

- Gemeinsamer Schlussbericht -

Home-Office und Energiewende (HOffEn):
Veränderungen durch mobiles Arbeiten und Chancen für die
Transformation des Energiesystems

Förderkennzeichen: 03EI5228

Laufzeit 01.10.2021 bis 31.12.2024

Juli 2025



Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) GmbH, gemeinnützig
Dr. Astrid Aretz, Clara Lenk, M.Sc., Nick von Andrian, Dr. Julika Weiß

Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik EBC, RWTH Aachen
**Dennis Derwein M.Sc., Mahmoud Elmokadem M.Sc., Dr.-Ing. Kai Rewitz,
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller**

Healthy Living Spaces, Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, UKA Aachen
Jacob Eilts M.Sc., Dr. Rania Christoforou, Prof. Marcel Schweiker

Lehrstuhl Energieeffizientes Bauen E3D, RWTH Aachen (Koordination)
**Anna Langenbeck M.Sc., Dr. phil. Marc Syndicus, Prof. Dr.-Ing. Christoph van
Treeck**

- Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren -

Danksagung

Wir möchten uns herzlich für die Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie bedanken, ohne die das Vorhaben nicht möglich gewesen wäre.

Zudem gilt unser Dank den drei assoziierten Partnern, die uns durch organisationsspezifische Einblicke ein genaueres und facettenreicheres Bild der Home-Office Praktiken vermittelt haben. Schließlich möchten wir allen Teilnehmenden unserer Befragung, Interviews und Feldstudie herzlich für Ihre Auskünfte und Unterstützung danken.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung	5
1.1 Aufgabenstellung	5
1.2 Voraussetzung Vorhabensdurchführung	5
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	5
1.4 Wissenschaftlich / technischer Stand, an den angeknüpft wurde	6
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	6
2. Eingehende Darstellung	7
2.1 Zuwendungsverwendung, Ergebnisse vs. vorgegebene Zielen	7
2.1.1 AP 1: Entwicklung von Umfragen und Datenerhebung (Lead E3D)	7
Allgemein	7
Qualitative Interviews	7
Online Umfrage	37
2.1.2 AP 2: Energieverbrauch durch Veränderung der Nutzung von digitaler Infrastruktur (Lead IÖW)	37
Veränderung im Bereich Datenströme durch mobiles Arbeiten	38
Veränderungen im Bereich Geräteausstattung durch mobiles Arbeiten	39
Vorgehensweise bei der ökologischen Bewertung im Vorhaben HOffEn	40
Ausstattung	42
Nutzung	44
Ergebnisse der Berechnungen	45
Zusammenfassung und Fazit	49
2.1.3 AP 3: Energieverbrauch durch Veränderung der Gebäudeflächennutzung (Lead EBC)	50
2.1.3.1 AP 3a Erfassung des Nutzungsverhaltens (IÖW)	50
2.1.3.2 AP3b: Simulation des Einflusses von Home-Office auf den Energiebedarf durch Veränderung der Gebäudeflächennutzung (EBC)	59
Tool-Chain zur automatisierten Modellerstellung & dynamischen Gebäudesimulation	59
Modellierung von Wohngebäuden	61
Modellierung von Nicht-Wohngebäuden	66
Analyse der Einflussgrößen	67
Ergebnisse des Jahresheizenergiebedarfs für Wohngebäude	68
Ergebnisse des Jahresheiz- und Jahreskühlenergiebedarfs für Nichtwohngebäude	86
Zusammenfassung	100
2.1.4 AP 4: Energieverbrauch durch Veränderung der Mobilität und Wohnortwahl (Lead IÖW)	102
Auswertung der empirischen Erhebungen	105
2.1.5 AP 5: Analyse direkter und indirekter energetischer Rebound-Effekte (Lead IÖW) ...	108
Taxonomie	110
Energieeffekte erster Ordnung – private Ebene	112

Energieeffekte zweiter Ordnung – private Ebene	113
Energieeffekte erster Ordnung – betriebliche Ebene	116
Energieeffekte zweiter Ordnung – betriebliche Ebene	117
2.1.6 AP 6: Analyse von nicht-energetischen Folgen und Rebound-Effekten (Lead HLS) ..	120
Systematisierung der Veränderung in Lebens- und Arbeitsgewohnheiten	120
Szenarienentwicklung	122
Literaturauswertung und Formulierung von Fragen für empirische Erhebung	122
Feldstudie zu nicht-energetischen Folgen und Rebound-Effekten in unterschiedlichen Arbeitsszenarien - Methodik	122
Feldstudie zu nicht-energetischen Folgen und Rebound-Effekten in unterschiedlichen Arbeitsszenarien - Ergebnisse	126
Zusammenfassung	135
2.1.7 AP 7: Gesamtbewertung und Potential zur Umsetzung der Energiewende (Lead EBC)	137
Energieverbräuche im Wohn- und Nichtwohngebäudebereich	137
Hochrechnung der Emissionen durch Pendelwege zur Arbeit	155
Hochrechnung der Emissionen durch die IKT-Nutzung	159
Zusammenfassende Bewertung der Kohlendioxid-Emissionen aus den Domänen Wohn- und Nichtwohngebäude, Mobilität und IKT-Nutzung	162
2.1.8 AP 8: Handlungsempfehlungen und Online-Berechnungs-Tool (Lead E3D)	163
Online-Berechnungs-Tool	163
Bereich „Home-Office und Privatpersonen“	164
Bereich „Home-Office und Unternehmen“	164
Bereich „Hochrechnung Deutschland“	165
Ausblick	165
2.2 Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	166
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	166
2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit	166
2.5 Fortschritte bei anderen, die während der Durchführung bekannt geworden sind	167
2.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen	168
Erfolgte Veröffentlichungen	168
Gemeinsame geplante Veröffentlichungen	169
Geplante Veröffentlichung des E3D	169
3. Literaturverzeichnis	170

1. Kurzfassung

1.1 Aufgabenstellung

Zusammenfassung aus der Antragsphase:

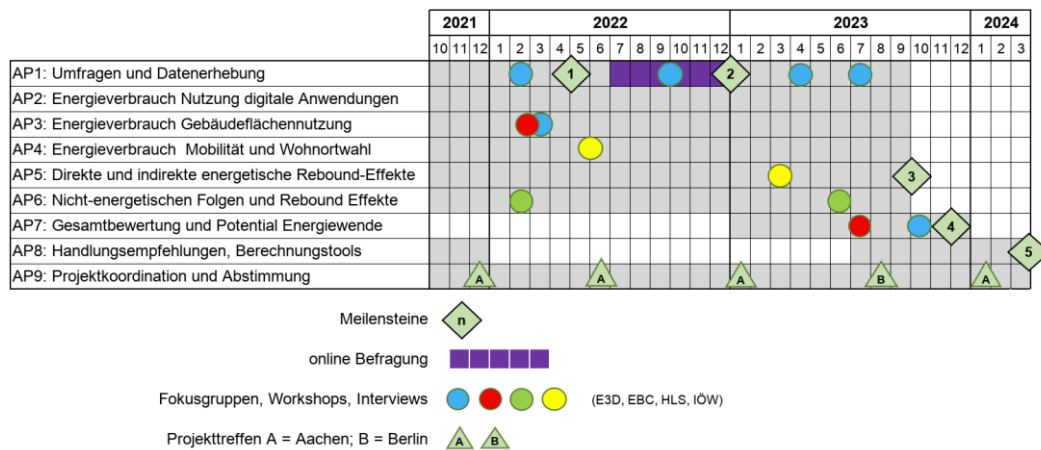
Aufgrund der Corona-Pandemie ist notgedrungen neue Bewegung in die Wahrnehmung und Nutzung von Home-Office und mobilem Arbeiten gekommen. In diesem Verbundprojekt werden die für die Energiewende relevanten energetischen und nicht-energetischen Implikationen dieser weitreichenden Veränderung untersucht. Ziele sind hierbei (1) die Analyse der zukünftigen Auswirkungen des Wechsels von der klassischen Arbeitsumgebung ins Home-Office auf den Energieverbrauch, (2) die Feststellung, unter welchen Randbedingungen dieser Wechsel bei der Umsetzung der Energiewende genutzt werden kann sowie (3) Empfehlungen für Praxisakteure (Einzelpersonen, Unternehmen, Politik), um ihre Home-Office Nutzung gesundheitsförderlich und mit einem Beitrag zur Energiewende gestalten zu können. Methodisch wird ein mixed-method Ansatz verfolgt und ingenieur- und sozialwissenschaftlich ausgewertet. Durch eine umfangreiche Online-Befragung in Kombination mit qualitativen, tiefer gehenden Erhebungsverfahren werden Mitarbeitende, Entscheidungsträger und Experten befragt. Als weitere Methoden werden energetische Gebäudesimulationen durchgeführt und physiologische Daten durch Wearables erhoben. Die Ergebnisse werden in Form von Checklisten, Selbstüberprüfungen und Planungshilfen für die Umsetzung gesundheitsförderlicher und energieeffizienter Home-Office Varianten der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

1.2 Voraussetzung Vorhabensdurchführung

Die inhaltlichen Voraussetzungen für die Projektdurchführung waren durch Vorarbeiten und vergangene Projekte des Konsortiums gegeben. Dank der Förderung durch das BMWK lagen auch die Personal- und Sachressourcen für eine erfolgreiche Durchführung vor. Durch die aktive Mitwirkung der drei assoziierten Partner konnten wertvolle Einblicke (insbesondere durch die qualitativen Interviews) gewonnen werden. Einschränkungen ergaben sich pandemiebedingt in den Bereichen Präsenztreffen und Interviewführung (rein digital statt vor Ort bei den assoziierten Partnern).

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die ursprünglich geplante Struktur (Arbeitspakete, Erhebungen) ist im nachfolgenden Gantt Chart dargestellt. Auch wenn sich die grundlegenden Inhalte - insbesondere aus methodischer Sicht - nicht verändert haben, ist die konkrete Umsetzung durch Auswirkungen der Corona-Pandemie selbst, aber auch durch erste bereits veränderte Arbeitspraktiken (etwa Interviews per Videokonferenz statt in Präsenz) beeinflusst worden.



Insgesamt konnten die Arbeitspakete trotz dieser Anpassung (und durch eine sechsmonatige kostenneutrale Verlängerung zum Auffangen von im Projekt entstandenen Verzögerungen) erreicht werden.

1.4 Wissenschaftlich / technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Aus methodischer Sicht wurden bekannte und bei den Projektbeteiligten erprobte Verfahren zur Datengewinnung und -analyse verwendet. Die zu Projektbeginn durchgeführte Recherche stellte sicher, dass sowohl aus methodischer als auch thematischer Sicht an den aktuellen Stand der Forschung angeknüpft wurde. Im Bereich der Literatur zu Home-Office und situativ mobiler Arbeit entstand durch das pandemiebedingte Ausmaß und die teils gesetzlich vorgegebene Umsetzung ein hoher Bedarf, die dadurch entstandenen Verhaltensanpassungen und deren energetische und nicht-energetischen Konsequenzen näher zu beleuchten. Die energetischen Gebäudesimulationen entsprachen dem Stand der Technik, und wurden durch Interview- und Umfrageergebnisse an die Home-Office Praktiken angepasst.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Datenerhebung wurde von den drei assoziierten Partnern des Projektes (Organisation A, B und C) unterstützt. Hierbei handelte es sich um eine Universität sowie zwei wirtschaftliche Unternehmen. Zwischen-/Teilergebnisse wurden zu verschiedenen Zeitpunkten während des Projektes vorgestellt und diskutiert. Organisatorische Unterstützung bei der Durchführung der Online-Umfrage wurde durch einen Survey-Dienstleister in Anspruch genommen.

2. Eingehende Darstellung

2.1 Zuwendungsverwendung, Ergebnisse vs. vorgegebene Zielen

2.1.1 AP 1: Entwicklung von Umfragen und Datenerhebung (Lead E3D)

Allgemein

Das Arbeitspaket 1 umfasst die Erhebung von Daten, die den weiteren Arbeitspaketen als Grundlage dienen. Zwischen August 2022 und Januar 2023 wurden von den Projektpartnern in Summe 35 qualitative Interviews in 3 verschiedenen Unternehmen durchgeführt und ausgewertet. Zudem wurde eine Online-Umfrage durchgeführt. Das Vorgehen und die wesentlichen Ergebnisse werden im Folgenden näher beschrieben. Da manche Arbeitsschritte parallel durchgeführt wurden, erfolgt die Darstellung der Arbeiten nicht zwingend chronologisch, sondern vorrangig thematisch geordnet.

Qualitative Interviews

Planung und Vorbereitung der Interviews:

Auf Basis der vorangestellten Literaturrecherche in den APs 1-6 wurde ein Leitfaden für die Interviewführung entwickelt. Ziel der Befragung war die Erfassung der Umsetzung von Home-Office in den Unternehmen sowie von Hinweisen auf relevante Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch. Darüber hinaus wurden Themen ohne energetischen Bezug im Kontext der Home-Office-Nutzung in den Leitfaden integriert. Sowohl die Umstände innerhalb des Unternehmens als auch außerhalb (privat) wurden einbezogen. Ziel der etwa einstündigen Befragung sind stellvertretend (für das Unternehmen bzw. verschiedene Personenkreise) repräsentative Funktionstragende und Führungskräfte. Der Leitfaden gibt folgende Struktur für die Interviews vor: Zum Einstieg sieht der Leitfaden eine Erhebung personenbezogener Daten sowie funktionsunabhängiger Informationen zur Praktizierung von Home-Office im Unternehmen vor. Im Anschluss folgen funktionsabhängige Fragestellungen. Es wurden spezifische Fragenblöcke für die Funktionen Führungskraft, Human Resources, Mitarbeitenden-Vertretung, Facility Management, IT, Mobilität und Gesundheit erarbeitet. Abschließend sind das Einholen der persönlichen Sicht der Teilnehmenden und die Durchführung einer Zusammenfassung angestrebt.

Die notwendige Freigabe der Ethikkommission für die geplanten Interviews wurde eingeholt. Entwickelt und mit dem Datenschutzbeauftragten der RWTH abgestimmt wurde zudem die von den Interviewten vor der Teilnahme am Interview unterzeichnete Einwilligung. Im Anschluss wurden die Unterlagen den assoziierten Partnern A, B und C vorgelegt. Nach Durchlaufen der unternehmensinternen Prozesse für die Interviewfreigabe (z.B. Prüfung durch Personal-/Betriebsräte), wurden basierend auf den Anmerkungen/Vorgaben der assoziierten Partner unternehmensspezifisch leichte Anpassungen vorgenommen. Dies hatte zum Ziel die Verständlichkeit der Fragen zu gewährleisten und bot den Unternehmen die Möglichkeit unerwünschte Fragestellungen zu streichen. Die Freigabe zum Führen der Interviews konnte bei allen drei Partnern erwirkt werden. Die anschließenden Bearbeitungsschritte von der Interviewdurchführung bis hin zur Auswertung und Diskussion

bezogen auf die Vorgehensweise am E3D werden in den folgenden Abschnitten beschrieben. Darüber hinaus wurden die Interviews im Hinblick auf die Wirkung in den einzelnen Sektoren bzw. Themen im Rahmen der APs 2, 3, 4 und 6 von den Projektpartnern IÖW, EBC und UKA ausgewertet.

Durchführung der Interviews und Nachbereitung:

Der Erstkontakt zu potentiellen Teilnehmenden wurde zunächst über die Ansprechpersonen bei den assoziierten Partnern hergestellt. Im Rahmen der Interviews konnte anschließend auch über die Teilnehmenden der Kontakt zu weiteren Interessierten hergestellt werden. Bei der Kontaktaufnahme zwecks Terminvereinbarung wurde den Teilnehmenden das Vorgehen und Ziel der Interviews geschildert und ggf. Informationsmaterial zur Verfügung gestellt. Von einer Ausgabe des Leitfadens wurde abgesehen, um möglichst unvoreingenommene Antworten zu erzielen. Da sich teils auch Ansprechpartner*innen zur Teilnahme an den Interviews bereit erklärten, kann eine gewisse Voreingenommenheit/Befangenheit nicht in allen Fällen gänzlich ausgeschlossen werden. Darüber hinaus wurde die Teilnahmeeinwilligung mit Bitte um Unterzeichnung übermittelt. Die benötigten Angaben, beispielsweise bezüglich der Position bzw. Tätigkeit im Unternehmen, um die Ausrichtung des Interviews zu bestimmen, wurden erfragt. Entsprechend wurden die Fragenblöcke zusammengestellt. Basierend auf der Erfahrung aus vorherigen Interviews mit Personen derselben Funktionsträgerschaft, wurden die Fragen für die späteren Interviews ggf. entsprechend angepasst bzw. priorisiert. Die Interviews wurden als teilstrukturierte Interviews geführt. Das Einschleusen von ergänzenden Fragen, die sich im Rahmen des Gesprächs ergeben und nicht im Leitfaden enthalten sind, ist entsprechend bei Bedarf möglich gewesen.

Die Durchführung der Interviews erfolgte über Microsoft Teams. Sofern der Audioaufzeichnung zugestimmt wurde, wurde der Ton mit der frei verfügbaren Software „OBS Studio“ mitgeschnitten. Sofern dem Audiomitschnitt nicht zugestimmt wurde, wurden Notizen-Protokolle durch eine zusätzliche bei dem Interview anwesende Person erstellt. Die Speicherung der erhobenen Daten erfolgt primär bei dem Projektmitglied, welches das Interview geführt hat. Transkripte werden zwischen den Projektmitgliedern über Sciebo ausgetauscht. Sowohl die Audio- als auch die Notizenprotokolle werden nach Pseudonym benannt (Durchnummerierung der Teilnehmenden) gespeichert. Die Verteilung und von den Daten entkoppelte Dokumentation der Pseudonyme erfolgte zentral über den Lehrstuhl für Energieeffizientes Bauen (E3D). Auf Nachfrage der Teilnehmenden kann eine nachträgliche Zuordnung der Daten, beispielsweise zwecks Löschung, vorgenommen werden. Die Verteilung der zu führenden Interviews auf die Projektmitglieder wurde wie folgt thematisch vorgenommen:

- E3D: Führungskräfte, Human Resources, Personal- bzw. Betriebsrat (25 I.)
- HLS: Arbeitssicherheit, Health Safety Environment, Betriebsarzt/-ärztin (5 I.)
- IÖW: IT, Facility Management, Mobilität (3 I. und 2 x 0,5 I.)
- EBC: Facility Management, Mobilität (2 x 0,5 I.)

Insgesamt wurden 35 Teilnehmende interviewt – 12 bei Organisation A, 17 bei B und 6 bei C. Männer sind häufiger vertreten als Frauen. Die Mehrheit der interviewten Personen ist bereits seit über 10 Jahren im Unternehmen tätig. Eine Beschäftigungsdauer von unter einem Jahr wurde in keinem Interview angegeben. Am häufigsten vertreten sind Führungskräfte. Da einige Teilnehmende mehreren Funktionsgruppen zuzuordnen sind, beläuft sich die Summe der „Expertisen“ auf 45. Die die Stichprobe charakterisierenden Daten sind in der nachfolgenden Abbildung 1 dargestellt. Die auf Deutschland bezogenen Referenzwerte zu Geschlecht (Destatis, 2024), Altersverteilung (Statistisches Bundesamt, 2023) und Beschäftigungsdauer (Destatis, 2023) wurden den hier angegebenen Quellen entnommen. Die Gruppierung der Beschäftigungsdauer erfolgte in Anlehnung an die genannte Quelle (Destatis, 2023).

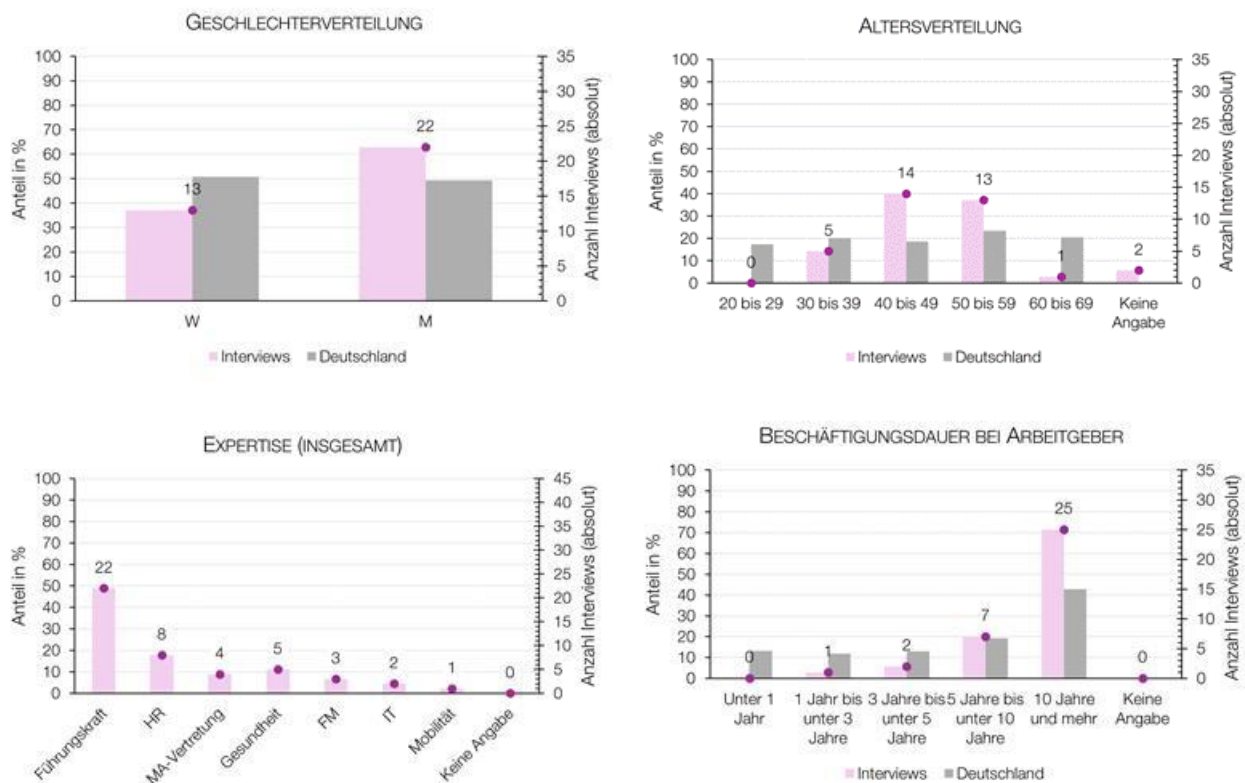


Abbildung 1: Informationen zur Stichprobe der im Rahmen der Interviews befragten Personen

Die Audiodateien wurden im Anschluss an die Interviewdurchführung mit dem „VLC media player“ in ein MP3-Format konvertiert und mittels „MP3 Quality Modifier“ komprimiert. Bei Bedarf wurden Stellen des Audios, an denen beispielsweise der Name der interviewten Person gefallen ist, mit „Audacity“ nachträglich zensiert. Die Transkription der Audiodateien wurde im Anschluss mit „Amberscript“ durchgeführt. Hierzu wurde nach Testung der Plattform ein Kontingent von 23 Transkriptionsstunden erworben. Da die automatische Transkription zwar eine solide Grundlage bildet, allerdings (abhängig von der Audioqualität) teils Ungenauigkeiten aufweist, ist eine manuelle Überprüfung und Überarbeitung notwendig. Die detaillierten Regeln für die Transkription wurden in einem auf das Projekt zugeschnittenen Transkriptionsleitfaden dokumentiert. Die Quellen (Kuckartz, 2018), (Karl-Franzens-Universität Graz, o. J.) und (Fuß und Karbach, 2019) dienten als Orientierung beim Aufstellen des Leitfadens – das Vorgehen wurde entsprechend an die genannten

Quellen angelehnt. Das allgemeine Vorgehen (beispielhafter Auszug aus dem Leitfaden) ist folgendes:

1. Automatische Transkription mittels Amberscript
2. Manuelle Überarbeitung der automatisch erstellten Transkripte
 - a. Erstüberarbeitung mit Fokus auf den Inhalten durch eine erste Person anhand des Audios
 - b. Überprüfung unklarer Stellen durch eine zweite Person anhand des Audios sowie bei Bedarf Zweitüberarbeitung mit Fokus auf Rechtschreibung und Zeichensetzung und weitere inhaltliche Korrektur anhand des Audios
 - c. Finalisierung des Transkriptes: Annahme der Änderungen, Entfernung von Kommentaren und ggf. Korrektur verbliebener Schreibfehler/Tippfehler
 - d. Bei Bedarf kann zu jeder Zeit eine weitere Abstimmung / zwischengeschobenen Korrektur mit/durch die erste oder zweite Person erfolgen.

Die vorliegenden Notizenprotokolle (sofern keine Einwilligung zur Audioaufnahme erhalten) wurden zeitnah nach Durchführung des Interviews „bereinigt / glatt gezogen“ und bei Bedarf mit erläuternden Kommentaren versehen. Nach Abschluss der Interviewführung liegen 30 Audiotranskripte und 5 Notizenprotokolle vor. Ursprünglich waren für die Einzelinterviews und Fokusgruppen eine Anzahl von $N = 50$ anvisiert. Aufgrund der zu Projektbeginn andauernden pandemiebedingten Kontaktbeschränkungen wurde sich gegen eine Durchführung der Fokusgruppen entschieden. Hinzu kamen bezüglich der Einzelinterviews unternehmensseitige Verzögerungen im Freigabeprozess und Schwierigkeiten bei der Gewinnung von Teilnehmenden bzw. Absagen. Zwar wären weitere Interviews bei B möglich gewesen, aufgrund des zeitlichen Verzugs und um den Datensatz (und damit die späteren Auswertungsergebnisse) nicht noch stärker durch B zu prägen, wurde davon abgesehen. In Summe wurden schlussendlich mehr, tiefergehende (Einzel-)Sitzungen (35 Stück) als ursprünglich geplant durchgeführt. Die geringere Anzahl Teilnehmender wird darüber ausgeglichen.

Ausarbeitung Kategoriensystem und Codierung der Interviewinhalte:

Im Rahmen der Auswertung wurde sich zunächst an der Methodik nach Mayring (Mayring, 2015) orientiert. Zu Beginn der Interviewführung bzw. der Auswertung wurde das Vorverständnis definiert (bei Hinzukommen weiterer Personen/Hiwis, die am Auswertungsprozess beteiligt sind, wurden bei Bedarf Ergänzungen vorgenommen). Dies beinhaltet unter anderem den inhaltlichen Kern einer ersten Literaturrecherche bzw. Einarbeitung in die Thematik der Home-Office-Nutzung sowie Aussagen aus Probe-Interviews sowie aus dem Alltag.

Ziel der qualitativen Auswertung ist es, das Handlungskonstrukt die Nutzung von Home-Office betreffend abzubilden. Beispielhaft seien folgende Kernfragen genannt: Welche Vor- und Nachteile bringt die Home-Office-Nutzung mit sich? Welche Faktoren motivieren dazu, Home-Office zu nutzen und was hält davon ab? Welche Folgen, sowohl kurz- als auch langfristig, zieht die Arbeit aus dem Home-Office mit sich? Im Hinblick auf AP8 sollen darauf

aufbauend u. a. Verhaltensweisen, die sich möglicherweise positiv oder negativ auf Energieverbräuche auswirken, sowie mögliche Risiken der Nutzung identifiziert werden. Folgende vorbereitende Schritte wurden bereits durchgeführt: Basierend auf den ersten, in Form von Notizenprotokollen vorliegenden, Interviews wurden potenzielle Kategorien herausgearbeitet und mittels Kategoriensystem strukturiert. Dieser Prozess wurde durch eine zweite Person begleitet, um ein übereinstimmendes Verständnis bzw. eine möglichst eindeutige Formulierung der Kategorien zu erzielen. Durch Darstellung übergeordneter Handlungszusammenhänge im Kategoriensystem und mehrstufige Ausdifferenzierung auf untergeordneter Ebene bietet das System die nötige Flexibilität auch weitere im Verlaufe der Auswertung auftretende neue Kategorien aufzunehmen. Im Sinne eines explorativen Vorgehens wurden weitere Anpassungen am Kategoriensystem vorgenommen, sofern das zuvor beschriebene Vorgehen nicht umsetzbar schien. Das finale Kategoriensystem orientiert sich an folgender Grundstruktur:

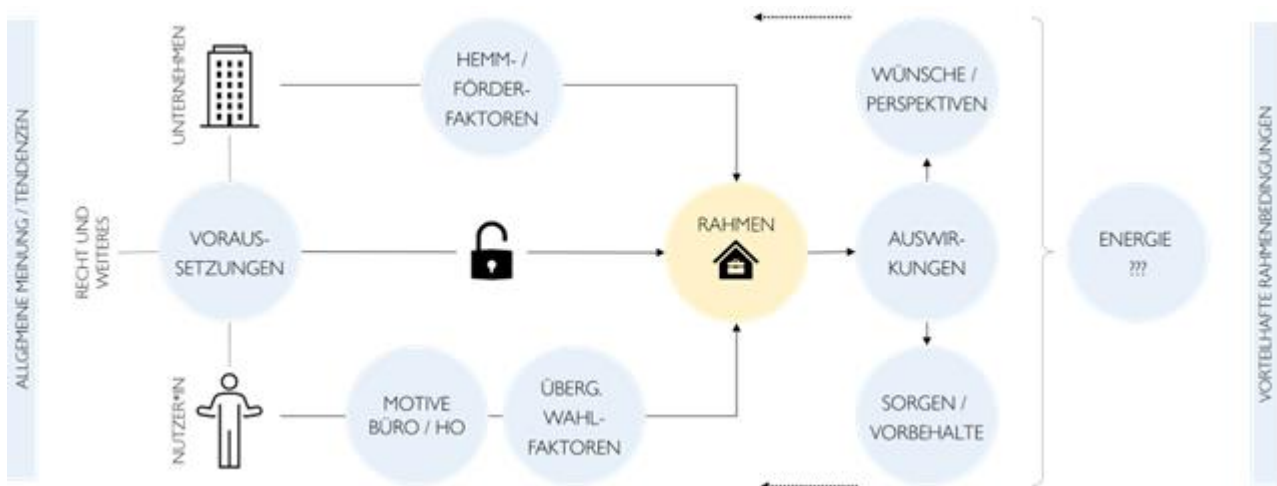


Abbildung 2: Grundstruktur des Kategoriensystems für die übergreifende Auswertung der Interviews

Auf untergeordneter Ebene kann eine Spezifizierung der Inhalte vorgenommen werden ebenso wie eine Darstellung spezifischer Zusammenhänge. Die Darstellung dieser Zusammenhänge (Folgen, Maßnahmen, Bewertungen usw.) erfolgt über die Kategorienhierarchie. Kategorien, die eine Folge, Maßnahme oder Bewertung zum Ausdruck bringen, werden in einer übergeordneten Kategorie spezifisch zugewiesen durch Anordnung auf einer tiefer gelegenen Ebene. Die Kennzeichnung erfolgt über einem Schema folgende Kürzel im Kategoriennamen. Grundsätzlich wird stets die spezifischste, passende Kategorie einer Gruppe einem Textsegment zugeordnet (keine Codierung aller übergeordneten implizierten Kategorien). Bei Codierung von Zusammenhängen/Ketten (Folgen, Maßnahmen, Bewertungen usw.) muss bis auf in einigen definierten Ausnahmen stets eine übergeordnete Kategorie vergeben werden, auf der die zusammenhängende Information aufbaut. Eine Ausnahme bildet beispielsweise das Ergreifen einer Maßnahme, um das übergeordnete Geschehnis zu vermeiden (wodurch es erst gar nicht entsteht). Details hierzu können dem Codierleitfaden entnommen werden.

Aufgrund der Vielzahl an Kategorien kann es vorkommen, dass die codierende Person nicht stets den Überblick über alle möglichen/vorhandenen Kategorien hat. Die Codierung erfolgt primär gemäß der Logik und Stringenz der Schilderungen der interviewten Person. Die

Codierung wird möglichst präzise und detailliert vorgenommen. Eine „fehlerfreie“ Codierung kann aufgrund eines verbleibenden Maßes an Subjektivität sowie der Beschränkung auf einen zeitlich angemessenen Rahmen nicht garantiert werden. Im Rahmen der Auswertung werden die beschriebenen Umstände und daraus hervorgehende Schwachstellen nach Möglichkeit berücksichtigt.

In die Auswertung einbezogen werden (auf der sicheren Seite) lediglich die Audiotranskripte bzw. Notizenprotokolle. Weitere Ergänzungen oder zusätzlich geführte Protokolle werden nicht einbezogen.

Anhand der Interviewinhalte (normalerweise in den Einstiegsfragen enthalten) werden außerdem verschiedene Dokument bezogene Variablen erfasst (siehe auch Darstellung der Stichproben-Charakteristika):

- Unternehmen (A, B oder C - Pseudonyme)
- Geschlecht (M oder W)
- Alter (20 bis 29, 30 bis 39, 40 bis 49, 50 bis 59 oder 60 bis 69)
- Funktion_1 (Führungskraft, HR, Gesundheit, MA-Vertretung, FM, Mobilität oder IT)
- Funktion_2 (Führungskraft, HR, Gesundheit, MA-Vertretung, FM, Mobilität oder IT)
- Zeit beim Unternehmen (Unter 1 Jahr, 1 Jahr bis unter 3 Jahre, 3 Jahre bis unter 5 Jahre, 5 Jahre bis unter 10 Jahre oder 10 Jahre und mehr)
- Zeit in Position (Unter 1 Jahr, 1 Jahr bis unter 3 Jahre, 3 Jahre bis unter 5 Jahre, 5 Jahre bis unter 10 Jahre oder 10 Jahre und mehr) – sofern eine Differenzierung zwischen der Position/Rang und der Tätigkeit möglich ist, bezieht sich die Zeitangabe auf die Position (z.B. Tätigkeit bleibt gleich aber es erfolgt ein Aufstieg in eine Führungsposition -> Angabe Zeit in Führungsposition)

Die Codierung der Interviews sowie weitere Auswertungsschritte (z.B. Intercoderprüfung, Auszählen von Kategorienhäufigkeiten) werden in MAXQDA durchgeführt. Es wird MAXQDA Plus 2022 (Release 22.7.0) verwendet.

Güteprüfung:

Die Güteprüfung wird an die Gütekriterien in der qualitativen Forschung nach Mayring (Mayring, 2023) angelehnt. Folgende Aspekte wurden thematisiert:

1) Verfahrensdokumentation (- Reliabilität)

Die Methodik im Forschungsprojekt wird nach bestem Wissen und Gewissen durch die Forschenden dokumentiert. Für einzelne Arbeitsschritte wurden jeweils Leitfäden erstellt, die das Vorgehen dokumentieren und bei Zusammenarbeit ein identisches Vorgehen sichern sollen. Stellt sich während der Bearbeitung heraus, dass Abweichungen notwendig sind oder Überarbeitungen erforderlich, werden die vorgenommenen Schritte/Anpassungen, sofern sinnvoll, dokumentiert. Zwischen-Arbeitsstände werden,

wenn dies sinnvoll erscheint, ebenfalls vorerst gespeichert, sodass bei Bedarf darauf zurückgegriffen werden kann.

2) Argumentative Interpretationsabsicherung (-Objektivität)

Grundsätzlich besteht der Ansatz im Rahmen der Codierung möglichst nah an den gesagten Inhalten zu bleiben, diese aber neu zu strukturieren. Einerseits wird angestrebt lediglich die relevanten Inhalte bezogen auf die Forschungsthematik (Home-Office -Nutzung) zu filtern, andererseits ist anvisiert auch gegensätzliche Meinungen und Widersprüche festzuhalten (Das Kategoriensystem bietet die Möglichkeit eine Vielzahl unterschiedlicher Aspekte in Form von Folgen, Maßnahmen, Bewertungen usw. aufzunehmen und so verschiedenen Strukturen/Zusammenhänge abzubilden.). Bei Darstellung einzelner Ergebnisse (z.B. auf Basis der Häufigkeit der Nennung einzelner Aspekte), wird entsprechend angestrebt auch andere Sichtweisen und Szenarien, die daneben existieren können, darzustellen, wenn dies angemessen erscheint (Häufigkeiten aufgrund geringer Stichprobengröße statistisch nicht aussagekräftig, werden aber als erster Anhaltspunkt verwendet).

3) Regelgeleitetheit (- Reliabilität)

Von Beginn an wurde Wert darauf gelegt auch zukünftige Auswertungsschritte perspektivisch mitzudenken und zu planen. Bei Bedarf wurde von dem ursprünglichen Plan abgewichen / wurde dieser modifiziert – das Vorgehen wurde dokumentiert wie unter 1) beschrieben. Um vor allem im Rahmen der Codierung bzw. der Interocoderprüfung saubere Ergebnisse zu erhalten, wurden Leitfäden angelegt (Erstaufschlag durch die Person, die jeweils als erste codiert hat – teilweise waren Änderungen/Ergänzungen während des Codierprozesses notwendig; die Leitfäden wurden entsprechend weiterentwickelt). Die durchgeführte Interocoderprüfung, welche die Reliabilität der Codierung messbar macht (Quantifizierung der Übereinstimmung der Codierung zweier Personen), wird unten im Detail beschrieben.

4) Nähe zum Gegenstand (- Validität)

Das Forschungsprojekt HOffEn befasst sich mit den Auswirkungen von Home-Office-Nutzung sowohl auf allgemeiner und gesundheitlicher als auch auf energetischer Ebene. Ziel ist es Ergebnisse (in Form von Produkten) verschiedenen Personengruppen / Anwender*innen (z.B. Privatpersonen, Unternehmen, Entscheidungsträger) zugänglich zu machen und dadurch einen Mehrwert zu schaffen. Insofern ist seitens Forschender und freiwillig teilnehmender Interviewpartner*innen (keine monetäre Entschädigung) eine Interessensübereinstimmung angestrebt. Einige der Teilnehmenden baten um Benachrichtigung sobald Ergebnisse des Projektes vorliegen – dies wird hier als Interessensübereinstimmung gewertet.

5) Kommunikative Validierung (- Validität)

Eine kommunikative Validierung ist aufgrund der äußeren Rahmenbedingungen des Forschungsprojektes nicht möglich (zeitliche Begrenzung).

Ergänzend zu den Interviews wurde jedoch u.a. eine Online-Umfrage durchgeführt und durch andere Projektbeteiligte ausgewertet sowie weitere Untersuchungen im

gesundheitlichen Bereich (durch andere Projektbeteiligte) durchgeführt. Bei bekannter thematischer Überschneidung der Ergebnisse wird der Dialog zwischen den Forschungsgruppen angestrebt, um Ergebnisse zu vergleichen und ein möglichst breites Spektrum / Ergebnisse möglichst detailliert (inklusive Widersprüchlichkeiten) abzubilden. Vor allem die qualitativen Hinweise, die im Tool abgebildet werden sollen, wurden im Team besprochen. Diese Herangehensweise geht jedoch eher in Richtung 6) Triangulation.

6) Triangulation (- Objektivität)

Um Ergebnisse der qualitativen Auswertung zu festigen, wird wie unter 5) beschrieben ein Austausch im Team angestrebt, um Ergebnisse verschiedener Methoden zu vergleichen und in Summe eine möglichst differenzierte Darstellung zu ermöglichen. Die qualitativen Ergebnisse werden, sofern möglich/sinnvoll, durch eine Literaturrecherche ergänzt. Auch widersprüchliches Wissen aus der Literatur wird aufgezeigt.

Die durchgeführte Interocoderprüfung bezogen auf die Codierung der Interviewantworten (in MAXQDA) wird nachfolgend im Detail dargestellt:

Vor Durchführung der Codierung durch die zweite Person, macht sich diese zunächst mit dem Codierleitfaden und dem vorhandenen Kategoriensystem vertraut. Ziel ist ein gemeinsames Verständnis der beiden Personen zu etablieren und Person 2 zu befähigen eine vergleichbare Codierung eigenständig durchzuführen. Die Einsicht der bereits erfolgten Codierung zwecks eines besseren Verständnisses durch Person 1 erfolgt nur exemplarisch, um eine Vorbeeinflussung soweit wie möglich zu vermeiden. Im Anschluss erfolgte eine exemplarische Codierung 5 ausgewählter Interviews durch Person 2. Bei der Auswahl der Interviews wurden folgende Kriterien einbezogen, um eine möglichst hohe Durchmischung zu erlangen: Zeitpunkt der Codierung durch Person 1, Unternehmen, Funktion(en) und Textform (Transkript oder Notizenprotokoll). Textstellen, die laut Person 2 codiert werden sollten, für die jedoch keine passende Kategorie existiert, werden markiert. Vorschläge für neue Kategorien werden ggf. dokumentiert, ebenso weitere Unsicherheiten/Unklarheiten. Bei Auftreten von Schwierigkeiten während des Codierprozesses wird (auf Nachfrage durch Person 2) Rücksprache mit Person 1 gehalten. Die betroffenen Textstellen/Codierungen werden diskutiert, sodass im Anschluss eine reflektiertere/bewusste Entscheidung bezüglich der Codierung durch Person 2 getroffen werden kann. Änderungen am Kategoriensystem werden zu diesem Zeitpunkt nicht vorgenommen.

