2 -Konzentration bis zum nächsten Tag. Zwei

kleine Abfälle in der CO₂-Konzentration sind um ca. 12 Uhr sowie 14 Uhr sichtbar. Da keine Veränderung in der Raumtemperatur zu beobachten ist, kann davon ausgegangen werden, dass es sich hierbei um das Öffnen der Bürotür und/oder eine kurze Abwesenheit handelt. Die Intensität sowie der ausbleibende Temperaturabfall lassen jedoch vermuten, dass es sich nicht um Lüftungsvorgänge handelt, sondern lediglich die Bürotür geöffnet wurde. Etwa gegen 16 Uhr lässt sich erkennen, dass die CO₂-Konzentration wieder auf ein Warn-Niveau angestiegen ist. Es folgt ein Lüftungsvorgang bis knapp unterhalb der Zwitscher-Schwelle. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass dieser Vorgang durch das Assistenzsystem induziert ist. Ein weiterer Lüftungsvorgang um ca. 18:00 Uhr erfolgt zwar kurz nach Erreichen des Warn-Niveaus, wird dann aber augenscheinlich mit dem Feierabend abgebrochen. Anschließend fällt die Konzentration, wie auch in der Nacht zuvor, kontinuierlich ab.

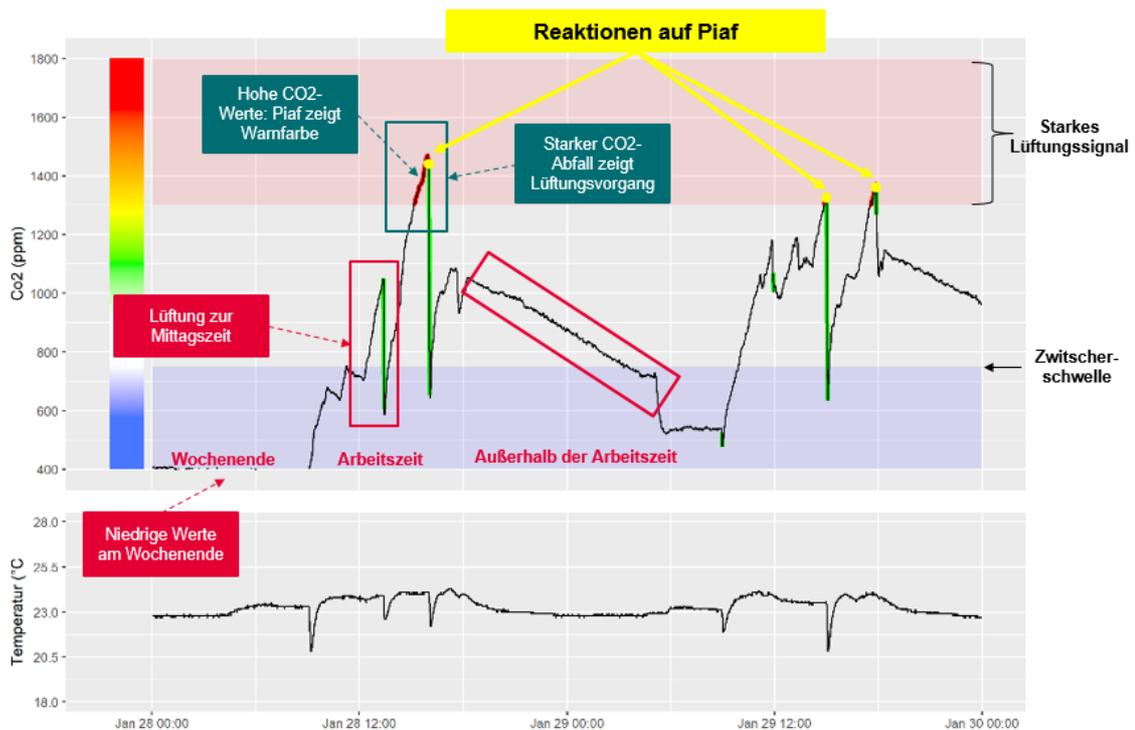


Abbildung 18: Detailbetrachtung CO₂- und Temperaturverlauf: Lüftungsvorgang

Wird die Betrachtung der CO₂- und Temperaturverläufe über einen längeren Zeitraum von drei Monaten durchgeführt, so lassen sich Risiken in der Verwendung von Farbabstufungen mit fließendem Übergang für die Darstellung der CO₂-Konzentration und der damit verbundenen Lüftungsempfehlung am Assistenzsystem erkennen. Abbildung 19 zeigt ein Büro, in dem die Fensteröffnung überwiegend bei einer Färbung von Gelb bis Orange erfolgt. Die Lüftungsvorgänge werden häufig bei unterschreiten der Zwitscher-Schwelle sowie der damit verbundenen Blau-Färbung beendet. Dies entspricht dem beabsichtigten Verhalten, welches das Assistenzsystem induzieren soll.

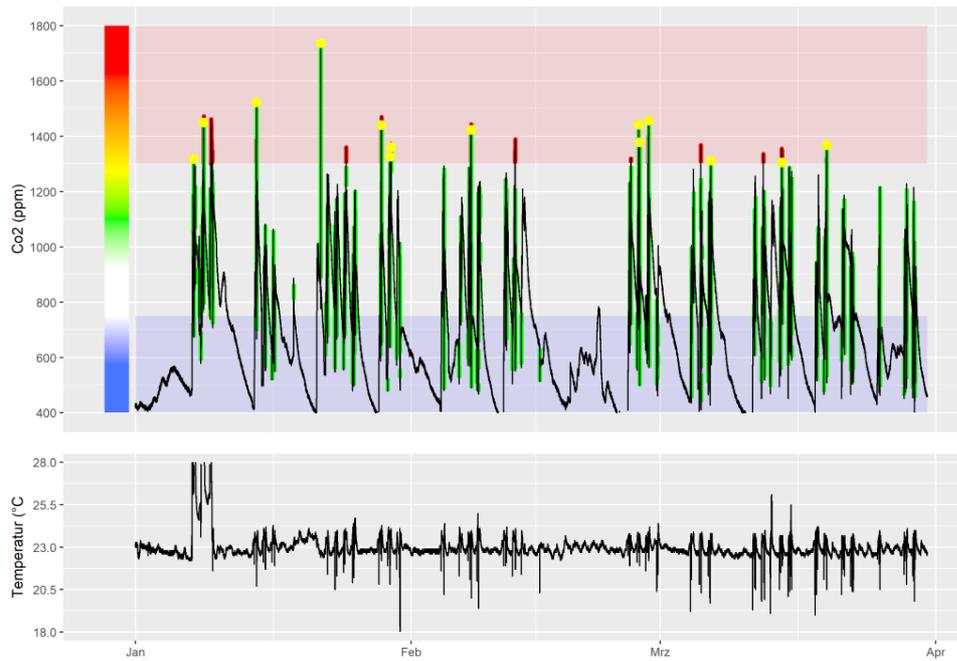


Abbildung 19: CO₂- und Temperaturverlauf: Beispiel 1

Abbildung 20 zeigt den Verlauf in einem Büro, in dem bereits gelüftet wurde, wenn sich die Luftqualität noch im guten Bereich befindet und Piaf mit grüner Färbung nicht zur Lüftung animiert. Die Lüftungsvorgänge werden zudem erst beendet, wenn die CO₂-Konzentration bereits auf ca. 500 ppm und damit weit unter die Zwischen-Schwelle gefallen ist. Hat die teilnehmende Person ihr Lüftungsverhalten am Assistenzsystem orientiert, so scheint abweichend zum erhofften Nutzen ein starker Fokus auf jederzeit niedrige CO₂-Konzentration gelegt worden zu sein.

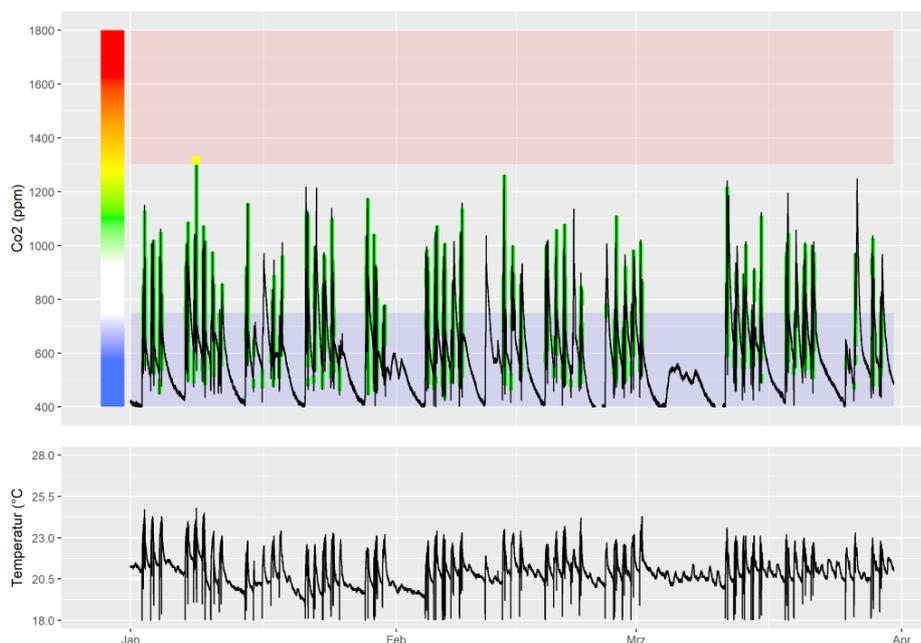


Abbildung 20: CO₂- und Temperaturverlauf: Beispiel 2

Gegenüberstellung der unterschiedlichen Assistenzsysteme

Da ein Teil der Büros sowohl im ersten (Extech) wie auch im zweiten Messzeitraum (Piaf) im Rahmen der Datenerhebung mit Mess- bzw. Assistenzsystemen ausgestattet wurde, ist es dort möglich, die Zeiträume gegenüberzustellen und zu vergleichen.

In Büro 3 ist zu beobachten, dass nach Ausbringung des "Hangar"-Assistenzsystems am 19.03.2018 eine deutliche Verschlechterung der CO₂-Werte zu erkennen ist (vgl. Abb. 21). Im betreffenden Zeitraum herrscht nach einer wärmeren Phase jedoch eine kältere Witterung vor, sodass hier das Lüftungsverhalten vermutlich eher der Witterung, denn dem Assistenzsystem angepasst wird. Mit darauffolgender steigender Außentemperatur sinkt auch der Anteil an Tagen mit hohen CO₂-Konzentrationen. Die in der Heatmap gut sichtbaren Peaks in der gemessenen Raumtemperatur deuten darauf hin, dass das Messgerät direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt war.

Im Jahr 2019 wird das Büro direkt nach Einführung von Piaf urlaubsbedingt nicht genutzt. Nach der Rückkehr sind Reaktionen auf Piaf deutlich zu erkennen. Lüftungsvorgänge erfolgen mehrheitlich kurz nach Erreichen des Warn-Niveaus und enden nach unterschreiten der Zwischer-Schwelle. Ab März sind jedoch wieder höhere CO₂-Werte, ohne direkt folgenden Lüftungsvorgang zu erkennen, was auf ein einsetzendes Desinteresse nach anfänglicher Begeisterung für das System hinweisen könnte. Generell betrachtet hatte die Einbringung des Assistenzsystems "Piaf" einen positiveren Effekt auf das Lüftungsverhalten als die Ausstattung mit dem Assistenzsystem "Hangar".

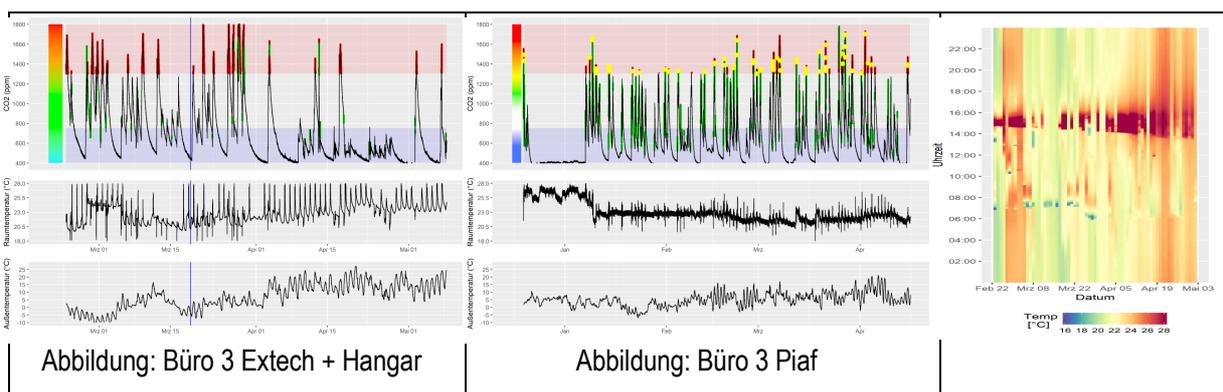


Abbildung 21: CO₂- und Temperaturverläufe - Büro 3

Büro 5 wurde im ersten Messzeitraum lediglich mit dem Extech-Datenlogger ausgestattet. Erst in der zweiten Messperiode wurde das Assistenzsystem Piaf eingebracht. Es lässt im zweiten Messzeitraum keinen signifikanten Einfluss des Assistenzsystems auf das Lüftungsverhalten erkennen (vgl. Abb. 22). Die CO₂-Konzentration bleibt, bis auf einzelne Ausreißer, konstant niedrig bei Werten unterhalb von 900 ppm.

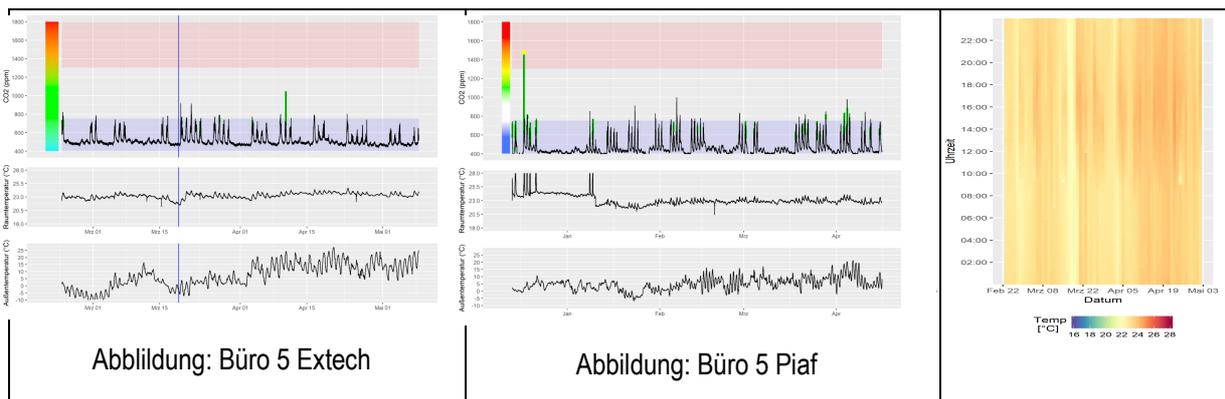


Abbildung 22: CO₂- und Temperaturverläufe - Büro 5

In Büro 6 wurde bereits vor Einführung des Assistenzsystems “Hangar” nur an wenigen Tagen eine CO₂-Konzentration oberhalb von 1300 ppm erreicht (vgl. Abb. 23). Nach Einführung des Systems überschreitet die CO₂ Konzentration lediglich noch an einem Tag diese Grenze. Auch in diesem Büro kommt es auf Grund direkter Sonneneinstrahlung zu gut sichtbaren Temperatur-Peaks.

In der zweiten Messperiode 2018/19 ist die CO₂-Konzentration überwiegend gut bis niedrig. Der o.g. Algorithmus kann allerdings mehrere potenziell durch Piaf induzierte Lüftungsvorgänge identifizieren.