Im nächsten Schritt wird ein erstes Mal die Übereinstimmung der beiden Original-Codierungen berechnet. Dies kann wie folgt verallgemeinert ausgedrückt werden (In beiden Codierungen nicht vergebene Kategorien werden in der vorliegenden Arbeit nicht einbezogen) (Rädiker und Kuckartz, 2019):

$$\text{Übereinstimmung \%} = \left(\frac{\text{Anzahl Übereinstimmungen}}{(\text{Anzahl Übereinstimmungen} + \text{Anzahl Nichtübereinstimmungen})} \right) * 100$$

MAXQDA bietet die folgenden drei verschiedene Arten der spezifischen Berechnung an (Rädiker und Kuckartz, 2019 / MAXQDA, o. J.):

1) Vorhandensein von Codes:

Vergleichskriterium ist hier die Vergabe einer Kategorie in einem Dokument/Interview. Es werden die Codierungen der beiden Codierenden dokument-/interviewweise miteinander verglichen. Ist eine Kategorie in einem Dokument/Interview von beiden Codierenden vergeben worden, wird dies als Übereinstimmung gewertet. Bei Vergabe einer Kategorie von nur einer der beiden codierenden Personen wird dies als Nicht-Übereinstimmung gewertet. Die Mehrfachvergabe von Kategorien durch eine codierende Person in einem Dokument/Interview sowie die Position der Kategorie im Text bleiben unberücksichtigt. Die Summe aus Übereinstimmungen und Nicht-Übereinstimmungen eines Interviews entspricht der Anzahl insgesamt (in diesem Interview) im Vergleich berücksichtigten Kategorien.

2) Häufigkeit von Codes:

Der Vergleich erfolgt wie bei Überprüfung des Vorhandenseins von Kategorien bezogen auf das jeweilige betrachtete Dokument, allerdings mit dem Vergleichskriterium der Kategorienhäufigkeit. Als Übereinstimmung gewertet wird entsprechend die gleichhäufige Vergabe einer Kategorie durch die beiden Codierenden in einem Dokument/Interview (Position der Kategorien nimmt auch hier keinen Einfluss).

3) Übereinstimmung von Segmenten:

Bei Variante 3 erfolgt der Vergleich im Gegensatz zu den vorherigen beiden Vorgehensweisen bezogen auf die codierten Segmente: Es werden je Dokument/Interview alle codierten Textsegmente der beiden codierenden Personen erfasst (alternativ können auch nur die codierten Segmente einer der beiden codierenden Personen als Grundlage des Vergleichs gewählt werden). Anschließend wird je Segment geprüft, ob die andere codierende Person diesem Segment die gleiche Kategorie zugewiesen hat. Wenn ja, wird dies als Übereinstimmung gewertet. Um bei nur leichter Abweichung des Textsegmentes auch eine Übereinstimmung ausgegeben zu bekommen, kann ein prozentualer Toleranzbereich angegeben werden. Die Summe aus Übereinstimmungen und Nicht-Übereinstimmungen entspricht der Summe aller betrachteten codierten Segmente im Dokument/Interview.

Da die einzelnen Interviews eine gewisse Länge aufweisen und die Kategorien im Kontext des gesamten Interviews vergeben werden, wird in dem vorliegenden Fall von einem verhältnismäßig großen Spielraum bezüglich der Segmentbestimmung und Häufigkeit der Vergabe von Kategorien ausgegangen. Es wird zwar eine hohe inhaltliche Übereinstimmung bezogen auf das gesamte Interview anvisiert (gemessen am Vorhandensein der Kategorien im Dokument), die spezifische Umsetzung bedarf jedoch der Analyse/Interpretation durch die codierende Person, um einen Mehrwert zu generieren – entsprechende Freiheiten werden hier eingeräumt. Es wird davon ausgegangen, dass in diesem Fall durchaus mehrere gleichwertige Lösungen existieren können, die inhaltlich in Summe übereinstimmen. Der Transparenz halber werden nachfolgend trotzdem auch die Ergebnisse der weiteren Berechnungsformen mit angegeben. Aufgrund der hohen Anzahl

an zur Verfügung stehenden Kategorien und der freien Wahl der Segmente beim Codieren wird nicht von der Möglichkeit einer zufälligen Übereinstimmung ausgegangen (siehe hierzu auch Rädiker und Kuckartz, 2019; MAXQDA, o.J.; Kuckartz und Rädiker, 2024).

Die beiden Originalcodierungen stimmen in folgendem Maße überein (Die Ergebnisse werden als nicht zufriedenstellend interpretiert.):

- Vorhandensein von Codes: 31,28%
- Codehäufigkeiten: 24,06%
- Übereinstimmung von Segmenten (100% bis 1% Toleranz): 8,88 % bis 35,17%

Im nächsten Schritt erarbeiten die beiden codierenden Personen basierend auf ihren Originalcodierungen der ausgewählten Interviews einen gemeinsamen Konsens. Die Dokumente werden einzeln durchgearbeitet und verglichen; bei abweichender Vergabe von Kategorien wird diskutiert und sich auf eine Lösung geeinigt. Die genaue Wahl des codierten Segmentes wird nicht diskutiert. Grundlage für die Konsens-Version der Codierung bildet die Codierung von Person 1. Textstellen, deren Codierung (evtl.) eine neue Kategorie benötigt, werden zunächst markiert. Fehler am Kategoriensystem, die in diesem Zusammenhang auffallen (z.B. falsche Kategorienbenennung / Abweichung vom Schema), werden notiert. Dieser Vorgang wird aus zeitlichen Gründen für nur volle 3 der Interviews durchgeführt.

Die entwickelte Konsenscodierung wird im Anschluss mit der Originalcodierung durch Person 1 verglichen:

- Vorhandensein von Codes: 83,90%
- Codehäufigkeiten: 80,98%
- Übereinstimmung von Segmenten (100% bis 1% Toleranz): 88,94%

Um die Qualität der Originalcodierungen vergleichen zu können, wurde auch die Original-Codierung durch Person 2 mit der Konsens-Codierung verglichen:

- Vorhandensein von Codes: 36,63%

Es wird auf eine höhere Güte der Codierung durch Person 1 geschlossen. Im nächsten Schritt wird die „beste Version“ der gesamte Codierung für die finale Auswertung zusammengestellt, ausgebessert und bereinigt. Grundlage bilden die Konsenscodierung der Antworten sowie die Antwort-Codierung durch Person 1 der weiteren Dokumente. Die durch Person 2 blau markierten Textstellen und Kategorienvorschläge, werden durch Person 1 geprüft und übernommen oder abgelehnt sofern nicht bereits im Rahmen der Konsenserarbeitung geschehen. Weitere vorgenommenen Anmerkungen werden bearbeitet. Final verbleibende offene Punkte / Unsicherheiten werden dokumentiert.

Die Konsenscodierung stimmt nach Überarbeitung in folgendem Maße mit der Original-Codierung von Person 1 überein:

- Vorhandensein von Codes: 79,26%

- Codehäufigkeiten: 76,50%
- Übereinstimmung von Segmenten (100% bis 1% Toleranz): 87,91%

Allgemein lässt sich in Bezug auf die Intercoderprüfung (Antworten) festhalten, dass die Codierung von Person 1 deutlich näher an dem erarbeiteten Konsens liegt als die Codierung von Person 2. Vergleicht man die finale Auswertungsbasis (enthält den Konsens und weitere im Rahmen der Intercoderprüfung angeregte Überarbeitungen) mit der ursprünglichen Codierung von Person 1, ergibt sich quantitativ eine Übereinstimmung von 76,50 % bis 87,91 % je nach gewähltem Übereinstimmungsmaß. Da das Vorhandensein von Codes in Interviews aufgrund der Vielzahl an Kategorien und Möglichkeiten, als das zuverlässigste Maß erscheint (und auch in der späteren Auswertung eine wichtige Rolle spielt), wird von einer Übereinstimmung von grob 80 % ausgegangen. Die Überprüfung fand anhand von 3 Interviews statt. Dies entspricht etwa 8,6 % der Datenmenge (3 von 35 Interviews). Es wird im Rahmen der Auswertung davon ausgegangen, dass die Codierung von Person 1 in Summe eine solide Grundlage darstellt, auch da im Konsensbildungsprozess nur wenige Löschungen vorgenommen wurden. Von sich häufenden Falschaussagen ist folglich erstmal nicht auszugehen. Die Auswertungsergebnisse sind dennoch mit Vorsicht zu behandeln. Unsicherheit besteht beispielsweise hinsichtlich der Abgrenzung zwischen Home-Office-bezogenen Aspekten und Covid-bezogenen Aspekten. Auch die zeitliche Differenzierung (Vergangenheit, Präsenz und Zukunft) sowie die korrekte Einordnung in Geschehensabfolgen ist teils nicht eindeutig und birgt entsprechend Diskussionspotentiale. Auf eine möglichst differenzierte Darstellung der Ergebnisse wird Wert gelegt. Nähere Details sind den entsprechenden Leitfäden und Dokumentationen zu entnehmen.

Neben der Codierung der Interviewinhalte (Antworten) wurde zur Unterstützung der späteren Auswertung auch eine Codierung der gestellten Fragen vorgenommen (z.B. unkomplizierte Strukturierung der Inhalte nach Fragen geordnet usw.). Auch bezogen auf die Codierung der Antworten wird eine Intercoderprüfung durchgeführt. Hierbei hat sich jedoch bereits bei der qualitativen Überprüfung einer geringen Menge an Dokumenten gezeigt, dass es der Basis-Codierung durch Person 2 an Sorgfalt mangelt. Aus diesem Grund wurde entschieden, dass die Zuverlässigkeit der Fragencodierung nicht ausreicht, um nachfolgende Auswertungsschritte und Analysen darauf zu stützen (z.B. Bei Suche von Antworten auf bestimmte Fragen, kann nicht mit ausreichender Sicherheit belegt werden, dass überhaupt alle Fragen codiert wurden. In Folge würden dann entsprechend auch die zugehörigen Antworten der interviewten Personen nicht berücksichtigt werden). Auch quantitativ (bei Vergleich mit einem durch Person 1 gebildeten Kompromiss) zeigt sich, dass Person 2 zwar akkurater als Person 1 die Codierregeln (bezogen auf die Segmentgrenzen) befolgt hat und bessere Segmentübereinstimmungen erzielt, was das Vorhandensein der Fragencodes in den Interviews betrifft, schneidet jedoch Person 1 besser ab. Da theoretisch ein hoher Grad an Übereinstimmung möglich wäre, quantitativ Person 2 jedoch nur eine Übereinstimmung von ca. 75% (Segmente) mit dem Kompromiss erreicht, liegt die Nicht-Verwendung der Fragencodierung im Rahmen der Auswertung auf der sicheren Seite. Da die unternommenen Arbeitsschritte entsprechend im weiteren Verlaufe des Projektes verworfen werden, wird auf eine ausführliche Darstellung der

unternommenen Arbeitsschritte an dieser Stelle verzichtet. Eine detaillierte Darstellung kann den zugehörigen Leitfäden / der Dokumentation entnommen werden.

Folgendes Fazit wird insgesamt basierend auf der Güteprüfung gezogen: Grundsätzlich wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen, um möglichst reliable, valide und objektive Ergebnisse trotz bzw. im Sinne der qualitativen Herangehensweise zu erzielen. Dabei wurde nach Möglichkeit „auf der sicheren Seite“ gearbeitet. Die Codierung der Fragen beispielsweise wird in diesem Sinne auf Grund unzureichender Sorgfalt und mangelnder Vertrauenswürdigkeit im Rahmen der Auswertung nicht einbezogen. Regeln wurden definiert, Auswertungsschritte wurden dokumentiert und sofern möglich und sinnvoll wurden Fremd- und Selbstüberprüfungsmaßnahmen integriert. Spezifische Unsicherheiten in Bezug auf das Kategoriensystem / die Codierung sind ebenfalls bei Bedarf gesondert dokumentiert. Es wird Wert gelegt auf eine differenzierte, objektive Darstellung. Nichts desto trotz können Fehler, auch aufgrund der Komplexität der angewendeten Vorgehensweise, nicht vollständig vermieden werden. Auf Seite der Validität weist das Projekt die größte Schwachstelle auf. Da eine kommunikative Validierung nicht möglich war/ist, verbleibt hier lediglich die angestrebte Nähe zum Gegenstand. Da es sich bei der Forschungsthematik jedoch, um ein sehr aktuelles Thema handelt, das einem stetigen Wandel unterliegt, bleibt ohne hin anzuzweifeln, welcher Wert einer solchen Validierung aufgrund des naturgemäßen zeitlichen Abstand zur ursprünglichen Datenerhebung, beigemessen werden könnte. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse ist nicht pauschal gegeben bzw. wird in diesem Kontext nicht grundsätzlich angestrebt. Dies liegt zum einen in der Individualität der einzelnen Interviews begründet und zum anderen in den äußeren gesellschaftlichen Lebensbedingungen. Heinze et al. nennen „ein Mindestmaß an Regelmäßigkeit und Konstanz gesellschaftlicher Lebensbedingungen“ (Heinze et al., 1975) als Voraussetzung für eine wissenschaftliche Verallgemeinerung. Da zum Zeitpunkt der Interviewführung nach wie vor von einer gesellschaftlichen Prägung durch die Pandemie ausgegangen werden kann und gleichzeitig ein Umbruch zurück zur „Normalität“ im Gange war, kann die genannte Voraussetzung nicht als gegeben angenommen werden. Die Stärke der Arbeit liegt aus Sicht der Forschenden im differenzierten Aufzeigen verschiedener, individueller Lebens- bzw. Arbeitsrealitäten. Zwar werden Gemeinsamkeiten herausgearbeitet, wie der folgenden Auswertung zu entnehmen ist, bietet sich jedoch oftmals eine kontextspezifische Betrachtung zwecks besseren Verständnisses an. Vor allem sehr konkrete, spezifische Ergebnisse sind entsprechend mit Vorsicht zu betrachten, aktuelle Entwicklungen sind einzubeziehen und der Kontext ist darzustellen. Die Ergebnisse sind entsprechend eher als gut fundierte Hypothesen / erste Anhaltspunkte zu betrachten, die es weiter zu untersuchen gilt. Es wird angestrebt spezifische Ergebnisse und (in Anlehnung an die Argumentation von Lincoln und Guba, 1985) deren Herkunft bestmöglich zu erläutern, miteinander zu verknüpfen und ggf. zu abstrahieren, um eine möglichst breite Zugänglichkeit zu ermöglichen.

Auswertungsergebnisse:

Codiert werden Inhalte der Interviews, die die Sichtweise/Erfahrung der befragten Person darstellen aber auch stellvertretend geäußerte Meinungen/Aspekte (Beispiel: Die interviewte Person ist begeistert von HO, merkt aber ebenfalls an, dass ein Kollege dem

Home-Office kritisch gegenübersteht – hier soll sowohl die positive als auch die negative Haltung gegenüber Home-Office codiert werden). Als messbares Ausgangskriterium für die Analyse der codierten Inhalte wurde die Kategorienhäufigkeit gewählt. Hierbei wird das Auftreten einer Kategorie in einem Interview als Zählkriterium verwendet. Ein mehrfaches Auftreten von Kategorien innerhalb eines Interviews wird aufgrund der vermuteten Fehleranfälligkeit bei der Codierung nicht betrachtet/gezählt. Da Kategorienhäufigkeiten Verzerrungen enthalten können und mit zunehmender Diskrepanz zwischen verschiedenen Interviews (z.B. aufgrund unterschiedlicher Fragestellungen) weniger aussagekräftig sind (Kuckartz und Rädiker, 2024), findet im Verlauf der Auswertung eine gruppenspezifische Betrachtung statt. Die separate Auswertung verschiedener Funktionsträgergruppen (sofern eine ausreichende Anzahl an Teilnehmenden vertreten ist) bietet den Vorteil, dass die Interviews sich stärker bezüglich der behandelten Themen ähneln und hinsichtlich spezifischer Themen die nötige Expertise angenommen werden kann. Darüber hinaus erfolgt eine Betrachtung der Kategorienhäufigkeiten je Obergruppe, um auch in weniger häufig thematisierten Bereichen stark vertretene Kategorien zu identifizieren. Eine themenspezifische Analyse von Kategorien, die an unterschiedlichen Stellen im System verortet sind, aber eine thematische Nähe zueinander aufweisen, erfolgt bei Indikation, um die Häufigkeit von Themenfeldern zu erkennen. Des Weiteren wird eine Betrachtung der einzelnen Unternehmensgruppe und ein Vergleich zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmenden durchgeführt. Basierend auf den geschilderten Betrachtungen erfolgen bei Bedarf weitere Schritte im Sinne einer möglichst differenzierten und fundierten Aufbereitung der Inhalte. Weiteres Ziel dieser Vorgehensweise ist es auch einer Verzerrung durch persönliche Fehler / subjektive Verzerrung im Rahmen der Codierung und den Vorarbeiten entgegenzuwirken. In Summe weist die finale Auswertungsbasis 2386 codierte Textsegmente auf. Die hohe Anzahl der zur Verfügung stehenden Kategorien hat zum Ziel die verschiedenen Meinungen, Erfahrungen und Schilderungen aus den Interviews abzubilden. Zum aktuellen Zeitpunkt zeichnen sich verschiedene Ambivalenzen/Paradoxa ab. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse wird im Folgenden dargestellt. Es ist zu beachten, dass an dieser Stelle nicht das komplette Spektrum der geschilderten Sachverhalte, Meinungen und Erfahrungen dargestellt wird, sondern die Aspekte, die für das Verständnis der betrachteten Konflikte und Beobachtungen relevant scheinen. Darüber hinaus ist nach derzeitigem Stand eine ergänzende Darstellung spezifischer Ergebnisse in weiteren Publikationen geplant (siehe Verweise unter Nutzen und Verwertbarkeit).

Allgemeine Tendenzen und Meinungen (1) zum Thema Home-Office-Nutzung wurden in Summe in 34 der 35 Interviews codiert. In 33 der 35 Interviews wurde eine positive Haltung gegenüber Home-Office codiert. „Flexibilität als maßgebender Vorteil“ stellt darunter den am häufigsten genannten Aspekt dar (21 Interviews). Gleichzeitig wurde in 16 Interviews eine kritische oder negative Einstellung gegenüber Home-Office zum Ausdruck gebracht. Darüber hinaus wurde von 9 Teilnehmenden angegeben, dass es individueller Lösungen bedarf. Zwei Personen gaben an, dass auch Mischnutzung (Home-Office und Büro) innerhalb eines Tages relevant sei.

Die Voraussetzungen für die Arbeit von zu Hause (2) aus Mitarbeitersicht wurden in 7 von 35 Interviews genannt. Eine Voraussetzung für die Nutzung von Home-Office aus Mitarbeitersicht ist die Freiwilligkeit bzw. Reversibilität der Arbeit von zu Hause (7 von

35 Interviews). Motive (4) für die Arbeit von zu Hause wurden in allen Interviews genannt. Das am häufigsten codierte Motiv für die Wahl des Home-Office ist die Zeitersparnis durch den Wegfall von Pendelwegen (25 von 35 Interviews), gefolgt von dem Wunsch Ablenkungen im Büro zu vermeiden für ein effizientes Arbeiten (17 von 35 Interviews) und dem organisatorischen Vorteil der besseren Vereinbarkeit von Arbeit und Privatem, der aus der Nähe von Arbeits- und privatem Aufenthaltsort bei Home-Office-Nutzung folgt (17 von 35 Interviews). Betrachtet man die genannten Motive in gruppierter Form, zeigt sich, dass die Zeitersparnis allgemein und organisatorische Vorteile inklusive der Vereinbarkeit von Arbeit und Privatem mit jeweils 27 von 35 Interviews gleich häufig genannt wurden (Gruppe der Kategorien Vereinbarkeit von Arbeit und Privatem aus allen Obergruppen allein ist in 27 von 35 Interviews vertreten). Kategorien der Gruppe Effizientes Arbeiten / Leistungssteigerung wurden in 21 der 35 Interviews vergeben. Motive für die Nutzung des Büros finden sich in 30 der 35 Interviews. Als Motivator für die Arbeit aus dem Büro wurden am häufigsten soziale Faktoren genannt (25 von 35 Interviews). Dies deckt sich mit aktuellen Umfragen – auch hier werden zwischenmenschliche Kontakte als Grund das Büro aufzusuchen genannt (Drees & Sommer, 2023 / Gensler, 2023). An zweiter Stelle (mit 14 von 35 Interviews) wird das Bestreben Ablenkungen im Home-Office zu vermeiden als Grund für die Arbeit aus dem Büro genannt. Dies deckt sich mit der Rangfolge der übergeordneten Gruppierung der Codierungen: an erster Stelle steht das angenehme Arbeiten, gefolgt von effizientem Arbeiten/Leistungssteigerung. Das Auftreten gleicher Motive für das Home-Office und das Büro verdeutlicht, dass die Entscheidungsfindung stark von der jeweiligen individuellen Situation geprägt ist: Leistungsmindernde Störfaktoren können sowohl im Home-Office (17 Interviews) als auch im Büro (14 Interviews) auftreten (z.B. Kolleg*innen bzw. Kinder). Die Störfaktoren sind in der Gruppe der Motive „Effizientes Arbeiten / Leistungssteigerung“ sowohl für das Home-Office als auch das Büro der am häufigsten genannte Aspekt. Davon abgesehen kann der gleiche Umstand sowohl positiv als auch negativ bewertet werden. Der Wegfall von Pendelwegen beispielsweise bringt auf der einen Seite die häufig positiv bewertete Zeitersparnis mit sich und kann auch Stress mindern, auf der anderen Seite kann das Pendeln die Abgrenzung erleichtern und zum „Abschalten“ / der Erholung dienen – aus dieser Perspektive wäre der Wegfall von Pendelwegen negativ zu bewerten. Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass die Vorteile der beiden Optionen gleichzeitig auch deren Nachteile darstellen können. Als Beispiel sei hier erneut die Anwesenheit von Kolleg*innen genannt. Unsere Auswertung deutet darauf hin, dass über die konkreten Motive hinaus weitere übergeordnete Faktoren den Umgang mit Home-Office / die Wahl beeinflussen. Derartige Faktoren wurden in 28 Interviews aufgezeigt. Am häufigsten wurde die Führungskraft als Einflussfaktor genannt (18 Interviews). Gruppiert man verschiedene Arten übergeordneter Faktoren, so treten persönliche einflussnehmende Aspekte am häufigsten auf (in 21 Interviews). „Charakter und Bedürfnisse“ mit Nennung in 10 Interviews ist darunter der am stärksten vertretene Aspekt. Darüber hinaus werden äußere Faktoren in einigen Interviews aufgezeigt, beispielsweise eine langfristige Perspektive bezogen auf die Home-Office-Nutzung (Sicherheitsgrad).

Unternehmensseitige Voraussetzungen (2) werden in 34 der geführten Interviews genannt. Die folgenden drei Voraussetzungen für Home-Office sind als die häufigsten zu nennen:

- Die Arbeit ist digital ausführbar (24 Interviews)

- Die Arbeit wird erledigt bzw. die Qualität bleibt bestehen (13 Interviews)
- Es herrschen adäquate Arbeitsbedingungen vor (12 Interviews)

Beweggründe für Unternehmen Home-Office zu ermöglichen (3) wurden in 14 der 35 Interviews codiert, Gründe Home-Office zu begrenzen hingegen nur in 7 Interviews. Für Unternehmen kann das Angebot von Home-Office wie in 13 Interviews beschrieben Vorteile im „War of Talent“ mit sich bringen bzw. die Attraktivität des Unternehmens als Arbeitgeber erhöhen. Darüber hinaus stellen auch Einsparpotentiale (Energie und Kosten bzw. Flächen) möglicherweise einen Beweggrund dar. Hemmend (3) kann hingegen der Wunsch nach Kontrolle (4 Interviews) oder Unsicherheit/Skepsis und Gewohnheit wirken (3 Interviews).

Es lässt sich an dieser Stelle bezogen auf den vorliegenden Datensatz / die vorliegende Codierung zusammenfassend festhalten, dass die individuelle, persönliche und situationsabhängige Bewertung der Umstände bedeutend ist für die Entscheidung für oder gegen das Büro bzw. das Home-Office. Als Grundgemeinsamkeit wird hier das Bestreben eine Optimierung der eigenen Situation vorzunehmen bzw. das Abwägen der Vor- und Nachteile vermutet – in einer der beiden Formen codiert wurde dies allerdings nur in 7 von 35 Interviews. Gleichzeitig besteht Einfluss durch das Unternehmen bzw. die Führungskraft auf den Rahmen- und das Ausmaß der Home-Office-Nutzung. Auffällig ist, dass von Seite der Mitarbeitenden das Einsparen von Emissionen (einziges Motiv mit direktem Nachhaltigkeitsbezug) in nur einem Interview genannt wurde.

Unter den Auswirkungen auf verschiedene Lebensbereiche (6) wird im Kategoriensystem differenziert zwischen Auswirkungen auf den Arbeitsalltag und die -abläufe (in 35 Interviews thematisiert), den privaten Bereich (in 35 Interviews thematisiert), die Schnittstelle zwischen Arbeit und Privatem (Codierung in 26 Interviews vorgenommen) und auf die Gesellschaft (in 2 Interviews angeschnitten). Die am häufigsten vergebenen Kategorien sind der Wegfall von Pendelwegen (32 Interviews, inkl. Unterkategorien 33 Interviews), die flexible Gestaltung technischer Ausstattung (31 Interviews, inkl. Unterkategorien 35 Interviews), die Nutzung digitaler Kommunikation (31 Interviews, inkl. Unterkategorien 33 Interviews) und die Tatsache, dass in Folge der Arbeit von zu Hause nicht alle Mitarbeitenden gemeinsam im Büro anwesend sind (25 Interviews, inkl. Unterkategorien 31 Interviews) genannt. Als Folge unter „Allgemeine Nutzung digitaler Kommunikation“ tritt die gezielte Nutzung persönlicher / vor Ort Gespräche am häufigsten auf (21 Interviews inklusive spezifizierender Unterkategorien); unter „Keine gemeinsame Anwesenheit aller MA im Büro in Präsenz“ das Wegfallen des spontanen Austauschs (19 Interviews ohne Unterkategorien) und unter „Wegfallen von Pendelwegen“ die Zeitersparnis (23 Interviews ohne Unterkategorien) gefolgt von Folgen in Bezug zum Wohn- und Arbeitsort (Gruppe, 20 Interviews inklusive spezifizierender Unterkategorien). Aus mehr Zeit, die zu Hause verbracht wird, wurden unter den Auswirkungen auf den privaten Bereich in 14 Interviews Aspekte (inklusive Unterkategorien) codiert. Darunter fallen monotonere Tagesabläufe, weniger Bewegung, verschiedene Auswirkungen auf das Familienleben (sowohl positiv als auch negativ konnotiert – in Summe häufigste Subkategorien-Gruppe) aber auch Mehrkosten und entfallende Vorzüge des Büros. Die häufigste Schnittstelle mit Codierung in 22 Interviews (inklusive Subkategorien) ist die „Veränderte Tagesstruktur/Arbeitstag durchwachsen“, gefolgt von Entgrenzung (in 13 Interviews, inklusive Subkategorien).

Um die Arten der Auswirkungen von Home-Office-Nutzung ordnen und charakterisieren zu können wurde das in Abbildung 3 gezeigte Schema entwickelt:

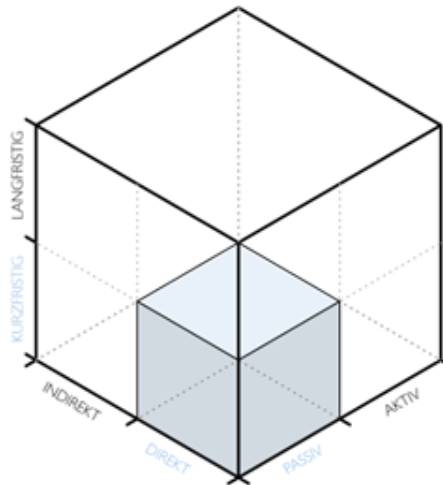


Abbildung 3: Schema zur Differenzierung verschiedener Auswirkungstypen

Es wird zwischen drei Dimensionen differenziert: Dem Zeitpunkt des Auftretens einer Folge (kurz- oder langfristig), der Position in der Abfolge mehrerer Auswirkungen (direkt oder indirekt) und der Auslösungsart (aktiv oder passiv). Das Wegfallen von Pendelwegen und der gemeinsamen Anwesenheit stellen entsprechend kurzfristige, direkte, passive Folgen dar, die bei Home-Office-Nutzung impliziert sind. Die technische Flexibilität und die Nutzung digitaler Kommunikation werden als kurzfristige, direkte, aktive Folgen eingeordnet. Diese beiden Aspekte stellen eine Notwendigkeit im Zuge der Arbeit von zu Hause dar, müssen jedoch aktiv umgesetzt werden (kein Automatismus).

Die Auswirkungen auf den Menschen / die Person (7) (in 34 Interviews Codierungen vorgenommen) sind untergliedert in folgende 4 häufigste Gruppen (inkl. Subkategorien): psychische Gesundheit (19 von 35 Interviews), körperliche Gesundheit (10 Interviews), Auswirkungen auf die Leistung (27 Interviews) und zwischenmenschliche Auswirkungen (19 Interviews). Die am häufigsten vergebene Einzel-Kategorie besagt, dass die Leistung unabhängig vom Arbeitsort ist, Home-Office also keine Auswirkung auf die Leistung hat (21 von 35 Interviews).

Neue Wünsche, Bedürfnisse und Perspektiven im Zuge des Home-Office (8) wurden in allen Interviews thematisiert. Kategorien der Gruppen „Übergeordnete Entwicklungen“ und „Materiellen Anpassungen“ wurden in jeweils 27 der Interviews vergeben. Die am häufigsten vermutete übergeordnete Entwicklung „Hybrides Arbeiten als Lösung der Zukunft“ wurde inklusive Subkategorien in 23 Interviews vergeben. Unter den materiellen Anpassungen wurde am häufigsten ein Wandel von Bürostrukturen (inklusive Subkategorien) genannt (24 von 35 Interviews). Darunter wiederum wurde vermehrt der Einsatz von Desk-Sharing angemerkt (20 Interviews). Eine Umfrage aus dem Jahr 2023 hat gezeigt, dass 82% der befragten bereits Desk-Sharing nutzen (Drees und Sommer, 2023).

Neue Sorgen, Vorbehalte und Schwierigkeiten im Zuge des Home-Office (9) wurden in 24 Interviews codiert. Die häufigste Gruppe mit Codierungen in 17 Interviews bilden hier die „Arbeits-/Teambezogenen Sorgen“. Darunter wiederum bereitet am häufigsten eine Anonymisierung in Folge der Home-Office-Nutzung Sorgen (10 Interviews).

Bezüglich der neuen Wünsche, Bedürfnisse und Perspektiven auf der einen Seite und der neuen Sorgen, Vorbehalte und Schwierigkeiten auf der anderen Seite, ist anzumerken, dass eine Differenzierung hier nicht immer trennscharf erfolgen kann. Wenn beispielsweise angemerkt wird, dass zukünftig über die Nutzung von Desk-Sharing nach zu denken ist, wird dies zunächst als Perspektive unter 8) codiert. Folgt im Anschluss darauf bezogen eine sorgenvolle Bewertung, wird dies ebenfalls als Bewertungssubkategorie unter 8) aufgenommen.

Darüber hinaus werden (vermutete) Zusammenhänge zwischen Home-Office und Energieeinsparungen erfasst (10). Diesbezüglich wurden diverse Aussagen, die teils – so der subjektive Eindruck der Codierenden – von Unsicherheit begleitet sind, getätigt. Am häufigsten (in 16 Interviews) wurde eine Umlagerung der Verbräuche vom Arbeitgeber auf die Arbeitnehmenden bei Home-Office-Nutzung angegeben. Eine ausführliche Betrachtung erfolgt im weiteren Verlauf des Berichts.

Abschließend werden vorteilhafte Aspekte/Voraussetzungen hinsichtlich der Arbeit von zu Hause (11) gesammelt. Es wird differenziert zwischen vorteilhaften Verhaltensmustern, vorteilhafter Privat- und Arbeitssituation sowie förderlichen persönlichen Ressourcen. Ein Team, das sich lange kennt, wurde am häufigsten als vorteilhaft eingeschätzt, wenn auch von zu Hause gearbeitet wird (7 Interviews). In Summe wurden jedoch eigenschaftsbezogenen Aspekte / persönliche Ressourcen am häufigsten als Vorteile aufgeführt (15 Interviews).

Abbildung 4 (bearbeiteter Screenshot aus MAXQDA) stellt die 15 häufigsten Kategorien (unabhängig von der Ebene im Kategoriensystem) dar mit Kennzeichnung der häufigsten Kategorie je Oberkategorie. Die schwarz, gestrichelte Linie stellt dar welche Kategorien in mindestens 2/3 der Interviews vergeben wurden.

Codehäufigkeiten

Einheit: Dokumente mit jeweiligem Code

	Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
6)_B_a Wegfallen von Pendelwegen	32	91,4	91,4
6)_A_a Flexible Gestaltung der technischen Ausstattung	31	88,6	88,6
6)_A_b Allgemeine Nutzung digitaler Kommunikation (+)	31	88,6	88,6
4)_E_c_1 Wegfallen von Pendelwegen	25	71,4	71,4
4)_D_a_1 "Nutzung" sozialer Umstände	25	71,4	71,4
6)_A_c Keine gemeinsame Anwesenheit aller MA im Büro in Präsenz	25	71,4	71,4
2)_A_b Arbeit ist digital ausführbar	24	68,6	68,6
6)_B_a_f5 Zeitersparnis	23	65,7	65,7
6)_A_c_m1 Organisation im Team / Planung von Treffen	21	60,0	60,0
7)_E_b Leistung unabhängig vom Arbeitsort	21	60,0	60,0
1)_B Flexibilität als maßgebender Vorteil	21	60,0	60,0
8)_D_b_2 Desk-Sharing	20	57,1	57,1
6)_A_a_f1 Ausstattung schlechter im HO (nicht-flexible Elemente)	20	57,1	57,1
6)_A_c_f1 Wegfallen des spontanen Austauschs zwischen den MA	19	54,3	54,3
5)_C Führungskraft	18	51,4	51,4

Abbildung 4: Übersicht der häufigsten Kategorien (bearbeiteter Screenshot MAXQDA)

Im nächsten Schritt werden verschiedene Personen- und Themengruppen verglichen/untersucht. Zunächst erfolgt eine Betrachtung der verschiedenen Funktionsträgergruppen:

Die Gruppe der Führungskräfte zeichnet sich durch einen erhöhten Anteil der Beschäftigten aus Unternehmen B (64% - 14 von 22) und einen leicht erhöhten Anteil an Personen mit Beschäftigungsdauer von 5 bis unter 10 Jahren aus. In 17 der 22 Interviews wurde angegeben, dass die Leistung unabhängig vom Arbeitsort sei (Gesamtstichprobe: 21 von 35 Interviews). Der Anteil der hierbei Unternehmen B zuzuordnenden Codierungen (13 der 17 Codierungen) ist erhöht im Vergleich zum Anteil von B. Es ist also nicht auszuschließen, dass ein Zusammenhang zwischen der häufigen Vergabe dieser Kategorie und der Zugehörigkeit zu Unternehmen B besteht und das Auftreten folglich unabhängig von der Funktion „Führungskraft“ ist. Darüber hinaus ist anzumerken, dass teils auch gegenläufige (eigene oder stellvertretende) Meinungen geäußert wurden, die auf eine ineffizientere Bewältigung von Aufgaben bei Arbeit von zu Hause schließen lassen. Darüber hinaus tauchen ab der 50%-Grenze das Motiv bei Arbeit von zu Hause Ablenkungen im Büro zu vermeiden, die Perspektive des hybriden Arbeitens als Lösung der Zukunft und die Aussage, dass bisher keine tatsächlichen Veränderungen des Wohnortes im Zuge der Arbeit von zu Hause feststellbar seien, neu auf. Auch diese Kategorien betreffend lässt sich wie zuvor eine Prägung durch die Zugehörigkeit zu Unternehmen B nicht ausschließen. Hinzukommt, dass das hybride Arbeiten als Lösung der Zukunft hier mit 50% zwar neu oberhalb des definierten Grenzwertes auftaucht, in der Gesamtstichprobe jedoch ebenfalls in gerundet 49% der Interviews vertreten ist.

In der Gruppe „HR“ ist der Anteil männlicher Interviewteilnehmender sowie Teilnehmender mit Zugehörigkeit zu Unternehmen A erhöht. Auch die Altersgruppen 30 bis 39 und 40 bis 49 sind stärker vertreten sowie die Personen mit Beschäftigungsdauer von 5 bis unter 10 Jahren. Unter den Befragten des Bereiches HR herrscht Konsens bezüglich der Erhöhung der Auftraggeber-Attraktivität durch das Angebot von Home-Office (8 von 8 Interviews). Darüber hinaus wird in jeweils 6 der 8 Interviews die Führungskraft als übergeordneter Einflussfaktor genannt und von einer Effizienzsteigerung durch digitale Kommunikation ausgegangen. Dennoch hebt eine teilnehmende Person hervor, dass es ihrer Meinung nach wichtig sei, die Home-Office-Praxis regelmäßig zu hinterfragen und Verbesserungspotentiale ausfindig zu machen. Der Einflussfaktor Führungskraft wurde auch von Interviewten des Unternehmens A überdurchschnittlich häufig genannt, die Anteile des Unternehmens bezogen auf die Vergabe der genannten Kategorie unter den Personen des Bereichs HR entsprechen jedoch denen innerhalb der HR-Stichprobe.

Unter den Befragten aus dem Bereich der Mitarbeitenden-Vertretung sind lediglich Personen der Unternehmen A und B vertreten. Alle Personen dieser Gruppe sind 10 oder mehr Jahre beim Arbeitgeber beschäftigt. In dieser Gruppe besteht Konsens darin, dass der Wegfall von Pendelwegen eine Zeitersparnis mit sich bringt und damit ein Motiv für die Wahl des Home-Office darstellt. Weiteres Motiv für die Arbeit von zu Hause liegt gemäß 3 der 4 Interviews in der Vereinbarkeit von Arbeit und Privatem durch die Nähe von Arbeits- und privatem Aufenthaltsort. Darüber hinaus wird in 75% der Interviews (3 von 4) angegeben, dass aus Sicht der Mitarbeitenden Voraussetzung für die Arbeit von zu Hause dessen

Reversibilität bzw. Freiwilligkeit ist. Ebenfalls in 3 der 4 Interviews wird angegeben, dass Ausstattungsmängel (nicht flexibler-Elemente) im Home-Office (in Teilen) durch das Unternehmen behoben werden. Als übergreifender Einflussfaktor wird auch hier die Führungskraft mehrheitlich (3 von 4 Interviews) genannt. Ebenso häufig wurde das Thema der Entgrenzung codiert.

Letzteres wird ebenfalls von 80% der Befragten aus dem Bereich Gesundheit aufgeführt (4 von 5 Interviews). Darüber hinaus wird ebenfalls von 4 Personen angegeben, dass die Ausstattung (nicht flexibler Elemente) im Home-Office schlechter sei. Eine private Behebung dessen wird in 3 der Interviews genannt. Als Motiv für die Arbeit von zu Hause steht die Weiterarbeit trotz gesundheitlicher Einschränkungen an erster Stelle (4 von 5 Interviews), gefolgt von der Vereinbarkeit von Arbeit und Privatem durch die Nähe von Arbeits- und privatem Aufenthaltsort (3 von 5 Interviews). Unter den Auswirkungen der Home-Office-Nutzung wird der Verlust zwischenmenschlicher Informationen durch digitale Kommunikation (4 von 5 Interviews) sowie die Verschiebung, Umnutzung und Verlängerung von Pausen (3 von 5 Interviews) überdurchschnittlich häufig genannt. Trotz der aufgezeigten Schwierigkeiten wird von dem hybriden Arbeiten als Lösung der Zukunft ausgegangen (4 von 5 Interviews) und eine zukünftige Ausweitung der flexiblen Home-Office-Nutzung angeregt (3 von 5 Interviews). Anzumerken ist, dass in dieser Gruppe überdurchschnittlich viele weibliche Personen vertreten sind (3 von 5).

In der Facility-Management-Gruppe besteht Einigkeit, dass Desk-Sharing zukünftig in Betracht gezogen werden sollte. Darüber hinaus wird in allen 3 Interviews darauf hingewiesen, dass die Einflussnahme auf Einsparungsmaßnahmen (z.B. durch technische Anpassungen) am Bürostandort aufgrund der Zuständigkeiten begrenzt sein kann.

Die Gruppen IT und Mobilität werden aufgrund der geringen Personenanzahl nicht gesondert ausgewertet.

Den Teilnehmenden wird aufgrund ihrer beruflichen Tätigkeit eine hohe Expertise in den jeweiligen Themenbereichen zugeschrieben. Es wird entsprechend davon ausgegangen, dass die im Rahmen der funktionsträgerspezifischen Analyse hervorgehobenen Aspekte, die die jeweiligen Kompetenzfelder betreffen, von besonderer Bedeutung sind. Darauf basierend werden folgende Hypothesen abgeleitet:

- Unternehmen können durch die Ermöglichung von Home-Office ihre Attraktivität als Arbeitgeber steigern.
- Mitarbeitende legen jedoch Wert auf Freiwilligkeit der Inanspruchnahme.
- Vorteile aus Mitarbeitendensicht liegen in der Zeitersparnis durch den Wegfall der Pendelwege sowie in der Vereinbarkeit von Arbeit und Privatem.
- Ein Risiko bei Arbeit von zu Hause kann die Entgrenzung darstellen. Auch kann die Arbeit von zu Hause zur Weiterarbeit trotz gesundheitlicher Einschränkungen verleiten.

- Durch digitale Kommunikation kann eine Effizienzsteigerung erzielt werden, es ist jedoch zu beachten, dass zwischenmenschliche Informationen verloren gehen können.
- Wichtiger Einflussfaktor bei der Umsetzung von Home-Office ist die Führungskraft.
- Hinsichtlich der Gebäudenutzung ist im Zuge der anteiligen Arbeit von zu Hause Desk-Sharing zukünftig zu thematisieren.