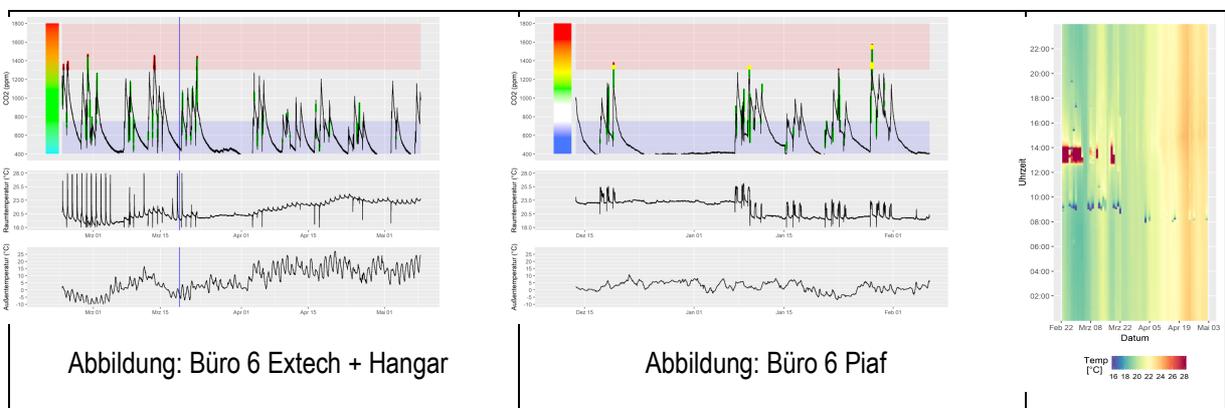


Abbildung 23: CO₂- und Temperaturverläufe - Büro 6

Ähnlich wie in Büro 5 kann in Büro 8 eine generell niedrige CO₂-Konzentration beobachtet werden (vgl. Abb. 24). Abweichend verändert sich hier jedoch das Lüftungsverhalten mit Einbringung des Assistenzsystems. Während der Algorithmus im Zeitraum 2017/18 lediglich eine geringe Anzahl an Lüftungsvorgängen identifizieren kann, steigt deren Anzahl im Zeitraum 2018/19 signifikant an. Zudem ist erkennbar, dass die CO₂-Konzentration regelmäßig über die Werte aus 2017/18 ansteigt. Eine mögliche Begründung ist hier ggf. in der Interpretation der Piaf-Farbskala zu finden. Eine blaue Färbung wurde möglicherweise als optimal bewertet und

ein Lüftungsvorgang wurde bereits begonnen, wenn die LED in den weiß bis hellgrünen Bereich wechselte.

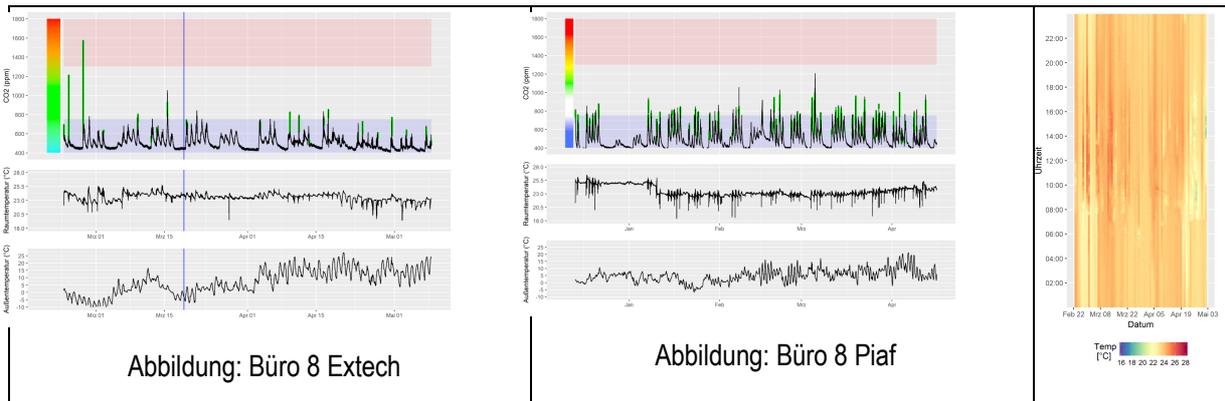


Abbildung 24: CO2- und Temperaturverläufe - Büro 8

In Büro 9 wurden bereits in der ersten Messperiode eine Vielzahl von Lüftungsvorgängen identifiziert (vgl. Abb. 25). Die CO₂-Konzentration lag jedoch regelmäßig in einem sehr hohen Bereich. Ein Assistenzsystem wurde in diesem Zeitraum in diesem Büro nicht eingebracht. Bei Gegenüberstellung zum Messzeitraum 2018/19 ist dann mit der Einbringung des EBZ-Assistenzsystems Pfaf eine deutliche Reaktion auf dieses am angepassten Lüftungsverhalten erkennbar. Wenngleich bereits eine hohe Anzahl von Lüftungsvorgängen schon bei einer CO₂-Konzentration von ca. 1000 ppm detektierbar sind, erfasst der Algorithmus viele Vorgänge in Übereinstimmung mit dem gewünschten Verhalten. Der/Die Nutzer*in lüftet wenn die CO₂-Konzentration in etwa ein Niveau von 1400 ppm erreicht und Pfaf eine rote Färbung anzeigt.

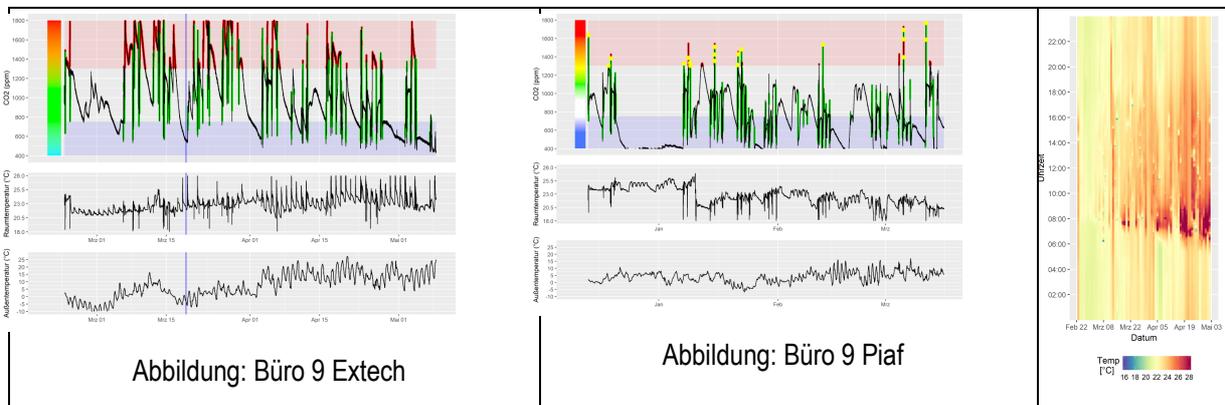


Abbildung 25: CO2- und Temperaturverläufe - Büro 9

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bei entsprechender Akzeptanz durch die Teilnehmenden die Assistenzsysteme einen positiven Einfluss auf das Lüftungsverhalten haben. Vor allem Büros mit energetisch affin Lüftenden (keine Dauerlüftenden) profitieren von der sensorbasierten Unterstützung, da nicht mehr nach Gefühl gelüftet werden muss.

2.4.2 Onlinebefragung zum Energieeinsparverhalten im BMU

Ansätze und Vorgehen

Die Onlinebefragung fand im Zeitraum von Januar 2019 bis März 2019 statt. Von den 27 Teilnehmer*innen des Projektes haben 18 die Online-Umfrage vollständig ausgefüllt. Die Teilnehmenden wurden hinsichtlich ihres energieeffizienten Verhaltens, ihrer Temperatur- und Luftqualitätsempfindung und nach ihrem Heiz- und Lüftungsverhalten befragt, wobei gebäudeteilspezifische Unterschiede und deren Einfluss auf das Nutzerverhalten ermittelt wurden (siehe Fragebogen in Anlage 5).

Von den 18 Teilnehmenden der Onlinebefragung, elf männlich und sieben weiblich, haben zwölf der Befragten ihr Büro im Altbau und die übrigen sechs im Passivhaus. Die Teilnehmenden wurden nach der Exposition ihres Büros befragt. Die Büros sind in beiden Gebäudeteilen entweder zur Straße oder zum Innenhof hin ausgerichtet, wobei die Büros im Altbau zusätzlich zur Rückseite ausgerichtet sein können, und Unterteilungen deshalb auch hier sinnvoll sind (vgl. Abb. 26).



Abbildung 26: Gebäudeteile BMU

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Onlinebefragung zeigen im Wesentlichen Unterschiede und Gemeinsamkeiten, die das Lüftungsverhalten, die Temperaturregelung und die Wahrnehmung der Luftqualität und der Temperatur der Befragten betreffen.

Die Befragung zeigt, dass die Luft im BMU insgesamt eher als verbraucht und zu warm empfunden wird, weshalb in allen Büros regelmäßig gelüftet wird. Das deutet darauf hin, dass das Überangebot an Wärme – welches sich sowohl in dem Monitoring im Rahmen des Projektes sowie in der Auswertung der GLT-Daten zeigt (siehe Kap. 2.3) – weggelüftet wird. Daraus können erhebliche Energieeffizienzverluste entstehen. Beim Lüftungsverhalten unterscheiden sich dabei jeweils die Büros zu den Innenhöfen von den Übrigen, da das Fenster

zum Innenhof für längere Zeit gekippt und nicht, wie in anderen Büros üblich, für kurze Zeit komplett geöffnet wird. Im Passivhaus wird die Luftqualität nur in Büros zum Innenhof hin ausgerichtet, im Altbau hingegen in allen Büros, als eher schlecht interpretiert, was das Lüftungsverhalten, besonders die längeren Lüftungsintervalle im Innenhof, erklärt (vgl. Abb. 27). Als Erklärung für das abweichende Empfinden der Teilnehmenden im Passivhaus, deren Büros zum Innenhof hin ausgerichtet sind, führen die drei Teilnehmenden die Erklärung an, dass die Sonneneinstrahlung bei Büros mit Innenhoflage sehr stark sei und sie die Luft auch deshalb als verbraucht wahrnehmen.

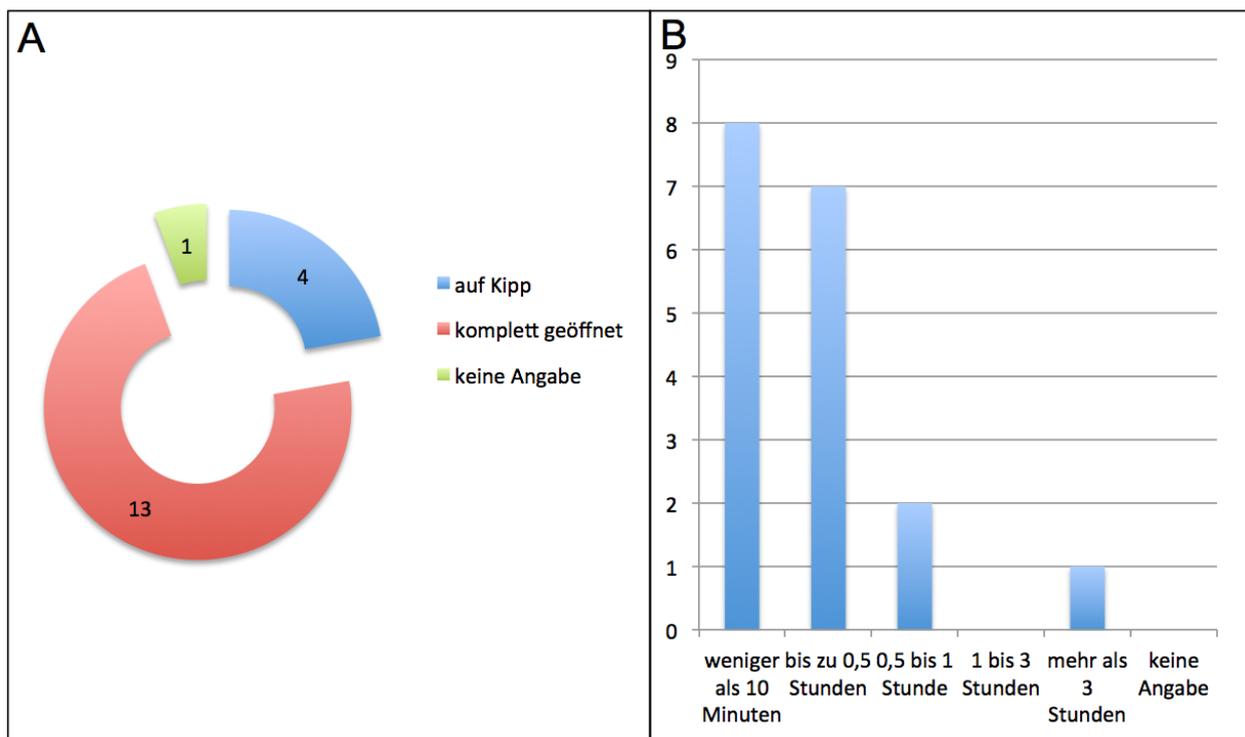


Abbildung 27: Handhabung der Fenster (A: Fensterstellung; B: Lüftungszeitraum)

Zudem nehmen die Befragten im Passivhaus die Temperatur als unangenehmer wahr, als die im Altbau und äußern in diesem Zusammenhang das Bedürfnis eher nach höheren Temperaturen, was einem Überangebot an Wärme in diesem Fall widerspricht und ggf. andere Ursachen hat. In Kap. 2.4.3. zeigt sich im Rahmen der vierwöchigen Abfrage zum persönlichen Wohlbefinden, dass wenige Büros im Passivhaus mit einer Ausrichtung nach Westen dadurch hervor treten, dass die Teilnehmenden die Temperatur als *eher zu kalt* empfinden (31 %) oder sogar 7 % sie als *viel zu kalt* wahrnehmen.

Die Temperaturregelung wird im BMU insgesamt eher selten benutzt. Die einzige Ausnahme stellen die Befragten mit Büros zum Innenhof des Altbaus dar, die diese häufig nutzen, was durch die längeren Lüftungsintervalle bedingt sein könnte. In diesem Zusammenhang ist außerdem die Sonneneinstrahlung zu nennen, die insbesondere in Büros zum Innenhof und gelegentlich in oberen Stockwerken für Probleme sorgt. Neben dem Lüftungsverhalten gibt es

auch Unterschiede im Gebrauch und bei der Funktionalität der Heizungen. Bis auf die Büros zur Straße hin im Altbau bemängeln die Befragten insgesamt die Funktionalität.

Unabhängig vom Gebäudeteil und der Büroexposition zeigen die Teilnehmenden der Onlinebefragung im BMU, welche sich größtenteils als energiebewusst einschätzen, insgesamt ein großes Interesse am Projekt. Sie wollen generell mehr über den Energieverbrauch in ihrem Büro und im gesamten BMU erfahren und mehr Maßnahmen kennenlernen, um diesen beeinflussen zu können (vgl. Abb. 28). Diese Interessen weisen Potenziale hinsichtlich einer Steigerung der Energieeffizienz auf.

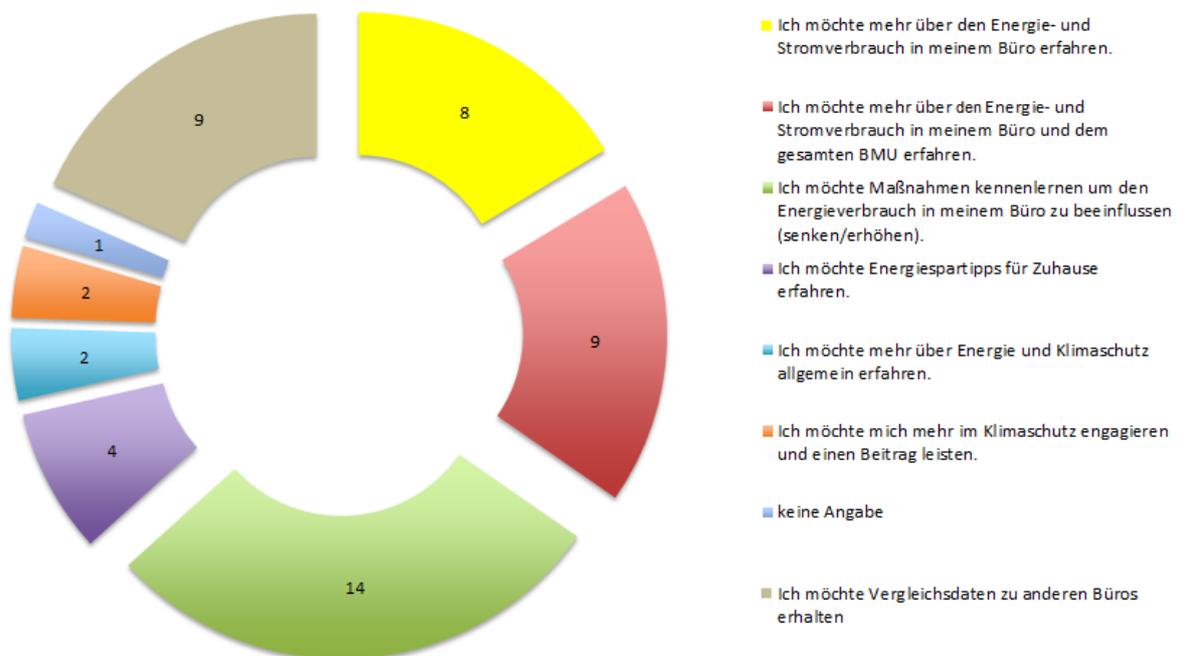


Abbildung 28: Erwartungen und Interessen der Befragten

2.4.3 Abfrage über persönliches Wohlbefinden (“Suppenchallenge”)

Ansatz und Vorgehen

Im Anschluss an die Onlineumfrage am BMU in Berlin wurde parallel zu dem Monitoring durch das Lüftungsassistenzsystem Piaf eine Abfrage über das persönliche Wohlbefinden der Teilnehmenden durchgeführt. Diese Abfrage erfolgte im Zeitraum vom 11.03.2019 bis 09.04.2019 durch zwei tägliche E-Mails, in der die insgesamt 23 Teilnehmenden dazu aufgefordert wurden, ihre, auf den Moment der E-Mail bezogene, durchschnittlich empfundene Temperatur anzugeben. Sie sollten demnach angeben, ob ihnen *viel zu kalt*, *eher zu kalt*, *genau richtig*, *eher zu warm* oder *viel zu warm* ist oder die Temperatur genau ideal ist (siehe Abb. 29).

Wie empfindest Du zur Zeit die Temperatur in Deinem Büro, Aaron?

Viel zu warm

Eher zu warm

Genau richtig

Eher zu kalt

Viel zu kalt

Nicht im Büro (Auswärtstermin, Home Office, Urlaub)

Stimme zwei mal täglich ab, wie Du die Temperatur in Deinem Büro empfindest. Bleib dran und gewinne eine Bio-Suppenbox von Little Lunch. Du kannst den Zwischenstand deiner Suppen-Challenge jederzeit [hier einsehen](#). Bei Fragen kannst Du Dich gerne per E-Mail an uns wenden: eeoffice@handtwolber.de



Handt & Wolber

Tägliche Umfrage zur Ermittlung der persönlichen Komfortzone

Möchtest Du nicht mehr an der Umfrage teilnehmen?
Dann kannst Du Dich [hier unwiderruflich abmelden](#).

Handt & Wolber | Widdersdorfer Str. 207 | 50825 Köln

Abbildung 29: Bewertungsmöglichkeiten innerhalb der Abfrage

Nach Angabe der empfundenen Temperatur sollten die Teilnehmenden außerdem vom Thermometer ablesen, wie die tatsächliche Raumtemperatur ist. Dieser Schritt sorgte für eine Verbindung der Abfrage mit dem Raumklima-Monitoring durch Piaf und sollte für eine weitere Möglichkeit der Kalibrierung sorgen. Durch den Abgleich konnte erkannt werden, ob nach wie vor Piaf durch andere Wärmequellen beeinflusst und dadurch das Temperaturniveau verzerrt

wird. Die Ergebnisse, die durch die Zusammenführung der Ergebnisse des Raumklima-Monitoring durch Piaf und der Abfrage über das persönliche Wohlbefinden generiert wurden, werden in Kap. 3 detaillierter vorgestellt. Über den bei der Abfrage erfragten Forschungsgegenstand, die durchschnittlich gefühlte Temperatur, wurde im Zeitraum der Abfrage von 23 Teilnehmenden 759 Mal abgestimmt. Die Teilnehmenden erhielten für ihre regelmäßige Beteiligung an der Abfrage am Ende eine Suppenbox mit einer Auswahl an ökologischen Suppen. Darüber hinaus hatten die Teilnehmenden die Möglichkeit zu sehen, wie viele von ihren Kollegen und Kolleginnen täglich abgestimmt haben, wodurch sie nicht nur selber zum Abstimmen motiviert werden, sondern gleichzeitig auch ein Wettbewerbsgefühl entstehen sollte. Vor dem Hintergrund dieses Gamification-Ansatzes wird die Abfrage am BMU auch als "Suppenchallenge" bezeichnet.

Ergebnisse

Die "Suppenchallenge" am BMU, die im Zeitraum von vier Wochen stattgefunden hat, zeigt **allgemein** eine Zufriedenheit der Befragten hinsichtlich der empfundenen Temperatur. Die Mehrzahl, 64 % aller 23 Teilnehmenden, empfinden die Temperatur als *genau richtig*, während die Anderen diese entweder als *eher zu kalt* (21 %), oder, noch seltener, als *eher zu warm* (13 %) empfinden.

Ähnliche Ergebnisse zeigen sich auch bei einer **geschlechterspezifischen Betrachtung** der erhobenen Daten. Männer empfinden die Temperatur mit 81 % im Allgemeinen häufiger als genau richtig als Frauen mit nur 54 %. Die Anzahl derjenigen, die die Temperatur als eher zu kalt und viel zu kalt wahrnehmen, ist mit insgesamt 30 % bei Frauen deutlich höher als bei Männern mit nur 10%. Dabei ist jedoch unklar, wie viele Personen dieses Ergebnis verursachen, beziehungsweise ob eventuell einige wenige Personen die Temperatur dauerhaft als eher kalt oder viel zu kalt angeben.. Eher zu warm ist im Gegensatz dazu Frauen mit nur 16 % und Männern mit nur 9 % der Abstimmungen. Sowohl allgemein als auch geschlechterspezifisch bleibt die Gruppe derjenigen, die die Temperatur als *viel zu kalt* oder *viel zu warm* empfinden, mit jeweils unter 3 % aber verschwindend gering (vgl. Abb. 30).

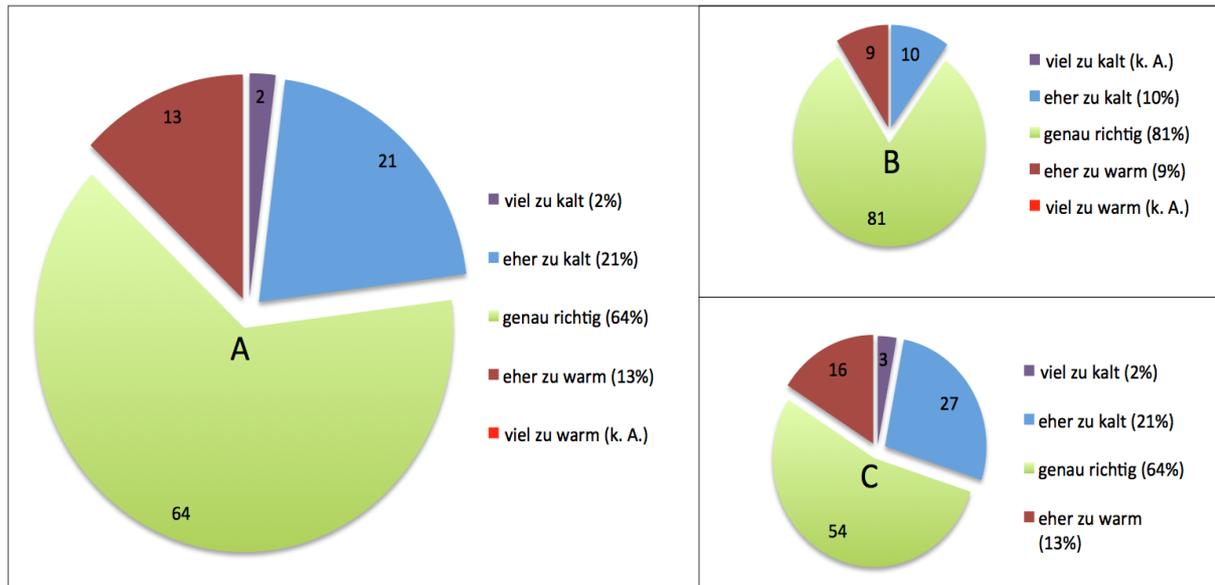


Abbildung 30: Empfundene Raumtemperatur (A: insgesamt; B: männlich; C: weiblich)

Neben der Unterscheidung der Geschlechter ließen sich auch **gebäudeteilspezifische Unterschiede** im Hinblick auf das persönliche Wohlbefinden erkennen. Wie auch bei der Onlineumfrage vorab wurde auch bei der Suppenchallenge eine Unterteilung in Altbau und Passivhaus vorgenommen, da sich diese durch ihr Baujahr und ihre Anlagentechnik unterscheiden. Hinsichtlich der empfundenen Temperatur gibt die Mehrzahl in beiden Gebäudeteilen, jeweils über 60 %, diese als genau richtig an. Im Altbau ist die Anzahl der Teilnehmenden, die die Temperatur *eher zu warm* oder *kalt* finden mit jeweils 17 % ausgeglichen und solche, die sie *viel zu warm* oder *viel zu kalt* finden, nicht vorhanden. Im Passivhaus ist es hingegen nicht ausgeglichen. Hier stehen die Befragten hervor, die mit 30 % angeben, dass die Temperatur tendenziell *eher zu kalt* ist und die, die sie mit 4 % als *viel zu kalt* wahrnehmen, wohingegen der Anteil derjenigen, die sie als *viel zu warm* wahrnehmen, wegen seiner geringen Größe unbeachtet bleiben kann.

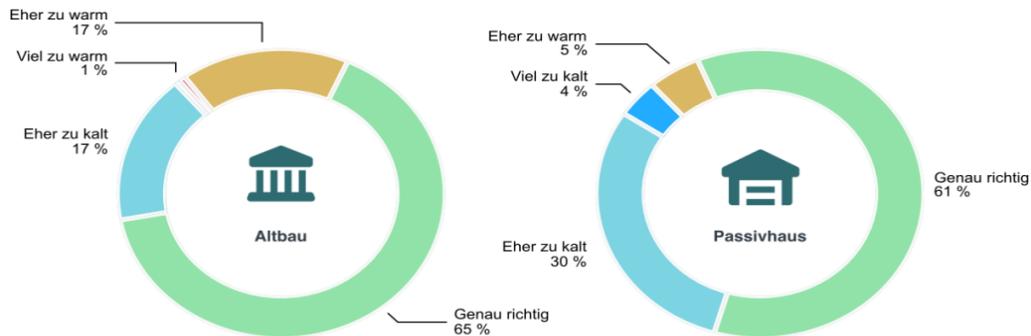


Abbildung 31: Temperaturwahrnehmung nach Gebäudeteilen (Grün: Passivhaus; Rot: Altbau)

Zusätzlich zu den Gebäudeteilen, lassen sich auch die **Ausrichtungen der Büros** voneinander unterscheiden. Sie können zum einen nach Norden zur Erna-Berger-Straße, nach Osten zur Außenanlage, nach Süden zum Hof Vattenfall oder nach Westen zur Stresemannstraße hin ausgerichtet sein. Zum anderen gibt es aber auch Büros, die zum Innenhof hin ausgerichtet sind. Knapp über die Hälfte, 53 bis 55 % der Teilnehmenden, deren Büros nach Süden, Westen oder zum Innenhof hin ausgerichtet sind, empfinden die Temperatur als genau richtig. Die prozentualen Anteile derjenigen, die anderer Meinung sind und sie als *eher zu warm* oder *eher zu kalt* wahrnehmen, sind dabei relativ ausgeglichen (vgl. Abb. 31).

Nur die Büros mit Ausrichtung nach Westen treten dadurch hervor, dass die Mehrzahl derjenigen, welche die Temperatur nicht als genau richtig empfinden, die Temperatur als *eher zu kalt* angibt (31 %) und sogar 7 % sie als *viel zu kalt* wahrnehmen. Die Büros mit Ausrichtung nach Norden und Osten unterscheiden sich von den vorherigen dreien dadurch, dass hier mehr als 70 % der Befragten angeben, dass die Temperatur genau richtig ist. Die übrigen nehmen die Temperatur mit 15 bis 17 % eher als zu kalt oder, mit 7 bis 10 %, als zu warm wahr und zeigen dadurch eine im Mittel hohe Zufriedenheit ohne Nennungen von *viel zu warmen* oder *viel zu*

kalten Temperaturen. Insgesamt ist die Zufriedenheit bezüglich der individuellen Wohlfühl-Temperatur, die sowohl persönlich als auch zeitabhängig ist, sehr hoch und es besteht nur in einzelnen Gebäudeteilen bei einzelnen Nutzern Unzufriedenheit.