Bei Gegenüberstellung der männlichen und weiblichen Kategorienhäufigkeiten oberhalb der 50%-Grenze (Häufigkeit $\geq 50\%$) sind folgende Aspekte auffällig:

- Weibliche Personen gaben überdurchschnittlich häufig (11 von 13 Interviews, 84,6%) an, dass als Maßnahme die Organisation im Team bzw. die Planung von Treffen bei Home-Office-Nutzung vorgenommen werde. Insgesamt wurde die Kategorie in 60% der Interviews vergeben. Bei den männlichen Teilnehmenden taucht diese Kategorie nicht oberhalb der 50%-Grenze auf. Bühner et al. haben mittels qualitativen Interviews mit Innovationsträgerinnen die Rahmenbedingungen für Erfolg von Frauen untersucht. In ihrer Arbeit zeigen sie, dass für die persönliche Leistungsfähigkeit u.a. gute Teamarbeit ausschlaggebend ist und es ratsam ist funktionierende Teamstrukturen zu fördern (Bühner et al., 2009). Boerner legt in ihrer Arbeit dar, dass Frauen häufiger demokratisch-partizipativ führen (Boerner, 2023).
- Männliche Personen erwähnten leicht überdurchschnittlich häufig (14 Interviews, 63,6%), dass die nicht-flexible Ausstattung im Home-Office schlechter sei als im Büro. Allgemein wurde dies in 57,1% der Interviews angemerkt. Bei den weiblichen Teilnehmenden taucht diese Kategorie nicht oberhalb der 50%-Grenze auf. Hierbei ist zu beachten, dass in der Gruppe männlicher Teilnehmender mehr Personen aus Unternehmen A vertreten sind als unter den weiblichen Teilnehmenden (45% bzw. 15%). Auch in der spezifischen Betrachtung des Unternehmens A wird diese Kategorie häufiger im Vergleich zur Gesamtstichprobe aufgeführt (siehe Auswertung Unternehmen A).
- In 50% der Interviews mit männlichen Teilnehmenden werden die Erhöhung der Arbeitgeberattraktivität als Unternehmensmotiv für die Umsetzung von Home-Office und der Aspekt der Umlagerung von Verbräuchen aus dem Büro ins Home-Office neu (im Sinne von oberhalb der 50%-Grenze) genannt. Es ist zu beachten, dass der Anteil der Personen aus dem Bereich HR in der Stichprobe männlicher Teilnehmender etwas höher ist als bei den weiblichen Teilnehmenden (27 % bzw. 15 %). Innerhalb der HR-Gruppe herrscht Konsens bezüglich der Erhöhung der AG-Attraktivität (siehe Auswertung Gruppe HR).
- Bei den weiblichen Teilnehmenden wird perspektivisch das hybride Arbeiten als Lösung der Zukunft in 61,5% der Interviews genannt. Es ist der erhöhte Anteil von Personen aus dem gesundheitlichen Bereich anzumerken, denen diese Kategorie in 80% der Interviews (4 von 5 Gespräche) zugeordnet wurde. Darüber hinaus wird die Vereinbarkeit von Arbeit und Privatem (aufgrund der Nähe von Arbeits- und privatem Aufenthaltsort bei Home-Office-Nutzung) in 53,8% der Interviews mit weiblichen

Teilnehmenden als Motiv für die Arbeit von zu Hause aufgeführt. Beide Kategorien werden hier neu im Sinne von oberhalb der 50%-Grenze aufgeführt. Vergleicht man die gesamte Kategoriengruppe im Kontext „Vereinbarkeit von Arbeit und Privatem“, zeigt sich, dass sowohl bei den männlichen als auch bei den weiblichen Teilnehmenden in ca. 77% der Interviews mindestens eine Kategorie dieser Gruppe vergeben wurde. Schäper et al. legen jedoch in Ihrer Arbeit zum Gender Care Gap dar, dass dieser bis zu einem Alter von 35 bis 39 Jahren kontinuierlich steigt. Frauen in diesem Alter leisten mehr als das doppelte an Care-Arbeit (Schäper et al., 2023).

Es ist festzuhalten, dass einige der Differenzen zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmenden möglicherweise auf andere untersuchte Variablen zurückzuführen sind oder zumindest von diesen verstärkt werden. Lediglich das häufig genannte Ergreifen der Maßnahme sich im Team zu organisieren kann basierend auf den vorliegenden Untersuchungen nicht auf andere Faktoren zurückgeführt werden. Eine mögliche Erklärung für die stärkere Ausprägung im Vergleich zu den männlichen Teilnehmenden liegt im teamorientierten Führungs- und Arbeitsstil weiblicher Personen. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass weitere, nicht untersuchte Einflussfaktoren dahinterliegen.

Im Folgenden werden die 3 Unternehmensgruppen näher betrachtet. Hierzu werden die relevant scheinenden (erhobenen) Charakteristika der Unternehmensstichprobe kurz dargestellt und im Anschluss Kategorienhäufigkeiten in den Kontext gesetzt und ausgewertet. Ausgangspunkt ist der Vergleich der häufigsten vergebenen Kategorien innerhalb der dem Unternehmen zugehörigen Personengruppe mit den Kategorienhäufigkeiten der Gesamtstichprobe.

12 der Interviews wurden mit A-zugehörigen Personen geführt. Die Mehrheit (10 von 12) Personen ist männlich. 8 der 12 Personen sind seit 10 Jahren oder länger im Unternehmen tätig. Die Hälfte der Personen ist der Altersgruppe der 40- bis 49-Jährigen zuzuordnen. Die Anteile der Beschäftigten aus den Bereichen HR, MA-Vertretung und Gesundheit sind im Vergleich zur Gesamtstichprobe erhöht, während der Anteil der Führungskräfte leicht reduziert ist. IT und Mobilität sind nicht vertreten.

Bei Vergleich der Kategorienhäufigkeiten ist auffällig, dass in der betrachteten A-Gruppe sowohl die unter weiblichen Personen überdurchschnittlich häufig genannte Maßnahme der Organisation im Team als auch die unter männlichen Personen häufig genannte Folge der schlechteren nicht-flexiblen Ausstattung im Home-Office unter den häufigsten Kategorien auftritt. Die Maßnahme der Organisation im Team wird hier in 10 von 12 Interviews (ca. 83%) genannt. 8 dieser 10 Personen sind männlich, womit bei nur 2 weiteren männlichen Personen außerhalb von A diese Kategorie vergeben wurde (Insgesamt wurde die Kategorie unter den männlichen Teilnehmenden 10 mal vergeben). Die schlechtere nicht-flexible Ausstattung wurde ebenfalls in 10 von 12 Interviews genannt. In Summe entspricht der Anteil der A-Beschäftigten der Hälfte aller Personen, die diesen Aspekt genannt haben. Da der Anteil der A-Beschäftigten an der Gesamtstichprobe bei nur etwa 34% liegt, lässt sich auch hier von einer überdurchschnittlich häufigen Vergabe der Kategorie ausgehen. Darüber hinaus wird die Entgrenzung als Auswirkung auf die Schnittstelle zwischen Arbeit und Privatem in 75 % (entspricht 9 Interviews) der bei A geführten Interviews aufgegriffen. In Summe wurde diese Kategorie in 12 Interviews vergeben. Die darunter vertretenen

Funktionsträgerschaften sind HR, Gesundheit, MA-Vertretung und Führung zu etwa gleichen Teilen (3 bzw. 4 mal, Doppelfunktionen mitgezählt). Die Führungskraft als übergreifender Einflussfaktor wird in zwei Drittel der A-Interviews genannt. Zusammengefasst scheinen die wichtigen Themen die Zusammenarbeit im Team, Entgrenzung und die Ausstattung im Home-Office zu sein.

17 der Interviews wurden mit Mitarbeitenden des Partners B geführt. Die Mehrheit der Teilnehmenden stammt aus der Gruppe der Führungskräfte (14 Interviews, Doppelfunktionen gezählt). Die Funktion Mobilität ist nicht vertreten. Alle B-seitig teilnehmenden Personen sind seit mindestens 5 Jahren dort beschäftigt. Das Geschlechterverhältnis ist ausgewogen. Die Altersklassen 40 bis 49 und 50 bis 59 sind mit 6 und 7 Teilnehmenden am stärksten vertreten.

In dieser Gruppe ist auffällig, dass die Unabhängigkeit der Leistung vom Arbeitsort und das Thema Desk-Sharing (unter 8) – Neue Wünsche / Bedürfnisse und Perspektiven) überdurchschnittlich häufig (15 bzw. 13 von 17 Interviews) codiert wurden. Darüber hinaus ist neben dem Wegfallen von Pendelwegen und der daraus resultierenden Zeitersparnis, die Vermeidung von Ablenkungen im Büro bei B-Beschäftigten ein häufiges Motiv für die Arbeit von zu Hause.

Weitere 6 Interviews wurden mit C-Mitarbeitenden geführt. Die Verteilung zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmenden ist hier ebenfalls ausgeglichen. Alle interviewten Personen sind seit mindestens 10 Jahren im Unternehmen tätig und zwischen 40 und 59 Jahren alt (1 Interview ohne Altersangabe). In der Gruppe sind alle Funktionen (Führungskräfte am stärksten) vertreten außer MA-Vertretung.

Die Beschäftigten bei C berichteten häufiger verglichen mit der Gesamtstichprobe (4 von 6 Interviews – entspricht etwa 67 %) von einer überwiegend positiv konnotierten Verschiebung, Umnutzung oder Verlängerung von Pausen als Auswirkung auf die Schnittstelle zwischen Arbeit und Privatem. Pausen werden beispielsweise genutzt, um mit dem Partner oder einer Freundin Sport zu treiben. Als Motiv für die Arbeit von zu Hause wird überdurchschnittlich häufig konkret die familienbezogene Vereinbarkeit von Arbeit und Privatem genannt (ebenfalls 4 von 6 Interviews). Für das Büro spricht hingegen laut 4 Teilnehmenden die gebotene Arbeitsausstattung / das Raumangebot. Im Falle der Mitarbeitenden bei C ist damit konkret gemeint, dass die Wohnsituation bzw. der verfügbare Platz mancher Personen, das Arbeiten von zu Hause nicht hergibt. Ausreichender Wohnraum wird entsprechend in 4 Interviews als Vorteil genannt. Die Verfügbarkeit nicht-flexibler Arbeitsausstattung für das Home-Office scheint dabei nicht das Problem darzustellen – in allen C-Interviews wird angegeben, dass bei schlechter nicht-flexibler Ausstattung im Home-Office das Unternehmen Maßnahmen zu Behebung ergreift. Von den konkreten Motiven für das Home-Office bzw. das Büro abgesehen wird in 4 der Interviews dargestellt, dass es sich bei der Entscheidung stets um einen Abwägungsprozess der Vor- und Nachteile handelt. In ca. 83% der Interviews (5 Stück) wurde zudem darauf verwiesen, dass als Voraussetzung für die Nutzung von HO, die Arbeit digital ausführbar sein muss. Dies mag der Tatsache geschuldet sein, dass das Unternehmen erst sehr kurz vor/zur Pandemie einen Digitalisierungsprozess durchgeführt hat und das Thema entsprechend präsent ist. Was die Auswirkungen von Home-Office auf den Energieverbrauch betrifft,

vermutet die Mehrheit der C-Teilnehmenden eine Umlagerung der Verbräuche vom Büro ins HO.

Der Vergleich der Unternehmen lässt vermuten, dass je nach Gruppe und spezifischer Situation unterschiedliche Themen im Fokus der Auseinandersetzung mit der Home-Office-Nutzung stehen: A beispielsweise hat bereits Desk-Sharing eingeführt, wohin gegen bei B die Erkenntnis im Fokus steht, dass Home-Office nicht zu Leistungseinbußen führt (ggf. sogar Ablenkungen vermieden werden können) und über weitere Schritte wie die Einführung von Desk-Sharing nachgedacht wird. C hingegen hat erst kürzlich die eigene Flächennutzung optimiert und an den Bedarf angepasst. Der Fokus scheint hier auf einer persönlichen, oftmals familienbedingten, Optimierung der persönlichen Gesamtsituation zu liegen. Das Unternehmen unterstützt die Nutzung von Home-Office mit Bereitstellung von Ausstattung wie beispielsweise Schreibtischen, vorausgesetzt die Arbeit ist digital ausführbar. C hatte erst kurz vor der Pandemie einen Digitalisierungsprozess durchlaufen, was die Home-Office-Nutzung bzw. die Umstellung enorm erleichtert hat. Dieser Aspekt könnte die Präsenz des Themas im Unternehmen erklären. Limitierender Faktor für die Home-Office-Nutzung ist jedoch teils die beengte Wohnsituation der Mitarbeitenden. A scheint zwar fortgeschritten in Sachen Home-Office-Umsetzung (gemessen an Aspekten wie beispielsweise Desk-Sharing-Anwendung) zu sein, scheint jedoch auch mit den Konsequenzen dessen wie beispielsweise Entgrenzung konfrontiert und Wert zu legen auf die Organisation im Team..

Im Rahmen der bisherigen Auswertungsschritte sind wiederholt Aspekte/Herausforderungen im Kontext von persönlicher Gesundheit, Anonymisierung / Veränderung des Miteinanders / Arbeit im Team und (zukünftiger) Nutzung von Büroräumlichkeiten/-flächen in den Fokus gerückt. Um die Präsenz dieser Themenfelder in dem vorliegenden codierten Datensatz vollumfänglich zu erfassen, erfolgt eine gesammelte Auswertung thematisch verwandter Kategorien:

Betrachtet man die Kategorien im Kontext psychischer Be- und Entlastung durch Home-Office gesammelt, so zeigt sich, dass in 17 von 35 Interviews negative und in 11 der 35 Interviews positive Aspekte geschildert werden. Es ist zu beachten, dass wie der weiteren, teils bereits beschriebenen Codierung, zu entnehmen ist, zahlreiche positive Aspekte in Bezug auf die Home-Office-Nutzung geschildert werden, die möglicherweise auch positiv wirken können. Die hier hinzugezogenen Kategorien (Belastung links und Entlastung rechts) sind in der nachfolgenden Abbildung 5 (Screenshots MAXQDA) dargestellt:

Codehäufigkeiten

Einheit: Dokumente mit jeweiligem Code	Häufigkeit	Prozent
6)_C_b_f1 Belastung kann entstehen	1	2,9
6)_C_c Entgrenzung	12	34,3
7)_B_a Mentale Umstellung	2	5,7
7)_B_a_1 Allein sein	1	2,9
7)_B_b Negative psychische Effekte	0	0,0
7)_B_b_1 Genervtheit/Unzufriedenheit	2	5,7
7)_B_b_2 "Mental Overload" / Psychische Belastung	4	11,4
7)_B_b_3 Überforderung (mit Flexibilität/Freiheiten)	1	2,9
7)_B_b_4 Vereinsamung	4	11,4
7)_B_b_5 Rückfälle psychischer Erkrankung	1	2,9
7)_B_b_6 Alkoholmissbrauch	1	2,9
7)_B_h Begünstigung psych. Erkrankungen durch Verstecken im HO	1	2,9
DOKUMENTE mit Code(s)	17	48,6
DOKUMENTE ohne Code(s)	18	51,4
ANALYSIERTE DOKUMENTE	35	100,0

Codehäufigkeiten

Einheit: Dokumente mit jeweiligem Code	Häufigkeit	Prozent
7)_B_c Höhere Lebensqualität	4	11,4
7)_B_e Gesteigertes persönliches Wohlbefinden	2	5,7
7)_B_f Stressreduktion (+) (-)	5	14,3
7)_B_g Gesteigertes Wohlbefinden	2	5,7
DOKUMENTE mit Code(s)	11	31,4
DOKUMENTE ohne Code(s)	24	68,6
ANALYSIERTE DOKUMENTE	35	100,0

Abbildung 5: Kategorien im Kontext psychischer Belastung (links) und Entlastung (rechts)

Um psychischer Belastung entgegenzuwirken, werden beispielsweise eine visuelle oder räumliche Abgrenzung der Arbeit, das Weglegen des Arbeitshandys am Abend, die (anteilige) Arbeit aus dem Büro und das Angebot von Mental Health Workshops angeregt. Auch Selbstdisziplin wird als förderlich beschrieben. Als Motiv für die Nutzung des Büros bzw. des Home-Office treten gesundheitsbezogene (als psychisch/mentale eingeordnet) Gründe in jeweils in 4 der 35 Interviews auf.

Bezogen auf die körperliche Gesundheit kann die Arbeit von zu Hause bei bestehenden Erkrankungen eine Erleichterung darstellen. Darüber hinaus wird das Motiv bei Home-Office-Nutzung (aus gesundheitlichen Gründen) mehr Sport treiben zu können in einem Interview aufgeführt. Unter den Auswirkungen von Home-Office auf die körperliche Gesundheit wird andererseits aufgeführt, dass sich der Bewegungsablauf bei Arbeit von zu Hause verändert, da der Weg zur Arbeit wegfällt (1 Interview). Darüber hinaus können Bequemlichkeit bzw. Bewegungsmangel (3 Interviews) zu Beeinträchtigungen führen. Darüber hinaus kann es zu einer Gewichtszunahme (1 Interview) kommen, da ggf. weniger Bewegung stattfindet. In einem Interview wird außerdem eine schlechtere Ernährung aufgeführt. Unter den Auswirkungen auf den privaten Bereich wurde codiert, dass Tagesabläufe monotoner werden, was in einem Gespräch als ungesund bewertet wurde, und dass die Notwendigkeit sich zu bewegen entfällt. Auch eine mangelhafte Ausstattung kann gesundheitliche Folgen nach sich ziehen (4 Interviews). Als Maßnahmen bezogen auf manche der genannten körperlichen Beschwerden wird ein aktives Gegenarbeiten bzw. die Beschaffung guter Ausstattung genannt (in Summe 3 Interviews). Auch unter den Wünschen und Perspektiven wurde in 6 Interviews eine bessere Ausstattung durch das Unternehmen im Home-Office angeregt (Anmerkung: nicht in allen codierten Aussagen wird deutlich, welche Art der Ausstattung genau gemeint ist und welches Motiv dahinter steht).

Kategorien mit Bezug zu den bereits thematisierten (negativ assoziierten) Veränderungen des Miteinanders (Anonymisierung, Zusammenarbeit usw.) wurden in 30 der 35 Interviews vergeben. Eine Liste der hinzugezogenen Kategorien ist Abbildung 6 zu entnehmen:

Codehäufigkeiten

Einheit: ← Dokumente mit jeweiligem Code →					
	Häufigkeit	Prozent			
6)_A_b_f5 Sozializing entfällt/reduziert	4	11,4	7)_B_b_4_g1 Mangelnder sozialer Austausch	1	2,9
6)_A_b_f5_b1 Arbeit wird einsamer	1	2,9	7)_D_a Entwöhnung von sozialen Situationen / "Sozialmuskelkater	3	8,6
6)_A_b_f9_2 Negativ, emotionaler (z.B. Vergreifen im Tonfall)	2	5,7	7)_D_b Neid (Nicht-HO-Nutzende)	2	5,7
6)_A_b_f9_4 Anonymisierung	1	2,9	7)_D_c Entfremdung/Teamgefühl leidet (+)	9	25,7
6)_A_c_f1_b1 Verlust einiger Kontakte/Austausch	2	5,7	7)_D_d Spaltung im Unternehmen (2 Klassen)	2	5,7
6)_A_c_f1_b5 Zusammenhalt geschwächt	1	2,9	7)_D_j Kommunikationsdefizit (+)	6	17,1
6)_A_c_f1_b6 Integration neuer Mitarbeitender schwieriger	1	2,9	7)_D_k Unmut bei konstanter Nichtanwesenheit	1	2,9
6)_A_c_f3_b Wird als Verlust empfunden	2	5,7	7)_D_l_b2 Fehlt etwas	1	2,9
6)_A_c_f5 Neue Mitarbeitende geringere Bindung Unternehmen	1	2,9	7)_D_m Soziale Herausforderung für neue MA	1	2,9
6)_A_c_f5_f1 Erhöhte Fluktuation	1	2,9	7)_L Gem. Unternehmenskultur/Zugehörigkeitsgefühl geschwächt	1	2,9
6)_A_c_f6 Wegfallen soziale Komponente/persönliche Gespräche	2	5,7	9)_C_b Geringere Bindung an AG	1	2,9
6)_A_d_1 Mehr Einzelarbeit / Arbeit alleine	2	5,7	9)_C_c Zwei-Klassen-Gesellschaft	1	2,9
6)_A_e Integration neuer Mitarbeitender ins Team schwieriger	9	25,7	9)_C_e Anonymisierung (+) (+)	10	28,6
6)_A_g_b1 Wird als Verlust empfunden	1	2,9	9)_C_e_f1 Geringere Bindung an AG	2	5,7
6)_A_h_b1 Als Verlust empfunden	1	2,9	9)_C_e_f2 Einzelkämpfertum	1	2,9
6)_A_h_f1 Bindung zum Unternehmen geschwächt/schwer aufzubauen	1	2,9	9)_C_e_f3 Fehlender Zusammenhalt	1	2,9
7)_B_b_4 Vereinsamung	4	11,4	DOKUMENTE mit Code(s)	30	85,7
7)_B_b_4_g1 Mangelnder sozialer Austausch	1	2,9	DOKUMENTE ohne Code(s)	5	14,3
			ANALYSIERTE DOKUMENTE	35	100,0

Abbildung 6: Kategorien im Kontext negativ assoziierter Veränderungen des Miteinanders (z.B. Anonymisierung) (Screenshot MAXQDA)

Ursprung gemäß unserer Codierung und der erstellten Hierarchie können sowohl die digitale Kommunikation als auch die mangelnde gemeinsame Anwesenheit darstellen. Teils vorgeschlagene Maßnahmen, um einzelnen Aspekten zu begegnen, umfassen beispielsweise das Schaffen von Begegnungsmöglichkeiten, Team-Events oder gemeinsamen Pausen.

Bezogen auf die Nutzung der Büroräumlichkeiten wurden in 25 Interviews Kategorien vergeben, die auf eine ineffiziente Nutzung von Flächen hindeuten könnten:

Codehäufigkeiten

Einheit: ← Dokumente mit jeweiligem Code →				
	Häufigkeit	Prozent		
10)_D_a Einsparung durch Flächenreduktion	10	28,6		
3)_A_a Wirtschaftlichkeit: Langfristig Flächenreduzierung	2	5,7		
3)_A_e Einsparungen (z.B. Energie)	1	2,9		
8)_D_a Prüfung Bedarf geplanter Baumaßnahmen	1	2,9		
8)_D_b_2 Desk-Sharing	20	57,1		
8)_D_b_3 Desk-Sharing und Spezialbereiche mit festen Plätzen	1	2,9		
8)_D_b_7 Flächenreduktion	3	8,6		
8)_D_b_8 Optimierung Flächennutzung	5	14,3		
DOKUMENTE mit Code(s)	25	71,4		
DOKUMENTE ohne Code(s)	10	28,6		
ANALYSIERTE DOKUMENTE	35	100,0		

Abbildung 7: Kategorien im Kontext ineffizienter Flächennutzung (Screenshot MAXQDA)

Optimierungspotentiale werden wie aus der Abbildung ersichtlich in verschiedenen Kontexten (3, 8 und 10) genannt. Es ist jedoch zu beachten, dass teils gleichzeitig Bedenken gegenüber Konzepten wie Desk-Sharing geäußert werden und auch Meinungen vertreten

sind, die beispielsweise keine Reduzierungsmöglichkeit aufgrund geringer Kalkulierbarkeit auch zukünftiger Bedarfe sehen.

Bezogen auf die vorliegende Datenbasis, die vorgenommene Codierung und die durchgeführten Auswertungsschritte leiten wir interviewübergreifend die folgenden zwei, potentiell konflikträchtigen Spannungsfelder ab:

Mitarbeitende scheinen aus diversen, von der individuellen Situation abhängigen Gründen das Home-Office als Arbeitsort zu wählen. Auf übergeordneter Ebene können die gleichen Faktoren sowohl Gründe für die Arbeit aus dem Büro als auch aus dem Home-Office darstellen. Ablenkungen beispielsweise können im privaten Umfeld durch die Familie bestehen und im Büro durch das Kollegium. Auffällig ist, dass die Stärken der beiden Standorte zugleich deren Schwächen darstellen können. Die Anwesenheit von Kolleg*innen ist gemäß unserer Auswertung Hauptmotiv für die Arbeit am Unternehmensstandort, kann jedoch wie zuvor beschrieben auch als störend empfunden werden und die Wahl des Home-Office als Arbeitsort begünstigen. Darüber hinaus ist die Bewertung der Umstände ausschlaggebend: Pendelwege können einerseits als lästig empfunden werden gleichzeitig aber auch eine Abgrenzung von der Arbeit begünstigen. Die spezifischen Gründe reichen u. a. von gesundheitlichen Aspekten über zeitliche und organisatorische Faktoren bis hin zu leistungsbezogenen Motiven. Gemeinsamer Kern scheint das Bestreben Vorteile für sich zu nutzen, um eine Verbesserung/Optimierung der persönlichen Situation vorzunehmen. Dem entgegenstehen können gesundheitliche Herausforderungen wie beispielsweise Entgrenzung oder körperliche Belastung. Im Rahmen der Interviews wurden verschiedene Ansätze und vorteilhafte Rahmenbedingungen genannt, um Herausforderungen anzugehen. Dazu zählen Facetten der Persönlichkeit (z.B. Selbstdisziplin), erlernbares Wissen und Fähigkeiten (z.B. Workshops zu spezifischen Themen), die Umgebung (z.B. abgegrenzter Arbeitsbereich zu Hause) und der weitere Rahmen der Home-Office-Nutzung (z.B. Home-Office-Anteil). Mögliche Maßnahmen werden im weiteren Verlaufe des Berichts detailliert dargelegt und deren Umsetzbarkeit eingeordnet.

Auch unternehmensseitig können Interessenskonflikte bezüglich der Genehmigung von Home-Office bestehen. Einerseits können Vorteile bei der Gewinnung von Personal erzielt und die Zufriedenheit der Mitarbeitenden gesteigert werden. Auch wirtschaftliche Einsparungen in Bezug auf Flächen, Energie und Kosten können einen Anreiz darstellen. Andererseits mag Skepsis und Unsicherheit in Bezug auf die neue Arbeitsform bestehen. Ebenso kann der Wunsch Mitarbeitende an den Unternehmensstandort zu binden eine Begrenzung der Home-Office-Nutzung begünstigen.

Die nachfolgende Abbildung 8 stellt die beschriebenen Interessenskonflikte bezogen auf die Nutzung / den Standort des Home-Office dar:

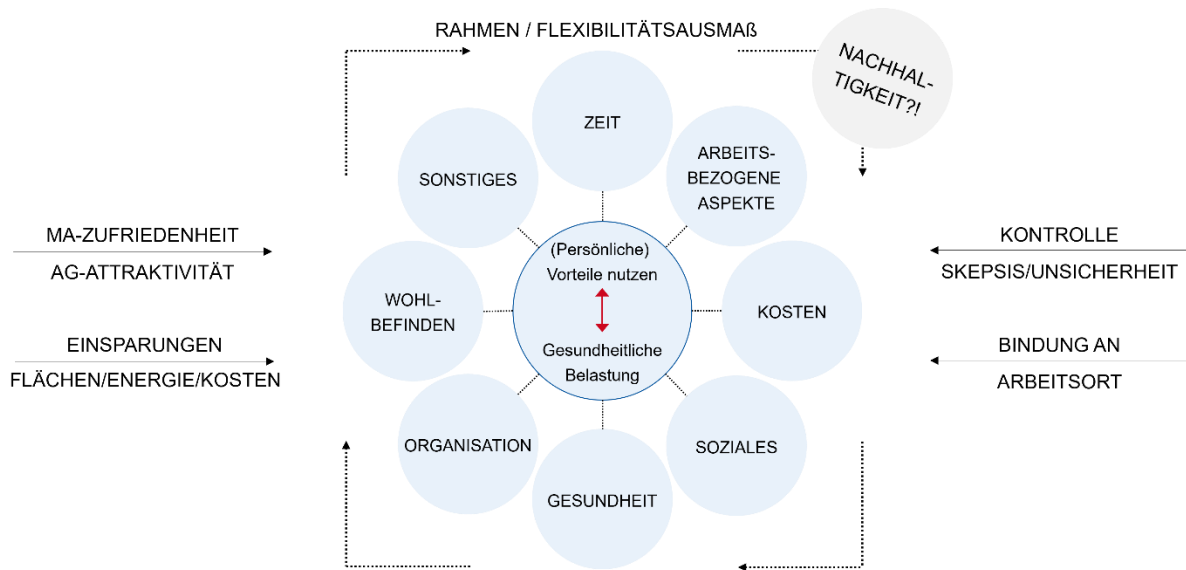


Abbildung 8: Spannungsfeld Home-Office

Die anteilige Arbeit von zu Hause geht notwendigerweise mit digitaler Kommunikation einher und impliziert einen Rückgang der gemeinsamen Anwesenheit vor Ort. Die Begegnung mit Kolleg*innen ist gemäß unserer Analyse ein Hauptmotiv für die Arbeit aus dem Büro und kann gleichzeitig dazu beitragen Risiken im Miteinander entgegenzuwirken. Zum Beispiel Präsenztreffen, Team-Events und der Wandel des Büros (z. B. hin zu einem Ort der Begegnung - 3 Interviews) stellen Ansätze dar zusammen zu kommen bzw. auch zukünftig der neuen Arbeitsform gerecht zu werden. Gleichzeitig scheint ein Nutzungsrückgang der Büroräumlichkeiten eine (zukünftige) Anpassung der Flächennutzung nahe zu legen, beispielsweise in Form von Desk-Sharing. Es stellt sich die Frage inwiefern dies den Bestrebungen entgegen steht den Mitarbeitenden die gemeinsame Anwesenheit vor Ort zwecks Austauschs und Kommunikation zu ermöglichen. Darüber hinaus ist zu beachten, dass vor allem die mit Home-Office einhergehende Flexibilität von Mitarbeitenden geschätzt wird. Außerdem sollte die Freiwilligkeit der Arbeit von zu Hause stets gegeben sein. Die nachfolgende Abbildung 9 fasst den beschriebenen Konflikt bezogen auf den Standort Büro zusammen:

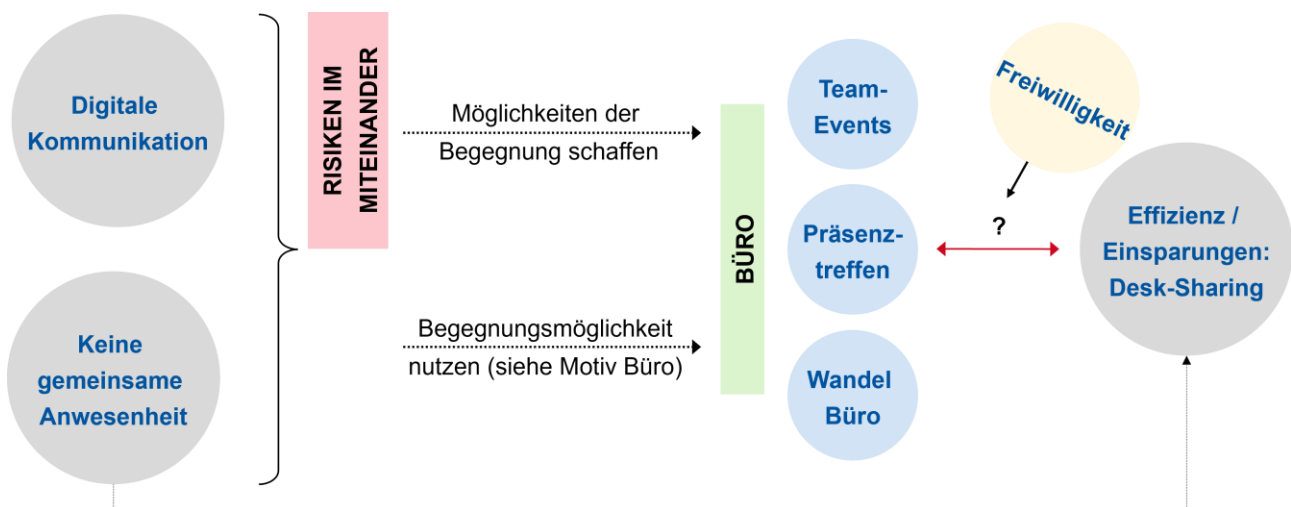


Abbildung 9: Spannungsfeld Standort Büro

Abschließend werden die beiden Kernfragestellungen des Projektes adressiert: Es erfolgt eine thematische Auswertung von Kategorien im Kontext von Energieverbräuchen bzw. weiter gefasst der Nachhaltigkeit. Darüber hinaus werden basierend auf den vorangegangenen Auswertungsschritten mögliche Maßnahmen und potentielle Kriterien für eine verbesserte Home-Office-Nutzung abgeleitet.

Bezogen auf das Thema Nachhaltigkeit wurden in 25 Interviews übergeordnete Einschätzungen codiert – die Antworten variieren: Einige Personen vermuten Einsparungen / Nachhaltigkeit durch die Arbeit von zu Hause, sehen Potentiale oder halten Einsparungen im Büro für relevant; weitere Personen sehen das Vorhalten mehrerer Optionen/Räume kritisch, gehen von einer Umlagerung von Verbräuchen oder der Nachhaltigkeit als Schutzbehauptung bzw. Mitnahmeeffekt aus. Es ist anzumerken, dass teils Unsicherheit bezüglich der Einschätzung mitzuschwingen scheint. Teils wurde explizit angegeben, dass unklar sei, welche Effekte wie stark ins Gewicht fallen. Die nachfolgende Abbildung 10 zeigt einige im Rahmen der Interviews genannte Chancen und Grenzen für Nachhaltigkeit und Einsparungen. Diese wurden unter 10) (auch über die übergeordneten Einschätzungen hinaus) codiert. Inwiefern Home-Office tatsächlich nachhaltig ist oder nicht, kann basierend auf der vorliegenden Codierung / den Daten nicht beantwortet werden – entsprechend steht die Darstellung verschiedener Perspektiven und Ansätze hier im Fokus. Über die in der Übersicht aufgeführten Aspekte hinaus können finanzielle Gründe, Zuständigkeiten / Einflussmöglichkeiten, die Dauer der Umsetzung oder auch gesundheitliche Aspekte Anpassungen entgegenstehen.

	(Einspar-) Potentiale / Chancen	Nachteile / Grenzen
Verkehr	Mehr Freiräume in Städten / Weniger Autos, Einsparungen durch Wegfall Pendelwege	Flexibilitätswunsch nicht vereinbar mit Fahrgemeinschaften
Bürogebäude	Flächeneinsparungen, Teilbeheizung, Einsparung Strom/Wasser/Heizung bei hohem HO-Anteil, Abschalten von Fahrstühlen, neue sparsame Gebäudekonzepte	Geringe Kalkulierbarkeit als limitierender Faktor für Flächeneinsparungen, Aufheizen bei Nutzung Büro notwendig (bei Teilbeheizung/Abschalten), zentrales Großraumbüro effizienter als Einzelwohnungen
Technik Büro	Nutzungsabhängige Beleuchtung, Automatisierung / Steuerung von Technik (Lüftung/Heizung), Austausch veralteter Technik, Energetisches Bauen, Erneuerbare Energie	„Eigenarten“ des Gebäudebestands, Moralische/Psychische Komponente erschwert Steuerung/Automatisierung
Verhalten	Kollektives HO, Abschalten von Funktionen im Büro bei Abwesenheit, Verhaltensanpassungen (Licht usw. aus bei Abwesenheit, Türen zu beim Heizen; Sensibilisierung und Eigendisziplin gefordert oder ggf. Zeitschaltuhren), Videofunktion nicht nutzen	Persönlicher finanzieller Anreiz: Zuhause müssen Verbräuche selbst bezahlt werden – fördert sparsames Verhalten (im Büro nicht), Einsparmöglichkeiten sind situationsabhängig

Abbildung 10: Übersicht der codierten Chancen und Grenzen in Bezug auf Energieeinsparungen / Nachhaltigkeit

Durch die hierarchische Strukturierung des Kategoriensystems und die Kennzeichnung von explizit als Maßnahmen codierten Inhalten (über das Kürzel „_mZahl“) können diese über die Suchfunktion in MAXQDA herausgefiltert werden. Um Struktur in die Vielfalt der genannten Maßnahmen zu bringen, sortieren wir diese in folgende Bereiche ein (doppelte Einsortierung und Zusammenfassung möglich; keine Einsortierung sofern stark unpassend): Es wird differenziert zwischen Maßnahmen, die Individuen, Unternehmen/Führungskräfte oder Teams ergreifen können sowie übergreifenden Maßnahmen. Neben den Akteuren stellt die Art der Maßnahme ein weiteres

Differenzierungskriterium dar. Hier wird unterschieden zwischen spezifischen Handlungen, organisatorischen Anpassungen und Kompetenzentwicklung. Der Spezifitätsgrad der Maßnahmen variiert je nach im Interview getätigter Äußerung. Die folgende Abbildung 11 gewährt eine Übersicht über die verschiedenen genannten Maßnahmen. Die Maßnahme „Zusätzliche Fahrten ins Büro“ (arbeitsunabhängig, zwecks Nutzung der Kantine in der Mittagspause) ist hier ausgegraut, da sie bei Umsetzung Einsparungen durch Wegfallen der Pendelwege zu Nichte macht und insofern mit Blick auf Nachhaltigkeit nicht zu empfehlen ist.

	Spezifische Handlungen	Organisation	Kompetenzen
Als Individuum	Für gute Ausstattung im HO sorgen, Räumliche/Visuelle Abgrenzung der Arbeit (HO), Arbeitshandy weglegen, Bewegung/Sport im Alltag, Fitness aktiv stärken, Maßnahmen/Gegensteuern gegen Vereinsamung, Zusätzliche Fahrten ins Büro (z.B. Mensanutzung)	Neue Regelungen in Familien (bei HO), Flexible digitale Erreichbarkeit, Flexible Strukturierung von Präsenztagen, Bewusstes Zeitnehmen für Arbeit oder Privates (Entscheiden)	Zeitmanagementkompetenz / bewusster Umgang mit Zeit, Vertrauen in neue Funktionen bei digitaler Kommunikation, Gute Planung bei digitaler Kommunikation, Strategien zum Abschalten, Freizeit im Kopf schützen, Mental Health Workshops, Wissen bezgl. guter Ausstattung im HO, Sensibilisierung/Eigendisziplin (Energieeinsparungen), Selbstdisziplin (Abgrenzung Arbeit und Privates), Ehrlichkeit in Bezug auf Arbeitszeit
Als Team	Team-Events, Präsenztermine, hybride Meetings, informelle digitale Meetings und mehr offizielle Meetings, gemeinsame Pausen	Organisation im Team, Meetings je nach Typ bewusst in Präsenz abhalten, Spontanen Austausch erhalten	Austausch im Team, um Unterstützungsbedarf zu identifizieren (Fragen stellen), Vorbildfunktion
Als Führungskraft / Unternehmen	Gute Ausstattung im HO ermöglichen, Workshops/Informationsangebote für MA, Weiterbildung Schulung selbst besuchen, Unterstützung der MA z.B. bei Verschiebung Arbeitszeiten in die Nacht, Einstellung zusätzlicher MA, Team-Events	Organisation bei Wandel Büro (z.B. Reservierungssysteme bei Desk-Sharing), Zeitschaltuhren um Einsparpotentiale zu nutzen	Höhere Sensibilität, Vorbildfunktion, Vertrauen ggü. MA (Vorschuss durch Führungskraft/ Unternehmen)
Übergreifend	Mehr Büroanteil, Arbeit im Büro wählen, Präsenz beibehalten, nicht zu viele HO-Tage am Stück, Mischung HO/Büro Soziale Perspektive auf Themen		

Abbildung 11: Übersicht der codierten Maßnahmen

Darüber hinaus sind die unter 11) im Kategoriensystem gesammelten vorteilhaften Rahmenbedingungen für Home-Office-Nutzung in diesem Kontext hinzuzuziehen. Im Sinne einer nutzungsorientierten Herangehensweise wird angestrebt nach Grad der Einflussnahmemöglichkeit zu differenzieren: Einige der vorteilhaften Rahmenbedingungen können eher nicht oder nur schwer durch die aus dem Home-Office tätigen Mitarbeitenden zu ihrem Vorteil verändert werden. Dazu zählt beispielsweise, wie lange sich das zusammenarbeitende Team kennt und wie bekannt die auszuführenden Aufgaben sind (Bekanntheit des Teams und der Aufgaben von Vorteil). Aber auch Faktoren wie ein hohes Einkommen, ausreichend Wohnraum, eine strukturgebende familiäre Situation, ein hoher Bildungsgrad und vorhandene Berufserfahrung können sich positiv auswirken, sind jedoch nicht ohne weiteres / kurzfristig anpassbar. Auch die persönlichen Ressourcen wie zum Beispiel Disziplin, Eigeninitiative, Selbstorganisation, Vermögen zur Reflexion, Anpassungsfähigkeit und Umgang mit der neuen Müdigkeit können mitunter schwer beeinflussbar sein. Die aufgeführten Aspekte dienen entsprechend eher der Reflexion und Einschätzung der eigenen Situation. Sofern möglich kann es sich anbieten Störungen durch andere anwesende Personen im Home-Office zu meiden und Arbeit und Privates räumlich voneinander abzugrenzen – auch dies ist jedoch ggf. mit erheblichem Aufwand verbunden. Den niederschwelligsten Handlungsansatz bieten mutmaßlich verhaltensorientierte Aspekte. Dazu gehört das Einhalten eines Tagesrhythmus inklusive Pausen und Randzeiten, die Stärkung des sozialen Umfeldes sowie ausreichend Kommunikation mit Kolleg*innen. Auch eine intensive Auseinandersetzung mit der eigenen Home-Office-Nutzung und die Nutzung gegebener Handlungsspielräume kann gewinnbringend sein. Es

ist zu vermuten, dass die genannten Aspekte nicht unabhängig voneinander sind: Ein hohes Maß an Disziplin oder eine räumliche Abgrenzung könnten beispielsweise das Einhalten von Randzeiten / das Setzen von Grenzen erleichtern. Sollten sich schlussendlich keine möglichst schadensfreie Home-Office Nutzungspraktik etablieren lassen, kann auch die Reduktion des Home-Office Anteils zu Gunsten der Präsenzarbeit eine Lösung darstellen. Die Frage, die sich an dieser Stelle aufdrängt, ist, ob von Home-Office (in seiner aktuellen Gestalt) langfristig vor allem ohnehin privilegierte Teile der Gesellschaft profitieren, ggf. sogar zum Nachteil von Personen, die aufgrund der gegebenen Rahmenbedingungen nicht sinnvoll von zu Hause arbeiten können. Als Beispiel sei hier eine flächendeckende Einführung von Desk-Sharing genannt – die Nachteile dessen würden je nach Umsetzung alle Mitarbeitenden betreffen, wohingegen ein Teil der Belegschaft keine ausgleichenden Vorteile für sich ziehen könnte. In diesem Sinne sollten nach Meinung der Forschenden Home-Office-Konzepte auch soziale Aspekte berücksichtigen.