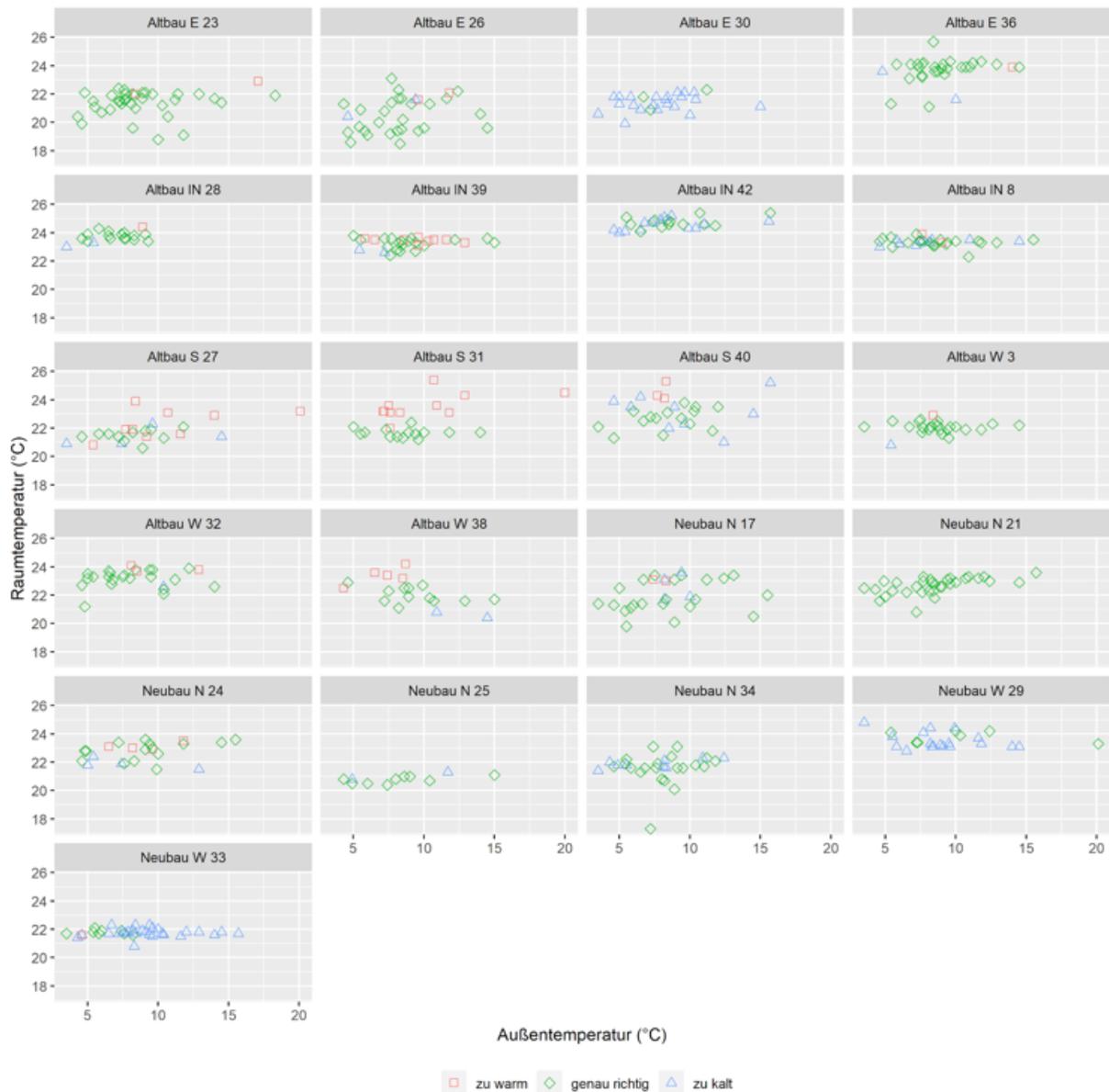


Abbildung 32: Scatterplots der Raum- und Außentemperatur sowie Nutzerwertung

Abb. 32 visualisiert die Individualität und Variabilität der individuellen Temperaturempfindungen. Dargestellt werden die durch die Nutzer*innen abgegebenen Bewertungen, entsprechenden Raumtemperaturen sowie Außentemperaturen. Es ist zu erkennen, dass sich der Wohlfühlbereich der Nutzer*innen (Bewertung: "genau richtig") inter- wie auch intraindividuell unterscheidet. So empfinden manche Nutzer*innen eine Raumtemperatur von ca. 20 °C als ideal, andere Nutzer*innen wiederum bevorzugen höhere Temperaturen von bis zu 25 °C. Weiterhin wird deutlich, dass identische Raumtemperaturen von Nutzer*innen im Zeitverlauf unterschiedlich empfunden werden. In Büro 8 herrscht beispielsweise während der Umfrage

eine konstante Temperatur zwischen 23 °C und 24 °C. Dieser Temperaturbereich wird von dem/der Nutzer*in des Büros jedoch sehr unterschiedlich wahrgenommen und sowohl zu kalt, zu warm wie auch genau richtig beurteilt. Weiterhin zeigen sich Abweichungen bei der Reaktion der Nutzer*innen auf Temperaturschwankungen. Es können sowohl Nutzer*innen identifiziert werden, die sich über einen großen Temperaturbereich mit Unterschieden von mehreren Grad C hinweg wohl fühlen (siehe z.B. Büros 23, 26 und 17), wie auch Nutzer*innen, denen geringe Temperaturveränderungen Unbehagen bereiten.

Zwar sollte die Belohnung durch eine Suppenbox motivierend sein und Anreiz zur Teilnahme an der täglichen Umfrage bezüglich des persönlichen Wohlbefindens schaffen, vor allem sollte sich die Abfrage aber gut in den Arbeitsalltag integrieren lassen und nicht als Störung empfunden werden. Im Hinblick darauf fand nach Abschluss des vierwöchigen Abfragezeitraums eine **Bewertung der Umfrage** durch die 23 Teilnehmenden statt. Insgesamt hat den Teilnehmenden die Umfrage gut bis sehr gut gefallen und bis auf 13 %, die es nicht so einfach fanden, fanden es auch alle übrigen einfach bis sehr einfach mitzumachen. Auch bei der Frage nach dem Zeitaufwand, der optischen Attraktivität der Umfrage und ihrem Störpotenzial waren die Befragten weitestgehend einer Meinung. Sie gaben an, dass sie für die tägliche Umfrage so viel Zeit wie erwartet oder weniger bis viel weniger Zeit brauchten, sie optisch insgesamt attraktiv oder sehr attraktiv fanden und sich über 90 % durch sie nicht gestört fühlten (vgl. Abb. 33). Lediglich bei den Frage danach, wie motivierend der Vergleich mit anderen und der Gewinn der Suppenbox war, sind die Meinungen auseinander gegangen. So fanden zwar mehr als die Hälfte den Vergleich mit anderen motivierend, knapp über 30 % fanden diesen jedoch weniger beziehungsweise überhaupt nicht motivierend. (vgl. Abb. 33). Und auch der Anreiz durch den Preis wurde unterschiedlich aufgefasst. Knapp über die Hälfte der Befragten fanden die Suppenbox nicht so bis überhaupt nicht motivierend, während die andere Hälfte es motivierend fand.

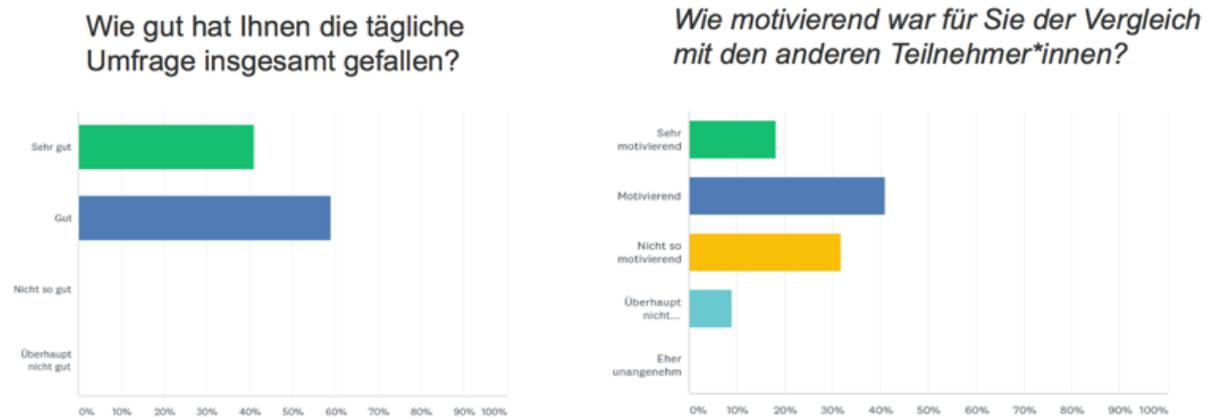


Abbildung 33: Stimmungsbild der Suppenchallenge

Neben diesen Auffälligkeiten bei der Auswertung der Umfrage wurden die Teilnehmenden im Anschluss an die vier Wochen außerdem dazu aufgefordert, **Verbesserungsvorschläge** zu äußern. Dabei wurde der Wunsch nach mehr Transparenz bei Abweichungen vom regulären Ablauf, beispielsweise bei E-Mailverzögerungen, geäußert. Zudem hätten für die Beteiligten auch mehr Parameter abgefragt werden können. Die Art der Kleidung und ob man gerade von draußen kommt oder erkältet ist, können Erläuterungen für Abweichungen des täglichen Empfindens sein und könnten somit Erklärungen für Inkongruenzen sein.

Insgesamt waren die 23 Teilnehmenden aber sehr zufrieden, haben gerne das Projekt unterstützt und haben angeregt und interessiert an der Suppenchallenge teilgenommen, was sich auch in dem abgefragten **Stimmungsbild** widerspiegelte.

Die zusammengefassten Schlussfolgerungen aus Kapitel 2.4 sind:

- Der Einsatz von Feedbacksystem zur energieeffizienten Handhabung der lokalen Anlagentechnik ist mit erheblichen Potenzialen verbunden
- In Kombination mit einfachen und schnell zu beantwortenden Abfragen können zusätzliche gebäude(teil)bezogene und aktorenspezifische Informationen zur Umsetzung einer nutzerzentrierte Betriebsführung abgeleitet werden
- Die Lüftungsstrategien sind heterogen und erfordern ein spezifisches Feedback
- Potenziale eines Feedbacksystems werden determiniert durch den Willen sich mit dem System auseinanderzusetzen und der Akzeptanz das System langfristig zu nutzen

3. Synthese: Vorschlag für eine nutzerzentrierte Betriebsführung

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Projektes zusammenfassend dargestellt. Im Fokus steht dabei die Zusammenführung aller relevanten Projektergebnisse sowie deren Potenzial für eine nutzerzentrierte Betriebsführung (s. Kap. 3.1) und die daraus resultierenden Handlungsempfehlungen eines energieeffizienten Gebäudebetriebs im BMU (s. Kap. 3.2).

3.1 Potenziale einer nutzerzentrierten Betriebsführung

Die Projektergebnisse zeigen, dass für einen auf alle Nutzerbedürfnisse eines öffentlichen Gebäudes abgestimmten und energieeffizienten Anlagenbetrieb entsprechende Kommunikations- und Feedbacksysteme zwischen den einzelnen Nutzer*innen (Büroangestellte, Haustechnik, Facility Management) unabdingbar sind.

Langfristig ist es erforderlich ein **Gesamtsystem einer nutzerzentrierten Betriebsführung** zu entwickeln, welches die ineinandergreifende Verzahnung unterschiedlicher Methodenbausteine erlaubt. Da technische und soziale Interaktionen in einem engen Beziehungsgefüge zueinander stehen und sich wechselseitig beeinflussen, können diese nur unter der Betrachtung ihrer gemeinsamen Dynamik miteinander in Einklang gebracht werden. Diese richtet sich explizit an die Identifikation fehlerhafter (teilw. gewollten) Einstellungen der Anlagentechnik, nicht energieeffizientem Nutzerverhalten und an die Kommunikationswege zwischen Büronutzer*innen und Facility Management. Um das Potenzial der entsprechenden Anlagentechnik und energieeffizientes Nutzerverhalten am Arbeitsplatz langfristig heben zu können, ist die passgenaue Verzahnung und das Ineinandergreifen von sozio-technischen Maßnahmen und Interaktionen unabdinglich. Dementsprechend ist die Konsistenz und die langfristige Wirksamkeit einer nutzerzentrierten Betriebsführung auch davon abhängig, inwiefern sämtliche Interaktionsansätze gebäudescharf und aufeinander abgestimmt implementiert werden können. Ein entsprechendes Prüf- und Umsetzungsverfahren ist demnach nicht gleichermaßen auf alle Gebäude übertragbar. Die bautechnischen Besonderheiten und die jeweiligen Gebäudenutzer*innen beeinflussen den Wirkungsgrad einzelner sozio-technischer Interaktionen, sodass die im Projekt erprobten Methodenbausteine Stellschrauben einer nutzerzentrierten Betriebsführung ableiten können. Die dadurch ausgelösten Wechselwirkungen sind jedoch gebäude- und nutzerspezifisch und müssen je nach Bedarf abgestimmt und intensiviert werden.

Der Einsatz des EBZ-Lüftungsassistenzsystems Piaf kann als Feedbacksystem zur Handhabung der lokalen Anlagentechnik als Teil eines Gesamtsystems einer nutzerzentrierten Betriebsführung mit erheblichen Potenzialen verbunden sein, um beispielsweise eine

angemessene und energiebewusste Raumlüftung zu erreichen. In der Kombination mit einfachen und schnell zu beantwortenden Abfragen, wie der Onlinebefragung oder der „Suppen-Challenge“, können zusätzliche gebäude(teil)- sowie etagenbezogene und aktueursspezifische Informationen zur Umsetzung einer nutzerzentrierten Betriebsführung abgeleitet werden. Dies gilt sowohl für die energieeffiziente Handhabung der lokalen Anlagentechnik durch die Nutzer*innen von Büros, als auch für die Bezifferung und Freisetzung von nutzerzentrierten Energie- und Kosteneinsparpotenzialen durch das technische Personal.

Dabei können die im Projekt ermittelten Einsparpotenziale im Hinblick auf eine nutzerzentrierte Betriebsführung in drei Bausteine unterteilt werden:

- Individualisierung
- Feedback
- Transparenz

Individualisierung

Die Befragungen haben gezeigt, dass die Anforderungen an das Raumklima individuell sind. Nutzer*innen möchten ein individuelles Komfortniveau einstellen können. Wird dieses nicht erreicht, führt das zu einer Unzufriedenheit und zu Beschwerden beim Facility Management. In diesem Zusammenhang haben Nutzer*innen in der Regel mehrere Möglichkeiten, ihr Raumklima zu individualisieren:

- Einstellung der Wunschtemperatur am Thermostatventil oder Raumtemperaturregler
- Öffnen des Fensters, um einen möglicherweise vorhandenen Überschuss aus Raumwärme “wegzulüften”.

In den untersuchten Gebäuden haben alle Räume über eine Einstellmöglichkeit der Raumtemperatur verfügt. Im Passivhaus über einen mit der GLT vernetzten Raumtemperaturregler, in den anderen Gebäuden über ein Thermostatventil am Heizkörper. Die Nutzerfreundlichkeit (Zugänglichkeit, Verständnis über die Funktion) war im Allgemeinen schlecht. In einem Teil der Büros befand sich das Thermostatventil in der Fußleiste (vgl. Abb. 34A). Weder war gut zu erkennen, was eingestellt ist, noch animiert es durch seine schlechte Erreichbarkeit zur Anpassung der Raumtemperatur.



Abbildung 34: Thermostatventil an der Fußleiste (A, gelb gefärbter Kreis), Temperaturregler im Schrank (B)

In einem weiteren Teil der Büros war der Raumtemperaturregler vermutlich aus Designgründen im Garderobenschrank eingebaut (vgl. Abb. 34B), er wurde im Wesentlichen zum Ein- und Abstellen und nicht zur Feinabstimmung der Heizung genutzt (Stichproben ergaben, dass im wesentlichen der untere oder der obere Anschlag als Sollwert eingestellt war). Dem/Der Nutzer*in war es in keinem Fall möglich, Temperaturprofile einzustellen, die den Anwesenheitszeiten im Büro entsprachen. Im Gebäude mit den vernetzten Raumtemperaturreglern sind die Voraussetzungen hierfür grundsätzlich vorhanden. In diesem Zusammenhang erhöhen die nicht optimalen Einstellmöglichkeiten an der "Wärmezufuhr" die Attraktivität, sich zur Individualisierung des Raumklimas der "Wärmeabfuhr" zu bedienen, das heißt, ein Überangebot an Wärme "wegzulüften".

Feedback

Die Nutzer*innen haben keine Möglichkeit, aktuelle Messwerte zum Raumklima in ihren Büros zu sehen. Bei einem der Workshops im BMU wurden die Nutzer*innen gebeten, die Raumtemperatur zu schätzen, dieser Wert wurde dann mit einem Messgerät nachgemessen. Die Schätzwerte wiesen eine Temperaturdifferenz (Min, Max) von 6 Grad C auf, der Mittelwert über alle Teilnehmer*innen erhoben, lag etwas unterhalb des gemessenen Wertes. Da das Temperaturempfinden je nach Person unterschiedlich wahrgenommen wird und tagesabhängigen Schwankungen unterliegt, sind entsprechende Feedbacksysteme von besonderer Bedeutung. Dies scheint insbesondere für die Kommunikationswege zwischen

technischem Personal und Nutzer*innen von Büros relevant zu sein. Da sich die Kommunikationswege in den meisten Fällen an individuellen Beschwerden orientieren, könnten Feedbacksysteme und entsprechende Abfragen dabei helfen, das technische Personal aufgrund von mess- und vergleichbaren Raumtemperaturen über die Gesamtzufriedenheit zu informieren und damit dauerhaft zu entlasten.

Darüber hinaus ist das Lüftungsverhalten eine weitere Einflussgröße, mit der Nutzer*innen den Energieverbrauch einer Immobilie beeinflussen können. In den untersuchten Fällen gab es keine Mess- oder Anzeigegeräte, mit denen sich energieeffizientes Lüften unterstützen ließ. Im Vergleich zu dem Temperaturempfinden lässt sich die Luftqualität deutlich schlechter schätzen, was die Notwendigkeit von entsprechenden Feedbacksystemen unterstreicht.

Transparenz

Ein wesentlicher Einflussfaktor, der die zuvor genannten Bausteine gleichermaßen betrifft, ist umfassende Transparenz über Verbrauchs- und Zufriedenheitswerte. Dies betrifft sowohl auf den Gebäudebetrieb abgestimmte Vorgaben hinsichtlich des Energieverbrauchs (hauptsächlich relevant für technisches Personal), als auch das Wissen um Wechselwirkungen zwischen individuellen Nutzerverhalten und Anlagenbetrieb (hauptsächlich relevant für Nutzer*innen von Büros). Darüber hinaus sollte der Grad der Gesamtzufriedenheit bei den Nutzer*innen von Büros für das technische Personal sichtbar gemacht werden. Im Projekt konnte mit einzelnen Interventionen (z.B. Monitoring, Livedaten, Suppen-Challenge) aufgezeigt werden, dass umfassende Transparenz bei den Teilnehmenden gewünscht ist und hohe Energieeffizienzpotenziale im Anlagenbetrieb erkannt werden können. Die im Projekt entwickelten sozialen und technischen Interaktionen und Maßnahmen weisen darauf hin, dass allen Stakeholdern ein expliziter Einblick über individuelle und tagesabhängige Verbrauchswerte gegeben werden kann, sowie deren Aus- und Wechselwirkung auf den gesamten Anlagenbetrieb sichtbar gemacht werden können.

Die Potenziale einer nutzerzentrierten Betriebsführung zielen dementsprechend darauf, geeignete Kommunikationswege zwischen Nutzer*innen von Büros und technischem Personal zu identifizieren und zu implementieren, die mithilfe von tages- und gebäude(teil)spezifischen Vergleichsdaten eine gemeinsame Interaktionsstrategie konsolidieren können. Eine auf den Gebäudebetrieb abgestimmte Interaktionsstrategie ist wiederum grundlegend, um Qualitätskriterien einer gemeinsamen gebäude- und nutzerspezifischen Energieeffizienzstrategie formulieren und langfristig umsetzen zu können.

3.2 Handlungsempfehlungen für eine nutzerzentrierte Betriebsführung

Eine Möglichkeit, um die Energieeffizienz von Gebäuden in der Betriebsführung nachhaltig zu steigern, besteht in der Beseitigung von Fehlern in der Anlagentechnik. Dieser Ansatz erscheint auf den ersten Blick selbstverständlich, allerdings unterstützen moderne Gebäude mit einer umfangreichen Gebäudeautomation nur selten die Fehlerdetektion und -analyse. Zum einen können technische Komponenten (wie Sensoren oder Stellantriebe) defekt sein, zum anderen kann es bei der Implementierung der regelungstechnischen Software zu Fehlern kommen.

Ein weiterer Ansatz zielt darauf, das Nutzerverhalten zu verändern, welches den Energieverbrauch beeinflusst. Hierbei werden Verhaltensroutinen hinterfragt, die den Energieverbrauch erhöhen und im optimalen Fall verändern. Beispiele sind hier das Abschalten von Geräten bei Nichtnutzung oder das Reduzieren der Raum-Sollwerttemperaturen beim Verlassen des Büros. Das Projekt hat gezeigt, dass es eine große Bandbreite unterschiedlicher Strategien gibt, Nutzerverhalten im Büro zu beeinflussen – mit divergierendem Potenzial bezüglich Verhaltensveränderungen und Energieeinsparungen. Da die Beschäftigten in öffentlichen Gebäuden in der Regel keinen eigenen monetären Nutzen aus potenziellen Energieeinsparungen erzielen, ist deren Motivation zu potenziellen Verhaltensänderungen von besonderer Bedeutung.

Obwohl in einzelnen Projekten nutzerzentrierte Ansätze oder vernetzte Energiemanagementstrategien weiter ausgebaut werden, mangelt es an einem ganzheitlichen Ansatz, der es vermag, ein Gesamtsystem zu entwickeln, welches soziale und technische Innovationen auf geeignete Art und Weise miteinander verschränkt. Dies liegt vor allem daran, dass es bisher keine Ansätze gibt, die Instrumente zur Beratung und Informationsverbreitung, Qualifizierungs- und Bildungsformate, Kommunikationsinstrumente, Feedback- und Anreizsysteme, Messungen und Monitoring sowie Steuerungs- und Automationssysteme miteinander verbinden und auf die individuellen Gegebenheiten und Bedarfe der Gebäude(nutzer*innen) abstimmen zu können. Die größten Barrieren und Herausforderungen liegen daher darin, ein entsprechendes Methodenset zu entwickeln, das einem ganzheitlichen Ansatz gerecht wird und in verschiedenen Büro- oder Verwaltungsgebäuden gleichermaßen umgesetzt werden kann. In der Umsetzung eines solchen Methodensets ist darüber hinaus entscheidend welche personellen und finanziellen Kapazitäten der Gebäudeleittechnik und der Betriebsführung zugesprochen werden. Auf Grundlage der Projektergebnisse ergeben sich verschiedene Handlungsempfehlungen, auf die im Folgenden näher eingegangen werden soll. Um Energieeffizienzpotenziale des Gebäudebestands vom BMU langfristig heben zu können, wird ein abgestuftes Konzept zur kontinuierlichen Verbesserung des Anlagenbetriebs am

Beispiel ausgewählter Gebäude des BMU empfohlen. Ein Grundbaustein dieses Konzeptes bildet die systematische Bewertung der Energieverbräuche einerseits und die Erhebung der Nutzerzufriedenheit andererseits. Werden die Jahres-, besser Monats- oder Wochenenergieverbräuche witterungsbereinigt ausgewertet, so lassen sich Änderungen im Energieverbrauch bereits unterjährig erkennen.

Das Projekt hat gezeigt, dass ein großes Potenzial in der Konzeption und Umsetzung einer Nutzerzentrierten Betriebsführung liegt. Diese zielt darauf ab, eine möglichst hohe Zufriedenheit der Mitarbeiter*innen bei einem angemessenen Energieeinsatz zu erreichen. In der aktuellen Konstellation führt die Unzufriedenheit einiger weniger Mitarbeiter*innen dazu, dass Leistungsüberschüsse bei der Wärme-/Kälteversorgung entstehen oder erhöht werden. Das FM-Personal kann nicht erkennen, ob ein grundsätzliches oder ein nur lokales Problem beim individuellen Raumklima besteht. Unter der Annahme, dass Beschwerden eher ein Indikator für ein grundsätzliches Problem sind, wird die zentrale Wärme-/Kälteversorgung anders eingestellt. Die Auswirkungen einer Justage der zentralen Wärmeversorgung auf die Energieeffizienz wird nicht weiter verfolgt. Daher sollten die Energieverbräuche mit einer systematischen Erfassung der Nutzerzufriedenheit kombiniert werden. Hierzu wurde im Projekt mit der „Suppenchallenge“ ein entsprechendes Verfahren entwickelt und erprobt (vgl. Kap. 2.4.3). Dies muss im Umfang und Aufbau der Fragen auf die verschiedenen Gebäude angepasst werden.

Darüber hinaus sollte betrachtet werden, ob es eine Überversorgung von Räumen außerhalb der Arbeitszeit gibt. Außerhalb der Arbeitszeit und an Wochenenden sowie Feiertagen sollte der Absenkbetrieb besondere Beachtung finden. Hier sollte mit dem Facility Management und auf Basis von Nutzerbefragungen erprobt werden, welche Absenkstrategien möglich sind, die eine Einsparung von Energie ermöglichen und zugleich die Nutzung von Büros außerhalb der Geschäftszeiten ermöglichen (bspw. Beschränkung der Temperaturabsenkung auf die Nacht und Feiertage oder auf bestimmte Gebäude, insb. Bestandsgebäude und Neubauten).

Es wird darüber hinaus empfohlen, am Beispiel zweier unterschiedlicher Gebäude (Baujahr, Bauphysik, Stand der Technik etc.) eine Gesamtstrategie einer „nutzerzentrierten Betriebsführung“ für das BMU zu entwickeln. Diese muss die unterschiedlichen Nutzer*innen des Gebäudes (Mitarbeiter*innen, technisches Personal, Facility Management, Gebäudebetreiber) integrieren und eine Interaktion durch unterschiedliche Feedbacksysteme ermöglichen (bspw. Raumluftqualität, individuelle Performance, Wohlfühlzone, Vergleichsdaten) sowie Möglichkeiten gemeinschaftlicher Anreize und Wettbewerbe schaffen.

Ziel sollte es auch dabei sein, das Facility Management (FM) mit weiteren Informationen zum lokalen Raumklima, dem Nutzerverhalten und der Zufriedenheit der Nutzer*innen zu versorgen. Während das FM in dem konventionellen Ansatz nur fallweise und nur im Beschwerdefall

Informationen erhält, erhält das FM so nicht nur ein Feedback von einzelnen Nutzer*innen (in der Regel von den „Beschwerdeführer*innen“), sondern einen breiten und vergleichbaren Gesamtüberblick über die Situation im Gebäude. Diese Information muss so aufbereitet werden, dass für das FM direkte Handlungsempfehlungen abgeleitet werden können, die geeignet sind, die Überversorgung des Gebäudes mit Wärme/Kälte zu reduzieren und im Idealfall zu verhindern.

4. Ausblick

Die Projektergebnisse zeigen, dass ein energieeffizienter Anlagenbetrieb durch eine nutzerzentrierte Betriebsführung gerahmt werden sollte. Das Wissen und die Motivation um energieeffizientes Verhalten am Arbeitsplatz auf Seiten der Projektteilnehmenden weist auf ein hervorragendes Fundament zur Implementierung einer nutzerzentrierten Betriebsführung hin. Aufgrund der zu erwartenden Kosten-, Energie- und Ressourcen- sowie CO₂-Einsparung und der grundsätzlichen Übertragbarkeit auf andere Büro- und Verwaltungsgebäude, könnte das BMU eine Vorbildfunktion übernehmen und damit einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestand des Bundes leisten. Dieser Vorbildfunktion gerecht zu werden, erfordert die Implementierung von Feedbacksystemen zu individuellen Verbrauchs- und Zufriedenheitswerten und entsprechende Qualifizierungsformate, um das technische Personal dazu zu befähigen geeignete Maßnahmen aus den Feedback- und Abfragesystemen ableiten zu können. Die größten Barrieren und Herausforderungen liegen daher darin, ein entsprechendes Methodenset zu entwickeln, das einem ganzheitlichen Ansatz gerecht wird und in verschiedenen Büro- oder Verwaltungsgebäuden gleichermaßen umgesetzt werden kann. In der Umsetzung eines solchen Methodensets ist darüber hinaus entscheidend welche personellen und finanziellen Kapazitäten der Gebäudeleittechnik und der Betriebsführung zugesprochen werden und ob diese gegebenenfalls angepasst werden müssen.

Darüber hinaus sollte betrachtet werden, ob es eine Überversorgung von Räumen außerhalb der Arbeitszeit gibt. Außerhalb der Arbeitszeit und an Wochenenden sowie Feiertagen sollte der Absenkbetrieb besondere Beachtung finden. Hier sollte mit dem Facility Management und auf Basis von Nutzerbefragungen erprobt werden, welche Absenkstrategien möglich sind, die eine Einsparung von Energie ermöglichen und zugleich die Nutzung von Büros außerhalb der Geschäftszeiten ermöglichen (bspw. Beschränkung der Temperaturabsenkung auf die Nacht und Feiertage oder auf bestimmte Gebäude, insb. Bestandsgebäude und Neubauten).

Die Projektergebnisse legen darüber hinaus nahe, dass ein innovativer Praxis- und Verwertungsbezug gegeben ist. Die im Projekt entwickelten Produkte und konzipierten Interaktionsstrategien sollten einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden und weiteren Akteuren aus Forschungs- und Innovationssystemen zur Verfügung gestellt werden.

Übergeordnetes Ziel sollte sein, dass in dem Projekt erworbene Wissen im Rahmen eines Best-Practice-Beispiel weiter auszubauen und so für einen breiten Gebäudebestand nutzbar zu machen. Die größten Barrieren und Herausforderungen liegen darin, ein entsprechendes Methodenset zu entwickeln, das einem ganzheitlichen Ansatz gerecht wird und in verschiedenen Büro- oder Verwaltungsgebäude gleichermaßen umgesetzt werden kann. Eine Überprüfung der Programmierung der Nachtabenkung hat ergeben, dass diese zwar prinzipiell programmiert ist, die Vorlauf-Temperaturabsenkung allerdings so zaghaft eingestellt ist, dass sich die Wirkung nicht anhand der durchgeführten Messungen nicht oder kaum nachweisen lässt. In diesem Sinne sollten weitere Forschungsvorhaben an eben dieser Schnittstelle zwischen sozialen und technischen Interventionen anknüpfen, um weitere Akteure und Innovationen in dieser Forschungslücke zu verorten und geeignete Maßnahmen zur Implementierung einer nutzerzentrierten Betriebsführung ableiten zu können.

5. Literatur

- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie(2016): Abschlussbericht der Verbundpartner-Ressourceneffizienz im Gebäudebetrieb durch NutzerIntegration und Automation (REGENA). Saarbrücken. Abrufbar über: <http://www.projekt-regena.de/wp-content/uploads/2014/03/Schlussbericht-FKZ-03ET1070.pdf>
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (2017): Quantifizierung von Rebound-Effekten bei der energetischen Sanierung von Nichtwohngebäuden / Bundesliegenschaften. Energiekennwerte, Prebound-Effekt und Verhalten der Nutzer/innen vor einer energetischen Sanierung. BBSR-Online-Publikation 02/2017, Bonn. Abrufbar unter: http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2017/bbsr-online-02-2017-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=6
- European Environment Agency (2013): Achieving energy efficiency through behavior change: what does it take?EEA Technical report No 5/2013 Abrufbar über: <https://www.eea.europa.eu/publications/achieving-energy-efficiency-through-behaviour>
- Niamh Murtagh, N., Nati, M., Headley, W., Gatersleben, B.Gluhak, A., Imran, M.A. & D. Uzzel (2013): Individual energy use and feedback in an office setting: A field trial. In: Energy Policy, Volume 62, 2013, Pages 717-728.
- Stumpf, M.(2014). Behavioral changes and technical-organizational optimizations – a successful team in energy conservation: experiences and insights from psychological studies on energy use behavior at universities. Abrufbar über : https://www.researchgate.net/profile/Michael_Stumpf2/publication/262494110_Behavioral_changes_and_technical-organizational_optimizations_-_a_successful_team_in_energy_conservation_experiences_and_insights_from_psychological_studies_on_energy_use_behavior_at_universities/links/56a20f0608ae2afab8855693.pdf
- Wohlgemuth, A. (2017): Efficient energy input by a user integration with coupled documentation on the basis of smart media counters. Fallstudie am Forschungszentrum Jülich.
WOHLGEMUTH, A. (2017): Efficient energy input by a user integration with coupled documentation on the basis of smart media counters. Fallstudie am Forschungszentrum Jülich.
- Liedtke, C., Baedeker, C., & Borrelli, L. M. (2015): Stellschrauben für Nachhaltigkeit: Trends und Verantwortungen in Produktion und Konsum. In: M. Roth, C. Ulbert & T. Debiel (Eds.), Stiftung Entwicklung und Frieden, Institut für Entwicklung und Frieden, Käte Hamburger

Kolleg/Centre for Global Cooperation Research: Globale Trends 2015 (pp. 299–314).
Frankfurt, Germany: S. Fischer Verlag.

Schneidewind, U. & Scheck, H., (2013): Die Stadt als "Reallabor" für Systeminnovationen. In: Rückert-John, J. (Ed.), Soziale Innovation und Nachhaltigkeit. Perspektiven sozialen Wandels. Springer VS, Wiesbaden, S. 229-248.