Diskussion, Fazit und weitere Verwendung:

Die dargestellten qualitativen Auswertungsergebnisse basieren auf Interviews, die im Rahmen des Projektes geführt wurden – die Eigenheiten der Methodik (Stärken und Schwächen) sind bei Verwendung der Ergebnisse zu beachten. Es handelt sich um exemplarische, subjektive und kontextgeprägte Erfahrungen. Weder kann eine allgemeine Gültigkeit abgeleitet werden, noch handelt es sich um eine vollumfängliche Darstellung möglicher Szenarien. Die hier dargestellten Ergebnisse bietet einen Einblick in die Nutzung von Home-Office aus verschiedenen Perspektiven. Dargestellte Häufigkeiten sind aus den zuvor geschilderten Gründen mit Vorsicht zu betrachten. Ebenso sind Gruppen-spezifischen Auffälligkeiten kritisch zu hinterfragen – der Einfluss anderer erhobener, oder auch weiterer unbekannter Variablen kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Vorteil der qualitativen Herangehensweise ist die tiefergehende Auseinandersetzung mit der Thematik, die es ermöglicht Zusammenhänge nachzuvollziehen und ein besseres Verständnis für komplexe (Handlungs-)Konstrukte zu entwickeln; Nachteil ist die mit der Vorgehensweise einhergehende Subjektivität und Fehleranfälligkeit.

Home-Office bringt sowohl Vor- als auch Nachteile mit sich. Um diese Vorteile bewusst zu nutzen und Nachteile zu umgehen oder zu kompensieren, existiert eine Vielzahl an Ansätzen und Strategien. Am Ende bleibt es mutmaßlich bei einer stark individuell geprägten Abwägung zwischen den jeweiligen Vor- und Nachteilen. Langfristige Folgen sowohl Einzelpersonen als auch Teams betreffend sind möglicherweise teils nur schwer absehbar, sollten jedoch ebenso (bei der Entscheidungsfindung) Berücksichtigung finden. Ziel der qualitativen Hinweise ist es einen „Blick über den Tellerrand“ zu ermöglichen, von den Erfahrungen anderer zu profitieren, und Personen und Unternehmen dazu zu befähigen möglichst fundierte Entscheidungen bezüglich Home-Office zu treffen. Eine überlegte, individuelle Umsetzung neuer Arbeitskonzepte steht dabei im Fokus. Das kontinuierliche/regelmäßige Hinterfragen der eigenen Home-Office-Praxis, auch bei sich ändernden Rahmenbedingungen, ist essenziell (wie auch im Rahmen der Interviews beschrieben).

Die Analyse möglicher Maßnahmen/Kriterien im Kontext der Home-Office-Nutzung wurde gezielt für das in AP8 umgesetzte Tool vorgenommen. Für die weitere Verwendung wurden

thematische Gruppierungen geeigneter Maßnahmen vorgenommen auf denen basierend kurze erläuternde Hinweis-Texte erstellt wurden. Die Maßnahmen wurden in deren Kontext gesetzt. Assoziativ wurden weitere Kategorien oder Quellen hinzugezogen. Die qualitativen Hinweise sind im Tool teils in Abhängigkeit der getätigten Angaben (personenbezogen) integriert. Hierzu wurden Szenarien/Schwellwerte bestimmt bei denen eine Ausgabe sinnvoll scheint (z.B. bei Führungsposition spezifischer Hinweis zur Rolle der Führungskraft). Nähere Informationen zum Tool sind den Beschreibungen zu AP 8 zu entnehmen.

Eine Liste mit Textstellen, die in Bezug auf Rebounds interessant sein könnten, wurde für eine nähere Untersuchung an das IÖW weitergegeben.

Online Umfrage

Planung und Vorbereitung:

Die Fragen für die Online-Umfrage wurden basierend auf einer eingangs durchgeführten Literaturrecherche, ersten Eindrücken aus den Interviews sowie den anvisierten Zielen gemeinschaftlich im Projektteam erarbeitet und zusammengestellt. Es erfolgte eine mehrschrittige Prüfung der Fragen (Formulierung und Antwortoptionen). Schlussendlich wurde der Umfang der Befragung auf etwa 30 Minuten reduziert, um einerseits möglichst viele Informationen zu sammeln und andererseits den Aufwand für die Teilnehmenden möglichst gering zu halten. Die Umfrage wurde der zuständigen Ethikkommission vorgelegt. Ebenso fand eine Abstimmung der Datenschutzbelange mit dem Datenschutzbeauftragten der RWTH statt.

Durchführung:

Die Durchführung der Befragung erfolgte über SoSci Survey. Startpunkt der Onlineumfrage war April 2023. Die Umfrage ist öffentlich zugänglich gewesen. Darüber hinaus hat teilweise eine Verteilung bei den assoziierten Partnern stattgefunden. Zusätzlich wurden weitere Teilnehmende über einen Dienstleister rekrutiert. Nach Filterung (Kriterien z.B. Ausfüllgeschwindigkeit, Varianz) liegen 648 Datensätze zur Auswertung vor. Es ist zu beachten, dass es sich nicht um eine repräsentative Umfrage handelt. Die Verteilung zwischen männlichen und weiblichen Befragten ist dennoch ausgewogen. Die Mehrheit der Befragten hat eine 100%-Stelle (verschiedene Bildungsabschlüsse). Auf die weitere Verwendung wird in den nachfolgenden Beschreibungen eingegangen.

2.1.2 AP 2: Energieverbrauch durch Veränderung der Nutzung von digitaler Infrastruktur (Lead IÖW)

Ohne die Nutzung von Internet- und Kommunikationstechnologie (IKT) ist das Arbeiten im Zeitalter der Digitalisierung nicht vorstellbar. Sowohl die Kommunikation (E-Mail, Chat), als auch die Arbeit an sich (Softwareanwendung zum Schreiben, Buchhaltung, etc.), laufen über IKT-Geräte. Entsprechend spielt IKT auch bei der Betrachtung von Home-Office eine entscheidende Rolle. In diesem Bereich ergeben sich Veränderungen im Hinblick auf mobiles Arbeiten im Home-Office, vor allem in Bezug auf den Stromverbrauch und

Ausstattung der IKT. Entscheidend für die Wirkung von Home-Office im Bereich der IKT sind zum einen der **Geräteaufwand**, also die Ausstattung in Büro und Home-Office, und zum anderen die Nutzung der IKT. Hier fällt nicht nur der **Stromverbrauch der Geräte** an sich an, sondern auch Strom- und Materialverbrauch von Kommunikationsnetzen und Rechenzentren durch die Übertragung von Daten (Konrad et al. 2022a).

Anders als in den Bereichen Mobilität und Gebäude ist das Potenzial für einen Minderverbrauch bei der Betrachtung von IKT quasi nicht vorhanden, da zum einem häufig ein zusätzlicher Geräteaufwand durch doppelte IKT-Strukturen entsteht und zum anderen mit vermehrten Treffen im virtuellen Raum ein höherer Datentransfer einhergeht (Lambrecht et al. 2021; O'Brien und Aliabadi 2020). Häufig werden die Umwelt- und Energieeffekte des Bereiches IKT den Einsparungen durch eine Verringerung an Dienstreisen gegenübergestellt (Ong et al. 2014). Allerdings liegt der Fokus meist auf vereinfachten Fallbeispielen, die nicht generalisierbar sind (vgl. Ong et al. 2014; Lambrecht et al. 2021). Einige Studien legen nahe, dass erhoffte Einsparungen im Mobilitätsbereich nicht eintreten, womit die Effekte durch die Nutzung von IKT nicht zu vernachlässigen sind (Mokhtarian 2009; Hintemann und Clausen 2016; Clausen et al. 2021).

Veränderung im Bereich Datenströme durch mobiles Arbeiten

Im Rahmen der Corona-Pandemie 2020/2021 stieg die Nutzung von Home-Office deutlich an und durch eine vermehrte Verlagerung von Arbeit in das Home-Office wurden zunehmend **Videokonferenz-Tools** angewendet, um Besprechungen in Büroräumen zu ersetzen. Auch nach der Pandemie werden sowohl Veranstaltungen als auch Meetings weiterhin online bzw. hybrid geplant. Eine Statistik zu geplanten Meetings in 2023 zeigt, dass in Europa 51 % der Veranstaltungen für 2023 online bzw. hybrid geplant sind (American Express 2022). Laut einer Umfrage nutzen 50,9 % der Erwerbstätigen in Deutschland Videokonferenzen im Home-Office (eco - Verband der Internetwirtschaft 2022). Diese sind allerdings, ähnlich wie das Videostreaming, mit einem erheblichen Energieverbrauch durch den Datenverbrauch gekennzeichnet (Konrad et al. 2022b; Coroama et al. 2020; Suski et al. 2020; Faber 2021). In den Studien zu Energieverbräuchen und Umwelteffekten durch die Übertragung von Daten zeigt sich jedoch auch eine große Schwierigkeit, die Effekte abzubilden. Dies ist bedingt durch die rapide Weiterentwicklung von Technologien und die Verfügbarkeit von Daten, um den Datentransfer darzustellen. (Ullrich et al. 2022) fanden in einer LCA-Studie heraus, dass bei der Nutzung des Internets bei der Betrachtung von Umweltwirkungen vor allem die Datenzentren ins Gewicht fallen. In vielen Studien zu Energieverbräuchen oder Umwelteffekten von Home-Office wird der Datenverbrauch durch IKT nicht berücksichtigt. Diese Effekte nicht zu vernachlässigen, dafür plädiert (Obringer et al. 2021), welche sich mit den Umwelteffekten von Internetnutzung auseinandersetzen. Energieverbräuche von Rechenzentren wurden unter anderem von (Hintemann und Hinterholzer 2019; Masanet und Lei 2020; Masanet et al. 2020; Siddik et al. 2021; Schödwel et al. 2018; Aslan et al. 2018) veröffentlicht. Auch zu Netzwerken wurden bereits Studien zu Umwelt- und im speziellen Klimawirkungen durchgeführt (vgl. (Bieser et al. 2020; Scharnhorst et al. 2006; Williams 2011; bitkom 2021). Faber (2021) liefert einen methodischen Rahmen für die Berechnung von Emissionen virtueller Konferenzen. Auch hier liegt ein Fokus auf der Abschätzung von Wirkungen von

Datentransfer, welcher in dem berechneten Beispiel einen Anteil von 64 % der Gesamtemissionen hat.

Veränderungen im Bereich Geräteausstattung durch mobiles Arbeiten

Auch die Ausstattung von IKT weist im Verbrauch und der Herstellung Energieverbrauch auf. Bieser et al. (2023) fanden in einem Review verschiedener Studien, die sich mit dem THG-Potenzial von IKT widmen, heraus, dass der Großteil an Emissionen bei der Herstellung von Geräten entsteht. Bei der Betrachtung von Home-Office ist also vor allem relevant, ob Doppelstrukturen geschaffen werden, also die vollständige Ausstattung an Geräten von sowohl Büro als auch Home-Office.

Eine Studie von Malmodin und Lundén (2018) zeigt, dass der IKT-Sektor einen erheblichen CO₂-Abdruck sowie Energieverbrauch aufzeigt, der stetig zunimmt. Die Studie basiert auf einem umfangreichen Datensatz, der primäre und sekundäre Daten zum Energieverbrauch der Nutzungsphase und zu den Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus für die enthaltenen Teilsektoren kombiniert. Dabei werden Energie- und Kohlenstoffbilanzdaten von etwa 100 der führenden globalen Hersteller, Betreiber sowie IKT- und Unterhaltungselektronikdienstleistern berücksichtigt. Der Datensatz enthält auch Verkaufsstatistiken und Prognosen für Geräte, um die Produktvolumina abzuschätzen, sowie veröffentlichte Ökobilanzstudien und primäre Fertigungsdaten zur Abschätzung des eingebetteten Kohlenstoff-Fußabdrucks der Produkte.

Gröger et al. (2021) berechneten den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen der Home-Office-IKT. Das Global warming potential (GWP) der Herstellung eines Endgeräts pro Jahr belief sich auf 69 kg CO₂e/a für einen Desktop-Computer und für einen Monitor auf 18 kg CO₂e/a. Über den Zeitraum eines Jahres, unter Berücksichtigung von Herstellungsaufwand und Energieverbrauch in der Nutzungsphase, verursacht der Desktop-Computer Treibhausgasemissionen in Höhe von 105 kg CO₂e und der externe Monitor 35 kg CO₂e.

Prakash et al. (2016) untersuchten im Auftrag des Umweltbundesamtes die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen in Bundesbehörden und vergleichbaren Einrichtungen, um Potentiale zur Ressourceneinsparung aufzuzeigen. Dazu wurde eine vergleichende Gegenüberstellung von realen Messwerten und eine systematische Auswertung von existierenden Berechnungsmethoden angewendet, um schließlich den elektrischen Stromverbrauch von Arbeitsplatzcomputern zu berechnen und das Treibhausgaspotenzial zu ermitteln. Hierzu wurden drei Arbeitsplatzlösungen über Herstellung, Distribution, Nutzung und Entsorgung kumuliert über 10 Jahre betrachtet. Verschiedene Nutzungsdauern und ein Wechsel von SSD auf HDD wurde berücksichtigt. Im gesamten Betrachtungszeitraum von 10 Jahren hat ein Computerarbeitsplatz

- mit einem Desktop-PC ein THG-Potential von 1.343 kg CO₂e
- mit einem Notebook 1.394 kg CO₂e
- mit einem Mini-PC 959 kg CO₂e.

Gröger (2020) entwickelte eine Datengrundlage, um den ökologischen Fußabdruck, der durch die Nutzung der IKT anfällt, zu berechnen. Der zeitliche Bezug ist ein Jahr und berücksichtigt die Herstellung und Nutzungsphase der Produkte. Die grundlegenden Daten der CO₂-Emissionen wurden dazu aus bestehenden Ökobilanzen zusammengestellt oder auf Grundlage des Expertinnenwissens des Öko-Instituts hergeleitet und abgeschätzt. Für den Herstellungsaufwand

- eines Computer-Monitors wurden 88,2 kg CO₂e
- für einen Desktop-PCs (mit HDD) 346,9 kg CO₂e
- für ein Notebook mit HDD 251,7 kg CO₂e
- für ein Notebook mit SSD 311,1 kg CO₂e
- eines Mini-PC mit HDD 190,5 kg CO₂e
- eines Mini PC mit SSD 249,9 kg CO₂e berechnet.

Für die Leistungsaufnahme im Aktivzustand eines Computer-Monitors wurden 47 W, für einen Desktop-Computer 39,4 W und für einen Laptop-Computer 13,2 W angenommen. Im Standby-Modus sind es für den Computer-Monitor 0 W, für den Desktop-Computer 1,9 W und für den Laptop-Computer 1,84 W. Es wurde von einer durchschnittlichen Lebensdauer von 5 Jahren für den Herstellungsaufwand von Notebook und Desktop-PC ausgegangen.

Darüber hinaus prüfte Fichter et al. (2020) welche Computerlösungen und Technologien geringere Energie- und Materialverbräuche aufweisen, indem der pro Jahr kumulierte Primärenergieaufwand (KEA) berechnet wurde. Dabei ließ sich eine bessere Energieeffizienz von Thin-Clients und Server-Based-Computing, eine Technologie, bei der sowohl die Verarbeitung als auch die Speicherung auf einem zentralen oder gemeinsam genutzten Server erfolgen, feststellen. Der KEA bei einer durchschnittlichen Büronutzung liegt für einen PC bei ca. 700 kWh (ohne Monitor), für Notebook, Mini-PC und Thin-Client (inklusive Serveranteil) liegt dieser bei etwa der Hälfte. Der durchschnittliche KEA eines Arbeitsplatzcomputers liegt, unter Berücksichtigung aller Geräteklassen, bei derzeit 499 kWh.

Aufgrund der hohen Umweltrelevanz der Hardwareproduktion hat die Nutzungsdauer der Geräte einen wesentlichen Einfluss auf die Gesamtumweltbelastung (Prakash et al. 2013; Prakash et al. 2016). Um die ökologischen Auswirkungen zu reduzieren, ist es wichtig, IKT-Produkte erst auszutauschen, wenn diese defekt oder technische veraltet sind. Dabei sollten alle Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus des Produkts berücksichtigt werden, einschließlich des Energieverbrauch und Ressourcenbedarfs, um einschätzen zu können, ob der Austausch mit energieeffizienteren Geräten sinnvoll ist (Prakash et al. 2016).

Vorgehensweise bei der ökologischen Bewertung im Vorhaben HOffEn

Ziel ist die ökologische Bewertung von Informations- und Kommunikationstechnologie im Home-Office und am Präsenzarbeitsplatz. Hierbei werden unterschiedliche Home-Office-Konfigurationen betrachtet. Die Grundlage für die Annahmen der Home-Office-Häufigkeit,

sowie der Ausstattung am Home-Office und Präsenzarbeitsplatz ist zum einen die im Projekt durchgeführte Umfrage und die qualitativen Interviews. Die Ergebnisse der ökologischen Bewertung der IKT fließen auch in die Hochrechnung mit ein. Im Folgenden werden zum einen der Untersuchungsrahmen und Datengrundlage dargestellt und weiterhin die Ergebnisse der Berechnungen. Die Berechnung bezieht sich auf den Zeitraum von einem Jahr und einer arbeitenden Person.

Betrachtetes System

Das System, welches bei der ökologischen Bewertung von IKT im Home-Office und am Präsenzarbeitsplatz betrachtet wird, umfasst zum einen die Ausstattung von IKT. Hierbei wird zwischen der Ausstattung am Home-Office-Arbeitsplatz und am Präsenzarbeitsplatz unterschieden. Weiterhin wird auch die Nutzung der IKT an beiden Arbeitsorten betrachtet, wobei der Stromverbrauch der Geräte herangezogen wird. Auch die Teilnahme an Videokonferenzen und damit einhergehend die Nutzung von Rechenzentren wird betrachtet. Zur besseren Darstellung der Bandbreite von Home-Office-Möglichkeiten werden fünf verschiedene Home-Office-Konfigurationen betrachtet:

- 1 Tag pro Woche im Home-Office
- 2 Tage pro Woche im Home-Office
- 3 Tage pro Woche im Home-Office
- 4 Tage pro Woche im Home-Office
- 5 Tage pro Woche im Home-Office

Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit wird die IKT zur Arbeit im Home-Office und am Präsenzarbeitsplatz einer Person über ein Jahr betrachtet. Hierbei werden die fünf zuvor definierten Home-Office-Konfigurationen unterschieden.

Systemgrenzen

In Abbildung 12 sind die Systemgrenzen der ökologischen Bewertung abgebildet. Teil des Systems sind die Herstellung und Nutzung von IKT am Arbeitsplatz (Laptop, Desktop Rechner, Bildschirm, Peripheriegeräte). Unterschieden wird nach Ausstattung im Home-Office und am Präsenzarbeitsplatz, wobei hier nach Anzahl der Tage im Home-Office die Ausstattung differenziert wird. Weiterhin wird auch die Datennutzung von Videokonferenzen und entsprechend die Herstellung und Nutzung von Rechenzentren betrachtet.

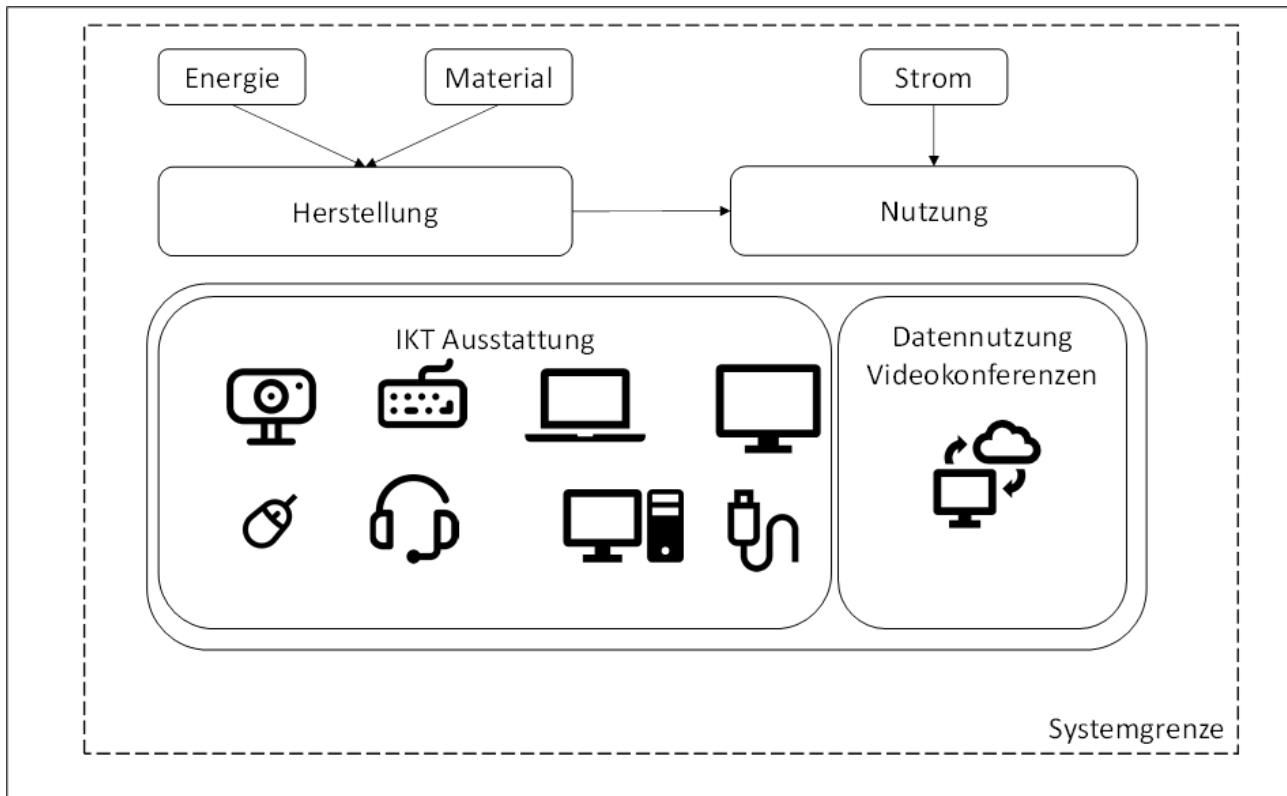


Abbildung 12: Systemgrenzen

Methode der Wirkungsabschätzung und Wirkungskategorien

Im Rahmen der ökologischen Bewertung von IKT im Home-Office und am Präsenzarbeitsplatz werden die Wirkungskategorien Climate Change und der kumulierter Energieaufwand betrachtet. Es wird das Charakterisierungsmodell CML-IA baseline V3.08 / EU25 genutzt (CML - Department of Industrial Ecology 2021).

Datengrundlage

Bei der Datengrundlage wird unterschieden zwischen Vordergrunddaten und Hintergrunddaten. Die Vordergrunddaten beziehen sich auf die technische Ausstattung mit IKT am Arbeitsplatz, je nach Home-Office Häufigkeit. Die Hintergrunddaten beziehen sich auf die Ökobilanzdatensätze, die zur Abbildung der Vordergrunddaten genutzt werden. Diese stammen vor allem aus der Ökobilanzdatenbank Ecoinvent 3.9.1 (Wernet et al. 2016).

Ausstattung

Vordergrunddaten

Um die Bandbreite der Möglichkeiten darzustellen wird für die Ausstattung zum einen Szenario mit generell hoher Ausstattung berechnet und ein Szenario mit geringer Ausstattung. In jedem Szenario wird davon ausgegangen, dass die Peripheriegeräte Maus, Tastatur, Webcam und Headset sowohl im Home-Office, als auch am Präsenzarbeitsplatz vorhanden sind. Die Ausstattung im Szenario mit geringer Ausstattungsintensität findet sich

in Tabelle 1. Der Laptop wird der Ausstattung im Büro zugerechnet, wird aber für das Home-Office auch genutzt.

Tabelle 1: Ausstattung im Büro und im Home-Office bei einer geringen Ausstattungsintensität

	1 Tag im HO		2 Tage im HO		3 Tage im HO		4 Tage im HO		5 Tage im HO	
	HO	Büro	HO	Büro	HO	Büro	HO	Büro	HO	Büro
Laptop	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Bildschirm	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Desktop PC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Für das Szenario mit einer hohen Ausstattungsintensität sind die Geräte in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Ausstattung im Büro und im Home-Office bei einer hohen Ausstattungsintensität

	1 Tag im HO		2 Tage im HO		3 Tage im HO		4 Tage im HO		5 Tage im HO	
	HO	Büro	HO	Büro	HO	Büro	HO	Büro	HO	Büro
Laptop	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Bildschirm	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Desktop PC	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1

Hintergrunddaten

Die jeweiligen IKT-Geräte werden, wenn vorhanden, mit einem spezifischen ecoinvent Einheitsprozess hinterlegt. In der folgenden Tabelle 3 sind die betrachteten Geräte sowie der entsprechende Hintergrundprozess und die angenommene Lebensdauer abgebildet.

Tabelle 3: IKT-Ausstattung und entsprechende Hintergrunddatensätze

Gerät	Hintergrunddatensatz	Lebensdauer
Laptop	Computer, laptop {GLO} market for Cut-off, S	3 Jahre
Desktop PC	Computer, desktop, without screen {GLO} market for Cut-off, S	5 Jahre
Bildschirm	Liquid crystal display, minor components, auxiliaries and assembly effort {GLO} production Cut-off, S	5 Jahre
Maus	Pointing device, optical mouse, with cable {GLO} market for Cut-off, S	5 Jahre
Tastatur	Keyboard {GLO} market for Cut-off, S	5 Jahre

Für die Geräte Webcam und Headset waren keine Hintergrunddatensätze verfügbar und es wurde auf das Bauteil generische Elektronik ausgewichen. Dieses wurde im Rahmen des Projekts Klimaschutzpotenziale der Digitalisierung vom IÖW entwickelt um Datenlücken ausgleichen zu können (Gähns et al. 2021). Hier wird über das angenommene Gewicht des elektronischen Geräts das mit Hilfe des generischen Datensatzes bilanziert. Weitere Informationen zur Vorgehensweise der Erstellung dieses Datensatzes finden sich im Projektbericht (Gähns et al. 2021, S. 62 ff.).

Nutzung

Vordergrunddaten

Bei der Nutzung von IKT-Geräten wird vor allem der Stromverbrauch der Geräte betrachtet. Zur Ermittlung der Verbräuche wurden für die entsprechenden Geräte mittels einer online-Recherche die elektrische Leistungsaufnahme verschiedener Anbieter ermittelt und Mittelwerte gebildet. Die Leistungen wurden dann mit einem Arbeitstag von 8h auf den Stromverbrauch hochgerechnet. Die angenommenen Leistungen sind für den Laptop 53 W, den Desktop PC 289 W und den Bildschirm 21 W. Für die Peripheriegeräte wird kein Stromverbrauch angenommen, da diese mit dem Laptop oder Desktop PC verbunden sind und somit der Verbrauch dort entsteht.

Bei der Nutzung von IKT wird weiterhin der Datenverbrauch durch Videokonferenzen betrachtet. Laut den Umfragedaten nutzt der Großteil der befragten Personen (zwischen 64 % und 81 %, je nach Home-Office Häufigkeit) Videokonferenzen 0-1 Stunden pro Tag im Home-Office. Dies trifft auch auf den Präsenzarbeitsplatz zu, mit einer Verteilung von 55 und 73 %. Nur wenige der Befragten nutzen Videokonferenzen mehr als 2 Stunden pro Tag (im Durchschnitt im Home-Office 12 % und am Präsenzarbeitsplatz 14 %). In der ökologischen Bewertung werden gewichtete Mittelwerte, in Abhängigkeit der Home-Office Häufigkeit betrachtet. Die entsprechenden Zeiten sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Videokonferenzen in Abhängigkeit zur Home-Office-Häufigkeit in Stunden pro Tag

Tage im Home-Office	1	2	3	4	5
Videokonferenz im Home-Office [h/d]	0,87	1,25	1,26	1,27	0,75
Videokonferenz am Präsenzarbeitsplatz [h/d]	1,22	1,72	1,51	1,41	1,29

Hintergrunddaten

Stromverbrauch

Der Strommix wird mit dem in Ecoinvent hinterlegtem Datensatz *Electricity, low voltage {DE} | market for electricity, low voltage | Cut-off, S* abgebildet. Es ergibt sich ein Emissionsfaktor von 0,439 kg CO₂ eq/kWh.

Datenverkehr

Für die Berechnung des GWP und des KEA von einem Rechenzentrum durch den Datenverkehr von Videokonferenzen wird auf die Methodik aus der Studie von Gröger et al. (2021) zurückgegriffen. Die Berechnungsmethode wurde mit den oben genannten Faktoren für das GWP und den KEA angewendet, wobei sich folgende Faktoren ergeben:

- GWP: 0,0022 kg CO₂eq/TIn*h
- KEA: 0,0196 MJ/TIn*h.

Die Faktoren beziehen sich jeweils auf einen Teilnehmer und eine Stunde Videokonferenz und berücksichtigen sowohl die Herstellung als auch den Energiebedarf der Rechenzentren.

Ergebnisse der Berechnungen

Im Folgenden werden die Ergebnisse sowohl für den Fall der geringen Ausstattung als auch für den Fall der hohen Ausstattung zunächst zusammengefasst für die Nutzung der Geräte und Herstellung der Geräte dargestellt. Im Weiteren werden die verschiedenen Betrachtungsebenen separat beleuchtet und in Sensitivitätsszenarien überprüft.

In Abbildung 13 wird zusammenfassend für die verschiedenen Home-Office Konfigurationen (0 bis 5 Tage Home-Office) und die Szenarien hohe und geringe Ausstattungsintensität das Treibhauspotenzial in kg CO₂-Äq. für ein Jahr und eine*n Arbeitnehmer*in dargestellt. Anteilig dargestellt ist die IKT-Ausstattung, der Stromverbrauch der IKT-Ausstattung und die Videocalls. Es wird deutlich, dass bis auf einen Fall (0 Tage Home-Office, hohe Ausstattung) immer die Wirkungen der Produktion der Ausstattung die Wirkungen des Stromverbrauchs der Geräte übersteigen. Weiterhin wird ersichtlich, dass eine geringere Ausstattungsintensität an IKT deutlich zu einer Verringerung des Treibhauspotenzials beiträgt. Die Anzahl der Home-Office-Tage hat jedoch nur einen geringen Einfluss auf die Ergebnisse, vor allem bezogen auf eine geringe Ausstattung. Im Szenario der höheren Ausstattungsintensität sinkt das Treibhauspotenzial bei steigender Anzahl von Home-Office-Tagen, was auf den höheren Stromverbrauch im Büro durch den Desktop-PC zurückzuführen ist. Die Anzahl der Home-Office-Tage hat im Szenario mit einer geringen Ausstattungsintensität jedoch kaum einen Einfluss auf die Ergebnisse.

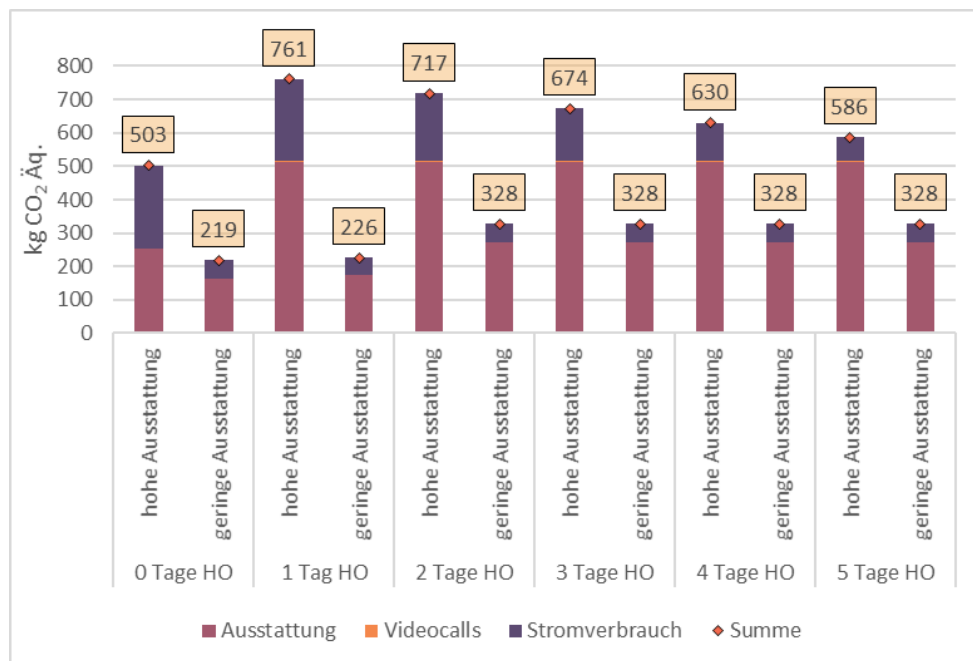


Abbildung 13: Treibhausgasemissionen der Home-Office-Konfigurationen für hohe und geringe Ausstattungsintensität

Der größte Unterschied im Hinblick auf das Treibhauspotenzial ergibt sich bei der Home-Office Konfiguration mit einem Tag Home-Office pro Woche (535 kg CO₂-Äq.). Der geringste Unterschied ergibt sich bei 5 Tagen im Home-Office pro Woche. Hier wird davon ausgegangen, dass trotz 5 Tagen Home-Office pro Woche noch eine IKT-Ausstattung im Büro zur Verfügung steht. Wäre dies nicht der Fall würden sich die Ergebnisse weiter an

den Wert der geringen Ausstattung angleichen und der Unterschied würde entsprechend geringer ausfallen.

Die Videocalls haben bei der Betrachtung des Gesamtsystems kein Einfluss auf das Ergebnis. Hier liegen die Potenziale zwischen 0,07 und 0,56 kg CO₂-Äq. In einer Sensitivitätsanalyse wurde ein Szenario gerechnet, in dem pro Tag 8 h Videocalls angesetzt wurden. Das Potenzial erhöht sich in diesem Fall auf 3,67 kg CO₂-Äq/a. In Bezug auf die Gesamtergebnisse pro Jahr haben jedoch auch hier die Videocalls nur einen Einfluss von maximal 1,7 % und spielen in dieser Betrachtung eine untergeordnete Rolle.

Ausstattung

Im folgenden Kapitel werden die ökologischen Wirkungen der IKT-Ausstattung betrachtet. Auch hier wird unterschieden zwischen dem Szenario mit einer geringen Ausstattungsintensität und einem Szenario mit einer hohen Ausstattungsintensität.

Das Treibhauspotenzial im Szenario mit einer geringen Ausstattungsintensität ist in Abbildung 14 dargestellt.

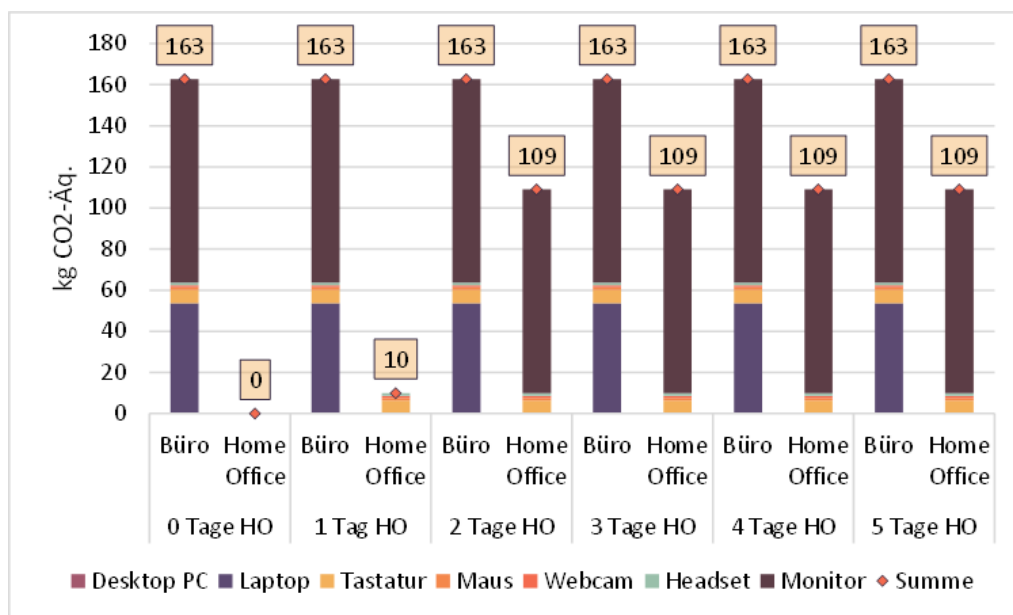


Abbildung 14: Treibhauspotenzial bei geringer Ausstattungsintensität

Das Treibhauspotenzial im Büro ändert sich nicht in Abhängigkeit der Home-Office-Tage, da sich auch die Ausstattung nicht ändert. Da in der Grundannahmen der Szenarien davon ausgegangen wird, dass erst ab 2 Tagen pro Woche im Home-Office auch ein Monitor im Home-Office verfügbar ist, erhöht sich das Treibhauspotenzial ab 2 Tagen Home-Office deutlich. Generell wird hier sichtbar, dass die Herstellung eines Monitors das höchste Treibhauspotenzial im Vergleich zur weiteren IKT-Ausstattung hat. Bei der Ausstattung im Büro, macht der Monitor 61 % am Treibhauspotenzial aus, der Laptop 33 % und die Peripheriegeräte 6 %.

In Abbildung 15 wird das Treibhauspotenzial für das Szenario einer höheren Ausstattung abgebildet.

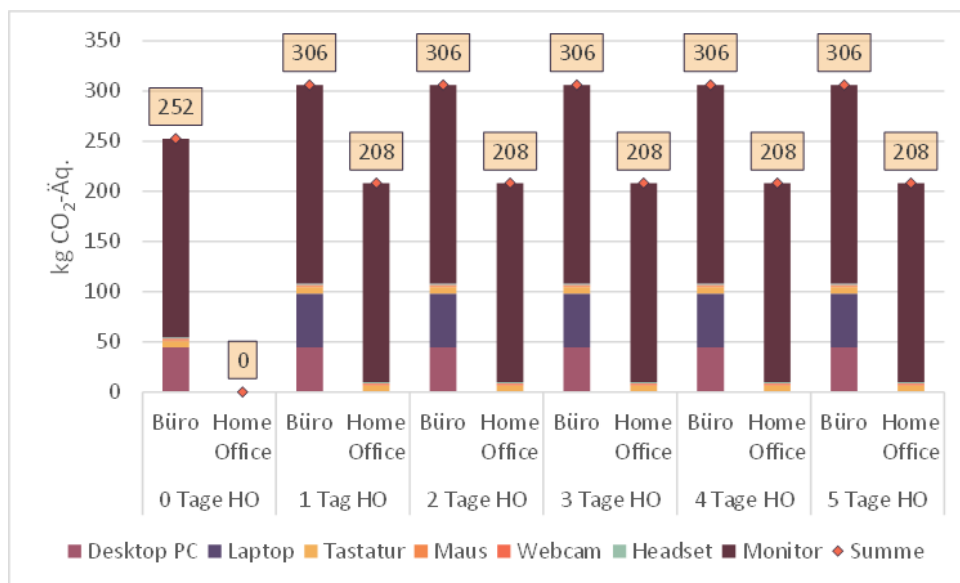


Abbildung 15: Treibhauspotenzial hohe Ausstattungsintensität

Wie bereits in der Gesamtbetrachtung zeigt sich auch hier, dass die Anzahl der Home-Office Tage bei der hohen Ausstattung keinen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Das geringste Treibhauspotenzial hat die Home-Office Konfiguration „0 Tage im Home-Office“, da es hier keine zusätzliche Ausstattung zum Büroarbeitsplatz gibt und auch kein Laptop vorhanden ist. Auch in dem Szenario der hohen Ausstattung zeigt sich der große Einfluss des Monitors auf die jeweiligen Ergebnisse deutlich. In den Home-Office Konfigurationen mit mindestens einem Tag Home-Office pro Woche hat der Monitor am Präsenzarbeitsplatz einen Anteil von 65 % und im Home-Office 95 %. In dem Szenario der hohen Ausstattung kommt auch ein Desktop PC zum Einsatz und hat durchaus Einfluss auf das Ergebnis (15 % in den Konfigurationen ab 1 Tag Home-Office pro Woche). Der Laptop liegt mit einem Anteil von 18 % etwas über dem Anteil des Desktop PCs, was auf die geringere Lebensdauer zurückzuführen ist. Für die Desktop PCs wurde eine Lebensdauer von 5 Jahren und für die Laptops von nur 3 Jahren angesetzt.