Baedeker, C., Liedtke, C. & M. Welfens (2017): Green Economy as a Framework for Product-Service Systems Development: The Role of Sustainable Living Labs. Springer International.

Liedtke, C., Welfens, M. J., Rohn, H., & Nordmann, J. (2012): LIVING LAB: User-driven innovation for sustainability. In International Journal of Sustainability in Higher Education, Vol. 13, 2/2012, S.106-118.

Anlagen

Anlage 1: Gegenüberstellung der geplanten und tatsächlich durchgeführten Arbeitsschritte

Anlage 2: Pressemitteilung 07.02.2019

Anlage 3: Fragebogen Mitarbeiter*innen-Interviews

Anlage 4: Fragebogen Techniker-Interviews

Anlage 5: Onlinebefragung Fragebogen

Anlage 1: Gegenüberstellung der geplanten und tatsächlich durchgeführten Arbeitsschritte

Arbeitsplan vor Projektaufstockung

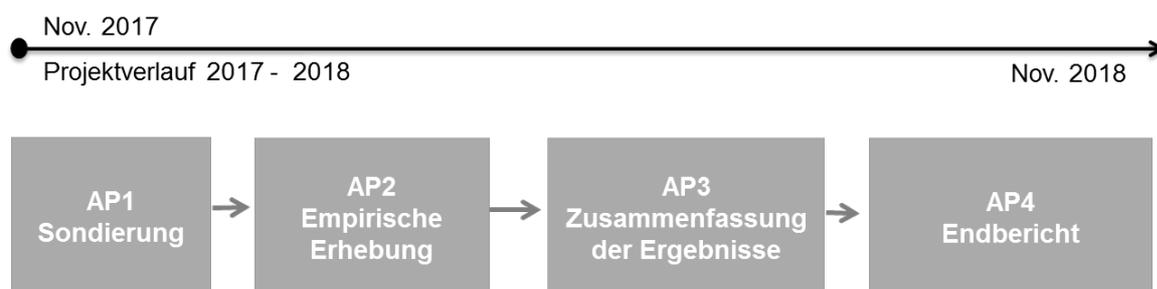


Abbildung 35: Übersicht über den Arbeitsplan

Die Arbeitspakete umfassten folgende geplante Arbeitsschritte (AS), die im Verlauf des Projektes in Abstimmung mit dem Projektträger bedarfsgerecht angepasst wurden (siehe dazu Zwischenbericht 1, 2 und 3):

Tabelle 5: Übersicht über die geplanten Arbeitsschritte

		2017		2018										
Arbeitspakete und -schritte		No v	De z	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov
1	Sondierung													
1.1	Auftaktgespräch			24.1										
1.2	Screening													
1.3	Sondierung Strategien													
1.4	Sachstandsbericht zu AP 1													
1.5	Clustern/Bewertung													
1.6	Zwischenbericht AP1				15.2									
1.7	Abstimmungsgespräch AP1													
2	Empirische Erhebung													
2.1	Mitarbeiterinterviews													
2.2	Monitoring (optional)													
2.3	Fokusgruppenworkshop													
2.4	Zwischenbericht AP2								15.6					
2.5	Abstimmungsgespräch AP2													
3	Zusammenfassung der Ergebnisse													
3.1	SWOT-Analyse													
3.2	Entwurf Endbericht													
3.3	Ergebnispräsentation beim AG												15.10	
4.	Endbericht „Ressortpapier“													Mär

Arbeitsplan nach Projektaufstockung

Die Ergebnisse aus AP1, AP2 und AP3 sollten innerhalb der Heizperiode 2018/2019 genutzt werden, um ein breiter angelegtes Monitoring im Alt- und Neubau des BMU Gebäudes in der Stresemannstraße zu verfolgen, erste Interventionsstrategien mit den Beschäftigten umzusetzen und eine gemeinsame Gesamtstrategie für Dienstgebäude des BMU weiter auszuarbeiten. Um das breiter angelegte Monitoring umsetzen zu können, wurde eine

Auftragsverlängerung und -aufstockung zunächst bis zum 15.04.2019 und dann eine weitere bis zum 30.06.2019 vorgenommen (vgl. Abb. 36) Die Auftragsänderung und Verlängerung des Projektes um die Heizperiode 2018/2019 wurde in zwei Arbeitspaketen umgesetzt:



Abbildung 36: Übersicht über Arbeitsplan nach Projektaufstockung 2019

Die Arbeitspakete innerhalb der Projektaufstockung umfassten laut der Angebote vom 29.10.2018 (1. Aufstockung) und vom 09.04.2019 (2. Aufstockung) folgende geplante Arbeitsschritte (AS), die im Verlauf des Projektes in Abstimmung mit dem Projektträger bedarfsgerecht angepasst wurden:

Tabelle 6: Übersicht über die geplanten Arbeitsschritte innerhalb der Projektaufstockung 2019

		2018		2019					
Arbeitspakete und -schritte		Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	April	Mai	Juni
1	Empirische Erhebung								
1.1	Teilnehmendenrekrutierung und Auftaktworkshop	■	■						
1.2	Installation PIAF (incl. Raumklima-Monitoring), insgesamt 26			■	■	■	■		
1.3	Installation einer Livedatenplattform/ Online-Befragung			■	■	■	■		
1.4	Co-Creation-Workshop						■		
1.5	Auswertung der Ergebnisse					■	■	■	■
1.6	Abstimmungsgespräch zu AP1						■		
2	Zusammenfassung der Ergebnisse								
2.1	Endbericht						■	■	■
2.2	Ergebnispräsentation beim AG							■	■

AP 1 Empirische Erhebung

AS 1.1 Teilnehmendenrekrutierung und Auftaktworkshop

Um die erarbeiteten bzw. ausgewählten Strategien hinsichtlich ihrer praktischen Anwendbarkeit als auch ihrer Wirksamkeit im BMU in Berlin zu überprüfen, bewerten und weiterentwickeln zu können, erfolgt zunächst eine Rekrutierung von weiteren Teilnehmenden. Die neun Teilnehmenden, die an dem Projekt 2017-2018 bereits teilgenommen haben, sollten für eine weitere Teilnahme motiviert werden.

AS 1.2 Installation Piaf (incl. Raumklima-Monitoring),

Insgesamt sollten für die empirische Untersuchung 20 Büros mit technischen Assistenzsystemen und Messgeräten ausgestattet werden. Das technische Assistenzsystem „Piaf“ wird eingesetzt, um Nutzer/innen durch visuelle und hörbare Reaktionen auf kritische Zustände bezüglich des Raumklimas hinzuweisen und damit zu Maßnahmen und Verhaltensveränderungen aufzufordern. Primäres Ziel der Messungen ist es, die praktische Anwendbarkeit möglicher Strategien zur Unterstützung des Energieeinsparverhaltens zu überprüfen.

AS 1.3 Installation einer Livedatenplattform/Online-Befragung

Das Assistenzsystem „Piaf“ kann zudem genutzt werden, um über eine individuelle Plattform Werte zum Raumklima in Echtzeit anzuzeigen. Die Livedatenplattform ermöglicht eine Visualisierung des eigenen Nutzerverhaltens. Die Teilnehmenden erfahren dabei tagesaktuell Daten zu Temperatur und CO₂-Gehalt ihrer Messreihe sowie inwieweit sie sich im empfohlenen Temperatur- und CO₂-Bereich befinden. Im Zuge des Einsatzes der Livedatenplattform erfolgt zu Beginn auch eine Online-Befragung zur Abfrage des Heiz- und Lüftungsverhaltens der Teilnehmenden.

AS 1.4 Co-Creation-Workshop

Der Co-Creations-Workshop zielt darauf die Funktionsfähigkeit und Gestaltung des Assistenzsystems Piaf sowie der Livedatenplattform mit den Teilnehmenden zu diskutieren und diese auf der Basis nutzerorientierter Effizienzstrategien weiter zu entwickeln.

AS 1.5 Auswertung der Ergebnisse

Im Zuge der Auswertung werden auf Basis des Raumklima-Monitorings quantitative und qualitative Nutzerprofile erstellt, die einen Überblick über Nutzerverhalten sowie damit zusammenhängende Verbrauchswerte geben und diese vergleichbar machen und die Ermittlung von Einsparpotenziale für das Dienstgebäude Stresemannstraße ermöglichen. Durch das Monitoring der Büroräume können bei der Auswertung der Daten auch Hinweise auf die

korrekte Funktion und Einstellung der Anlagentechnik (Temperaturprofile, und ggf. Lüftungsanlage) gegeben werden.

AS 1.6 Abstimmungsgespräch zu AP1

Zum Abschluss des AP findet ein Abstimmungsgespräch mit dem Auftraggeber statt.

AP 2 Zusammenfassung der Ergebnisse

AS 2.1 Endbericht

Auf Basis dieser Ergebnisse wird ein Endbericht erstellt.

AS 2.2 Ergebnispräsentation beim AG

Die Ergebnisse werden dem Auftraggeber präsentiert. Zudem können zusätzlich Fachexperten aus dem Ministerium eingeladen werden. Dies ermöglicht noch einmal mit Hilfe von Fachexpertise die Potentialabschätzungen der verschiedenen untersuchten Strategien bewerten zu lassen und ggf. in Richtung eines Folgeprojektes entsprechende Maßnahmen vorab zu diskutieren.

Tatsächlich durchgeführte Arbeitsschritte in der Projektaufstockung 2019

AP 1 Empirische Erhebung

AS 1.1 Teilnehmendenrekrutierung und Auftaktworkshop

Die Teilnehmendenrekrutierung erfolgte durch den Projektverantwortlichen am BMU, der gezielt eine Ansprache von Personen aus unterschiedlichen Referaten, Gebäudeteilen und Etagen vornahm. Im Rahmen des Auftaktworkshops am 13.12.2019 wurden die Projektergebnisse aus AP1, AP2, AP3 aufbereitet dargestellt und das weitere Vorgehen im Zuge der Projektaufstockung skizziert. Insgesamt erklärten sich acht von neun Teilnehmenden aus dem Projekt 2017-2018 bereit, an der Weiterführung des Forschungsvorhabens zu partizipieren. Darüber hinaus wurden 19 weitere Teilnehmende für den Zeitraum der Projektaufstockung rekrutiert. Die Auswahl der Teilnehmenden richtete sich dabei danach, eine möglichst große Spannbreite an verschiedenen Hierarchieebenen und Gebäudeteilen abzudecken.

AS 1.2: Installation Piaf (incl. Raumklima-Monitoring)

Zum Start des Beobachtungszeitraumes am 13.12.2018 bis 16.04.2019 wurden 27 statt der geplanten 20 Büros mit dem von der EBZ entwickelten Lüftungsassistenzsystem „Piaf“ ausgestattet. 21 Büros direkt zu Beginn des Messzeitraums, die anderen sechs Büros erhielten

das System schrittweise bis zur Installation von Piaf im Büro von Ministerin Schulze am 06.02.2019. Der Termin der Übergabe und einhergehend das Projekt wurden in einer Pressemitteilung dokumentiert (siehe Anlage 2). Piaf ermöglicht neben einem visuellen und akustischen direkten Feedback zum Raumklima auch das Monitoring von Temperatur, CO₂ und Luftfeuchte, welche auf einem Datenchip (SD-Karte) aufgezeichnet und gespeichert werden (vgl. Kap. 2.4.1).

Da die Assistenzsysteme auf dem Monitor platziert werden und dieser Wärme abgibt und so die interne Temperaturmessung von Piaf verfälscht, war eine Kalibrierung der Geräte seitens der EBZ am 9. und 10.01.2019 erforderlich.

AS 1.3: Installation einer Livedatenplattform/Online-Befragung/Abfrage der gefühlten Raumtemperatur

In Kombination mit Piaf erhielten sämtliche Teilnehmer*innen Tablets, welche einen Zugriff auf die aktuellen Messwerte (Temperatur, CO₂, Luftfeuchte) als Livedaten sowie die Trendkurven der aufgezeichneten Daten der jeweils letzten drei Stunden ermöglichten (Livedatenplattform). Im Zeitraum der Messungen fand wie geplant von Anfang Januar bis März 2019 eine Onlineumfrage statt, zu der alle 27 Teilnehmenden eingeladen wurden. 18 Teilnehmer*innen haben die Umfrage vollständig ausgefüllt. Gegenstand der Umfrage waren allgemeine Fragen zur Einstellung bezüglich Energieeffizienz/Klimaschutz, Fragen zum Raumklima (Temperatur, Raumluft, Luftfeuchte) Heiz- und Lüftungsverhalten, wobei gebäudeteilspezifische Unterschiede und deren Einfluss auf das Nutzerverhalten ermittelt werden konnte

Zusätzlich zu den geplanten Arbeitsschritten in AP 1.3 wurde eine vierwöchige Abfrage zu den gefühlten Raumtemperaturen im Zeitraum vom 11. März bis 10. April 2019 umgesetzt (vgl. Kap. 2.4.3). Diese Abfrage erfolgte zusätzlich, da so ein Abgleich geschaffen werden kann, wie die tatsächliche Raumtemperatur ist (Messdaten) und wie sie die Teilnehmenden empfinden. Das Empfinden der Raumtemperatur und eine Transparenz zu der tatsächlichen Raumtemperatur erscheint für eine nutzerzentrierte Betriebsführung wesentlich (siehe Kap. 3) und wurde deshalb als weitere als Interaktion mit den Teilnehmenden im Projekt umgesetzt.

AS 1.4: Co-Creation-Workshop

Der Co-Creation Workshop fand wie geplant am 29.04.2019 statt. Im Rahmen des Co-Creations-Workshops wurde nicht nur ein Feedback zur Funktionsfähigkeit des Assistenzsystems Piaf und der Livedaten-Plattform eingeholt, um diese entsprechend weiter entwickeln zu können, sondern es wurden den Teilnehmenden auch die aktuellen Projektergebnisse aufbereitet vorgestellt. Diese sowie darauf bezogene nutzerbasierte Energieeffizienzstrategien wurden diskutiert. Zudem wurde den Teilnehmenden angeboten,

ihre individuellen Raumklimadaten und energierelevanten Verhaltensweisen im Anschluss an den Workshop mit den Projektverantwortlichen im einzelnen genauer zu betrachten und zu reflektieren. Teilnehmer*innen, die diese Termin nicht wahrnehmen konnten, wurde ein weiterer Feedback-Termin zu den individuellen Daten der Teilnehmenden am 12. oder 13.07.2019 angeboten.

AS 1.5: Auswertung der Ergebnisse

Die Auswertung der Ergebnisse fand wie geplant auf Grundlage des Raumklima-Monitorings statt, so dass quantitative und qualitative Nutzerprofile erstellt werden konnten. Die Auswertung der Ergebnisse soll in diesem Zusammenhang dazu beitragen, einen Überblick über Nutzerverhalten, damit zusammenhängende Verbrauchswerte und Einstellung der Anlagentechnik zu geben, sowie diese vergleichbar zu machen und die Ermittlung von Einsparpotenzialen für das Dienstgebäude Stresemannstraße zu ermöglichen. Darüber hinaus konnten die Daten des Raumklima-Monitoring mit den Daten der Abfrage des persönlichen Wohlbefindens und der Online-Umfrage in Bezug gesetzt und quer ausgewertet werden (vgl. Kap. 2.4). Daraus konnten weitere wesentliche Aspekte einer nutzerzentrierten Betriebsführung ermittelt werden. Neben den Daten des Raumklima-Monitorings erfolgte ebenfalls eine weitere Auswertung von den zur Verfügung gestellten Daten der Gebäudeleittechnik (GLT).

AS 1.6: Abstimmungsgespräch zu AP1

Das Abstimmungsgespräch zu AP1 wurde in Absprache mit den Auftraggebern mit der Ergebnispräsentation (AS1.6) zusammengelegt und fand am 13.06.2019 in Berlin statt.

AP 2 Zusammenfassung der Ergebnisse

AS 2.1: Endbericht

Der Endbericht wurde im Anschluss an die Auswertung der Ergebnisse erstellt und konnte nicht wie geplant bis zum 30.06.2019 fertiggestellt werden. Aufgrund der Vielzahl qualitativer und quantitativer Ergebnisse sowie dem Umfang der erfassten Messdaten inklusive der Daten der Gebäudeleittechnik benötigte die Auswertung und Dokumentation sowie Aufbereitung der Ergebnisse in Grafiken und Tabellen mehr Zeit als geplant.

AS 2.2: Ergebnispräsentation beim AG

Die Ergebnispräsentation fand wie geplant am 13.06.2019 statt. Gegenstand des Abschlussgespräch war die aufbereitete Präsentation der Ergebnisse innerhalb der Projektaufstockung und deren Ein- und Rückbezug zu den bereits abgeschlossenen Arbeitspaketen im Projektzeitraum 2017-2018.

Anlage 2: Pressemitteilung 07.02.2019

Titel: Klimaspatz "Piaf" signalisiert, ob die Luft rein ist - Wuppertal Institut (URL: <https://wupperinst.org/a/wi/a/s/ad/4629/>)

Untertitel: Klimaspatz "Piaf" signalisiert, ob die Luft rein ist Öffentliche Gebäude für den Klimaschutz fit machen

Pressemitteilungen : 07.02.2019

Derzeit sitzt ein digitaler Vogel für den Klimaschutz und ihr Wohlbefinden im Büro von Bundesumweltministerin Svenja Schulze. Er heißt "Piaf" und misst die Luftqualität im Raum. Der Raumklima-Assistent erfasst neben dem CO₂- Wert auch die Temperatur und die relative Luftfeuchte und signalisiert, wenn das gesundheitliche Wohlbefinden wegen verminderter Luftqualität sinkt und gelüftet werden sollte. Das animiert Nutzende, sich energieeffizienter zu verhalten und ihre Raumluftqualität wahrzunehmen – was gleichzeitig bis zu 20 Prozent Energie einsparen kann.

Ob in der Büropflanze, am Telefon oder auf dem Monitor: Der Klimaspatz „Piaf“ sitzt derzeit im Büro von insgesamt 25 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) – auch bei Bundesumweltministerin Svenja Schulze. Diese freut sich über den neuen digitalen Begleiter: "Frischere Luft und dabei Energie sparen – das sorgt für gutes Klima im Büro. Der kleine Vogel macht automatisch darauf aufmerksam, wenn die Luft zu stickig und Heizenergie verschwendet wird. Das zeigt beispielhaft, wie die Digitalisierung den Umweltschutz voranbringen kann."

Das BMU ist dabei nicht nur Mitinitiator des Projekts, sondern wird selbst zum Vorbild und Forschungsobjekt.

Der Raumklima-Assistent "Piaf" – was übrigens französisch "Spatz" bedeutet – ist ein digitales Messsystem in Vogelform. Dieses hilft, ein besseres Gefühl für das Raumklima zu bekommen. Der Vogel misst kontinuierlich die Raumluftqualität und meldet sich, sobald etwas nicht stimmt. Ist die Raumluftqualität zu schlecht, atmet der Vogel schneller und die Kehle des Vogels leuchtet rot. Sobald ausreichend gelüftet wurde, zwitschert er und zeigt eine blau gefärbte Brust.

Die Idee, dem Raumklima-Assistenten die Gestalt eines Vogels zu geben, hatte die Düsseldorfer Designerin Dr. Christina Zimmer. Im Ruhrgebiet wurden Kanarienvögel früher zum Symbol für die Luftqualität. Sie signalisierten Bergleuten gefährliche Konzentrationen von Kohlenmonoxid – dann mussten sie unverzüglich den Stollen verlassen. Auf dieses Symbol griffen die Projektpartner nun zurück – dieses Mal mit einer digitalen Variante. Dr. Carolin Baedeker, Projektleiterin und stellvertretende Leiterin der Abteilung Nachhaltiges Produzieren

und Konsumieren am Wuppertal Institut, erklärt: „Alltägliche Routinen und Verhaltensmuster der Nutzenden eines öffentlichen Gebäudes wie Angestellte, Facility Management und Haustechnik beeinflussen den Gebäudebetrieb maßgeblich. Das muss man vor dem Hintergrund der Energieeffizienz genauer betrachten. Da ist noch viel Luft nach oben – bis zu 20 Prozent Energieeinsparung ist möglich.“

Menschen wollen das Raumklima individuell beeinflussen und oft ist dabei die Fensterlüftung das Manko für Energieeffizienzbestrebungen: Sinkt die Raumtemperatur, erhöhen die Anlagensysteme die Heizleistung. In der Heizperiode soll das Fenster nicht zu lange offen stehen, um Lüftungsverluste zu reduzieren. Wenn aber das geöffnete Fenster in Vergessenheit gerät, entweicht unnötig viel Wärme. Wenig zu lüften ist allerdings insbesondere in Gebäuden ohne Lüftungsanlage keine Lösung. Denn schlechte Luftqualität senkt das Wohlbefinden und verringert die persönliche Leistungsfähigkeit.

Prof. Dr. Viktor Grinewitschus von der EBZ Business School ergänzt: "Die aktuellen Konzepte der Gebäudeautomation haben die Potenziale einer nutzerzentrierten Betriebsführung nicht oder nur unzureichend erkannt und umgesetzt. Ohne einen intensiven Dialog mit den Gebäudenutzern ist das Wechsel- und Zusammenspiel zwischen Anlagentechnik, Gebäudemanagement und Nutzer/innenverhalten nicht im Sinne einer hohen Energieeffizienz zu organisieren."

Das Projektteam gestaltet diesen Dialog mit den Kommunikationsdesignern Aaron Wolber und Jonathan Handt neu. Es werden die Bedürfnisse aller relevanten Akteure aufgegriffen und konsequent die verfügbaren Möglichkeiten der Informations- und Kommunikationstechnik sowie Mikroelektronik für die Umsetzung der Lösungen genutzt.

Prof. Dr. Christa Liedtke, Leiterin der Abteilung Nachhaltiges Produzieren und Konsumieren am Wuppertal Institut und Professorin an der Folkwang Universität der Künste, sagt: "Die Bedürfnisse der Menschen wertzuschätzen und nicht – wie bisher oft geschehen – als Störfaktor zu sehen, ist unser Gestaltungskonzept. Design bietet einen Perspektivwechsel; die Technik dient dem Menschen, nicht umgekehrt. Sie erleichtert die Umsetzung von eigenen Handlungszielen und macht in der Bedienung Spaß."

Forscherinnen und Forscher des Wuppertal Instituts und der EBZ Business School untersuchen diese Potenziale derzeit im Projekt "Entwicklung einer Strategie zur Unterstützung des Energiesparverhaltens von Nutzern/-innen in Büro- und Verwaltungsgebäuden" im Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) in Berlin, welches vom Bauministerium (BMI) und dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBSR) gefördert wird.

Die Entwicklung und der Einsatz von Piaf ist ein gutes Beispiel der Living Lab- Forschung, die

das Wuppertal Institut unter anderem in Kooperation mit der EBZ Business School seit rund zehn Jahren verfolgt.

Pressemitteilung Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH VisdP: Prof. Dr. Uwe Schneidewind, Präsident Kontakt: Christin Hasken, Leitung Kommunikation Tel.: +49 202 2492-187 Fax: +49 202 2492-108 E-Mail: christin.hasken@wupperinst.org

Gefördert durch:



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



**EBZ Business
School**
University of Applied Sciences

Pressebilder



Klimaspatz "Piaf" zieht ins BMU. Der Klimaspatz "Piaf" zieht ein in das Bundesumweltministerium (von links): Prof. Dr. Christa Liedtke, Leiterin der Abteilung Nachhaltiges Produzieren und Konsumieren am Wuppertal Institut, Bundesumweltministerin Svenja Schulze, sowie Dr. Carolin Baedeker (stellv. Leitung der Abteilung Nachhaltiges Produzieren und Konsumieren am Wuppertal Institut) und Prof. Dr. Viktor Grinewitschus von der EBZ Business School.



Installation von "Piaf" bei Bundesumweltministerin Svenja Schulze Der digitale Vogel "Piaf" sitzt derzeit im Büro von insgesamt 25 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) – auch bei Bundesumweltministerin Svenja Schulze (im Bild). Quelle: BMU/Sascha Hilgers, Download für Web Download für Print



CO2-Wert in Ordnung Messung am Arbeitsplatz: Die digitale Raumklima-Assistentin "Piaf" misst neben Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit auch den CO2-Wert im Raum. Leuchtet der Bauch des Vogels weiß bis blau, ist dieser Wert in Ordnung. Quelle: Wuppertal Institut, Download für Web Download für Print



CO2-Wert zu hoch Leuchtet der digitale Vogel rot, ist der CO2-Gehalt im Raum zu hoch. Dann wird es höchste Zeit zu lüften. Quelle: Wuppertal Institut Download für Web Download für Print

© 2019 Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH

Anlage 3: Fragebogen Mitarbeiter*innen-Interviews

Die zentralen Inhalte des Interviews teilen sich in sieben Themenblöcke auf und zielen insbesondere auf das individuelle Wohlfühlklima sowie das aktuell empfundene Raumklima der Büros ab. Darüber hinaus soll die Kommunikation und Interaktion hinsichtlich energieeffizienter Strategien am BMUB beleuchtet werden.

Folgende Themenblöcke werden dabei angesprochen:

- **Empfundenes Raumklima** (Büro, Druckerräume, Aufenthaltsräume, Besprechungsräume, Kantine, WC - Räume etc.)
- **Individuell-bevorzugte Gesamtstrategie** für Nutzer/innenverhalten im BMUB
- **Interaktion, Kommunikation und Strategie** um das Raumklima nach individuellen Vorstellungen zu **beeinflussen**
- **Informationsaustausch, -beschaffung und -verarbeitung** hinsichtlich Energieeffizienz
- **Einflussmöglichkeiten** auf Raumklima (real u. erwünscht)
- **Strategien zur Unterstützung des Energiesparverhaltens am Arbeitsplatz**

Das Interview besteht aus acht Fragekomplexen die durch Leitfragen eingeleitet und gegebenenfalls durch Unter- oder Folgefragen ergänzt werden.

Die Fragekomplexe werden durch folgende Leitfragen eröffnet:

1. Allgemeine Sondierung, Energieeffizienz

- Wie würden Sie in ein paar Sätzen ein energieeffizientes Verhalten am Arbeitsplatz beschreiben?

2. Spezifische Sondierung, Temperatur

- Wie empfinden Sie die Temperatur in Ihrem Büro?
- Wie schätzen Sie Ihr Wärmebedürfnis im Büro ein / Bei welchen Temperaturen fühlen Sie sich wohl?
- Ist es möglich, die Raumtemperatur in der Regel Ihren Bedürfnissen entsprechend einzustellen?
- Gibt es nennenswerte Unterschiede in Bezug auf die Raumtemperatur in anderen Räumlichkeiten des Ministeriums (bspw. Büro, Druckerräume, Aufenthaltsräume, Besprechungsräume, Kantine, WC - Räume etc.)?

3. Spezifische Sondierung, Luftqualität

- Wie empfinden Sie die Luftqualität an Ihrem Arbeitsplatz?
- Wie lange und wie häufig lüften Sie im Winter pro Tag?
- Gibt es nennenswerte Unterschiede in Bezug auf die Luftqualität in anderen Räumlichkeiten des Ministeriums (bspw. Büro, Druckerräume, Aufenthaltsräume, Besprechungsräume, Kantine, WC - Räume etc.)?

4. Spezifische Sondierung, Strategie und Interaktion

- Gibt es technische / bauliche Besonderheiten die das Raumklima beeinflussen?
- Was tun Sie wenn Sie mit der Raumtemperatur / Luftqualität nicht zufrieden sind?

5. Spezifische Sondierung, Wunschvorstellung

- Was würden Sie in Bezug auf das Raumklima gerne verbessern?
- Welchen Anspruch haben Sie an die Anlagentechnik in Bezug auf Heizen / Lüften / Kühlen?
- Haben Sie Ihrer Meinung nach genügend Handlungsspielraum, um Ihr individuelles Wohlfühlklima zu erreichen?

6. Spezifische Sondierung, Strategie und Austausch

- Haben Sie Erfahrungen damit gemacht wie Ihre Kollegen/Hausleitung/Vorgesetzte mit dem Thema Energieverhalten/effizienz umgehen/umgesetzt wird? (visuell o. in Ansprache)
- Gibt es innerhalb des BMUB einen Austausch über Energieeffizienz
 - Wenn ja, mit wem? Z. B. Haustechnik, Referatsleitung etc.
- Welche Strategien zur Steigerung der Energieeffizienz sind im BMUB zum Einsatz gekommen?
 - bspw. Beratungs- und Informationsinstrumente (z. B. Flyer), Kommunikationsinstrumente (z. B. Interviews), Qualifizierungs- und Bildungsinstrumente (z. B. Workshops), Feedbacksysteme und Instrumente (z. B. schwarzes Brett), Anreize (z. B. Wettbewerbe), Selbstverpflichtungen und Engagement (z. B. Energiesparziele), Monitoring und Messung (z. B. Messgeräte), Automation (z. B. automatisiertes Ausschalten elektronischer Geräte)

- Welche dieser Strategien zur Steigerung der Energieeffizienz halten Sie für zielführend / wünschenswert?

7. Abschluss, Reflektion des Gesagten

- Wie schätzen Sie Ihr Energieeinsparpotenzial in Ihrem Büro ein?
- Können Sie ein hohes Maß an Arbeitsproduktivität und Komfort erreichen und gleichzeitig energieeffizient sein?
- Was sind Ihre Erwartungen an das Projekt?
- Gibt es einen Unterschied zwischen Ihrem Energieeinsparverhalten Zuhause und am Arbeitsplatz?

8. Abschluss, Büroausstattung und Arbeitsalltag

- Wie viele Personen befinden sich in Ihrem Büro?
- Wann arbeiten Sie üblicherweise an diesem Büro?
- Wie viele Stunden pro Woche arbeiten Sie üblicherweise an diesem Büro?
- Was tragen Sie in der Regel in Ihrem Büro?
- In welchen Gebäudeteilen, Räumen halten Sie sich neben Ihrem Büro auf?

Anlage 4: Fragebogen Techniker-Interviews

Leitfaden der Techniker-Interviews

- Zentrale Gesprächsthemen:
 - Energieeffizienz
 - Anlagentechnik
 - Interaktion und Kommunikation
 - Persönliche Einschätzung vom Themenfeld Energieeffizienz

1. Allgemeine , Energieeffizienz

- Wie würden Sie in ein paar Sätzen ein energieeffizientes Verhalten am Arbeitsplatz beschreiben?

2. Spezifische Sondierung, Anlagentechnik

- Für welche Aufgabenbereiche fühlen Sie sich zuständig?

- Wofür sind Sie sich nicht zuständig?
- Welchen Anspruch haben Sie an die Anlagentechnik in Bezug auf Heizen / Lüften / Kühlen?
 - Was muss die Anlagentechnik aus Ihrer Sicht leisten?
 - Welches Potenzial hat die momentane Anlagentechnik?
 - Überprüfen Sie die Effizienz der Anlage?
 - Falls ja, nach welchen Kriterien und wie oft?
 - Üben Sie einen Einfluss auf die Effizienz der Anlagentechnik aus
 - Falls ja, wie / warum / wie häufig?
- Wie zufrieden sind Sie mit der Anlagentechnik auf einer Skala zwischen 1 und 10 (10 = sehr gut)?
 - Warum?
- Haben Sie Ihrer Meinung nach genügend Handlungsspielraum um die Anlagentechnik nach Ihren Vorstellungen einstellen zu können?
 - An welcher Stelle würden Sie sich mehr Handlungsspielraum wünschen?
 - An welcher Stelle würden Sie sich weniger Handlungsspielraum wünschen?
- Unterscheiden sich diese Bedürfnisse in unterschiedlichen Jahreszeiten, Gebäudeteilen?