Sowohl im Szenario einer hohen Ausstattungsintensität, als auch im Szenario mit einer geringen Ausstattungsintensität lassen sich die Umweltwirkungen der Herstellung der IKT-Ausstattung verringern, wenn die Lebenszeit der Ausstattung verlängert wird. In einer Sensitivitätsanalyse wurde die Lebensdauer der Geräte um je 2 Jahre verlängert. Die Verlängerung der Lebensdauer führt zu im Schnitt -30 % (Spannbreite -29 bis 32 %) der Umweltwirkungen im Bereich der Herstellung von IKT.

Nutzung

Neben der Ausstattung spielt auch der Stromverbrauch durch die Nutzung der IKT-Geräte eine entscheidende Rolle in Bezug auf die Umweltwirkungen.

In Abbildung 16 ist das Treibhauspotenzial des Stromverbrauchs der IKT bei einer geringen Ausstattungsintensität abgebildet. Die Zeiten im Home-Office und im Büro sind hier bereits addiert.

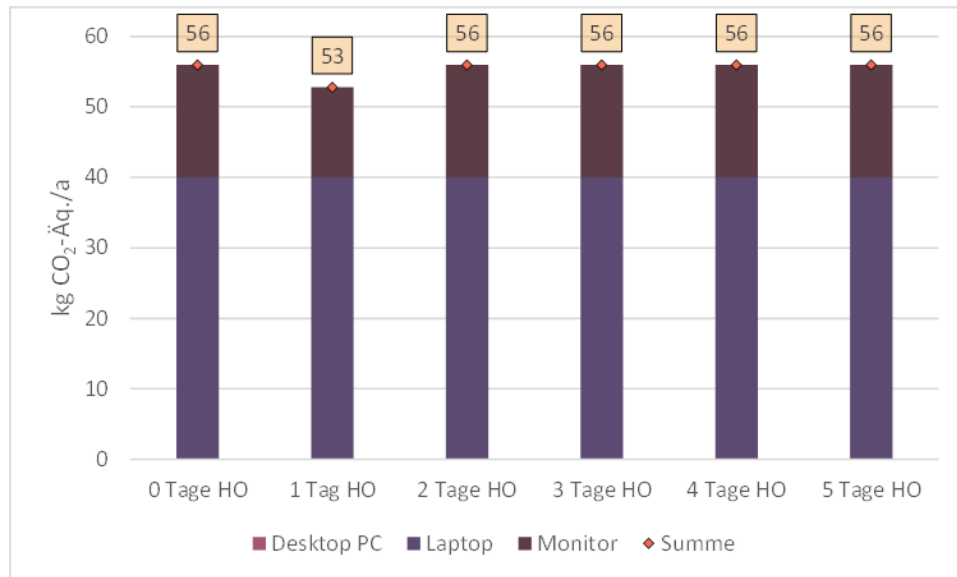


Abbildung 16: Treibhauspotenzial Stromverbrauch geringe Ausstattungsintensität

Die Treibhauspotenziale unterscheiden sich kaum bis gar nicht in Abhängigkeit der Anzahl der Home-Office-Tage, da für die Arbeit immer ein Laptop genutzt wird. Der einzige Unterschied liegt bei der Betrachtung von einem Tag Home-Office in der Woche, da hier im Home-Office kein zusätzlicher Monitor angenommen wird, was entsprechend den Stromverbrauch senkt.

Bei der Betrachtung des Szenarios mit einer höheren Ausstattungsintensität ergeben sich jedoch deutliche Unterschiede in Abhängigkeit zur Home-Office-Häufigkeit. Die Ergebnisse sind in Abbildung 17 dargestellt.

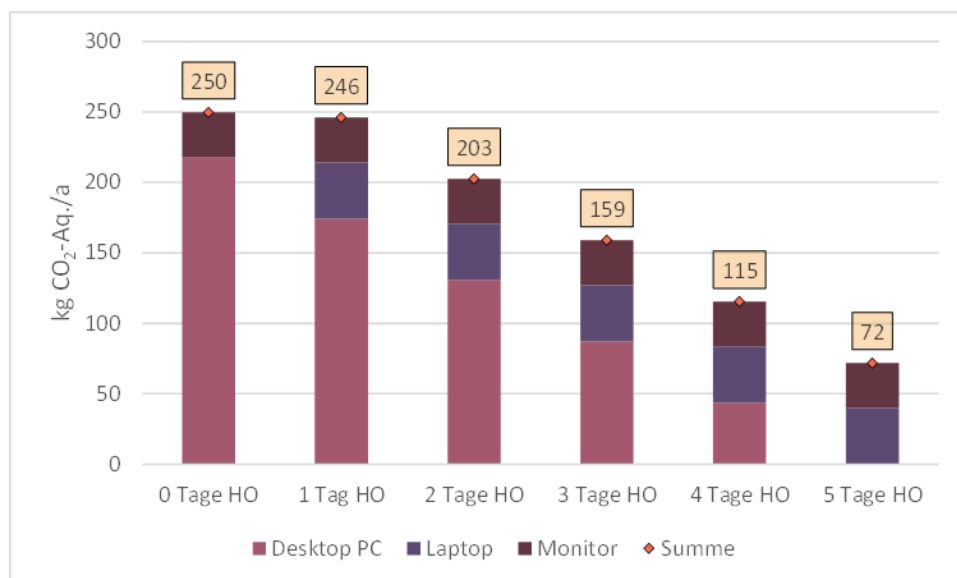


Abbildung 17: Treibhauspotenzial Stromverbrauch hohe Ausstattungsintensität

Es wird deutlich, dass der Desktop PC den größten Einfluss auf das Ergebnis hat. Dieser ist innerhalb des betrachteten Szenarios nur im Büro, aber nicht im Home-Office vorhanden. Entsprechend sinkt das Treibhauspotenzial bei steigender Anzahl an Home-Office-Tagen. Als Sensitivitätsszenario wurde berechnet, inwiefern sich die Ergebnisse verändern, wenn davon ausgegangen wird, dass kein Desktop PC genutzt wird, sondern ein Mini PC mit einer

geringeren Leistung von 115 W. Durch die Verringerung der Leistung, verringert sich auch der Stromverbrauch und das Treibhauspotenzial entsprechend. Je nach Anzahl der Home-Office-Tage zwischen -53 % (0 Home-Office-Tage) und -22 % (4 Home-Office-Tage).

Videocalls

Wie bereits beschrieben, spielt das Treibhauspotenzial von Videocalls eine untergeordnete Rolle. Trotzdem werden die Ergebnisse im Folgenden nochmals dargestellt. Bei den Videocalls wird nicht zwischen geringer und hoher Ausstattung unterschieden, sondern nur nach Anzahl der Home-Office-Tage. In der folgenden Abbildung 18 ist das Treibhauspotenzial der Videocalls abgebildet.

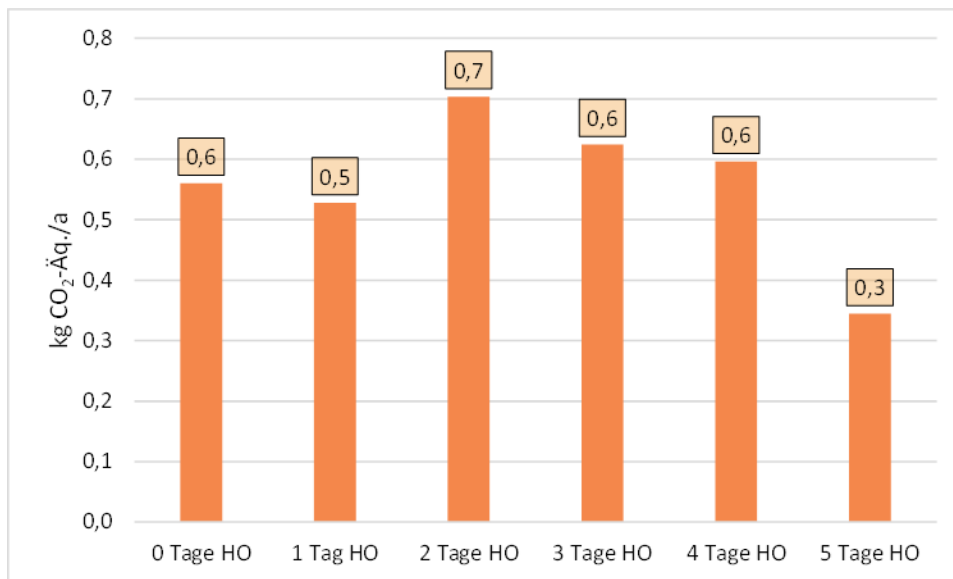


Abbildung 18: Treibhauspotenzial Videocalls

Das Treibhauspotenzial der Videocalls basiert auf den Daten aus der online-Umfrage (2.1.1) und ist nur abhängig von der Länge an Videokonferenzen pro Tag im Home-Office und im Büro. Die Werte schwanken zwischen den Home-Office-Konfigurationen nur geringfügig. Das geringste Treibhauspotenzial weisen Personen auf, die fünf Tage pro Woche im Home-Office arbeiten. Das höchste Treibhauspotenzial liegt bei den Personen die zwei Tage pro Woche im Home-Office arbeiten.

Zusammenfassung und Fazit

Im Rahmen der Studie wurden unterschiedliche Home-Office-Konfigurationen unter Berücksichtigung der IKT-Ausstattung, des Stromverbrauchs und der Nutzung von Videokonferenzen analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Umweltwirkungen in erster Linie von der IKT-Ausstattung und deren Lebensdauer abhängen, während die Anzahl der Home-Office-Tage nur einen geringen Einfluss hat.

Eine wesentliche Schlussfolgerung ist, dass die Produktion der IKT-Ausstattung, insbesondere von Monitoren und Laptops, einen deutlich größeren Beitrag zu den Treibhausgasemissionen leistet als deren Nutzung. Eine hohe Ausstattungsintensität erhöht dabei die Emissionen signifikant. Maßnahmen wie die Verlängerung der Lebensdauer der

Geräte könnten die Umweltbelastungen erheblich reduzieren, was in Sensitivitätsanalysen bestätigt wurde. Ein weiterer zentraler Aspekt ist der geringe Einfluss der Videokonferenzen auf das Gesamtergebnis, auch bei intensiver Nutzung. Der Wechsel zu energieeffizienteren Geräten, wie Mini-PCs statt Desktop-PCs, könnte hingegen deutliche Einsparungen im Stromverbrauch bewirken, insbesondere bei hoher Präsenzarbeitszeit.

2.1.3 AP 3: Energieverbrauch durch Veränderung der Gebäudeflächennutzung (Lead EBC)

Im AP 3 wurde durch das IÖW das energierelevante Nutzungsverhalten von Mitarbeitenden sowohl im Büro als auch im Home-Office mittels Literaturanalyse und durch die empirischen Bausteine des Projekts analysiert (3a). Darüber hinaus wurden dynamische Gebäudejahressimulationen genutzt, um den Einfluss der Home-Office-Nutzung auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf von Wohn- und Nichtwohngebäuden zu bestimmen (3b).

2.1.3.1 AP 3a Erfassung des Nutzungsverhaltens (IÖW)

Sowohl am Arbeitsplatz als auch beim mobilen Arbeiten zuhause beeinflusst das Nutzungsverhalten den Energieverbrauch. Das IÖW befasste sich deshalb im Rahmen des Arbeitspakets 3.2 mit dem Nutzungsverhalten der Beschäftigten. Relevant sind dabei vor allem das Heizungs- und Lüftungsverhalten, aber im weiteren Sinne auch die Veränderung die Wahl einer (neuen) Wohnung - sowie von Seiten der Unternehmen die Entscheidung zu Büro(flächen). Im Rahmen der Literaturlauswertung zum Nutzungsverhalten wurden auch Informationen zu den Rahmenbedingungen und zur Veränderung des Energieverbrauchs im Büro und zuhause aufbereitet. Die Ergebnisse der Literaturlauswertung wurden als internes Arbeitspapier aufbereitet und dienten als Basis für die Entwicklung von Fragen zum Verbrauchsverhalten, die in die im Rahmen des AP1 durchgeführten Interviews und Befragungen eingespeist und ausgewertet wurden. Die Ergebnisse des AP dienten als Grundlage für die Modellierung des Wärmeverbrauchs und die Hochrechnung der Wirkung.

Literaturlauswertung

Neben dem Mobilitätsbereich werden die **größten Energie- und Kosteneinsparungen** durch Home-Office im **Gebäudebereich**, und zwar v.a. durch die Reduktion der Büroflächen und des damit verbundenen Energieverbrauchs, erwartet. Dem möglichen Minderverbrauch in den Büros steht ein potentieller Mehrverbrauch im privaten Bereich aufgrund der Arbeit von zuhause gegenüber (O'Brien und Aliabadi 2020). Beide Effekte, sowohl der Mehrverbrauch als auch der Minderverbrauch, hängen von einer Reihe von Faktoren ab. Einer davon ist das Verhalten der Nutzenden, denn sowohl am Arbeitsplatz als auch beim mobilen Arbeiten zuhause beeinflusst dieses den Energieverbrauch (Markovic et al. 2019). Shi et al. (2023) kommen auf Basis einer Literaturlauswertung zu dem Ergebnis, dass der Energieverbrauchs im Büro und im Home-Office im Vergleich zum Thema Mobilität bisher in empirischen Studien zu der Klimawirkung von Home-Office nur wenig untersucht wurde. Somit bestehen noch erhebliche Unsicherheiten zu dessen Höhe und insgesamt zu der

Frage, ob Home-Office in Summe eine negative oder positive Klimawirkung aufweist (Shi et al. 2023).

Veränderung Energieverbrauch in Bürogebäuden

Aktuell wird davon ausgegangen, dass auch zukünftig große Anteile von Arbeitnehmer*innen **Home-Office** machen und machen wollen, wobei in der Regel hybrides Arbeiten bevorzugt wird (PwC 2021; PwC 2022; Ahlers et al. 2021). Auch die Unternehmen stellen sich zukünftig vermehrt auf **hybride Arbeitsmodelle** ein, wobei sich der Umfang nach Branche und Unternehmensgröße deutlich unterscheidet (pwc 2023; Statista 2022; Destatis 2023; ZEW 2022). Studien kommen zu der Einschätzung, dass die **Energieeinsparung in Büros** mittelfristig v.a. abhängig von der Frage, ist ob durch Home-Office die benötigte Pro-Kopf-Bürofläche und damit verbunden der Energieverbrauch sinken (Hook et al. 2020). Zusätzlich kommt das Einsparpotential auf die Steuerung an und unterscheidet sich zwischen Ländern aufgrund unterschiedlicher Büroflächen pro Kopf und unterschiedlicher Klimazonen, so dass internationale Ergebnisse nur begrenzt übertragbar sind (Matthews und Williams 2005; Kitou und Horvath 2006).

In der Praxis arbeiten viele Personen, die die Möglichkeit zum Home-Office haben, **hybrid** und nur an 20 bis 60 % ihrer Arbeitstage von zu Hause. Damit ist eine Reduktion des Büroflächenbedarfs nur dann substantiell möglich, wenn statt fester Arbeitsplätze flexible Modelle mit Desk-Sharing eingeführt werden (O'Brien und Aliabadi 2020). Umfrageergebnisse von Krause et al. (2024b) zeigen, dass in Deutschland rund 16 % der Unternehmen planen, die geteilte Arbeitsplatznutzung auszuweiten. Bei gelegentlichem Home-Office wird dagegen nicht von einer relevanten Energiereduktion ausgegangen. Lawrence et al. (2023) stellen fest, dass die Nutzung der Büroflächen aktuell gering ist, so werden im Schnitt bei befragten Unternehmen 2023 nur 45 % der Flächen genutzt, selbst in Spitzenzeiten sind es nur 63 %.

Bis jetzt ist unklar, wie sich eine vermehrte Home-Office-Nutzung bzw. hybride Arbeitsmodelle mittel- bis langfristig auf den **Büronutzflächenbestand** und den damit einhergehenden Energieverbräuchen und THG-Emissionen, auswirkt (Lambrecht et al. 2021). Zur Frage der Büroflächenentwicklung gibt es für Deutschland Abschätzungen, es fehlen jedoch aussagekräftige Langzeitstudien. So gibt es mehrere Studien, die den zukünftigen Minderbedarf (u.a.) durch Home-Office abschätzen, und die zu sehr unterschiedlichen Größenordnungen kommen (Colliers et al. 2024; ARGE e. V. 2021; Möbert und Schattenberg 2020; Krause et al. 2024b; Krause et al. 2024a). Inwiefern der Flächenverbrauch tatsächlich sinkt, ist abhängig von dem **Verhalten der Unternehmen**. Befragungen zeigen, dass Unternehmen teilweise bereits Flächen reduziert haben oder es planen, allerdings ist deren Anteil in den letzten Jahren gesunken – und es gibt sogar Unternehmen, die von steigendem Flächenbedarf ausgehen (Hofmann et al. 2023; Lawrence et al. 2023). Eine Umfrage von Krause et al. (2024b) ergibt, dass rund 8 % der Unternehmen weitere Büroflächenreduzierungen planen, bei ca. 6 % sind Reduzierungen schon erfolgt. Dagegen gingen im ersten Jahr der Pandemie noch 60 % der befragten Unternehmen von einer Reduktion des Flächenbedarfs in den nächsten drei Jahren aus (mit einem durchschnittlichen Flächenrückgang von 20%) (PwC 2021). Statt einer Reduktion

werden häufiger Umnutzungen geplant. So wird ein Rückgang bei den klassischen Schreibtischplätzen erwartet, gleichzeitig ändern sich jedoch die Anforderungen an das Büro. Dadurch steigt der Flächenbedarf für Begegnungsstätten und Räume für den informellen Austausch ebenso wie für Besprechungsräume (pwc 2023; Krause 2023; Stettes und Voigtländer 2021). Diese Tendenz gilt besonders stark für große Dienstleistungsunternehmen, die den Großteil der Büroflächen beanspruchen (Krause et al. 2024b).

Energieeinsparungen sind jedoch nicht nur durch eine Reduktion der Büroflächen möglich, sondern auch eine **Reduktion der Beheizung und Kühlung der vorhandenen Flächen** und damit eine Anpassung des Heiz- und Lüftungsverhaltens der Unternehmen führt zu Einsparungen. Einsparpotenziale bestehen vor allem, wenn Beleuchtung und Heizung/Lüftung/Kühlung abhängig von der Belegung räumlich und zeitlich aufgelöst gesteuert werden (O'Brien und Aliabadi 2020).

Zudem ist das Verhalten der **Nutzenden** in Büros relevant für den Energieverbrauch. So konnte in einem Projekt der Heizenergieverbrauch durch Interventionen um 5 % gesenkt werden (Matthies und Thomas 2011). Auf Basis einer Auswertung von Studien stellen O'Brien und Aliabadi (2020) fest, dass die bisher angewandten Methoden zur Quantifizierung der Energieverbrauchsänderungen in Bürogebäuden stark vereinfachend und zu optimistisch sind und nicht ausreichend den Einfluss der Heizungs- und Kühlungstechnologie berücksichtigen. Somit sind die real möglichen Einsparungen unzureichend untersucht.

Veränderung Energieverbrauch in Wohngebäuden

Die energetischen Auswirkungen durch die Einrichtung und Nutzung eines **Heim Arbeitsplatzes** wurden innerhalb der letzten Jahrzehnte in einigen internationalen Studien untersucht. Untersucht werden dabei vor allem die Nutzung von Bürogeräten, Beleuchtung sowie Heizen, Lüftung und Klimatisierung (HLK). Die Änderungen im Energieverbrauch sind abhängig von der Art des Systems und dem Verhalten der zu Hause Arbeitenden. Nakanishi (2015) kommt auf der Basis von neun Studien aus den Jahren 1976 bis 2014 zu dem Ergebnis, dass der tägliche Nettoanstieg des Gesamtenergieverbrauchs im Haushalt durch Telearbeit um den Faktor 205 schwankt (von 0,1 kWh bis 20,5 kWh/Tag). Der Verbrauch hängt u.a. vom Nutzungsverhalten ab: wie regulieren die Nutzenden ihre Heizung, wie lüften sie und welche Raumtemperatur streben sie in den unterschiedlichen Räumen an. Geringe zusätzliche Verbräuche resultieren, wenn selbst an Büroarbeitstagen die Wohnung durchgehend beheizt wird, da andere Personen zuhause sind oder weil keine manuelle oder automatische Anpassung erfolgt. Abhängig ist der Energieverbrauch auch von der Haushaltssituation und Größe, und davon, ob während des Arbeitstages im Home-Office noch weitere Personen anwesend sind (Kitou und Horvath 2006; Tao et al. 2023). Und nicht zuletzt hängt der Mehrverbrauch von der genutzten Technologie und dem Energieträger ab. Wie bei den Bürogebäuden auch sind Ergebnisse international oft kaum übertragbar aufgrund unterschiedlicher Klimazonen sowie Differenzen bei der Art und Regulierung von HLK-Anlagen (Matthews und Williams 2005).

Allgemein hat das **Verhalten** der Nutzenden in Wohngebäuden einen zentralen **Einfluss auf den Energieverbrauch**: So hat sowohl die Absenkung der Raumtemperatur als auch die Reduktion der Anzahl beheizter Räume einen großen Einfluss auf den Gesamtverbrauch, wie sowohl Berechnungen als auch Messungen zeigen (Schweizerische Eidgenossenschaft 2020) (Maier et al. 2022) (Khanna et al. 2022). Im Umkehrschluss heißt das, dass der Verbrauch deutlich ansteigt, wenn aufgrund von Home-Office die Räume häufiger beheizt werden oder deshalb die Temperatur erhöht wird. Die Höhe ist dabei abhängig von Gebäudedaten und dem Heizungssystem und weicht in der Praxis ggf. von modellhaften Berechnungen ab. Konkret für mobiles Arbeiten haben O'Brien und Aliabadi (2020) Studienausgewertet, die für den Energieverbrauch durch Heizen, Lüften und Kühlen im Mittel einen Mehrverbrauch von rund 10 % abschätzen - mit Werten zwischen 5 und 15 %.

Shi et al. (2023) berechnen welche Folgen Home-Office für den Energieverbrauch hat. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass der Raumwärmebedarf selbst dann ein Mehrfaches des Energiebedarfs für IKT und Beleuchtung aufweist, wenn nur von einer zusätzlichen Beheizung eines Raums für eine Stunde auf 19°C ausgegangen wird. Damit ist der Raumwärmebedarf einer der zentralen Faktoren für die Klimawirkung von HO, wobei das Nutzerverhalten nach Shi et al. (2023) wichtiger als die Gebäudequalität ist. Gerade wenn die gesamte Wohnung geheizt wird ist die Wohnungsfläche ein entscheidender Einflussfaktor.

Während kurzfristig das alltägliche Nutzungsverhalten den Energieverbrauch maßgeblich beeinflusst stellt mittel- bis langfristig **Wahl der Wohnung** eine zentrale Einflussgröße für den Energieverbrauch dar. Diese kann sich durch Home-Office verändern (O'Brien und Aliabadi 2020; Helminen und Ristimäki 2007). So zeigt eine Erhebung von 2022, dass Arbeitnehmende, die zumindest einen Tag die Woche im Home-Office arbeiten, seit Beginn der Corona-Pandemie häufiger umgezogen sind und dies auch zukünftig planen als Personen, die nicht im Home-Office arbeiten (können) (Dolls und Lay 2023). Bei Personen, die im Home-Office arbeiten, nimmt die Bedeutung von Größe und Schnitt bei der Wahl der Wohnung zu (Scheiner et al. 2023).

Obwohl durch die Pandemie seit 2020 ein sehr viel höherer Anteil der Bevölkerung im Home Office arbeitet sank der witterungsbereinigte Heizenergieverbrauch in den Jahren 2020 und 2021 leicht, wobei der Verbrauch insgesamt von einer Vielzahl von Faktoren abhängt (UBA 2023). Gleichzeitig stieg die Wohnfläche an (UBA 2023). Dies könnte teilweise durch den Trend zu Home-Office begründet werden. Denn Personen, die im Home-Office arbeiten, verfügen häufig über ein **Arbeitszimmer** (O'Brien und Aliabadi 2020). Bei einer Erhebung im August 2020 in Deutschland gaben **57 % der Befragten**, die (anteilig) im Home-Office arbeiten an, zuhause in einem **eigenen Arbeitszimmer** zu arbeiten (Pfnür et al. 2021). Die durchschnittliche Größe des Arbeitsplatzes betrug 2020 15,5 m² (Pfnür et al. 2021).

Vergleich Energieverbrauch im Büro und zu Hause

Lambrecht et al. (2021) kommen zu dem Ergebnis, dass pro Arbeitsplatz die Emissionen in Wohngebäuden niedriger anzusetzen sind als die Emissionen an einem durchschnittlichen

gewerblichen Büroarbeitsplatz. Als Gründe werden höhere durchschnittliche gewerbliche Bürogebäudenutzflächen pro Arbeitsplatz, der Energieverbrauch von elektrischen Anlagen wie Aufzüge und Klimaanlage, die häufiger in Bürogebäuden vorzufinden sind, sowie möglicherweise unterschiedliche Dämmstandards genannt. Wenn für einen Heimarbeitsplatz ein Arbeitsplatz im Büro entfällt müssten die Emissionen demnach sinken.

Lüftungsverhalten im Büro

Zur Frage des Lüftungs- und Heizverhaltens im Büro liegen aus Deutschland zwei aufeinander aufbauende Untersuchungen aus dem Jahr 2015 und 2017 vor (Weiß et al. 2015; Weiß et al. 2017). Die Ergebnisse zeigen, dass die Mehrheit der Befragten im Winter 1-3-mal pro Tag lüftet. Der Großteil der Lüftungsvorgänge hat eine Dauer von bis 10 Minuten, rund die Hälfte sogar nur bis 5 Minuten (Weiß et al. 2017). Dabei lüften fast alle Befragten ihr Büro zu Arbeitsbeginn (Weiß et al. 2015). Auch eine Untersuchung in Cambridge (UK) stellt tageszeitliche Effekte beim Lüften fest: Am häufigsten wurden die Fenster zu Beginn der Arbeitszeit geöffnet, gefolgt vom Arbeitsende (Yun und Steemers 2010). In einer Untersuchung in Krakau gab es auch nach der Mittagspause noch mal einen Lüftungsspeak (Nowak et al. 2018).

Bei der **Art des Lüftens** nutzt fast die Hälfte der Befragten überwiegend Stoßlüften oder Stoß- und Kipplüften kombinieren (Weiß et al. 2015; Weiß et al. 2017). In Mehrpersonbüros wird mit zunehmender Personenanzahl seltener ausschließlich mit gekipptem Fenster gelüftet (Weiß et al. 2017). Größere Verluste können durch das Kippen der Fenster über einen längeren Zeitraum während der Heizperiode entstehen. Im Vergleich mit dem Verhalten zuhause zeigt sich, dass das Lüftungsverhalten im Büro weniger effizient erfolgt als Zuhause (Weiß et al. 2015).

Ein Vergleich des Lüftungsverhaltens vor- und nach einer Sanierung zeigt, dass sowohl der Sanierungszustand des Gebäudes als auch äußere Faktoren wie die Geräuschkulisse Einfluss auf das Lüftungsverhalten haben (Weiß et al. 2015). Eine Untersuchung aus Nanjing (China) in Großraumbüros zeigt auf, dass das Fensteröffnungsverhalten von der Temperatur, Luftfeuchtigkeit und -qualität, Lärm, Entfernung des Fensters und Windgeschwindigkeit abhängt sowie dem täglichen Arbeitsplan der Nutzenden und dem Zustand der Klimaanlage (Xin et al. 2018). Dass Lüften einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch hat zeigt eine Untersuchung des Energieverbrauchs von Schulen, Kindergärten und auch Verwaltungsgebäuden (Büros): So stieg der thermische Energieverbrauch auf Grund der Corona-Maßnahmen (vermehrtem Lüften) in den Gebäuden während der Präsenzzeit um 8-49 % an (Stinner et al. 2021). In Gebäuden mit RLT-Anlagen stieg der Heizbedarf dagegen nur um 8 %.

Lüftungsverhalten Zuhause

Da es noch keine Untersuchungen zum Lüftungsverhalten im home-office gibt werden nachfolgend Ergebnisse zum allgemeinen Lüftungsverhalten zuhause dargestellt. Die Untersuchung von Weiß et al. (2015) erhob neben dem Lüftungsverhalten am Arbeitsplatz auch das Lüftungsverhalten in privaten Haushalten. Deutlich wurde dabei, dass rund zwei

Drittel der Befragten, die im Büro nur Kipp- und gelegentlich Stoßlüften zu Hause ausschließlich Stoßlüften. Insgesamt zeigt diese wie die Folgestudie, dass die Befragten im Büro sorgloser mit Energie umgehen als im privaten Bereich – und zwar sowohl in Bezug auf das Lüftungs- als auch das Heizverhalten (Weiß et al. 2017).

Eine Untersuchung von 2019 betrachtete umfassender das Lüftungsverhalten (ECOLOG-Institut und Fraunhofer-Institut ISI 2019). Beim Heizen wie auch beim Lüften wird auf eine Mischung aus tradiertem oder eingeübtem Verhalten und angeeignetem Wissen zurückgegriffen. Auch beim Lüften zuhause gibt es einen zeitlichen Verlauf: Am häufigsten ist das morgendliche Lüften, daneben erfolgt teilweise eine zweite Lüftung nach der Rückkehr von der Arbeit, Schule oder dem Einkauf im Laufe des Nachmittags. Ein drittes Lüftungsintervall gibt es oft in den Abendstunden. Auch im privaten Bereich werden gelegentlich Fenster lediglich auf Kippstellung geöffnet (z. B. auf Grund von Gardinen, Rollos oder Gegenständen auf der Fensterbank) (ECOLOG-Institut und Fraunhofer-Institut ISI 2019). Insgesamt besteht bei vielen eine hohe Motivation, zuhause Energie zu sparen: So gaben in einer Umfrage in Deutschland drei Viertel der Befragten an, zuhause Stoßlüften zu praktizieren, um Energie zu sparen (TopTarif und Thermondo 2016). Dabei ist Stoßlüften vor allem in Wohnzimmern häufig angewendet, dagegen ist der Anteil an gekippten Fenstern in der Küche und im Schlafzimmer deutlich höher (Slavici 2023, Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit 2004).

Heizverhalten im Büro

Viele Nutzende achten in Bürogebäuden wenig auf die Regulierung der Heizung (Weiß et al. 2015). Dies trifft noch mehr auf Gemeinschaftsräume zu, bei denen sich häufig niemand für die Heizungsregulierung verantwortlich fühlt. So wird in diesen häufig durchgeheizt, bzw. sind dort oft sogar die Heizungen auf hoher Stufe eingestellt, da nach Nutzung nicht mehr runtergedreht wird. Ein weiteres Problem in Bürogebäude ist, dass tagsüber viele Bürotüren offenbleiben, wodurch warme Luft aus den Büros in kühlere Zonen getragen wird. Insgesamt ergab die Untersuchung von Weiß et al. (2015), dass in Büroräumen eher sorglos mit Energie umgegangen wird und überschüssige Wärme häufig über die Lüftung ausgeglichen wird, anstatt die Heizung runterzudrehen. Insgesamt wird die Heizung wenig reguliert, häufig auch nicht beim Lüften oder nach Feierabend.

Heizverhalten Zuhause

Es gibt kaum Studien, die sich mit dem Energieverhalten im Home-Office befassen (O'Brien und Aliabadi 2020). Villeneuve et al. (2021) haben in einer Umfrage in Kanada während der Covid-19-Pandemie erhoben, ob die Befragten ihre Heizungseinstellungen oder Thermostate aufgrund des mobilen Arbeitens verändert haben. Knapp die Hälfte gab an, keine Veränderungen vorgenommen zu haben, dagegen haben 38% tagsüber die Soll-Temperatur erhöht. Da in Kanada häufig die Heizung nur zentral reguliert wird kann der Verbrauch in Folge deutlich ansteigen, da von der Anpassung alle Räume betroffen sind. Die Autor*innen äußern, dass deshalb die Mehrverbräuche im Home-Office womöglich höher ausfallen als Einsparungen in den Büros.

Allgemein unterscheidet sich ebenso wie das Lüftungsverhalten auch das Heizungsverhalten zwischen Büro und privatem Bereich (Weiß et al. 2015). Wie beim Lüften wird zuhause mehr auf Effizienz geachtet. Teilweise wird angegeben, dass die Heizung bei Abwesenheit im privaten Bereich eher heruntergestellt und beim Lüften auch ausgestellt wird als am Arbeitsplatz, oder dass die Rauminnentemperatur im Büro höher als Zuhause ist. In einer Studie von 2023 wurde festgestellt, dass die meisten Haushalte beim Verlassen des Hauses die Heizung runterdrehen (Preuß und Dütschke 2023). Ein Grund für das bewusstere Verhalten ist das Motiv, zuhause Heizkosten zu sparen: Eine Befragung ergab, dass fast die Hälfte der befragten Haushalte versuchen das Heizen so lange wie möglich hinauszuzögern und sogar mehr als die Hälfte ihr Heizverhalten einschränkt, um Kosten zu sparen (TopTarif und Thermondo 2016).

Dennoch heizen viele Haushalte tagsüber mehrere Räume konstant durch; geringer ist die Anzahl an Haushalten, die zeitlich variabel heizt und an die Anwesenheit sowie die wechselnden/ unterschiedlichen Bedürfnisse der Bewohnerinnen und Bewohner anpasst (ECOLOG-Institut und Fraunhofer-Institut ISI 2019). Eine Untersuchung zum Heiz- und Lüftungsverhalten in den Niederlanden ergab, dass die Anzahl der genutzten Räume eine der wichtigsten Variablen ist, die den Energieverbrauch für die Raumheizung bestimmt (Guerra Santin 2011).

Dennoch stimmen die Heizzeiten oft nicht mit den (wachen) Anwesenheitszeiten überein, wie eine Studie aus England zeigt (Hanmer et al. 2019). Die Heizroutinen wurden so gewählt, dass sie ein zufriedenstellendes Ergebnis für die Haushalte erbrachten, auch wenn diese nicht den tatsächlichen Belegungsmustern der Bewohnenden entsprach. Dementsprechend bilden Gebäudeenergiemodelle, die davon ausgehen, der Heizbetrieb mit den Zeiten zusammenfällt, in denen die Wohnungen bewohnt sind und die Bewohnenden nicht schlafen, für viele Haushalte nicht die Realität ab.

Empirie: Interviews und Befragung

Die Ergebnisse der Literaturlauswertung zeigen, dass es zur Veränderung des Verhaltens sowohl im Büro bei ggf. geringerer Belegung oder neuen Nutzungskonzepten als auch im Home-Office bisher jedoch noch kaum Erhebungen gibt. Deshalb wurden im Projekt HOffEn Fragen in die Interviews mit Akteuren aus Unternehmen bzw. einer Hochschule zu den Folgen von Home-Office auf die Raumnutzung sowie zum Heizen und Lüften und zum Verhalten im Büro und zuhause eingefügt. Zudem wurden Fragen zum Nutzungsverhalten in die Befragung von Arbeitnehmer*innen aufgenommen.

Interviews – Ergebnisse zu Energieverbrauch und Energieverhalten

Die nachfolgenden Ergebnisse basieren auf der Auswertung von 25 Interviews, die mit Personen in Leitungsfunktionen sowie aus Bereichen wie Facility Management und Personal geführt wurden. Die Transkripte wurden mit Hilfe der Software MAXQDA ausgewertet. Dabei wurden die Aussagen zu Fragen zum Themenbereich Facility Management und Energieverhalten der Mitarbeitenden vollständig auf Aussagen zu den oben genannten Themenbereichen analysiert und codiert, wobei vorab erstellte Codes nach

und nach ergänzt wurden. Zudem wurden mittels Stichwortsuche alle Interviewteile auf weitere relevante Aussagen analysiert und diese ebenfalls codiert. Nachfolgend werden die zentralen Ergebnisse der Auswertung inkl. prägnanter Aussagen, die diese unterstreichen, präsentiert.

Einige Interviewte nehmen recht pauschal an, dass durch Home-Office der **Energieverbrauch im Büro** deutlich sinkt bzw. die Arbeitgeber deutlich Kosten einsparen. Teilweise werden diese Aussagen auch mit Beispielen unterlegt, häufig zum Stromverbrauch (IKT, Beleuchtung). Gleichzeitig wurde in mehreren Interviews explizit geäußert, dass es aktuell allenfalls sehr geringe Heizenergieeinsparung durch Home-Office gibt. Da Mitarbeitende individuell entscheiden, wann sie Home-Office machen, sind die Büros häufig teilbelegt, so dass der Energieverbrauch kaum gesenkt wird.

Einige Interviewte weisen darauf hin, dass substantielle Einsparungen erst erzielbar wären, wenn ganze Bereiche zumindest tageweise leer stehen oder die (beheizten) Flächen ganz reduziert würde.

Gleichzeitig wurde in den Interviews deutlich, dass es zu dem Zeitpunkt eine hohe Sensibilität für das Thema Energiesparen aufgrund der gestiegenen Preise infolge des Kriegs in der Ukraine gab.

Die Interviewten beobachteten häufig eine geringe Auslastung in den Büros (ein Interviewter gab an maximal 50 Prozent). Einige Interviewten geben an, dass durch neue **Gebäudenutzungskonzepte** (bspw. Desk Sharing und neue Raumaufteilung) und die daraus resultierende Flächenreduktion könnte der Energieverbrauch substantiell gesenkt werden.

Großteils erfolgt die Steuerung der Raumtemperatur individuell durch Thermostatventile an den Heizkörpern, tlw. ergänzt um zentrale Steuerungsansätze. Einsparpotenziale ergeben sich durch **energiesparendes Verhalten** der Mitarbeitenden. Genannt wird hier vor allem, dass man bei Abwesenheit die Heizung runter drehen und das Licht ausschalten sollte. Einige Interviewte gaben auch an, dass sie das in der Regel machen - und dass das eigentlich auch alle anderen machen sollten oder vermutlich machen. Teilweise erwähnten sie aber auch, dass Energiesparen zuhause finanziell attraktiver ist, so dass es dort ggf. wichtiger genommen wird. Zudem gibt es tlw. das Problem, dass die Büros lange brauchen um warm zu werden, wenn die Heizung runter gedreht wird. Hier werden Potenziale durch intelligente Steuerung gesehen.

Die Betriebe berichten aufgrund der gestiegenen Energiepreise und der drohenden Energiekrise von **Maßnahmen zur Unterstützung des Energiesparverhaltens** im Büro.

Die Interviewten berichteten auch von ihrem **Energieverhalten zuhause** oder wiesen auf die Veränderung des Energieverbrauchs zuhause hin. Hierbei scheinen sich die Folgen deutlich zu unterscheiden. So gaben einige an, dass sich ihr Verbrauch durch Home-Office nicht oder unwesentlich geändert habe, weil sie die Räume sowieso heizen. Mehrverbrauch zuhause ist für manche Interviewte eher beim Stromverbrauch sichtbar.

Andere dagegen äußern, dass sie aufgrund von Home-Office zuhause **mehr Wärme** verbrauchen, weil sie länger heizen, mehr Räume beheizen oder höhere Temperaturen in diesen haben. Dadurch steigen entsprechend die Energiekosten.

Interviews: Veränderung der Wohnsituation aufgrund von Home-Office

Die meisten Interviewten konnte **kein konkretes Beispiel** für Umzüge in Folge von mehr Home-Office in ihrer Abteilung oder in ihrem Umfeld nennen.

Teilweise haben die Interviewten schon davon gehört, dass jemand deswegen umgezogen ist oder sie haben mitbekommen, dass das **ein Grund für Umzüge** ist oder Umzüge ermöglicht. Dabei muss es nicht unbedingt darum gehen, dass man woanders wohnen möchte. Auch der Bedarf für ein **Arbeitszimmer** kann Grund für den Umzug sein. So wurde von mehreren Personen geäußert, dass für Home-Office ein Arbeitszimmer notwendig sei.

Ein Interviewter berichtet von konkreten, nicht umgesetzten Planungen. Gründe gegen den Umzug aufs Land sind unter anderem, dass noch nicht ausreichend Vertrauen da ist, dass dauerhaft im Home-Office arbeiten im gewünschten Umfang möglich ist. Dort wo es umgesetzt wurde ergeben sich teilweise auch Konflikte.

Andersrum wurde tlw. beobachtet, dass durch Home-Office Kolleg*innen, die weiter weg wohnen, ihren Arbeitsplatz nicht wechseln müssen. Home-Office kann somit auch Umzüge verhindern. Gleichzeitig macht Home-Office Stellen attraktiver für Personen, die weiter weg wohnen.