3. Spezifische Sondierung, Interaktion mit Dritten

- Was tun Sie wenn jemand mit der Raumtemperatur / Luftqualität nicht zufrieden ist?
- Was passiert wenn Montag morgens die Heizung in den Büros defekt ist und es in den Büros eiskalt ist?
 - Welche Reaktionen erhalten Sie und wie?
- Was passiert wenn die Heizungsanlage komplett ausfällt und nicht wieder hergestellt werden kann?
- Wenn sich jemand der Mitarbeiter/innen an Sie wendet, wie verläuft das meistens?
 - Auf welchem Weg werden Sie angesprochen: persönlich, per Mail, per Telefon?
 - Wie und durch wen wird Ihnen eine Beschwerde in der Regel mitgeteilt?
 1. Wie werden Sie angesprochen?
 2. Haben Sie das Gefühl, dass die Beschwerden berechtigt sind, was für einen Eindruck haben die davon?

3. Können die Beschwerden i. d. R. nur durch Ihr eingreifen gelöst werden?
 4. Sind Sie schon mal mit jemanden in Interaktion getreten um eine Beschwerde zu überprüfen / zu verstehen / zu kontrollieren ob sie gerechtfertigt war?
 5. Gibt es Unterschiede bei Beschwerden, z B. bei unterschiedlichen Gebäudeteilen?
 - Was ist Ihre übliche Vorhergehensweise um das Problem zu lösen?
 - Haben Sie das Gefühl auf Beschwerden angemessen reagieren zu können / sie angemessen lösen zu können?
 - Gibt es besondere Stresssituationen an die sie sich erinnern können?
- Gibt es für Sie einen Ansprechpartner wenn die Anlagentechnik nicht einstellbar ist?
 - Falls ja, können Sie darstellen wie so ein Gespräch abläuft?

4. Spezifische Sondierung, Strategie

- Haben Sie Erfahrungen damit gemacht wie Ihre Kollegen/Hausleitung/Vorgesetzte mit dem Thema Energieverhalten/effizienz umgehen/umgesetzt wird? (Visuell o. in Ansprache)
 - Sehen Sie da Vorbildfunktionen?
- Gibt es innerhalb des BMUB einen Austausch über Energieeffizienz
 - Wenn ja, mit wem?
 - Gibt es einen Austausch mit dem inneren Dienst (Referat Z I 4, Leitung: Gerd Schablitzki)?
 - Gibt es einen Austausch mit den Referatsleitungen?
 - Gibt es einen Austausch mit den Mitarbeiter*innen?
 - Wenn ja, worüber
 - Wenn ja, wie nutzen Sie diesen?
- Würden sie sagen, dass energieeffizientes Verhalten im Arbeitsalltag (während alltäglichen Arbeitsabläufen) in Ihrer Behörde verankert ist?
- Welche Strategien zur Steigerung der Energieeffizienz sind im BMUB zum Einsatz gekommen?
 - bspw. Beratungs- und Informationsinstrumente (z. B. Flyer), Kommunikationsinstrumente (z. B. Interviews), Qualifizierungs- und Bildungsinstrumente (z. B. Workshops), Feedbacksysteme und Instrumente

(z. B. schwarzes Brett), Anreize (z. B. Wettbewerbe), Selbstverpflichtungen und Engagement (z. B. Energiesparziele), Monitoring und Messung (z. B. Messgeräte), Automation (z. B. automatisiertes Ausschalten elektronischer Geräte)

- Welche dieser Strategien zur Steigerung der Energieeffizienz halten Sie für zielführend / wünschenswert?

5. Abschluss, Reflektion des Gesagten

- Wie schätzen Sie das Energieeinsparpotenzial in Ihrem Gebäude ein?
 - Achten Sie bei Ihrer Arbeit eher auf Energieeffizienz oder Komfort
 - Können Sie ein hohes Maß an Arbeitsproduktivität und Komfort für die BMUB Mitarbeiter/innen erreichen und gleichzeitig energieeffizient sein?
- Was sind Ihre Erwartungen an das Projekt?
 - Bspw. Informationen über den Energieverbrauch in meinem Büro oder über Klimaschutz, Energiespartipps für Zuhause, mehr Engagement und einen Beitrag leisten

6. Abschluss, Büroausstattung und Arbeitsalltag

- Wie viele Personen arbeiten in Ihrem Bereich?
- Wann arbeiten Sie üblicherweise?

7. Abschluss, Daten zur Person bzw. Postskriptum (ggf. Interviewbedingungen)

- Geschlecht
- Büronummer:
- Referat:
- Gebäude:
- Seit wann am BMUB:

Anlage 5: Onlinebefragung Fragebogen

Seite 01

Vielen Dank für Ihre Teilnahme am Projekt:

Entwicklung einer Strategie zur Unterstützung des Energiesparverhaltens von Nutzer/innen in Büro und Verwaltungsgebäuden

(AZ 10.08.17.7-17.15)

Mit dieser Befragung möchten wir Ihre Erwartungen an das Projekt erfahren. Zudem können Sie uns einen Einblick in die aktuelle Situation an Ihrem Arbeitsplatz bezüglich Temperatur und Luftqualität sowie Ihres Heiz- und Lüftungsverhaltens geben.

Die Befragung wird vom Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie und der EBZ Business School durchgeführt.

Die individuellen Daten der Abfrage werden vertraulich behandelt und verbleiben beim Wuppertal Institut und der EBZ Business School.

Seite 02

Zum Einstieg bitten wir Sie um eine Selbsteinschätzung: Für wie energiebewusst halten Sie sich?

Ich bin sehr energiebewusst, selbst wenn ich dadurch Komfortverlust hinnehmen muss.

Ich bin energiebewusst, der Komfort sollte dabei aber möglichst nicht gemindert werden.

Arbeitsproduktivität und Komfort haben bei mir einen höheren Stellenwert als Energiebewusstsein.

keine Angabe

Seite 03

Was sind Ihre Erwartungen an das Projekt? (Mehrfachnennungen möglich)

Ich möchte mehr über den Energie- und Stromverbrauch in meinem Büro erfahren.

Ich möchte mehr über die Energie- und Stromverbrauch in meinem Büro und dem gesamten BMU erfahren.

Ich möchte Maßnahmen kennenlernen um den Energieverbrauch in meinem Büro zu beeinflussen (senken/erhöhen).

Ich möchte Energiespartipps für Zuhause erfahren.

Ich möchte mehr über Energie und Klimaschutz allgemein erfahren.

Ich möchte mich mehr im Klimaschutz engagieren und einen Beitrag leisten.

Ich möchte Vergleichsdaten zu anderen Büros erhalten

Anderes:

keine Angabe

Seite 04

Allgemeine Fragen zu Arbeitsplatz, Arbeitstätigkeit und Kleidung

In welchem Gebäudeteil befindet sich Ihr Arbeitsplatz?

A / Stresemannstraße Altbau

P / Stresemannstraße Passivhaus

keine Angabe

Ist Ihr Büro zum Innenhof, zur Straße oder zur Rückseite des Gebäudes ausgerichtet?

Innenhof

Straße

Rückseite des Gebäudes

Sonstiges

keine Angabe

Falls Ihr Büro zu Straße ausgerichtet, zu welcher Straße?

Stresemannstraße

Erna-Berga-Straße

Keine Angabe

In welcher Etage befindet sich Ihr Büro

Seite 05

An welcher Art von Arbeitsplatz arbeiten Sie überwiegend?

Einzelbüro

Mehrpersonenbüro mit weiteren Person(en)

keine Angabe

Wie viele Türen hat Ihr Büro?

keine Angabe

Seite 06

Wann arbeiten Sie üblicherweise an diesem Arbeitsplatz?

nur vormittags

nur nachmittags

mal vormittags / mal nachmittags

sowohl vormittags als auch nachmittags

auch in den Abendstunden

auch an Wochenenden

keine Angabe

Seite 07

Wie viele Stunden pro Woche arbeiten Sie üblicherweise an diesem Arbeitsplatz?

weniger als 10 Stunden

10 – 20 Stunden

21 – 30 Stunden

mehr als 30 Stunden

keine Angabe

Wie häufig sind Sie auf Dienstreisen?

an mehreren Tagen innerhalb einer Woche

an mehreren Tagen innerhalb eines Monats

an wenigen Tagen innerhalb eines Monats

an wenigen Tagen innerhalb eines Jahres

nie

keine Angabe

Nutzen Sie einen Telearbeitsplatz?

sehr häufig

oft

gelegentlich

selten

nie

keine Angabe

Seite 08

Ausstattung Ihres Arbeitsplatzes:

In Ihrem Büro befinden sich insgesamt

Computer

Bildschirme

Drucker

Faxgeräte

Mehrfachsteckdose für Kleingeräte

Multifunktionsgeräte

keine Angabe

Seite 09

Raumklima am Arbeitsplatz

Temperaturverhältnisse an Ihrem Arbeitsplatz:

Wie bewerten Sie die Temperatur an Ihrem Arbeitsplatz?

heiß warm etwas warm neutral etwas kühl kühl kalt keine Angabe

Seite 10

Wie empfinden Sie die Temperatur an Ihrem Arbeitsplatz?

sehr angenehm angenehm annehmbar unangenehm sehr unangenehm keine Angabe

Seite 11

Kleidung: Was tragen Sie in der Regel an Ihrem Arbeitsplatz?

Die Abfrage erfolgt vor dem Hintergrund, den Isolationswert Ihrer Kleidung zu erfassen (angelehnt an EN ISO 7730).

überwiegend kurzärmelige Kleidung

überwiegend langärmelige Kleidung

Anzahl der getragenen Schichten:

keine Angabe

Was tragen Sie eher an Ihrem Arbeitsplatz?

langärmliges Businesshemd bzw. Bluse

Pullover, Strickjacke

Sacko

Sonstiges

keine Angabe

Wie schätzen Sie Ihr Wärmebedürfnis im Büro ein?

Bedürfnis nach hohen Temperaturen

Bedürfnis nach mittleren Temperaturen

Bedürfnis nach niedrigen Temperaturen

Sehr flexibel

keine Angabe

Wie oft versuchen Sie die Leistung der Heizkörper durch individuelle Regelung anzupassen?

häufig

eher häufig

eher selten

selten

nie

keine Angabe

Der Heizkörperthermostat ist für mich gut beziehungsweise mühelos erreichbar.

trifft trifft trifft eher trifft keine
zu eher zu nicht zu nicht zu Angabe

Ist in Ihrem Büro ein Thermostat im Schrank verbaut?

ja nein weiß ich nicht keine Angabe

Ist es möglich, die Raumtemperatur in der Regel Ihren Bedürfnissen entsprechend einzustellen?

ja

nein

keine Angabe

Seite 14

Warum lässt sich die Temperatur in der Heizperiode nicht Ihren Bedürfnissen entsprechend einregeln?

(Mehrfachnennung möglich)

Heizkörper wird nicht richtig warm.

Heizkörper erlaubt kaum Temperaturzwischenstufen: er ist entweder sehr warm oder sehr kalt.

zu starke Sonneneinstrahlung

Im Büro ist ein Kompromiss der Bedürfnisse der verschiedenen Mitarbeiter*innen erforderlich.

Der Raum lässt sich nach der Nachtabenkung zu langsam aufheizen.

Sonstiges:

keine Angabe

Wird die Einstellbarkeit des Raumklimas durch Witterungsbedingungen oder die Anlagentechnik beeinflusst?

(Mehrfachnennung möglich)

Anlagentechnik

der Heizkörper funktioniert einwandfrei

Heizkörper wird nicht richtig warm

Heizkörper erlaubt kaum Temperaturzwischenstufen

Der Raum lässt sich nach der Nachtabenkung sehr langsam aufheizen

Sonstiges

keine Angabe

Witterungsbedingungen

starke Sonneneinstrahlung

Sonstiges:

keine Angabe

Wie oft benutzen Sie den im Schrank verbauten Thermostat während der Heizperiode?

häufig eher eher selte ni keine
g häufig selten n e Angabe

Seite 15

Luftqualität an Ihrem Arbeitsplatz:

Wie empfinden Sie in der Regel die Luftfeuchtigkeit an Ihrem Arbeitsplatz?

sehr eher durchschnittlic eher sehr das weiß ich keine
trocken trocken h feucht feucht nicht Angabe

Seite 16

Wie hätten Sie die Luftfeuchtigkeit lieber?

sehr viel trockener

etwas trockener

ich würde nichts ändern wollen

etwas feuchter

sehr viel feuchter

das weiß ich nicht

keine Angabe

Seite 17

Wie empfinden Sie die Luftqualität an Ihrem Arbeitsplatz?

sehr schlecht

eher schlecht

annehmbar

eher gut

sehr gut

keine Angabe

Sonstiges

Seite 18

Wie häufig verspüren Sie störende Zuglufterscheinungen an Ihrem Arbeitsplatz?

nahezu immer

häufig

gelegentlich

selten

nahezu nie

keine Angabe

Seite 19

Bevorzugen Sie es bei geschlossener oder geöffneter Tür zu arbeiten?

ich habe die Tür immer geöffnet.

üblicherweise habe ich die Tür geöffnet.

mehr als die Hälfte der Zeit ist die Tür geöffnet.

manchmal ist die Tür geöffnet.

ich habe die Tür immer geschlossen.

keine Angabe

Seite 20

Wenn Sie das bzw. die Fenster öffnen, stellen Sie es dann in der Regel „auf Kipp“ oder öffnen Sie es komplett?

auf Kipp

komplett geöffnet

keine Angabe

Seite 21

Wie lange öffnen Sie im Winter das bzw. die Fenster in dieser Position pro Tag?

weniger als 10 Min.

bis zu 0,5 Std.

0,5-1 Std.

1-3 Std.

mehr als 3 Std.

keine Angabe

Seite 22

Was sind die Gründe dafür?

(Mehrfachnennungen möglich)

Im Raum ist es zu warm.

Die Luft ist verbraucht.

Sonstiges:

keine Angabe

Seite 23

Energieverbrauch zu Hause

Wohnen Sie in einem

freistehenden Haus

Mehrfamilienhaus

Reihenhaus

keine Angabe

Seite 24

In welchem Jahr wurde das Haus erbaut?

(Diese Frage muss nicht beantwortet werden)

Baujahr

Seite 25

Aus welcher Quelle beziehen Sie Ihren Strom?

konventionellen Strom

Ökostrom

Strom über meine eigene Photovoltaik-Anlage

andere Quelle, nämlich:

das weiß ich leider nicht

keine Angabe

Wie viele Personen leben in Ihrem Haushalt?

(Diese Frage muss nicht beantwortet werden.)

Insgesamt

Erwachsene(r)

und Kinder auf m²

Wie hoch ist Ihr jährlicher Verbrauch an Heizenergie (gesamter Haushalt)?

kWh

Kubikliter

kg

das weiß ich leider nicht genau, die jährlichen Heizkosten betragen etwa €

keine Angabe

Seite 26

Womit heizen Sie?

Gas

Öl

Holzpellets/Hackschnitzel

Fernwärme

Solarthermie in Kombination mit Gas/Öl

Nachtspeicher

etwas anderem, nämlich

das weiß ich leider nicht

keine Angabe

Seite 27

Angaben zur Person:

Sie sind

weiblich

männlich

keine Angabe

Sie sind

unter 20

21-30

31-40

41-50

51-60

über 61

keine Angabe

In welchem Bereich sind Sie tätig?

leitende Funktion

Beschäftigte/r

Facility Management

keine Angabe

Seite 28

In welchem Referat arbeiten Sie?

Auch unter Angabe Ihres Referats werden die individuellen Daten der Abfrage vertraulich behandelt und verbleiben beim Wuppertal Institut und der EBZ Business School.

Referat

keine Angabe

Eine letzte Frage noch:

In welchem Büro sitzen Sie?

Auch unter Angabe Ihrer Büronummer werden die individuellen Daten der Abfrage vertraulich behandelt und verbleiben beim Wuppertal Institut und der EBZ Business School.

Büronummer:

keine Angabe

Letzte Seite

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Wir möchten uns ganz herzlich für Ihre Mithilfe bedanken.