Quantitative Befragung von Arbeitnehmenden

In Bezug auf das Nutzungsverhalten wurden Fragen nach der Nutzung und Beheizung eines Arbeitszimmers, der Regulierung der Heizung, einem Umzug sowie zu weiteren energierelevanten Tätigkeiten für die gemeinsame **Befragung** (siehe AP 1) im Rahmen von AP 3 entwickelt und ausgewertet. Nachfolgend erfolgt eine kurze Darstellung der zentralen Ergebnisse.

Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass rund die Hälfte der Befragten zuhause in einem eigenen **Arbeitszimmer** arbeitet. Die meisten anderen arbeiten an einem Schreibtisch in einem anderen Raum, nur wenige nutzen einen anderen Tisch oder wechseln ihren Arbeitsort zuhause. Diese Flächen führen vor allem dann zu einem zusätzlichen Energieverbrauch, wenn sie zusätzlich beheizt werden. Die Auswertung der Befragung kommt zu dem Ergebnis, dass Arbeitszimmer und Wohnzimmer von vielen Befragten im Home Office immer oder oft zusätzlich beheizt werden, alle weiteren Räume dagegen sehr viel seltener bzw. nie. Interessant ist, dass bei Personen mit eigenem Arbeitszimmer die anderen Räume in ähnlichem Maß zusätzlich beheizt werden wie bei den Beschäftigten ohne Arbeitszimmer. Dies bedeutet, dass das **Arbeitszimmer als zusätzlich beheizte Fläche** betrachtet werden muss.

Der zusätzliche Wärmeverbrauch entsteht vor allem dann, wenn die Räume sonst nicht oder weniger beheizt werden. Deshalb wurde gefragt, ob die **Heizungen** abgestellt werden, wenn Räume länger nicht genutzt werden. Dabei zeigte sich, dass rund die Hälfte der Befragten

dies immer oder oft macht. Die andere Hälfte dagegen reguliert ihre Heizung seltener. Bei diesen Haushalten ist davon auszugehen, dass der Mehrverbrauch durch Home Office geringer ist, da auch bei Abwesenheit eher geheizt wird. Ein Mehrverbrauch ist somit eher bei den Haushalten zu erwarten, die auf energieeffizientes Heizen achten.

Ein erheblicher Anteil der Befragten ist in den letzten Jahren umgezogen oder plant konkret umzuziehen. Dabei spielt **Home Office als Grund für den Umzug** bei den meisten eine Rolle, wobei der Platzbedarf für ein Arbeitszimmer bzw. Arbeitsplatz relevanter für die Umzugsplanung ist als die Wohnortwahl. Bei immerhin 17 % der Befragten ist dies ein Grund umzuziehen. Dies zeigt, dass Home-Office den Platzbedarf von Haushalten erhöht. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Home Office dazu beiträgt, dass die Wohnfläche in Deutschland steigt.

Neben Heizen kann es im Home-Office auch zu einer Veränderung des Energieverbrauchs bei weiteren **energierelevanten Tätigkeiten** zuhause kommen. Die Befragung zeigt, dass Personen im Home Office teilweise weniger Duschen und Baden als wenn sie ins Büro gehen. Der Warmwasserverbrauch sinkt somit wohl. Gleichzeitig wird im Home Office sehr viel häufiger gekocht, wodurch der Energieverbrauch (und ggf. auch der Warmwasserverbrauch) zuhause steigt. (Teilweise sinkt hierfür aber wohl der Energieverbrauch für den Außer-Haus-Verzehr.)

2.1.3.2 AP3b: Simulation des Einflusses von Home-Office auf den Energiebedarf durch Veränderung der Gebäudeflächennutzung (EBC)

In diesem Arbeitspaket werden dynamische Gebäudejahressimulationen genutzt, um Einflussgrößen auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf von Wohn- und Nichtwohngebäuden in Form von Bürogebäuden bestimmen zu können. Dabei wird vor allem der Einfluss der Home-Office-Nutzung untersucht. Die analysierten Effekte werden zum einen für eine Gesamtpotentialabschätzung genutzt, um zu bewerten, ob und wie Home-Office einen Betrag zur Energiewende in Deutschland leisten kann, siehe AP7. Zum anderen werden die Erkenntnisse genutzt, um Handlungsempfehlungen abzuleiten und eine Datengrundlage für eine vereinfachtes Berechnungsmodell zu schaffen, welches in einem Online-Tool implementiert wird, siehe AP8.

Tool-Chain zur automatisierten Modellerstellung & dynamischen Gebäudesimulation

Die zur Zeit der Covid-19-Pandemie starke und kurzfristige Verlagerung des Arbeitsplatzes ins Home-Office hat zu einer Intensivierung der Nutzung von Privatwohnungen als Arbeitsplatzzumgebung geführt. Es ist jedoch bislang unklar, wie groß und in welche Richtung der Einfluss der Home-Office-Nutzung auf den Energiebedarf von Gebäuden ist. Um diesen Einfluss auf den Energiebedarf zu analysieren, wurden in diesem AP dynamische Gebäudesimulationen durchgeführt, mit denen die energetischen Effekte durch die Home-Office-Nutzung sowohl für Wohngebäude als auch für Nichtwohngebäude bestimmt werden können.

Um möglichst realitätsnahe und für den deutschen Gebäudebestand repräsentative Effekte berechnen zu können und gleichzeitig den Rechenaufwand handhabbar zu gestalten,

müssen bei der Erstellung und Parametrisierung der Modelle geeignete Vereinfachungen sowie geeignete Annahmen für die Wertebereiche der Parameter getroffen werden. Als wesentliche Einflussgrößen für den Energiebedarf können die Parameter Gebäudefläche, Gebäudephysik, Anlagentechnik, Art der Energieversorgung, Nutzerverhalten (Calì et al. 2019) und Umgebungsbedingungen (Wetter) identifiziert werden. Aufgrund der freien Variationsmöglichkeit dieser Parameter, kann die Anzahl an benötigten Simulationen beliebig hoch sein, was hohe Anforderungen an den Rechenaufwand stellt.

Um den Rechenaufwand zu reduzieren, werden im Rahmen dieses Arbeitspaketes vereinfachte Mehr-Zonen-Modelle, sogenannte „Reduced Order Models“ (ROM), verwendet. Hierzu wurden bereits bestehende vereinfachte Ein-Zonen-Modelle um zusätzliche thermische Zonen erweitert, die jedoch keinen Wärmetransport untereinander aufweisen und somit ideal thermisch entkoppelt sind. Dies ermöglicht es, z. B. Szenarien betrachten zu können, in dem im Home-Office nur das Arbeitszimmer auf eine Komforttemperatur geheizt wird und die restlichen Räume nur auf eine darunterliegende Minimaltemperatur gehalten werden, ähnlich zur Temperaturabsenkung bei Abwesenheit während eines konventionellen Arbeitstags im Büro. Im Vergleich zu komplexen Mehrzonenmodellen, sogenannten „High Order Models“ (HOM), ist die Rechenzeit bei Ein-Zonen-Modellen deutlich kürzer, ohne dass die Qualität der Ergebnisse signifikant beeinträchtigt wird (Lauster et al. 2017). Der weitere Vorteil besteht darin, dass das Automationspotential der Berechnungen erhöht werden kann. Dazu ist eine Tool-Chain für den gesamten Modellierungs- und Simulationsprozess entwickelt worden, siehe Abbildung 19.

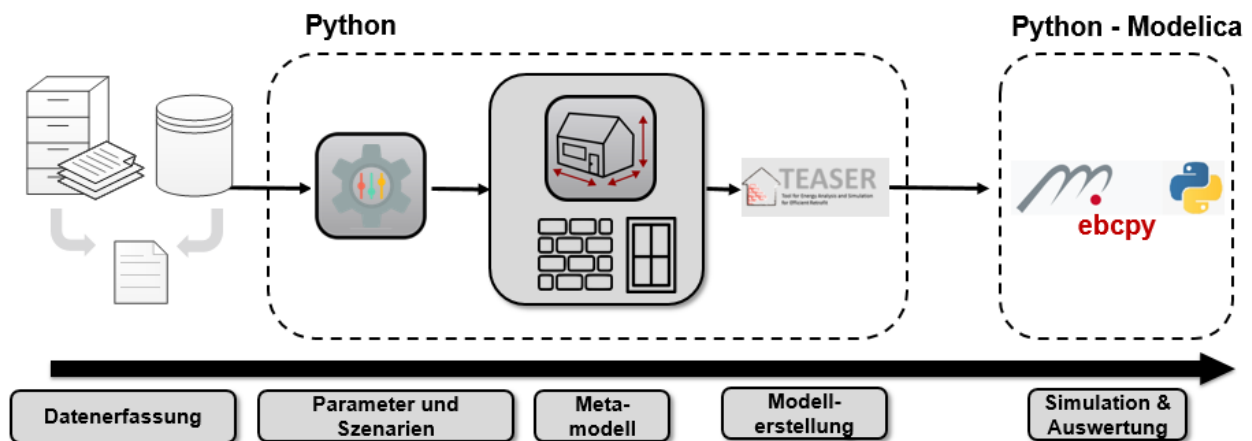


Abbildung 19: Tool-Chain für den Modellierungs- und Simulationsprozess der dynamischen Gebäudemodelle

Basierend auf einer Literaturrecherche werden zunächst die Wertebereiche für die wesentlichen Parameter (z. B. Gebäudetyp, Baujahr, Gebäudefläche, Geschosshöhe, Anzahl der Stockwerke, interne Lastprofile) definiert und entsprechende Szenarien für Home-Office und Arbeiten im Büro in Form von automatisiert einlesbaren Datensätzen erstellt, siehe Abbildung 19. Basierend auf der Auswahl von diskreten Werten der Parameter wird für jede Simulation ein Datensatz für ein sogenanntes Metamodell erstellt. Aus diesem

Metamodell wird in einem nächsten Schritt mit der am EBC entwickelten Software TEASER in Kombination mit der AixLib-Bibliothek automatisiert ein lauffähiges Modelica-Gebäudemodell erstellt. Anschließend wird die Simulation des Modells mit dem am EBC entwickelten Python-Paket „ebcpy“ automatisiert gestartet. Die berechneten Ergebnisse insbesondere bezüglich des Energiebedarfs für Heizen, Kühlen und Strom werden für die nachfolgende Analyse gespeichert. Dabei werden ideale Lasten berechnet, die zum Einhalten der im Vorfeld definierten Temperatursollwerte zur Bereitstellung des thermischen Komforts notwendig sind. In einer nachgelagerten Analyse können diese Bedarfe in Relation zu unterschiedlichen Gebäudeenergiesystemen (z. B. Gaskessel, Wärmepumpe) hinsichtlich des Primärenergiebedarfs bzw. der CO₂-Emissionen evaluiert werden, siehe AP 7.

Zunächst werden die Gebäude hinsichtlich ihrer allgemeinen Nutzungsart in Wohngebäude und Nichtwohngebäude (Bürogebäude) unterteilt. In einer zweiten Betrachtungsebene werden die Wohngebäude hinsichtlich ihrer Typologie in freistehende Einfamilienhäuser, Reihenhäuser, Mehrfamilienhäuser und große Mehrfamilienhäuser (Wohnblöcke) nach der TABULA-Datenbank bzw. Loga et al. unterteilt (Loga et al. 2012). Die Bürogebäude werden auf dieser Typologieebene hinsichtlich des Bürotyps unterschieden. Diese können nach Staniek et al. in Zellenbüro, Großraumbüro, Kombibüro und Business Club unterteilt werden (Staniek und Staniek 2013). Für die Untersuchungen in diesem Projekt werden Großraumbüros und Zellenbüros betrachtet.

Die Parametrierung der Wohngebäudemodelle erfolgt anhand des Gebäudetyps und des Baujahrs nach der TABULA-Datenbank mit TEASER. Damit lassen sich z. B. der Dämmstandard oder der Fensterflächenanteil abschätzen.

Als Anlagentechnik werden für alle Gebäude ideale Heizsysteme modelliert. Da Kühltssysteme nur in etwa ein bis zwei Prozent der deutschen Wohnungen gegenüber etwa 50 Prozent der deutschen Bürogebäude installiert sind (Bettgenhäuser et al.), werden ausschließlich für Nichtwohngebäude ideale Kühltssysteme modelliert. Maschinelle Lüftungssysteme werden in der Studie nicht betrachtet.

Modellierung von Wohngebäuden

Die TABULA-Datenbank liefert repräsentative Daten zur Verteilung von Wohngebäudetypen und Baualtersklassen für den Gebäudebestand in Deutschland. Diese Datenbank unterteilt die Wohngebäude in formale Kategorien wie Einfamilienhäuser (EFH), Reihenhäuser (RH), Mehrfamilienhäuser (MFH) und große Mehrfamilienhäuser (GMFH). In Teaser sind bereits Wohngebäudemodelle in Verbindung mit der TABULA-Datenbank implementiert. Die Einschränkung dieser Modelle ist, dass sie nur aus einer Zone bestehen, was für die vorliegenden Szenarien und Parametervariationen nicht ausreichend ist. Daher sind in diesem Arbeitspaket die Modellansätze erweitert worden, um Mehrzonenmodelle für Wohngebäude zu erstellen.

Laut Statista lebt 56,1% der deutschen Bevölkerung in Wohnungen innerhalb eines MFH oder GMFH, 41,2% in einem EFH und 2,7% in anderen Gebäuden (Statista, 2021). 42% der Bevölkerung sind Single-Haushalte, während der Rest in Familien mit durchschnittlich vier

Familienmitgliedern lebt, mit Ausnahme von Alleinerziehenden, bei denen die durchschnittliche Familiengröße drei Personen beträgt (BBSR, 2021; Destatis, 2021). Um eine Überbelegung zu vermeiden, müssen die Wohnungen laut Eurostat ein Mindestkriterium erfüllen (Eurostat, 2021), das wie folgt lautet:

- ein Zimmer für den Haushalt;
- ein zusätzliches Zimmer pro Paar im Haushalt;
- ein zusätzliches Zimmer für jede alleinstehende Person im Alter von mindestens 18 Jahren;
- ein zusätzliches Zimmer pro Paar von Einzelpersonen desselben Geschlechts zwischen 12 und 17 Jahren;
- ein zusätzliches Zimmer für jede alleinstehende Person zwischen 12 und 17 Jahren, die nicht in der vorherigen Kategorie enthalten ist;
- ein zusätzliches Zimmer für jedes Paar von Kindern unter 12 Jahren.

Auf Grundlage der oben genannten Informationen werden die Mehrzonenmodelle für Wohngebäude erstellt. Tabelle 5 zeigt die Aufteilung der Gebäudemodelle, die integrierten Zonen, die Anzahl der darin lebenden Personen und die Wohnfläche. Die Modelle sind in zwei Hauptgruppen unterteilt: EFH/RH mit acht Zonen, in denen bis zu vier Personen leben können. Für MFH/GMFH werden vier verschiedene Wohnungstypen erstellt: Studio, 1,5-Zimmer-Wohnung, 2-Zimmer-Wohnung und 3-Zimmer-Wohnung.

Tabelle 5: Aufteilung der Wohngebäude in Zonen (EFH: Einfamilienhaus, RH: Reihenhaushaus, MFH: Mehrfamilienhaus, GMFH: Großes Mehrfamilienhaus) mit Angabe der darin lebenden Personen und der zugeordneten Gesamtfläche

Gebäudetyp		Zonen	Anzahl der Zonen	Anzahl der Personen	Fläche in m ²
EFH/RH	Angebaut / Freistehend	Wohnzimmer	1	bis zu 4	120
		Küche	1		
		Badezimmer	2		
		Büro	1		
		Schlafzimmer	3		
MFH/GMFH	Studio	Wohnzimmer, Büro, Schlafzimmer, Küche	1	bis zu 2	30
		Badezimmer	1		
	1,5-Zimmer-Wohnung	Wohnzimmer, Büro, Küche	1	bis zu 2	50
		Schlafzimmer	1		
		Badezimmer	1		
	2-Zimmer-Wohnung	Wohnzimmer, Büro	1	bis zu 2	60
		Küche	1		
		Schlafzimmer	1		
		Badezimmer	1		
		Wohnzimmer, Büro	1	bis zu 3	73

	3-Zimmer- Wohnung	Küche	1		
		Schlafzimmer	2		
		Badezimmer	1		

Nutzungsverhalten und interne Lasten

Die Berücksichtigung des Nutzungsverhaltens und die entsprechende Modellierung dient dazu, den Energiebedarf von Gebäuden präziser zu berechnen (Calì et al., 2019). In diesem Arbeitspaket werden zwei extreme Szenarien für das Home-Office betrachtet, um die Auswirkungen des Nutzerverhaltens zu bewerten. Im ersten Szenario wird angenommen, dass nur der Bürobereich bzw. die Bürozone genutzt und auf eine komfortable Temperatur konditioniert wird. Dies führt zu einem geringeren Energiebedarf als im zweiten Szenario, in dem die anderen Zonen, die nicht oder nur kurzzeitig, z. B. während der Mittagspause, genutzt werden, ebenfalls auf eine komfortable Temperatur während der Arbeitszeit konditioniert werden. Für die Wochenenden wird angenommen, dass die Personen beide Tage anwesend sind. Es wird angenommen, dass die Nutzung von Home-Office hat keinen Einfluss auf den Energiebedarf außerhalb der Arbeitszeit hat, sodass von einer Variation der An- bzw. Abwesenheit am Wochenende abgesehen wird.

Die internen thermischen Lasten in den Gebäuden werden in Form von dynamischen Lastprofilen abgebildet, die sich in vier Hauptlasten kategorisieren lassen: Personenlast, Maschinenlast, Beleuchtungslast und Warmwasser. Diese sind von der Anwesenheit bzw. dem Nutzerverhaltensszenario abhängig. Um den allgemeinen Energiebedarf von Privathaushalten abzuschätzen, können Standardlastprofile verwendet werden (Ziegler et al. 2020). Eine Literaturstudie zu Stromlastmodellen von Wohngebäuden wird von Proedrou et al. bereitgestellt (Proedrou 2021). Laut Proedrou kann die erhöhte Nutzung mehrerer elektronischer Geräte wie Smartphones, Smart Speaker, elektrische Heizungen, Spielekonsolen und Innenbeleuchtung zu hohen Abweichungen zwischen einzelnen Haushalten führen. Sowohl die Ergebnisse von Yilmaz et al. als auch Proedrou et al. zeigen zudem die Möglichkeit von kurzen Lastspitzen. Diese Spitzen könnten darauf zurückzuführen sein, dass bestimmte Zonen, wie z. B. die Küchenzone, Geräte mit hoher Leistung (Elektroherd, Wasserkocher, etc.) aufweisen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Lastprofile in der Realität stark variieren können, dennoch sind für die Simulation vereinfachende Annahmen für eine systematische Bewertung notwendig.

Das Vorgehen bei der Erstellung von dynamischen Lastprofilen kann in zwei Kategorien unterteilt werden: Bottom-up- und Top-down-Modelle. Bei Bottom-up-Modellen werden die Haushalte detailliert abgebildet, d. h. die Geräte und die Anwesenheit werden berücksichtigt und daraus ein Gesamtverbrauchsprofil erstellt. Bei Top-down-Modellen werden aggregierte Daten genutzt und in Abhängigkeit von Makrovariablen wie Wetterbedingungen oder Verbraucherverhalten entsprechende Einflüsse bestimmt (Schlemminger et al., 2021).

In dieser Arbeit werden Bottom-up-Modelle verwendet, um Beleuchtungs- und Gerätelastprofile für Home-Office-Szenarien zu erstellen, da bislang keine spezifischen aggregierten Daten für unterschiedliche Home-Office Anteile verfügbar sind. Die Betriebszeit der Beleuchtung wird anhand der Anwesenheit innerhalb der jeweiligen Zone definiert. Die Geräte werden anhand der entsprechenden Zone, der Funktionalität und der

täglichen Nutzung identifiziert und zugewiesen, wie in Tabelle 6 dargestellt. In der Küche befinden sich die meisten Geräte, die täglich genutzt werden (Kühlschrank, Gefrierschrank, Herd, Backofen und Kaffeemaschine), was sich entsprechend auf die Lastprofile für die Szenarien auswirkt. Bei den Home-Office-Szenarien sind die Lasten der Bürozone aufgrund der Rechner und Monitore, die 8 Stunden lang genutzt werden, am zweithöchsten. Haushaltsgeräte werden je nach Art des Geräts in Volllast und Teillast unterteilt. Kühlschränke und Gefriergeräte arbeiten im Teillastbereich. Ein typischer Arbeitszyklus für einen Gefrierschrank liegt bei 33 %, und für einen Kühlschrank liegt der beste Arbeitszyklus zwischen 30 % und 50 % (Cavallo & Mapp, 2000; Meerssche et al., 2012). In dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass die Einschaltdauer für den Kühl- und Gefrierschrank 33 % beträgt, während die übrigen Geräte während der Betriebszeit unter Volllast arbeiten und der Standby-Strom vernachlässigt wird.

Für die Jahressimulationen werden neben den Wochentagen die arbeitsfreien Tage modelliert. Dazu werden zusätzliche Anwesenheits- und Lastprofile für Wochenenden und vier Wochen Urlaubszeit (KW20, KW21, KW40, KW41) entwickelt. Diese werden sowohl für die Simulation mit Home-Office-Nutzung als auch für die Simulation mit normaler Büronutzung gleich angenommen, da für diesen Zeitraum die Annahme getroffen wird, dass die Home-Office-Nutzung keinen Einfluss auf den Energieverbrauch hat.

Tabelle 6: Leistungen von Haushaltsgeräten mit Zuordnung nach Zone, Lasttyp und Nutzungsstunden (VL: Volllast, TL: Teillast).

Gerät	Leistung	Zone	Lasttyp	Einschalt- dauer	Nutzungs- stunden	Referenzen
	W			-	h	
Kaffeemaschine	1.300	Küche	VL	100%	0,05	(IEA ESTASP, 2012d)
Geschirrspüler	1.400		VL	100%	0,5	(IEA ESTASP, 2012c)
Kühlschrank (klein)	100		TL	33%	24	(IEA ESTASP, 2012a)
Kühlschrank (groß)	300		TL	33%	24	
Kühlschrank + Gefrierschrank	500		TL	33%	24	
Gefrierschrank (klein)	80		TL	33%	24	
Gefrierschrank (groß)	300		TL	33%	24	
Mikrowelle	1.100		VL	100%	0,2	(IEA ESTASP, 2012b)
Herd	1.500		VL	100%	0,3	
Backofen	2.400		VL	100%	1	
Waschmaschine	375		VL	100%	1	(Nasruddin*, 2018)
Kessel	1.500		VL	100%	0,05	
Laptop	60	Büro	VL	100%	8	
Drucker	40		VL	100%	0,5	(IEA ESTASP, 2012e)
LCD/LED	30	Wohn- zimmer	VL	100%	8	
TV	150		VL	100%	0,5	

Telefon-Ladegerät	5		VL	100%	1	
Spielkonsole	90		VL	100%	0,5	

Zu Bewertung der erstellten Lastkurven können Referenzberechnungen oder Ergebnisse aus Feldstudien vergleichend herangezogen werden. Dazu werden drei Ansätze (Yilmaz, VDI 4655 und Destatis) im Folgenden vorgestellt und im Kontext einer Vergleichbarkeit mit den erstellten Bottom-up-Lastprofilen diskutiert.

In der Studie von Yilmaz et al. (Yilmaz et al. 2019) wurde anhand von Smart-Meter-Daten das Stromlastprofil aus dem Jahr 2015 von 656 Haushalten in der Schweiz analysiert. Das Ergebnis der Studie zeigt die große Variation der Stromprofile zwischen den Haushalten für denselben Tag sowie zwischen verschiedenen Tagen für einen Haushalt. Eine Bewertung der erstellten Profile ist mit diesem Datensatz daher nur eingeschränkt möglich.

In der VDI 4655 werden aggregierte Referenz-Stromlastprofile für Wohngebäude bereitgestellt. Dabei werden die täglichen Lastprofile in Werktage und Sonntage unterteilt, wobei hinsichtlich bewölkter und klarer Tage unterschieden wird. Der jährliche elektrische Energiebedarf für Einfamilienhäuser wird in Abhängigkeit von der Anzahl der in der Wohnung lebenden Personen bestimmt. Der durchschnittliche jährliche Strombedarf pro Wohnung für MFH wird mit einheitlich 3000 kWh/Jahr festgelegt. Der jährliche elektrische Energiebedarf wird in Form des Haushaltsstrombedarfs einschließlich des Hilfsstrombedarfs für Umwälzpumpen und die Steuerung der Heizungsanlage sowie Lüftungsanlagen angegeben (VDI, 2021).

Das Statistische Bundesamt (Destatis) gibt den jährlichen elektrischen Energiebedarf für Geräte in Abhängigkeit der Größe des Haushalts an (Destatis, 2018). Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass Haushalte mit 3 und mehr Personen für das Jahr 2018 einheitlich mit 4.283 kWh angegeben werden.

In diesem Arbeitspaket werden Mehrfamilienhäuser in Studios sowie 1,5-, 2- und 3-Zimmer-Wohnungen unterteilt, so dass für einen Vergleich die durchschnittliche Schätzung pro Wohneinheit nach VDI 4655 in diesem Fall nicht ausreichend ist. In Tabelle 7 sind die Werte der jährlichen elektrischen Energiebedarfe für die unterschiedlichen Wohnungstypen nach der VDI 4655, nach den Angaben vom Statistischen Bundesamt und die mit dem Bottom-up-Ansatz berechneten Werte für das Home-Office-Szenario (Arbeitstag: mehr als eine Zone genutzt, Wochenende: 2 Tage anwesend) und ohne Home-Office-Szenario (Arbeitstag: keine Zone während der Arbeitszeit genutzt, Wochenende: 2 Tage anwesend) angegeben. Die Ergebnisse in der Tabelle 7 zeigen, dass der jährliche elektrische Energiebedarf für Geräte von Destatis um 13% bis 35% niedriger ist als der jährliche elektrische Energiebedarf aus der VDI 4655. Dieser Unterschied ist möglicherweise auf die Berücksichtigung des zusätzlichen Hilfsstrombedarfs für Umwälzpumpen und die Steuerung der Heizungs- und Lüftungsanlage in der VDI 4655 zurückzuführen. Der jährliche elektrische Energiebedarf für die Bottom-up-Lastkurven für das Szenario ohne Home-Office beinhaltet ebenfalls nur den Verbrauch von Haushaltsgeräten, was die höhere Übereinstimmung mit den Destatis-Werten erklärt. Der jährliche Bedarf an elektrischer Energie für das Szenario ohne Home-Office ist um 9% bis 18% niedriger als für das Home-Office-Szenario, was auf

die verstärkte Nutzung von Geräten während der Arbeitszeiten zurückzuführen ist. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die erstellten Lastprofile sich im Größenbereich der Literaturangaben bewegen. Daher wird angenommen, dass diese eine ausreichende Übereinstimmung bieten, um realitätsnahe Eingangsgrößen für die Gebäudesimulationen zu liefern.

Tabelle 7: Jährlicher elektrischer Energiebedarf (El. En.) nach VDI 4655, nach Destatis (für Geräte) und mittels Bottom-up-Ansatz ohne und mit Nutzung von Home Office.

Haus- halts- größe	Home Office	VDI 4655 (EFH/ MFH): El. En. in kWh	Destatis (Geräte): El. En. in kWh	Bottom-up-Ansatz (Geräte): Elektrischer Energiebedarf in kWh							
				Einfamilienhaus / Reihenhaus			MFH				
							3 Zim.		2 Zim.	1,5-Zim.	Studio
				Paar	Paar + 1 Kind	Paar + 2 Kinder	Paar	Paar + 1 Kind	Paar	Single	Single
1 Pers.	Nein	2.350/ -	1.551							1.435	1.298
	Ja								1.595	1.406	
2 Pers.	Nein	4.040/ 3.000	2.656	2.703			2.069		2.010		
	Ja			3.214			2.549		2.327		
3 Pers.	Nein	4.950/ 3.000	4.283		2.889			2.623			
	Ja				3.400			3.103			
4 Pers.	Nein	6.000/ 3.000	4.283			3.122					
	Ja					3.633					

Modellierung von Nicht-Wohngebäuden

Für Nicht-Wohngebäude stellt das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) repräsentative Richtlinien für die Verwendung von Daten im Nicht-Wohngebäudebestand zur Verfügung (BMVBS, 2010). In TEASER werden die Daten für Bürogebäude nach diesen Richtlinien umgesetzt. Bürogebäude werden auf dieser Typologieebene nach dem Bürotyp unterschieden. Nach Staniek et al. können diese in Zellenbüro, Großraumbüro, Kombibüro und Business Club unterteilt werden (Staniek & Staniek, 2013). Für die Untersuchungen in diesem Projekt werden Großraumbüros und Zellenbüros betrachtet. Für Bürogebäude mit Großraumbüros wird die Bürofläche durch eine thermische Zone abgebildet. Für Zellenbüros werden zwei thermische Zonen genutzt, sodass eine integrale Modellierung unterschiedlicher Belegungen in den Zellenbüros möglich wird. Dies ermöglicht z. B. die vereinfachte Modellierung von teilweise vollständig belegten Büros und teilweise nicht belegten Büros bei einer gesamtheitlich betrachteten Teilbelegung. Somit wird das Gebäudemodell in sechs bzw. sieben thermische Zonen unterteilt. Den Zonen werden basierend auf den repräsentativen Richtlinien des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) für den Nicht-Wohngebäudebestand (BMVBS, 2010) folgende Flächenanteile zugeordnet:

- Büro (50% der vermieteten Nettofläche)
- Flur (25% der vermieteten Nettofläche)

- Lager (15% der vermieteten Nettofläche)
- Besprechung (4% der vermieteten Nettofläche)
- Toilette (4% der vermieteten Nettofläche)
- IKT (2% der vermieteten Nettofläche)

Nach Angaben des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS) muss ein Büroarbeitsplatz eine Grundfläche von mindestens 8 m² haben. Bei mehreren Arbeitsplätzen in einem Raum muss jeder zusätzliche Arbeitsplatz eine Grundfläche von mindestens 6 m² haben (BMAS, 2013). In dieser Arbeit ist für die thermische Zonierung des Bürogebäudes eine durchschnittliche Belegungsdichte definiert, die den Anforderungen der BMAS-Verordnung entspricht und gleichzeitig eine ausreichende Aufenthaltsqualität gewährleistet. Die maximale Personenkapazität der Bürozone ist daher auf 10 m² pro Person begrenzt. Diese Annahme berücksichtigt sowohl die gesetzlichen Mindestanforderungen als auch die praktischen Planungsrichtlinien für Bürogebäude. Bei einer Gesamtgröße von 700 m² bzw. 350 m² für die Büroflächen bedeutet somit eine Vollausslastung eine Anwesenheit von 35 Personen.

Analyse der Einflussgrößen

Ziel des Projekts ist es, den Einfluss der Home-Office-Nutzung auf den Energiebedarf des deutschen Gebäudebestands systematisch zu untersuchen. Um hierfür belastbare und übertragbare Aussagen zu ermöglichen, ist eine Vielzahl an Simulationen notwendig, da die aktuell existierenden Gebäudetypen eine große Anzahl an variablen Parametern und Nutzungsszenarien aufweisen. Als Beispiel ergeben sich für eine vollfaktorielle Untersuchung mit 12 Baujahresaltersklassen, jeweils 3 Belegungsszenarien, 5 bzw. 2 Modelltypen für die WG und NWG, 3 Fensterlayouts für die NWG, 2 Bauarten für die NWG, 2 Sanierungszustände für die WG, 2 Belüftungsvarianten für die NWG, 2 Kühlungsvarianten für die NWG, 2 Nutzungsszenarien für die WG und 6 Szenarien für den Anteil von Home-Office ca. 150.000 Simulationen.

Zur Reduzierung dieser hohen Anzahl an benötigten Simulationen wird eine Vorauswahl der relevanten Parameter vorgenommen. Zusätzlich wird zur Vereinfachung nur ein Wetterprofil ausgewählt, basierend auf den Klimadaten für Aachen. Dabei werden die Auswirkungen verschiedener Szenarien und Parameter auf den Jahresenergiebedarf ermittelt. Szenarien und Parameter mit einem großen Einfluss auf den Jahresenergiebedarf werden in weiteren Varianten berechnet und analysiert, während Einflüsse mit nur geringer Relevanz nicht weiter untersucht werden. In diesem Arbeitspaket ist diese Methodik auf zwei Wohngebäudemodelle und zwei Nichtwohngebäudemodelle angewendet worden.

Abbildung 20 zeigt die Klassifikation der Gebäudetypen. EFH werden mit 8 Zonen und MFH je nach Typ mit 2 Zonen (Studio), 3 Zonen (1,5-Zimmer-Wohnung), 4 Zonen (2-Zimmer-Wohnung) und 5 Zonen (3-Zimmer-Wohnung) abgebildet.

Für Nichtwohngebäude wird zum einen ein 6-Zonen-Modell genutzt, in dem die Bürozone als einzelne Zone modelliert wird. Damit lassen sich vorrangig Großraumbüros (GB) mit verschiedenen Nutzungsszenarien untersuchen. Gleichzeitig kann dieses Szenario als

Nutzungsvariante für Zellenbüros interpretiert werden, in dem alle Zellenbüros gleich genutzt werden. Dieses Modell wird in Abbildung 20 als GB (6 Zonen) bezeichnet.

Zusätzlich wird ein 7-Zonen entwickelt, das zwei Bürozonen enthält, um sowohl belegte als auch unbelegte Bürobereiche simulieren zu können. Dabei wird davon ausgegangen, dass jeweils alle belegten und unbelegten Büros gleich genutzt werden, z. B. hinsichtlich des Temperatursollwertes. Dieses Szenario dient zur Analyse von Zellenbüros (ZB), die separat konditioniert werden können. Gleichzeitig kann diese Variante auch als Großraumbüro-Variante (GB) oder Mischvariante aus GB und ZB interpretiert werden, in dem mindestens zwei unabhängige Teilzonen existieren. Die Ergebnisse des Jahresenergiebedarfs können genutzt werden, um den Einfluss von Home-Office-Nutzung im Gebäudebestand quantitativ zu beurteilen.

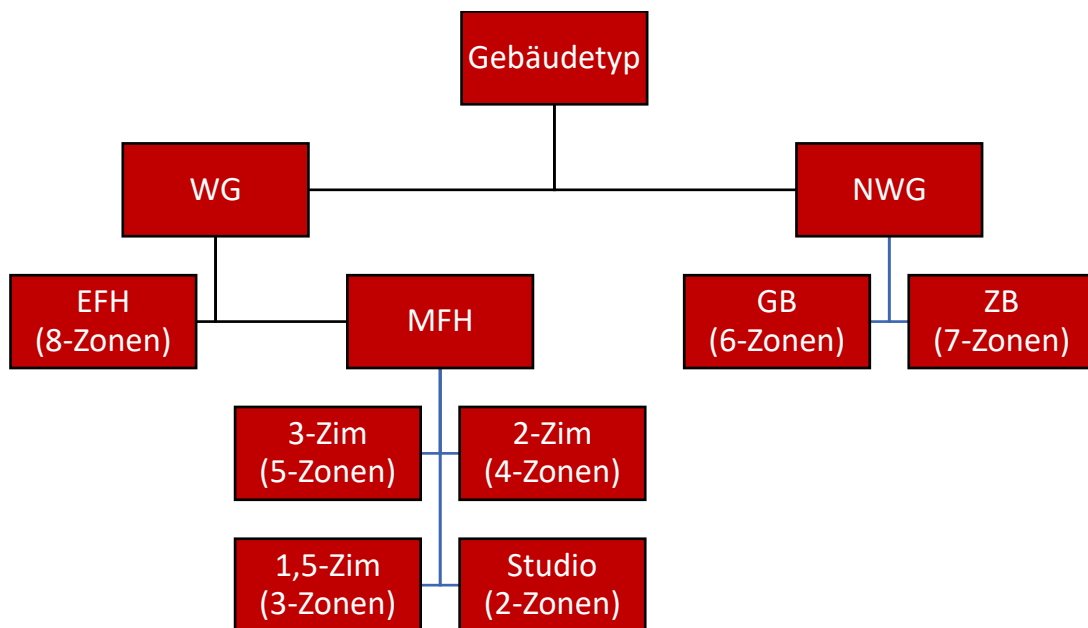


Abbildung 20: Klassifikation der Gebäudetypen

Ergebnisse des Jahresheizenergiebedarfs für Wohngebäude

Für Wohngebäude werden Simulationsstudien durchgeführt, um den Einfluss unterschiedlicher Parametervariationen auf den jährlichen Heizenergiebedarf zu ermitteln. In Abbildung 21 ist dargestellt welche Parameter variiert und welche nicht variiert werden. Für Wohngebäude wird keine Lüftung bzw. RLT-Anlage modelliert, da davon ausgegangen wird, dass die Gebäude hauptsächlich mit Fensterlüftung ausgestattet sind. Das Wetterprofil entspricht dem Testreferenzjahr für Aachen (TRY 2015). Die Lüftung wird in TEASER vereinfacht über eine Grundinfiltration und Korrekturwerte für den Sommer und Winter in Abhängigkeit der Außentemperatur automatisiert abgebildet. Die Deckenhöhe beträgt 2,5 m. Für die Belegung wird ein Lastprofil mit 4 Personen (2 Erwachsene und 2 Kinder) genutzt, zudem wird hinsichtlich der Wochenenden davon ausgegangen, dass die Personen anwesend sind, siehe Abschnitt „Nutzungsverhalten und interne Lasten“.

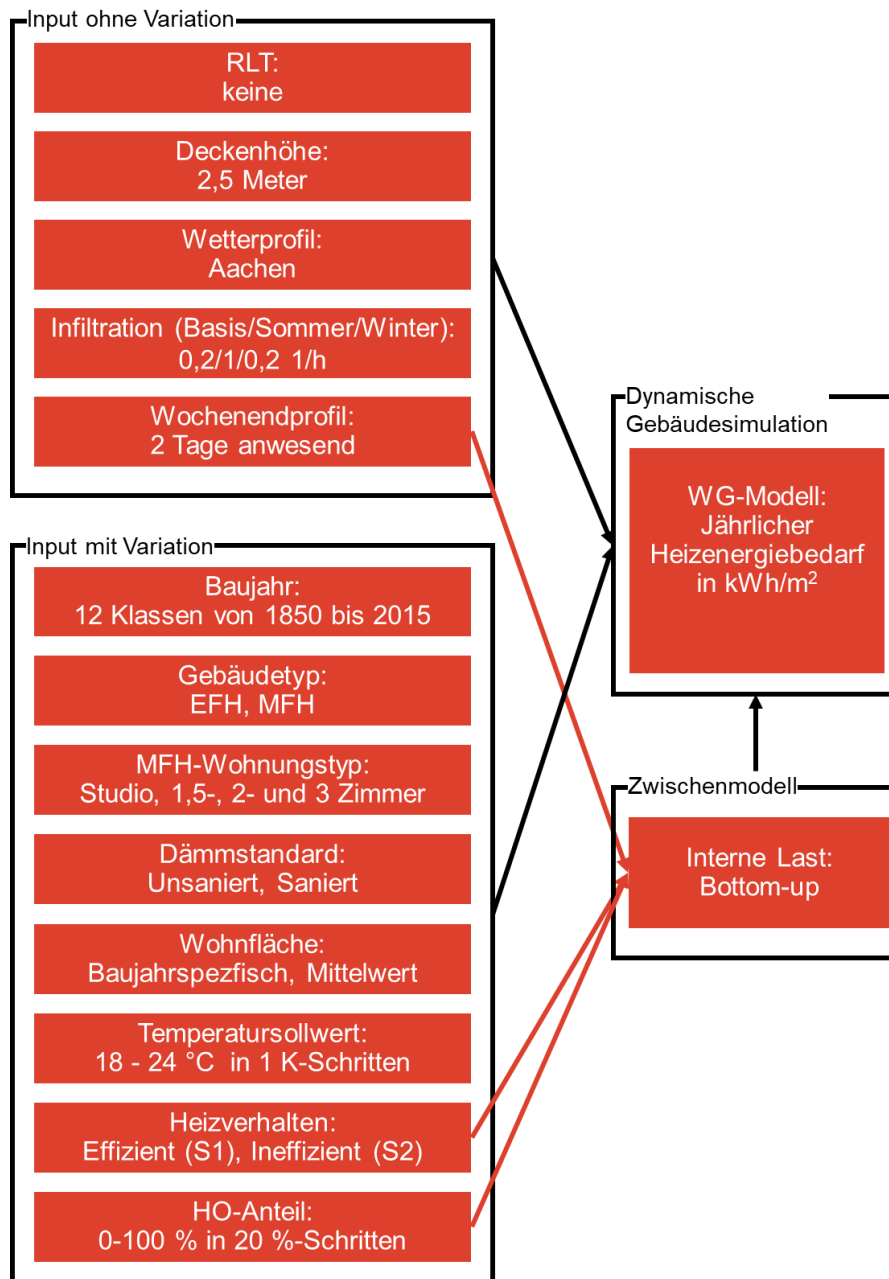


Abbildung 21: Randbedingungen und Eingabedaten für das verwendete WG-Gebäudemodell

Die folgenden Parameter werden variiert. Die Einteilung der Baualtersklassen erfolgt nach TABULA in 12 Klassen. Als Gebäudetyp werden EFH und MFH untersucht, wobei die MFH hinsichtlich des Wohnungstyps in Studios, 1,5-, 2- und 3-Zimmerwohnungen unterteilt werden. Der Dämmstandard wird nach TEASER in unsaniert und saniert unterteilt. Die Wohnfläche wird nach TABULA entweder baujahrspezifisch zugeordnet bzw. über einen Mittelwert für alle Baujahr bestimmt. Der Temperatursollwert wird zwischen 18 und 24 °C variiert. Für das Heizverhalten wird ein effizientes und ein ineffizientes Szenario betrachtet. Um die Maschinen- und Beleuchtungsprofile zu generieren, wird die Bottom-up-Methode (siehe „Modellierung von Wohngebäuden“) genutzt. Einfluss darauf haben die Anwesenheit am Wochenende, das Heizverhalten und der Home-Office Anteil. Zudem werden vier Ferienwochen (KW20, KW21, KW40, KW41) mit Abwesenheit berücksichtigt, wobei in

diesen Zeiträumen nur die Grundlast modelliert und ein Temperatursollwert von 15 °C für alle Zonen verwendet wird.

Nutzungsverhalten: Anzahl der beheizten Zonen

Gemäß Annex 53 der Internationalen Energieagentur ist einer der wesentlichen Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch von Gebäuden das Nutzerverhalten (Yoshino et al., 2016). Daher wird in einem ersten Schritt der Einfluss des Nutzerverhaltens mithilfe von zwei Szenarien untersucht. Szenario 1 ist ein effizientes Szenario, bei dem das Temperaturprofil für jede Zone von der Anwesenheit der Personen abhängt. Dabei beträgt der Temperatursollwert der Zone bei Anwesenheit 21 °C und bei Abwesenheit 15 °C. Während der Arbeitszeit (Home-Office) sind die Beleuchtung und spezifischen Geräte nur in der Zone aktiv, in der gearbeitet wird. In den restlichen Zonen wird nur die Grundlast der Geräte (z. B. Kühlschrank in der Küche) berücksichtigt. Dieses Szenario entspricht also einem Nutzerverhalten, bei dem nur die für das Home-Office genutzte Zone beheizt wird.

In Szenario 2 ist das Temperatursollwert aller Zonen immer 21 °C. Zudem werden in Szenario 2 in den Pausen zusätzliche Gerätelasten (z. B. Küche) berücksichtigt. Dieses Szenario entspricht also einem Nutzerverhalten, in dem alle Zonen geheizt werden, auch wenn diese nicht für das Home-Office genutzt werden.

Nach Arbeitszeit sind die Beleuchtungs- und Geräteprofile in beiden Szenarien identisch. Eine tabellarische Übersicht der beiden Szenarien ist in Tabelle 8 enthalten. Die Parametrierung der betrachteten Nutzungsszenarien für EFH und MFH ist in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 8: Vergleich zweier Nutzungsszenarien zum Nutzerverhalten für WG.

Szenario	Beschreibung
S1: Effizientes Szenario	- Temperaturprofil abhängig von Anwesenheit in den Zonen: 21 °C bei Anwesenheit 15 °C bei Abwesenheit - Beleuchtung und spezifische Geräte nur in belegten Zonen während der Arbeitszeit aktiv - In unbelegten Zonen wird nur die Grundlast (z. B. Kühlschrank) berücksichtigt - Nach der Arbeitszeit: Beleuchtungs- und Geräteprofile identisch mit Szenario 2
S2: Ineffizientes Szenario	- Konstanter Temperatur-Sollwert von 21 °C in allen Zonen, unabhängig von Anwesenheit - Zusätzliche Geräteverbräuche während der Pausen: z. B. Herd, Backofen, Wasserkocher, Fernseher - Nach der Arbeitszeit: Beleuchtungs- und Geräteprofile identisch mit Szenario 1

Tabelle 9: Zusammenfassung der für Abbildung 22 und Abbildung 23 relevanten Simulationsparameter.

Abbildung	Gebäude- typ	Wohnungs- typ	Heiz- verhalten	Fläche in m ²	Baujahr	Dämm- standard	Temp. in °C	HO- Anteil
-----------	-----------------	------------------	--------------------	-----------------------------	---------	-------------------	----------------	---------------

Abbildung 22	EFH	8-Zonen	S1, S2	120	1850 bis 2010	Standard	21	100 %
Abbildung 23	MFH	5-Zonen	S1, S2	73	1850 bis 2010	Standard	21	100 %

Abbildung 22 zeigt die Auswirkungen des Nutzerverhaltens auf den jährlichen Heizenergiebedarf für EFH. Je höher der Abstand zwischen S1 und S2 ist, desto größer ist der Einfluss des Nutzerverhaltens. Aufgrund der hohen Transmissionsverluste führt die Beheizung aller Zonen in älteren (nicht sanierten) Gebäuden zu deutlich höheren Bedarfen als dies für neuere Gebäude mit höheren Wärmeschutzanforderungen der Fall ist. Für Gebäude, die zwischen 1850 und 1948 errichtet wurden, beträgt der jährliche Heizenergiebedarf für Szenario 1 185 kWh/m² und für Szenario 2 ca. 265 kWh/m², was einem relativen Anstieg von 43 % entspricht. Ab 1969 ist ein Rückgang des jährlichen Heizenergiebedarfs zu beobachten, von 107 auf 28 kWh/m² für Szenario 1 und von 149 auf 35 kWh/m² für Szenario 2, wobei die Differenz zwischen Szenario 1 und Szenario 2 in diesem Zeitraum zwischen 41 und 7 kWh/m² liegt. Für Gebäude, die ab dem Jahr 2002 errichtet wurden, ist der Einfluss des Nutzerverhaltens absolut betrachtet gering, entspricht aber relativ zu Szenario 1 einem Anstieg von 25 % für die jüngsten Gebäude.

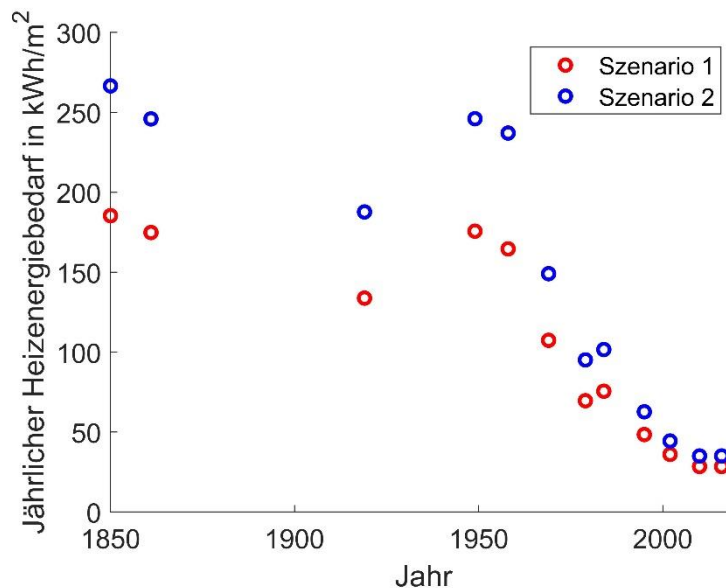


Abbildung 22: Auswirkung der untersuchten Szenarien zum Nutzerverhalten auf den jährlichen Heizenergiebedarf für EFH (8 Zonen): Szenario 1 „anwesenheitsbasiert, teilweise beheizt“, Szenario 2 „voll beheizt“

Abbildung 23 zeigt die Auswirkungen des Nutzerverhaltens auf den Heizenergiebedarf für das MFH mit drei Zimmern bzw. fünf Zonen. Generell treten die gleichen Effekte wie für das EFH auf. Für Gebäude, die vor 1850 errichtet wurden, liegt der jährliche Heizenergiebedarf für Szenario 2 70 kWh/m² höher als für Szenario 1 mit 180 kWh/m², was einem relativen Anstieg von 39 % entspricht. Im Vergleich zur Baualtersklasse 1860 ist zwischen 1919 und 1948 ist der jährliche Heizenergiebedarf für Gebäude um ca. 50 kWh/m² gestiegen. Ab 1949 ist auch hier ein Rückgang des jährlichen Heizenergiebedarfs von 96 kWh/m² auf 13 kWh/m²

für Szenario 1 und von 137 kWh/m² auf 17 kWh/m² für Szenario 2 zu verzeichnen. Die Differenz zwischen Szenario 1 und Szenario 2 beträgt in diesem Jahresintervall zwischen 41 und 3 kWh/m². Der relative Anstieg aufgrund des Nutzerverhaltens entspricht für die jüngsten Gebäude 23 %.

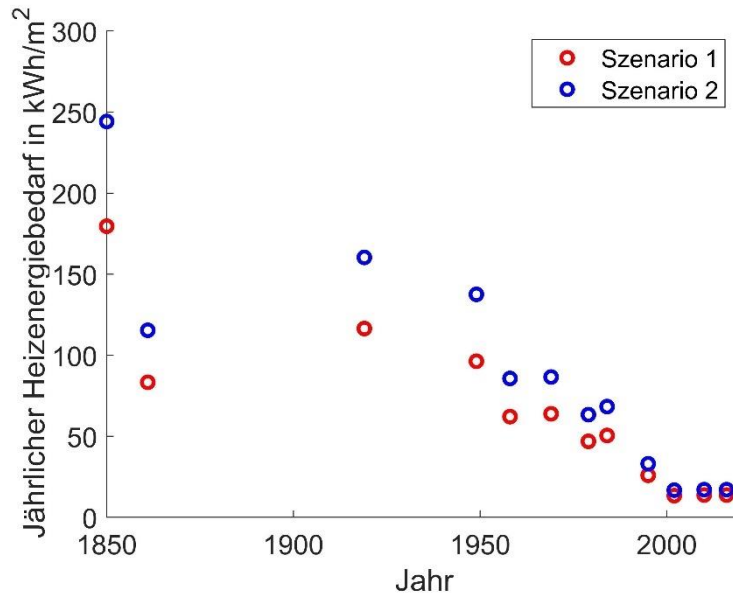


Abbildung 23: Auswirkung der untersuchten Szenarien zum Nutzerverhalten auf den jährlichen Heizenergiebedarf für MFH (5 Zonen): Szenario 1 „anwesenheitsbasiert, teilweise beheizt“, Szenario 2 „voll beheizt“

Nutzungsverhalten: Höhe der Temperaturabsenkung

Aufbauend auf der zuvor beschriebenen Analyse der Anzahl der beheizten Zonen während der Arbeit im Home-Office wird in diesem Abschnitt ein zusätzliches Szenario eingeführt, um den Effekt unterschiedlicher Temperaturabsenkungen in nicht genutzten Zonen zu untersuchen.

Die folgenden drei Nutzerverhaltensszenarien bzgl. der Raumtemperaturregelung werden für die EFH und 5-Zonen-MFH miteinander verglichen:

- 21 °C in genutzten Zonen, Temperaturabsenkung auf 15 °C in nicht genutzten Zonen (Szenario 1: anwesenheitsbasiert, teilweise beheizt)
- 21 °C in genutzten Zonen, Temperaturabsenkung auf 18 °C in nicht genutzten Zonen (Szenario 3: anwesenheitsbasiert, teilweise beheizt)
- 21 °C in allen Zonen, keine Temperaturabsenkung in nicht genutzten Zonen (Szenario 2: voll beheizt)

Die Parametrierung der betrachteten Szenarien für die EFH und die MFH ist in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Zusammenfassung der für Abbildung 24 und Abbildung 25 relevanten Simulationsparameter.

Abbildung	Gebäude- typ	Wohnungs- typ	Heiz- verhalten	Fläche in m ²	Baujahr	Dämm- standard	Temp. in °C	HO- Anteil
-----------	-----------------	------------------	--------------------	-----------------------------	---------	-------------------	----------------	---------------

Abbildung 24	EFH	8-Zonen	S1, S2, S3	120	1850 bis 2010	Standard	21	100 %
Abbildung 25	MFH	5-Zonen	S1, S2, S3	73	1850 bis 2010	Standard	21	100 %

Abbildung 24 zeigt die Ergebnisse für EFH. Der Einfluss der Temperaturabsenkung ist insbesondere bei älteren Gebäuden, die zwischen 1850 und 1948 errichtet wurden, deutlich erkennbar. In diesem Zeitraum führt eine konstante Temperatur von 21 °C zu einem Heizenergiebedarf von etwa 266 kWh/m². Wird die Temperaturabsenkung auf 18 °C eingestellt, reduziert sich dieser Wert auf rund 233 kWh/m². Eine weitere Absenkung auf 15 °C führt zu Werten von etwa 185 kWh/m². Dies entspricht einer relativen Reduktion des Energiebedarfs um ca. 12 % zwischen 21 °C und 18 °C sowie etwa 30 % zwischen 21 °C und 15 °C. Der Einfluss der Temperaturregelung nimmt bei neueren Gebäuden insbesondere ab den 1960er-Jahren ab. Für Gebäude ab dem Baujahr 2002 konvergieren alle drei Szenarien auf einen Bereich von 30 bis 35 kWh/m². Dies zeigt, dass das Nutzerverhalten bei hochgedämmten Neubauten nur noch einen geringen Einfluss auf den absoluten Heizenergiebedarf hat.

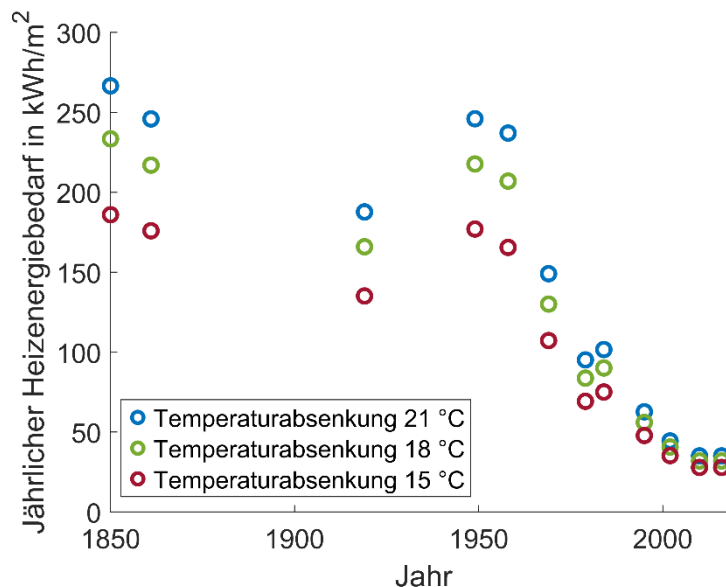


Abbildung 24: Jährlicher Heizenergiebedarf von Einfamilienhäusern (EFH) in Abhängigkeit vom Baujahr sowie ohne und mit Temperaturabsenkung auf 18 °C und 15 °C in nicht genutzten Zonen.

Abbildung 25 zeigt die entsprechenden Ergebnisse für MFH mit fünf Zonen. Der grundsätzliche Verlauf ist vergleichbar mit dem bei EFH, jedoch mit leicht geringeren Heizenergiebedarfen über alle Baualtersklassen hinweg. Dies lässt sich durch das günstigere Verhältnis von Oberfläche zu Volumen sowie durch interne Wärmelasten in den MFH erklären. Für Gebäude vor 1950 liegt der Heizenergiebedarf im Szenario mit konstanten 21 °C bei etwa 244 kWh/m². Eine Absenkung auf 18 °C führt zu ca. 220 kWh/m² (ca. 10 % Reduktion), während eine Absenkung auf 15 °C einen Bedarf von 180 kWh/m² (ca. 26 %) ergibt. Der Reduktionseffekt ist somit vergleichbar mit EFH. Auch für die MFH nähern sich die Szenarien in den neueren Baualtersklassen ab etwa 1990 stark an, was

unterstreicht, dass der Einfluss des Heizverhaltens vor allem in älteren Gebäuden relevant ist, während er bei Neubauten durch höhere Effizienzstandards absolut nahezu vernachlässigbar wird.

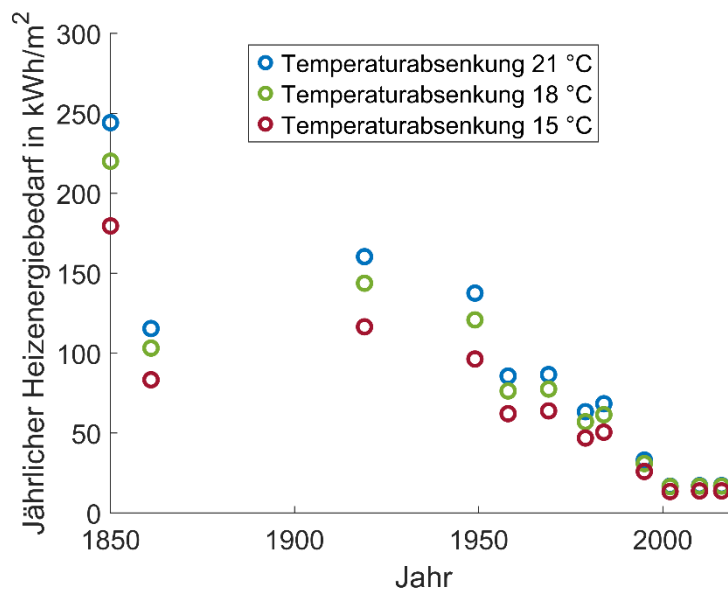


Abbildung 25: Jährlicher Heizenergiebedarf von Mehrfamilienhäusern (5-Zonen-MFH) in Abhängigkeit vom Baujahr sowie ohne und mit Temperaturabsenkung auf 18 °C und 15 °C in nicht genutzten Zonen.

Nutzungsverhalten: Temperatursollwert

Nach DIN 16789-1 liegt der Sollwert der Raumtemperatur in Wohngebäuden je nach Zone zwischen 16 und 28 °C (DIN, 2022). Um den Einfluss des Temperatursollwertes auf den jährlichen Heizenergiebedarf zu bewerten, wird dieser in Schritten von 1 K zwischen 18 °C und 24 °C variiert. Die Parametrierung für die Analyse des Temperatursollwerteeinflusses für die EFH und die MFH ist in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Zusammenfassung der für Abbildung 26 und Abbildung 27 relevanten Simulationsparameter.

Abbildung	Gebäude- typ	Wohnungs- typ	Heiz- verhalten	Fläche in m²	Baujahr	Dämm- standard	Temp. in °C	HO- Anteil
Abbildung 26	EFH	8-Zonen	S1	120	1850 bis 2010	Standard	18 bis 24	100 %
Abbildung 27	MFH	5-Zonen	S1	73	1850 bis 2010	Standard	18 bis 24	100 %

Abbildung 26 zeigt die Ergebnisse für EFH und Abbildung 27 die Ergebnisse für MFH. Eine Temperaturänderung von 1 K entspricht einer durchschnittlichen Änderung des jährlichen Heizenergiebedarfs von 15 % für EFH und 17 % für MFH. Für Einfamilienhäuser, die vor 1995 gebaut wurden, ist ein leicht nicht-linearer Verlauf zu beobachten, bei dem eine Temperaturerhöhung um 1 K zu einem Anstieg des jährlichen Heizenergiebedarfs von 14 kWh/m² bei einer Erhöhung von 18 °C auf 19 °C bis zu einem Anstieg von 30 kWh/m² bei einer Erhöhung von 23 °C auf 24 °C führt. Im Gegensatz dazu ist der absolute Anstieg

des jährlichen Heizenergiebedarfs für nach dem Jahr 2002 gebaute EFH mit 4 bis 10 kWh/m² geringer. Für die MFH kann ein ähnlicher nicht-linearer Effekt beobachtet werden, wobei eine Temperaturerhöhung um 1 K von 18 °C auf 19 °C zu einem Anstieg des jährlichen Heizenergiebedarfs von 9 kWh/m² führt, während eine Erhöhung von 23 °C auf 24 °C zu einem Anstieg von 21 kWh/m² führt. Für MFH, die nach 2002 gebaut wurden, liegen die Zunahmen des jährlichen Heizenergiebedarfs zwischen 2 und 8 kWh/m².

Obwohl die maßgeblichen Wärmeverluste (Transmissions- und Lüftungswärmeverluste) linear von der Differenz zwischen der Innen- und Außentemperatur abhängen, treten die beschriebenen Nicht-Linearitäten auf. Diese lassen sich dadurch erklären, dass bei einer Erhöhung des Temperatursollwertes bei der Jahressimulation zusätzliche Zeitpunkte mit höheren Außentemperaturen Berücksichtigung finden, in denen eine Beheizung notwendig wird. Der Anstieg des Jahresheizenergiebedarfs für eine Temperatursollwertänderung von beispielsweise 21 °C auf 22 °C setzt sich somit aus dem linearen Anstieg für die Zeitpunkte, die für eine Bereitstellung von 21 °C relevant sind, und einem Anteil der zusätzlichen Zeitpunkte, die für die Bereitstellung von kontinuierlich 22 °C relevant sind, zusammen.

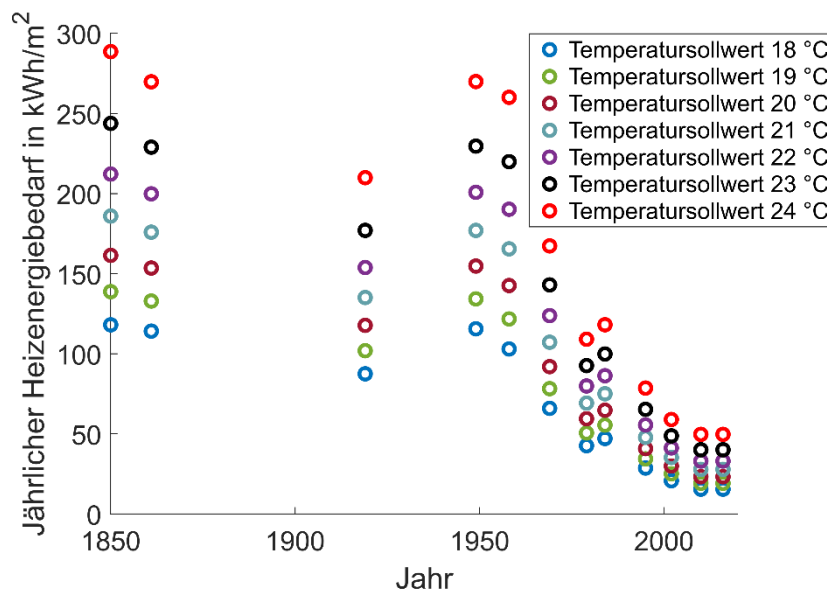


Abbildung 26: Auswirkung einer Veränderung des Sollwerts für die Zonenheizung um 1 K von 18°C auf 24°C auf den jährlichen Heizenergiebedarf für EFH (8 Zonen).

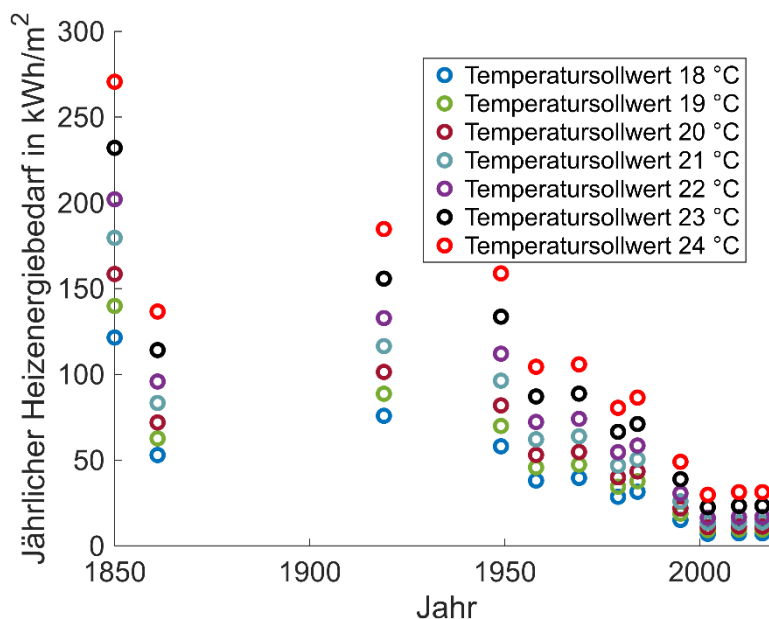


Abbildung 27: Auswirkung einer Veränderung des Sollwerts für die Zonenheizung um 1 K von 18°C auf 24°C auf den jährlichen Heizenergiebedarf für MFH (5 Zonen).

Anteil der Home-Office-Nutzung

Im Jahr 2022 war etwa ein Viertel der deutschen Erwerbsbevölkerung im Home-Office tätig, wobei fast 15 % dieser Personen täglich oder für den Großteil ihrer Arbeitszeit von zu Hause arbeiteten. Weitere 9,5 % arbeiteten gelegentlich von zu Hause an weniger als der Hälfte ihrer Arbeitstage. Dies markierte einen signifikanten Anstieg im Vergleich zu den Niveaus vor der Covid-19-Pandemie (Destatis, 2022).

Um den Einfluss des Home-Office-Anteils an der Arbeitszeit auf den jährlichen Heizenergiebedarf zu bestimmen, werden Simulationen mit einer Variation der Anzahl der Tage durchgeführt, an denen im Home-Office gearbeitet wird. Dabei wird für EFH dieser Anteil zwischen 0 und 100 % in 20 %-Intervallen erhöht, wobei 20 % jeweils einem Arbeitstag in einer 5-Tage-Woche entsprechen. Zum Beispiel bedeutet 40 % HO, dass 2 Tage im Home-Office und 3 Tage im Büro gearbeitet werden. Lastprofile für das Home-Office werden analog zu den Szenarien S1 und S2 erstellt. Für MFH werden ausschließlich die Varianten mit 0 %- und 100 %- Home-Office-Anteil berechnet und die Werte dazwischen durch lineare Interpolation bestimmt. Die Parametrierung für die Analyse des Home-Office-Anteils für die EFH und die MFH ist in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Zusammenfassung der für Abbildung 28, Abbildung 29, Abbildung 30 und Abbildung 31 relevanten Simulationsparameter.

Abbildung	Gebäude- typ	Wohnungs- typ	Heiz- verhalten	Fläche in m²	Baujahr	Dämm- standard	Temp. in °C	HO- Anteil
Abbildung 28, Abbildung 30	EFH	8-Zonen	S1	120	1850 bis 2010	Standard	21	0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 %, 100 %

Abbildung 29 Abbildung 31	EFH	8-Zonen	S2	120	1850 bis 2010	Standard	21	0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 80 %, 100 %
Abbildung 32	MFH	5-Zonen	S1	73	1850 bis 2010	Standard	21	0 %, 100 %
Abbildung 33	MFH	5-Zonen	S2	73	1850 bis 2010	Standard	21	0 %, 100 %

Abbildung 28 und Abbildung 29 zeigen den Effekt der Variation des Home-Office-Anteils jeweils für das Nutzerverhalten S1 und S2 auf den jährlichen Heizenergiebedarfs für EFH. Für das Nutzerverhalten S1, in dem nur die als Home-Office genutzte Zone geheizt wird, ist der Einfluss des Home-Office-Anteils auf den Jahresheizenergiebedarf sehr gering. Eine Erhöhung des Home-Office-Anteils um 20 % führt zu einer durchschnittlichen Erhöhung des Jahresheizenergiebedarfs von ca. 1,1 %. Dies wird auch aus Abbildung 30 ersichtlich, in dem die Auswirkungen von jeweils einer Erhöhung des Home-Office-Anteils um 20 % auf den jährlichen Heizenergiebedarf in Bezug auf das Nutzerverhalten S1 für EFH als Boxplots dargestellt sind. Für das Szenario S1 führt eine 20%ige Zunahme des Home-Office-Anteils zu einem Anstieg des jährlichen Heizenergiebedarfs von 2,3 kWh/m² für Gebäude, die im Jahr 1850 erbaut wurden. Für Gebäude, die im Jahr 2016 erbaut wurden, beträgt der Anstieg ca. 0,25 kWh/m².

Für das Szenario S2, in dem alle Räume während der Arbeit im Home-Office geheizt werden, sind die Effekte mit durchschnittlich 6,3 % pro 20 %- Home-Office-Anteilanstieg deutlich größer. In Abbildung 31 sind die Auswirkungen einer Erhöhung des Home-Office-Anteils um 20 % auf den jährlichen Heizenergiebedarf in Bezug auf das Nutzerverhalten S2 für EFH als Boxplots dargestellt. Der mittlere Anstieg des jährlichen Heizenergiebedarfs beträgt 15,3 kWh/m² für Gebäude, die im Jahr 1850 erbaut wurden, und 1,6 kWh/m² für Gebäude, die im Jahr 2016 erbaut wurden. Absolut ist dieser Effekt für S2 somit vor allem für alte und nicht sanierte Gebäude relevant. Die in Abbildung 30 und Abbildung 31 dargestellten Schwankungen lassen sich dadurch erklären, dass die Außenrandbedingungen über die Tage innerhalb der Wochen für die Jahressimulation leicht variieren. Die Schwankungen sind jedoch vernachlässigbar, wenn über das gesamte Jahr die gleiche Anzahl an Tagen pro Woche im Home-Office gearbeitet wird. Daher werden für MFH nur Simulation für Home-Office-Anteile von 0 % und 100 % durchgeführt und die Werte dazwischen linear interpoliert.

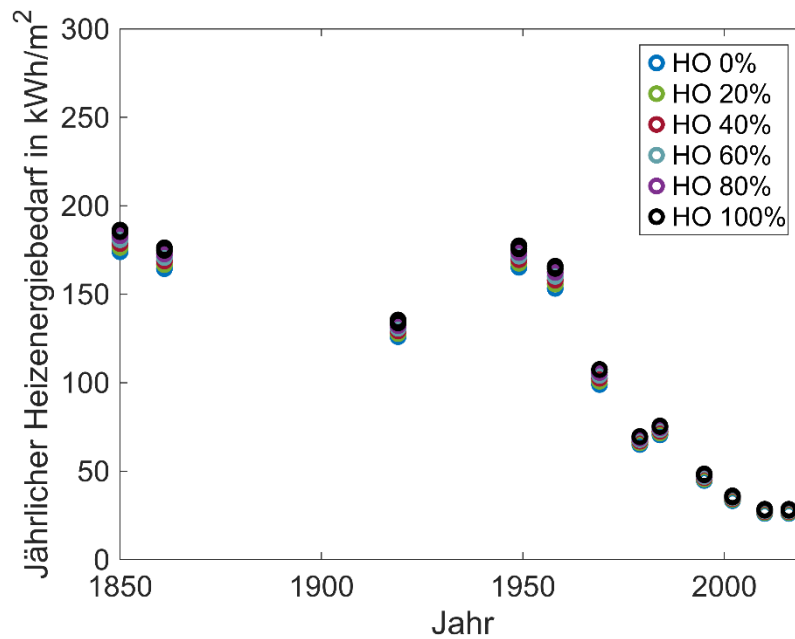


Abbildung 28: Auswirkung der Variation des Home-Office-Anteils in Bezug auf das Nutzerverhalten S1 auf den jährlichen Heizenergiebedarf für EFH (8 Zonen) mit Simulation für alle Home-Office-Anteile.

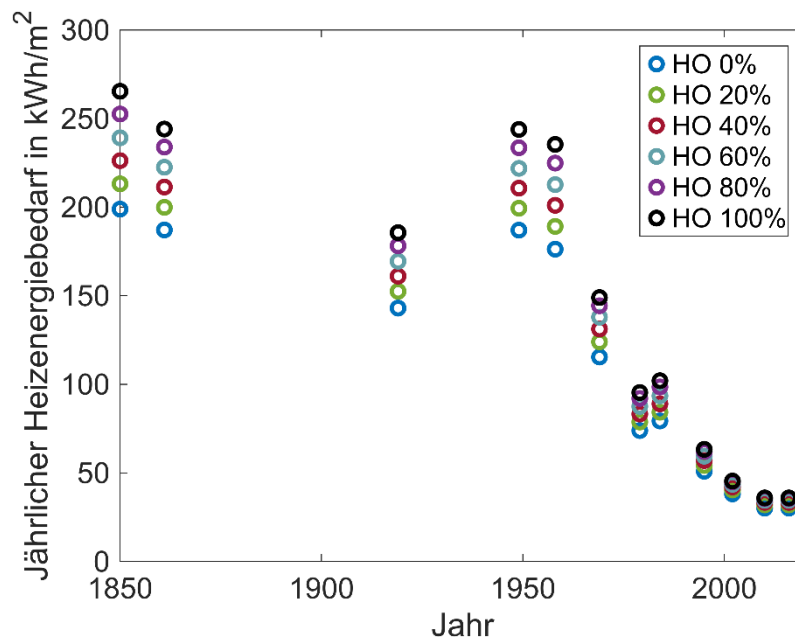


Abbildung 29: Auswirkung der Variation des Home-Office-Anteils in Bezug auf das Nutzerverhalten S2 auf den jährlichen Heizenergiebedarf für EFH (8 Zonen) mit Simulation für alle Home-Office-Anteile.

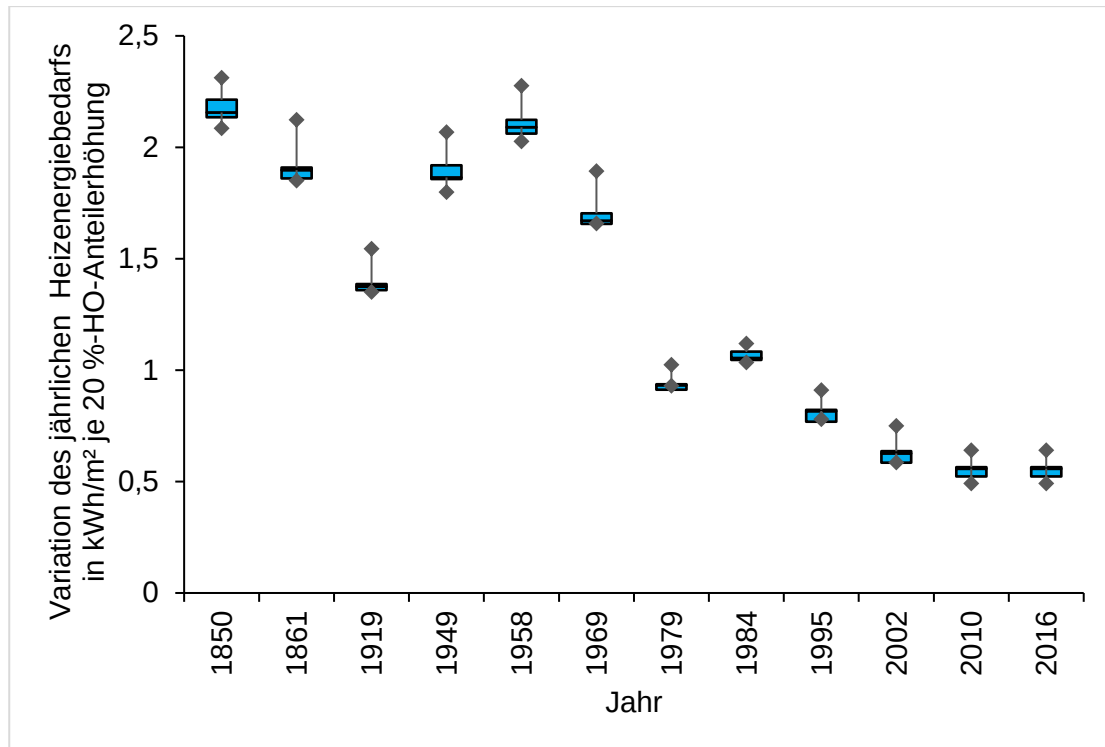


Abbildung 30: Auswirkung einer 20%igen Erhöhung des Home-Office-Anteils auf den jährlichen Heizenergiebedarf in Bezug auf das Nutzerverhalten S1 für EFH

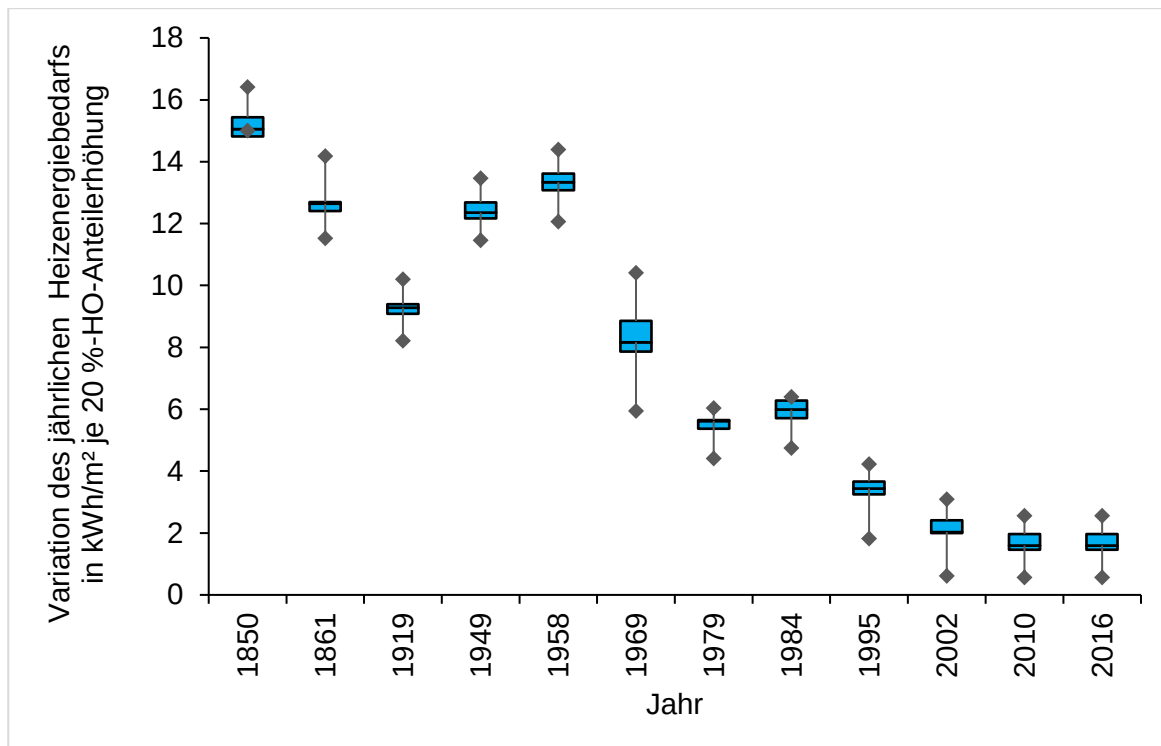


Abbildung 31: Auswirkung einer 20%igen Erhöhung des Home-Office-Anteils auf den jährlichen Heizenergiebedarf in Bezug auf das Nutzerverhalten S2 für EFH

Abbildung 32 und Abbildung 33 zeigen den Effekt der Variation des Home-Office-Anteils jeweils für das Nutzerverhalten S1 und S2 auf den jährlichen Heizenergiebedarfs für 5-Zonen-MFH. Ähnlich zum EFH ist für das Nutzerverhalten S1, in dem nur die als Home-Office genutzte Zone geheizt wird, der Einfluss des Home-Office-Anteils auf den

Jahresheizenergiebedarf sehr gering. Eine Erhöhung des Home-Office-Anteils um 20 % führt zu einer durchschnittlichen Erhöhung des Jahresheizenergiebedarf von ca. 1,2 %. Für das Szenario S1 führt eine 20%ige Zunahme des Home-Office-Anteils zu einem Anstieg des jährlichen Heizenergiebedarfs von 2,3 kWh/m² für Gebäude, die im Jahr 1850 erbaut wurden. Für Gebäude, die im Jahr 2016 erbaut wurden, beträgt der Anstieg ca. 0,25 kWh/m².

Für das Szenario S2, in dem alle Räume während der Arbeit im Home-Office geheizt werden, sind die Effekte mit durchschnittlich 6,1 % pro 20 %- Home-Office-Anteilanstieg deutlich größer. Der mittlere Anstieg des jährlichen Heizenergiebedarfs beträgt 16,5 kWh/m² für Gebäude, die im Jahr 1850 erbaut wurden, und 1,1 kWh/m² für Gebäude, die im Jahr 2016 erbaut wurden. Absolut ist der Effekt für S2 somit analog zu den EFH vor allem für alte und nicht sanierte MFH-Gebäude relevant.

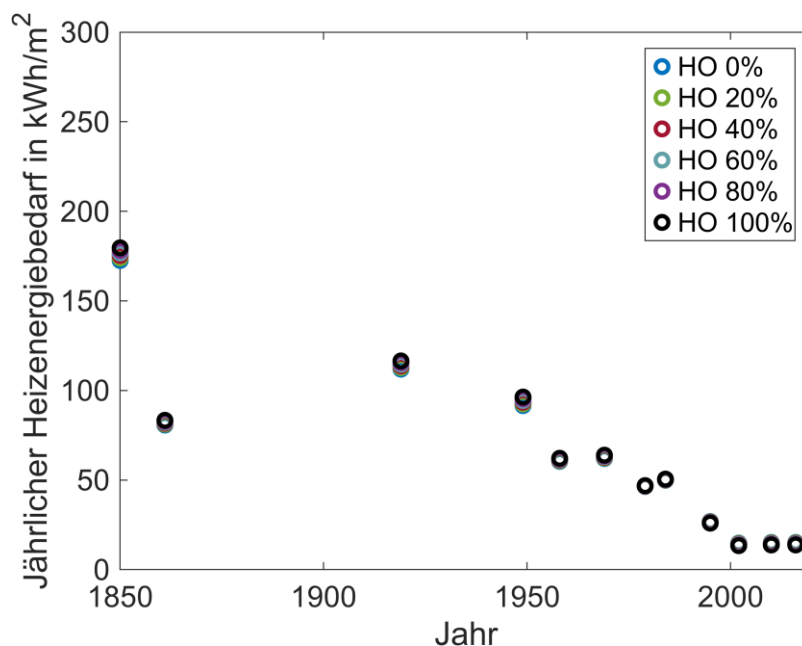


Abbildung 32: Auswirkung der Variation des Home-Office-Anteils in Bezug auf das Nutzerverhalten S1 auf den jährlichen Heizenergiebedarf für MFH (5 Zonen) mit Interpolation zwischen 0 % und 100 %.

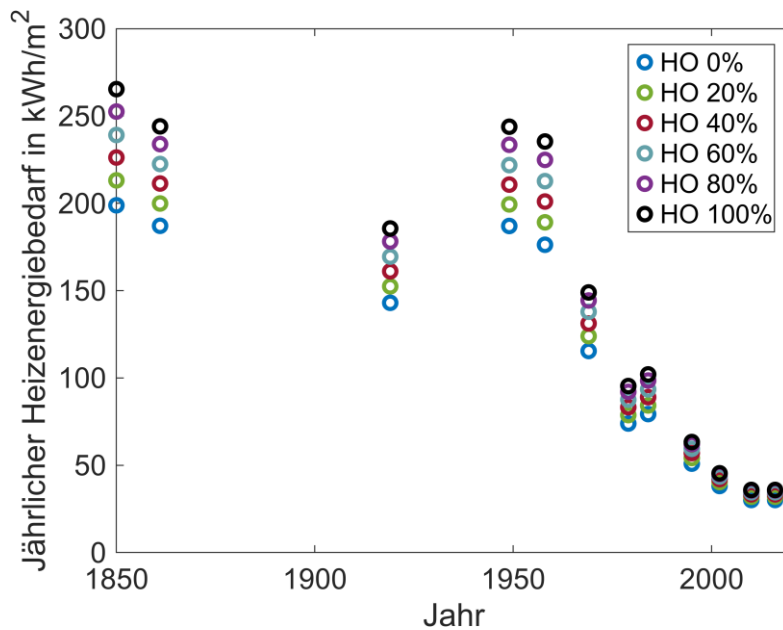


Abbildung 33: Auswirkung der Variation des Home-Office-Anteils in Bezug auf das Nutzerverhalten S2 auf den jährlichen Heizenergiebedarf für MFH (5 Zonen) mit Interpolation zwischen 0 % und 100 %.

Sanierungsstatus der Gebäudehülle

In diesem Abschnitt wird der Einfluss einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle bewertet. Nach TABULA unterscheiden sich die Wandaufbauten von Gebäuden je nach Baujahr, z. B. sind Gebäudewände, die vor 1958 gebaut wurden, aus Vollziegeln errichtet, von 1958 bis 1994 aus Beton, nach 1995 aus Beton und Dämmung (IWU, 2012). Diese Wandaufbauten sind in TEASER implementiert. Zudem bedeutet in TEASER die Sanierung eines Gebäudes das Hinzufügen von zwei Dämmschichten zu den bestehenden Gebäudewänden: einer oberen Dämmschicht und einem Dämmputz. Die Parametrierung der betrachteten Sanierungsszenarien für die EFH und die MFH ist in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Zusammenfassung der für Abbildung 34 und Abbildung 35 relevanten Simulationsparameter.

Abbildung	Gebäude- typ	Wohnungs- typ	Heiz- verhalten	Fläche in m ²	Baujahr	Dämm- standard	Temp. in °C	HO- Anteil
Abbildung 34	EFH	8-Zonen	S1	120	1850 bis 2010	Standard, Saniert	21	100 %
Abbildung 35	MFH	5-Zonen	S1	73	1850 bis 2010	Standard, Saniert	21	100 %

Abbildung 34 zeigt die Ergebnisse für das EFH, Abbildung 35 für das MFH. Die Sanierung des Gebäudes hat einen großen Einfluss auf die Reduktion des Energiebedarfs. Bei den EFH ist die größte Reduktion mit 151 kWh/m² bei Gebäuden zu beobachten, die vor 1850 gebaut wurden, und bei den Mehrfamilienhäusern ist die größte Reduktion mit 130 kWh/m² ebenfalls bei Gebäuden zu beobachten, die vor 1850 gebaut wurden. Der jährliche Heizenergiebedarf nach der Sanierung ist in Abhängigkeit vom Baujahr nahezu konstant.

Für EFH und MFH liegt der mittlere jährliche Heizenergiebedarf bei 29 kWh/m² bzw. 12 kWh/m². Zu beachten ist, dass sich die sehr geringen Werte bei einer zusätzlichen Dämmung von bereits gedämmten Gebäuden ergeben, was in der Praxis keine Bedeutung hat.

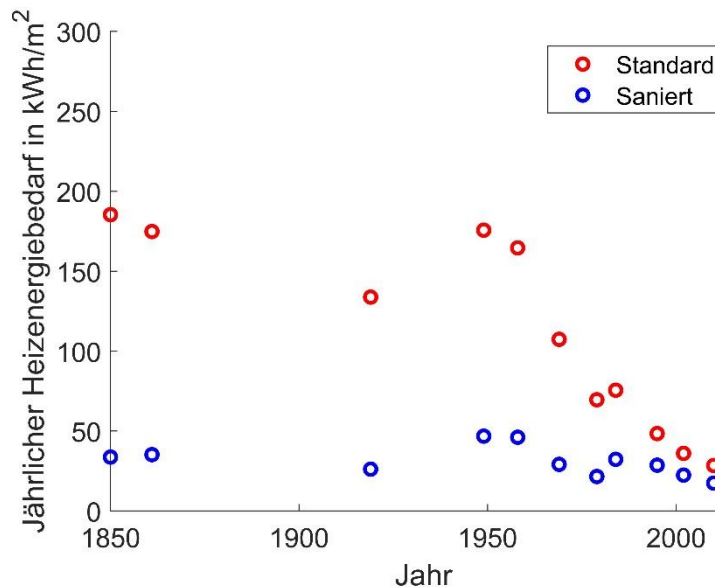


Abbildung 34: Auswirkung des Dämmstandards (Standard, Saniert) auf den jährlichen Heizenergiebedarf für EFH (8 Zonen)

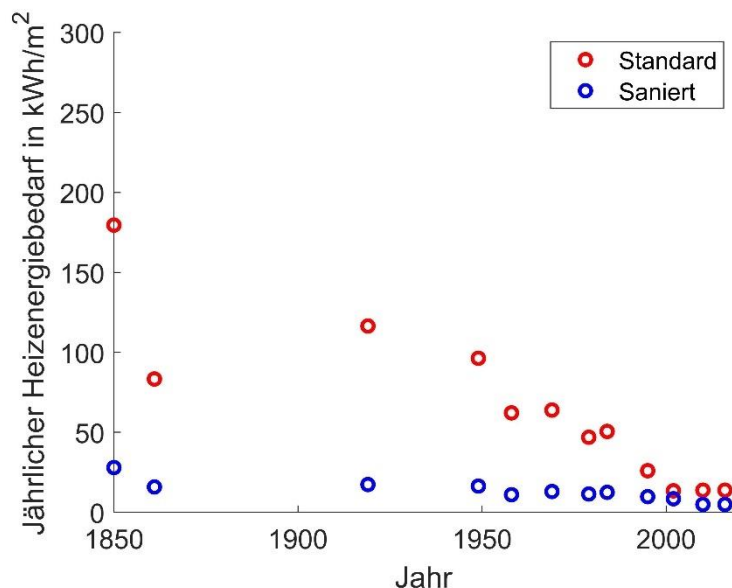


Abbildung 35: Auswirkung des Dämmstandards (Standard, Saniert) auf den jährlichen Heizenergiebedarf für MFH (5 Zonen)

Absolute Gebäudefläche

Nach TABULA sind die mittleren Gebäudeflächen abhängig vom Baujahr, siehe Tabelle 14. So beträgt z. B. für EFH aus dem Zeitraum 1861 bis 1918 die durchschnittliche

Gebäudefläche 111 m², aus dem Zeitraum von 2002 bis 2009 beträgt diese 139 m² (IWU, 2012). Der mittlere Wert über alle Altersklassen beträgt 120 m² für EFH und 73 m² für MFH (5 Zonen). Für den Zeitraum von 2010 bis 2015 sind keine TABULA-Daten vorhanden, sodass für diesen Zeitraum die Mittelwerte über alle bekannten Jahre genutzt werden. Um den Einfluss der absoluten Fläche auf den flächenspezifischen Jahresheizenergiebedarf zu untersuchen, werden Simulationen mit den spezifischen Daten der Baujahre und mit dem Mittelwert für alle Baualtersklassen durchgeführt. Die Parametrierung für die Analyse des Flächeneinflusses für die EFH und die MFH ist in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 14: Übersicht der absoluten Flächen und der mittleren Flächen in Abhängigkeit der Baualtersklasse und des Gebäudetyps (EFH und MFH).

EFH (8-Zone)		MFH (5-Zone)	
Baujahr	Fläche in m²	Baualtersklasse	Fläche in m²
0 – 1860	115	0 – 1860	75
1861 – 1918	111	1861 – 1918	75
1919 – 1948	108	1919 – 1948	68
1949 – 1957	109	1949 – 1957	62
1958 – 1968	112	1958 – 1968	67
1969 – 1978	122	1969 – 1978	73
1979 – 1983	125	1979 – 1983	75
1984 – 1994	127	1984 – 1994	73
1995 – 2001	131	1995 – 2001	75
2002 – 2009	139	2002 – 2009	85
2010 – 2015	-	2010 – 2015	-
Mittelwert	120	Mittelwert	73

Abbildung 36 zeigt die Ergebnisse für alle Baujahre in Abhängigkeit der absoluten Fläche für das EFH und Abbildung 37 für das MFH. Die Auswirkungen der Variation der Gebäudefläche auf den jährlichen Heizenergiebedarf sind demnach vernachlässigbar. Daher wird für alle anderen Simulationen der Mittelwert für die Gebäudetypen genutzt.

Tabelle 15: Zusammenfassung der für Abbildung 36 und Abbildung 37 relevanten Simulationsparameter.

Abbildung	Gebäude- typ	Wohnungs- typ	Heiz- verhalten	Fläche in m ²	Baujahr	Dämm- standard	Temp. in °C	HO- Anteil
Abbildung 36	EFH	8-Zonen	S1	Siehe Tabelle 14	1850 bis 2010	Standard	21	100 %
Abbildung 37	MFH	5-Zonen	S1	Siehe Tabelle 14	1850 bis 2010	Standard	21	100 %

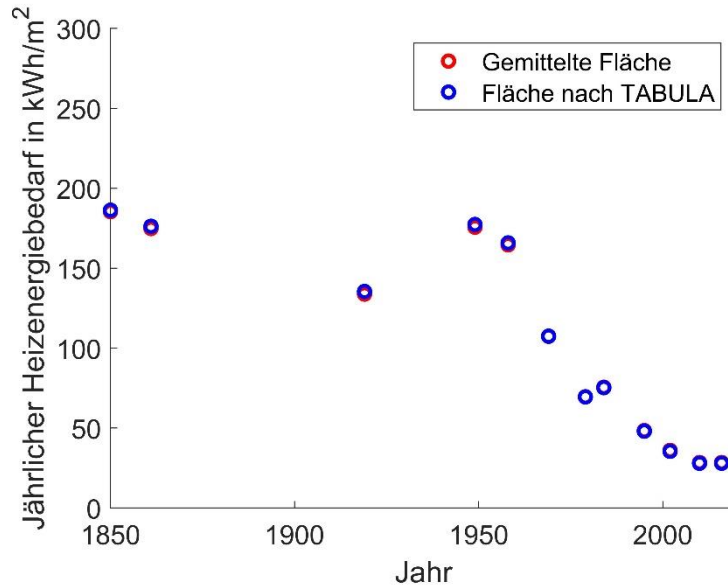


Abbildung 36: Auswirkung der Verwendung einer durchschnittlichen Fläche und der spezifizierten Fläche nach TABULA auf den jährlichen Heizenergiebedarf für das EFH (8 Zonen)

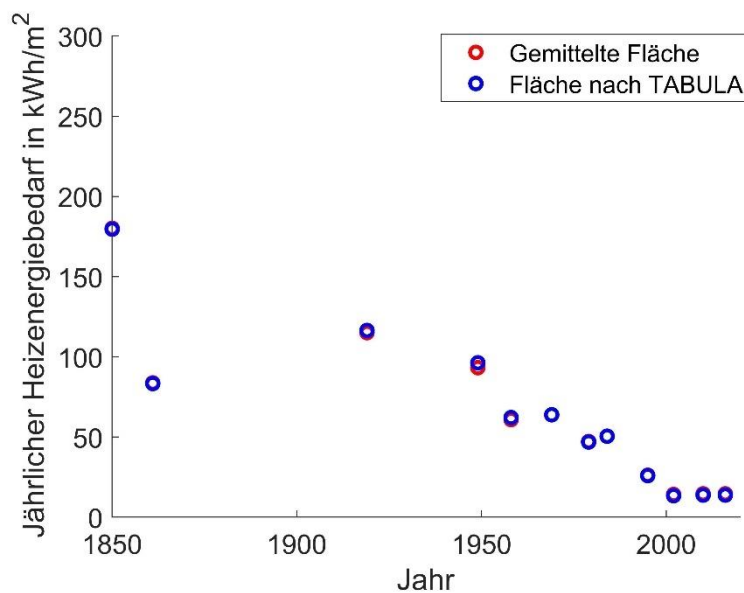


Abbildung 37: Auswirkung der Verwendung einer durchschnittlichen Fläche und der spezifizierten Fläche nach TABULA auf den jährlichen Heizenergiebedarf für das MFH (5 Zonen)

Mehrfamilienhäuser: Wohnungstyp

Gemäß Statista 2022 leben 62,5 % der Deutschen in Mehrfamilienhäusern (MFH) (Statista, 2023). Um den Einfluss des Wohnungstyps in MFH auf den jährlichen Heizenergiebedarf zu analysieren, werden Simulationen bei 100 % Home-Office-Anteil für die unterschiedlichen Wohnungstypen (Studios, 1,5-, 2- und 3-Zimmer-Wohnungen) sowohl für das Nutzungsszenario S1 als auch S2 durchgeführt. Der Aufbau der Wohnungstypen entspricht den Angaben des Abschnitts „Modellierung von Wohngebäuden“. Die Parametrierung für die Analyse der Wohnungsgröße für MFH ist in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Zusammenfassung der für Abbildung 38 und Abbildung 39 relevanten Simulationsparameter.

Abbildung	Gebäude- typ	Wohnungs- typ	Heiz- verhalten	Fläche in m ²	Baujahr	Dämm- standard	Temp. in °C	HO- Anteil
Abbildung 38	MFH (Studio, 1,5-, 2- und 3- Zimmer)	2-Zonen, 3-Zonen, 4-Zonen, 5-Zonen	S1	30, 50, 60, 73	1850 bis 2010	Standard	21	100 %
Abbildung 39	MFH (Studio, 1,5-, 2- und 3- Zimmer)	2-Zonen, 3-Zonen, 4-Zonen, 5-Zonen	S2	30, 50, 60, 73	1850 bis 2010	Standard	21	100 %

Abbildung 38 und Abbildung 39 veranschaulichen den Einfluss des Wohnungstyps auf den jährlichen Heizenergiebedarf für die Nutzungsszenarien S1 und S2. Kleinere Wohnungstypen weisen aufgrund des höheren Anteils an Außenflächen an der Gesamtumschließungsfläche höhere Werte auf. Dieser Effekt ist vor allem für alte und nicht sanierte Gebäude zu erkennen, für neue Gebäude gleichen sich die Werte an. Für Studios aus dem Baujahr 1850 beträgt der jährliche Heizenergiebedarf für S1 191 kWh/m² und für S2 236 kWh/m². Für Studios aus dem Baujahr 2016 beträgt der jährliche Heizenergiebedarf für S1 17 und für S2 23 kWh/m². 3-Zimmer-Wohnungen weisen demgegenüber die niedrigsten jährlichen Heizenergiebedarfe auf, mit 141 kWh/m² für S1 und 161 kWh/m² für S2 für Gebäude aus dem Jahr 1850. Für Gebäude aus dem Baujahr 2016 betragen die Werte 12 bzw. 12,5 kWh/m².

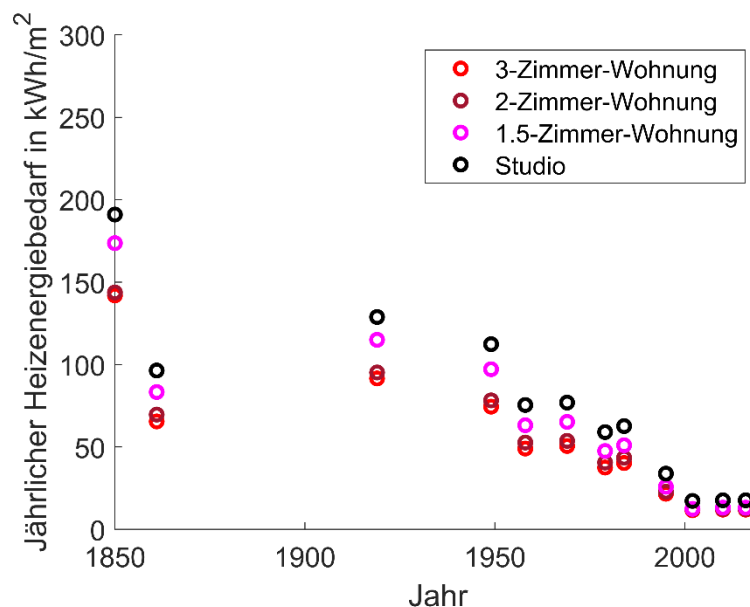


Abbildung 38: Auswirkung der Variation des MFH-Modelltyps in Bezug auf das Nutzerverhalten S1 auf den jährlichen Heizenergiebedarf

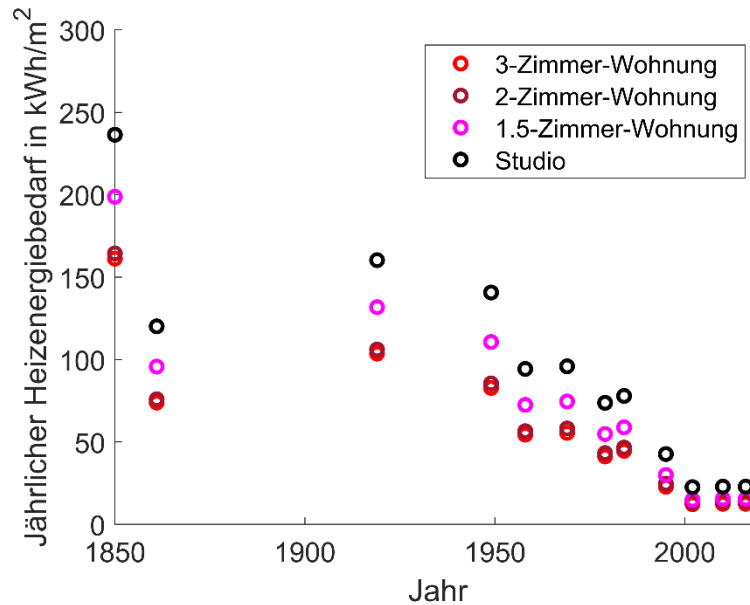


Abbildung 39: Auswirkung der Variation des MFH-Modelltyps in Bezug auf das Nutzerverhalten S2 auf den jährlichen Heizenergiebedarf

Ergebnisse des Jahresheiz- und Jahreskühlenergiebedarfs für Nichtwohngebäude

Für Nichtwohngebäude wird untersucht, wie sich die Parameter Baualtersklasse, Bauart, Fenstertyp, Bürotyp bzw. Nutzungsverhalten nicht genutzter Büroflächen, Nachtabsenkung, Temperatursollwert und der Home-Office-Anteil auf den jährlichen Heizenergiebedarf sowie den jährlichen Kühlenergiebedarf auswirken. Die Parameter Gebäudefläche, Art der RLT, Deckenhöhe, Wetterprofil, Infiltration und die Anwesenheit am Wochenende werden nicht variiert. Abbildung 40 zeigt die Randbedingungen und Eingabedaten für das verwendete NWG-Gebäudemodell.

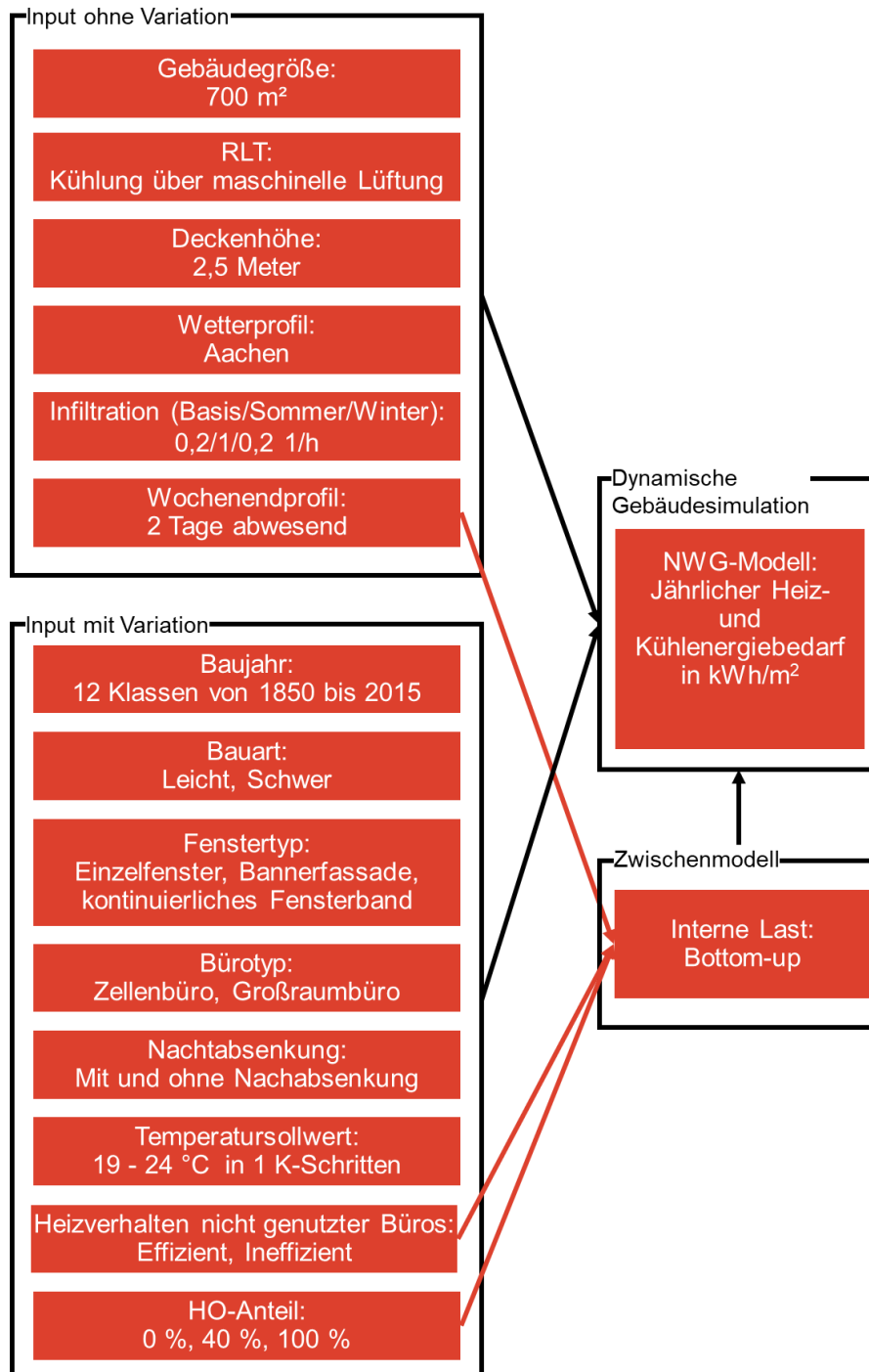


Abbildung 40: Randbedingungen und Eingabedaten für das verwendete NWG-Gebäudemodell

Bürotyp, Home-Office-Anteil und Nachtabsenkung

Die Covid-19-Pandemie führte zu einem sprunghaften Anstieg des Home-Office-Anteils. So unterstützen z. B. Dienstleistungsunternehmen zunehmend die Arbeit von zu Hause (Balemi et al., 2021). Dabei wird davon ausgegangen, dass die Pandemie die mittel- bis langfristigen Strategien von Unternehmen hinsichtlich der Büroflächennutzung beeinflusst hat, wobei Unternehmen ihre Büroflächenbedürfnisse unter Berücksichtigung der Home-Office-Erfahrungen ihrer Mitarbeitenden überprüfen (Oladiran et al., 2023). Gleichzeitig gibt es aktuell vermehrte Meldungen, dass Unternehmen ihre Mitarbeiter wieder „zurück ins Büro

holen“ wollen. Dennoch haben die letzten Jahre zu Veränderungen bzgl. der Nutzung von und der Nachfrage nach Büroflächen in Gewerbeimmobilien geführt. So gab es einen Anstieg der Nutzung von Coworking-Spaces und gleichzeitig eine Zunahme von Büroflächenleerständen (Pirogova, 2023). Auch wenn die langfristigen Entwicklungen nicht klar vorhersagbar sind, werden Simulationen durchgeführt, um den Einfluss von einer Teilnutzung der Büroflächen zu untersuchen.

Zur Untersuchung des Einflusses der Nutzung von Home-Office auf den jährlichen Heiz- und Kühlenergiebedarf werden drei unterschiedliche Büronutzungsszenarien untersucht, siehe Tabelle 17. Die erste Variante ist ein Basisprofil mit konstanter Temperatur für die Bürozone. Dies kann als Großraumbüro interpretiert werden, das unabhängig von der Belegung kontinuierlich temperiert wird. Eine Nachtabenkung ist nicht implementiert.

Das zweite Szenario wird mit dem 7-Zonen-Modell berechnet, in dem die Bürofläche in zwei Zonen unterteilt wird. Dies kann als Zellenbüro interpretiert werden, in dem der nicht genutzte Anteil nur begrenzt geheizt (mindestens 15 °C) bzw. begrenzt gekühlt (maximal 26 °C) wird. Eine Nachtabenkung ist hier nicht implementiert. Das dritte Szenario ist analog zu Szenario 2 aufgebaut, allerdings mit Nachtabenkung. In den IKT-Zonen wird die Temperatur in allen Szenarien konstant auf 18 °C gehalten.

In Tabelle 18 sind die internen Wärmelasten angegeben, die entsprechend der Belegung angepasst werden. Bei Nichtbelegung wird lediglich eine Grundlast von 2 W/m² modelliert.

Die Parametrierung für die Analyse der Büronutzungsszenarien und Home-Office-Anteile ist in Tabelle 19 dargestellt. Für alle drei Büronutzungsszenarien werden drei Belegungsprofile (0 %, 60 % und 100 % Belegung) untersucht, die Home-Office-Anteilen von 100 %, 40 % und 0 % entsprechen.

Tabelle 17: Temperaturprofil für Großraumbüromodell (GB) ohne Nachtabenkung und Zellenbüromodell (ZB) ohne und mit Nachtabenkung, H: Heizfall mit Außentemperatur < 15 °C, K: Kühlfall mit Außentemperatur > 22 °C

	Uhrzeit	Temperaturprofil (6-Zonen Basis / Großraumbüro ohne Nachtabenkung)	Temperaturprofil (7-Zonen, Zellenbüro ohne Nachtabenkung)		Temperaturprofil (7- Zonen, Zellenbüro mit Nachtabenkung)	
Raumtemperatur für alle Zonen außer IKT-Zone	08:00 bis 18:00	21 °C	21 °C		21 °C	
	18:00 bis 08:00				15 °C W	26 °C S
Raumtemperatur in nicht genutzten Bürozonen	00:00 bis 24:00	21 °C	15 °C W	26 °C S	15 °C W	26 °C S
Raumtemperatur in IKT-Zone	00:00 bis 24:00	18 °C	18 °C		18 °C	

Raumtemperatur in allen Zonen außer IKT-Zone am Wochenende (keine Belegung)	00:00 bis 24:00	15 °C H	26 °C K	15 °C H	26 °C K	15 °C H	26 °C K
---	-----------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

Tabelle 18: Interne thermische Lasten für die Bürozone in Abhängigkeit der Belegung

	Interne Lasten bei Belegung in W/m ²	Interne Lasten bei Nichtbelegung in W/m ²
Wärmeabgabe der Personen	7 (70 W pro Person, 1 Person pro 10 m ²)	0
Wärmeabgabe der elektrischen Verbraucher	10	2
Wärmeabgabe der Beleuchtung	10	0

Tabelle 19: Zusammenfassung der für Abbildung 41 bis 46 relevanten Simulationsparameter.

Abbildung	Gebäudetyp und Nachtab senkung	Baujahr	Bauart	Temperatur in °C	Personenlast / HO-Anteil	Fenster
Abbildung 41 Abbildung 44	GB ohne Nachtab senkung, ZB ohne Nachtab senkung, ZB mit Nachtab senkung	1850 bis 2010	Schwer	21	100 % / 0 %	Einzelne
Abbildung 42 Abbildung 45					60 % / 40 %	
Abbildung 43 Abbildung 46					0 % / 100 %	

Die Abbildungen 41 bis 43 zeigen den jährlichen Heizenergiebedarf in Abhängigkeit vom Baujahr und den Büronutzungsszenarien für jeweils Home-Office-Anteile von 0 %, 40 % und 100 %.

Für die Annahme von 100 % Belegung bzw. 0 % Home-Office-Anteil ergeben sich identische Werte für das Großraumbüro ohne Nachtab senkung und das Zellenbüro ohne Nachtab senkung, da für die Zellenbüros per Definition kein Flächenanteil bereitsteht, der nicht genutzt wird und für den Energie eingespart werden könnte. Bei einem Vergleich wird jedoch der Effekt der Nachtab senkung deutlich. So reduziert sich insbesondere für alte Gebäude aus dem Baujahr 1850 der Heizenergiebedarf von ca. 200 kWh/m² auf ca. 150 kWh/m². Für neuere Gebäude ist der absolute Effekt kleiner, dennoch lässt sich auch hier relativ Energie einsparen.

Bei 60 % Belegung bzw. 40 % Home-Office-Anteil ergibt sich ein geändertes Bild. Der jährliche Heizenergiebedarf beträgt für Gebäude aus dem Baujahr 1850 der Heizenergiebedarf etwa 209 kWh/m² für GB ohne Nachtab senkung, 186 kWh/m² für ZB ohne Nachtab senkung und 142 kWh/m² für ZB mit Nachtab senkung. Durch die aufgrund der geringeren Belegung reduzierten internen thermischen Lasten muss zur Sicherstellung der gleichen Temperatur mehr Heizenergie zugeführt werden. Da die Temperatursollwerte für die nicht genutzten Zellenbüros „gelockert“ werden bzw. die nicht genutzten Zonen weniger

geheizt werden, ergibt sich für dieses Szenario eine Einsparung im Vergleich zum Großraumraumbüro.

Für den eher theoretischen Extremfall von 0 % Belegung bzw. 100 % Home-Office-Anteil ergeben sich für Gebäude aus dem Baujahr 1850 ein Heizenergiebedarf von etwa 219 kWh/m² für GB ohne Nachtabenkung, 161 kWh/m² für ZB ohne Nachtabenkung und 133 kWh/m² für ZB mit Nachtabenkung. Die Nutzung als Zellenbüros ist hier demnach besonders energetisch vorteilhaft. An dieser Stelle wird angemerkt, dass das Szenario ZB ohne Nachtabenkung einen theoretischen und eher nicht praxisrelevanten Fall darstellt, da während der eigentlichen Arbeitszeit die Temperatursollwerte gelockert sind, diese aber nachts wieder auf 21 °C festgesetzt werden. Dennoch ist das Setup für die spätere Erstellung eines vereinfachten Berechnungsmodells relevant. Zudem können reale Einsparungen durch die Nutzung von Zellenbüros etwas geringer ausfallen, da in dem genutzten Modell die zwei Bürozonen thermisch ideal voneinander getrennt sind, in der Realität aber Wärme Flüsse zwischen den Zonen auftreten können.

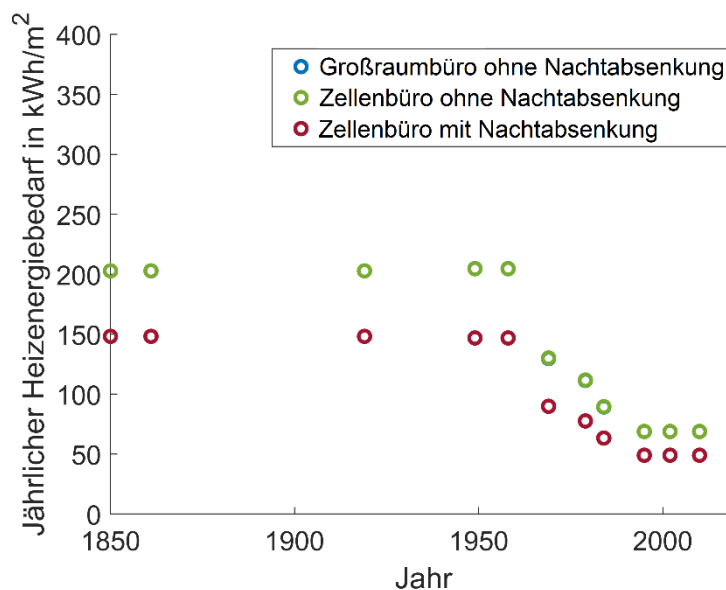


Abbildung 41: Jährlicher Heizenergiebedarf in Abhängigkeit vom Baualter und den Betriebsweisen „Großraumbüro“, „Zellenbüro ohne Nachtabenkung“ und „Zellenbüro mit Nachtabenkung“ sowie einem Nutzungsprofil von 100 % (0 % Home-Office-Anteil); Großraumbüro ohne Nachtabenkung und Zellenbüro ohne Nachtabenkung weisen gleiche Werte auf.

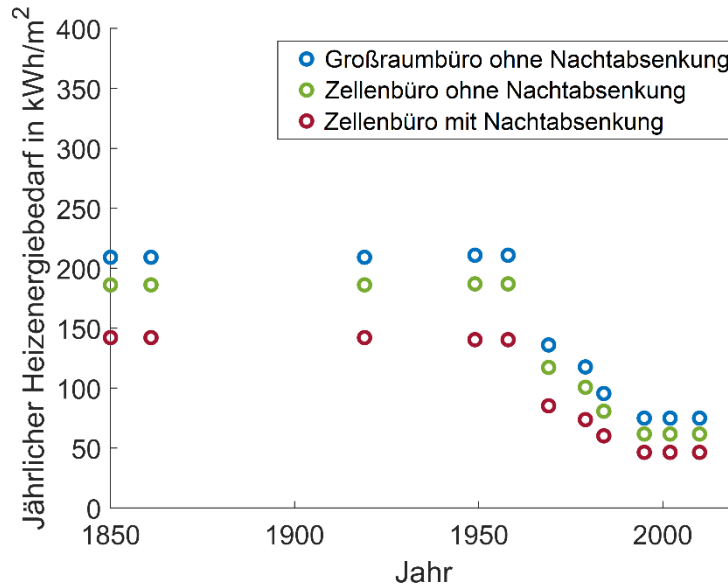


Abbildung 42: Jährlicher Heizenergiebedarf in Abhängigkeit vom Baualter und den Betriebsweisen „Großraumbüro“, „Zellenbüro ohne Nachtabenkung“ und „Zellenbüro mit Nachtabenkung“ sowie einem Nutzungsprofil von 60 % (40 % Home-Office-Anteil).

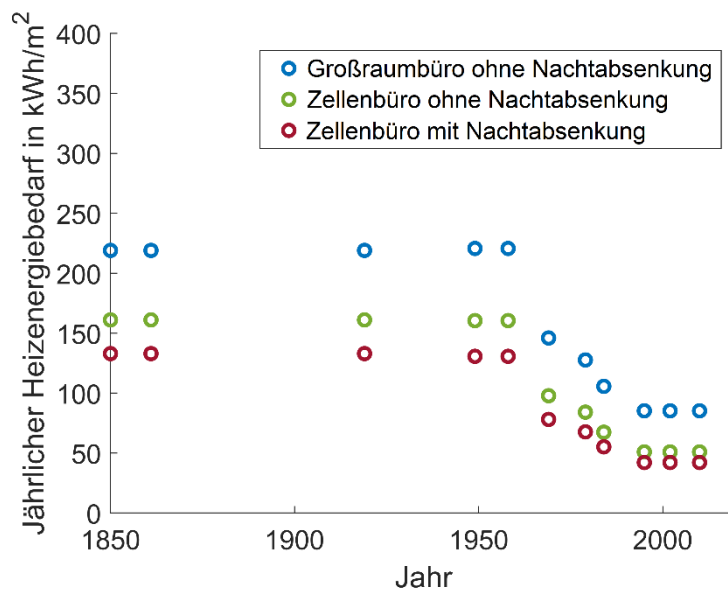


Abbildung 43: Jährlicher Heizenergiebedarf in Abhängigkeit vom Baualter und den Betriebsweisen „Großraumbüro“, „Zellenbüro ohne Nachtabenkung“ und „Zellenbüro mit Nachtabenkung“ sowie einem Nutzungsprofil von 0 % (100 % Home-Office-Anteil).

In den Abbildungen 44 bis 46 sind die jährlichen Kühlenergiebedarfe dargestellt. Für 0 % Home-Office-Anteil weisen das GB und das ZB jeweils ohne Nachtabenkung analog zum Heizenergiebedarf identische Werte auf. Für die Nachtabenkung ist zwar auch der Temperatursollwert für die Kühlung angehoben, dennoch macht sich dies nicht bemerkbar, da die relevanten Zeiträume in den Abendstunden (ab 18 Uhr) liegen, in denen die Außentemperatur in der Regel schon wieder unter 22 °C liegt. Bei geringerer Belegung

ergeben sich aufgrund geringerer interner Lasten leicht niedrigere Kühlenergiebedarfe. Analog zum Heizenergiebedarf weisen Großraumbüros ohne Nachtabenkung die höchsten Werte und Zellenbüros mit Nachtabenkung die niedrigsten Werte auf. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Büronutzungsszenarien sind aber absolut mit wenigen kWh/m² gering.

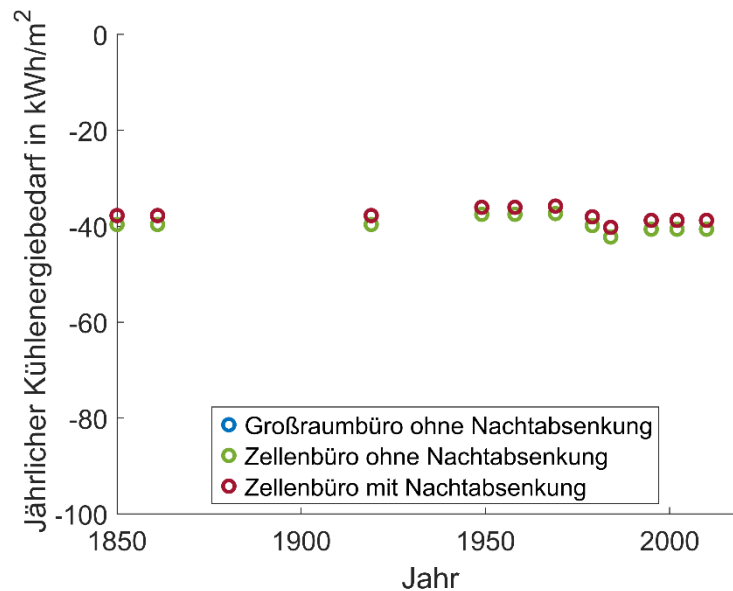


Abbildung 44: Jährlicher Kühlenergiebedarf in Abhängigkeit vom Baualter und den Betriebsweisen „Großraumbüro“, „Zellenbüro ohne Nachtabenkung“ und „Zellenbüro mit Nachtabenkung“ sowie einem Nutzungsprofil von 100 % (0 % Home-Office-Anteil); Großraumbüro ohne Nachtabenkung und Zellenbüro ohne Nachtabenkung weisen gleiche Werte auf.

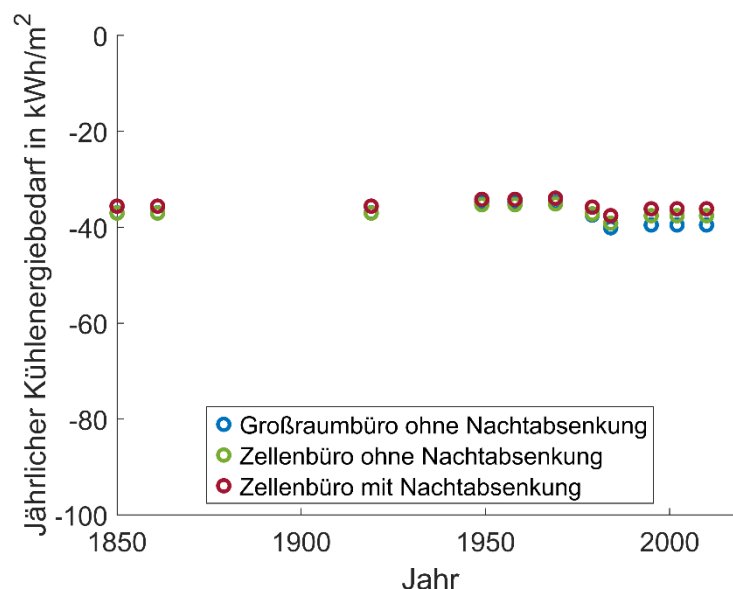


Abbildung 45: Jährlicher Kühlenergiebedarf in Abhängigkeit vom Baualter und den Betriebsweisen „Großraumbüro“, „Zellenbüro ohne Nachtabenkung“ und „Zellenbüro mit Nachtabenkung“ sowie einem Nutzungsprofil von 60 % (40 % Home-Office-Anteil).

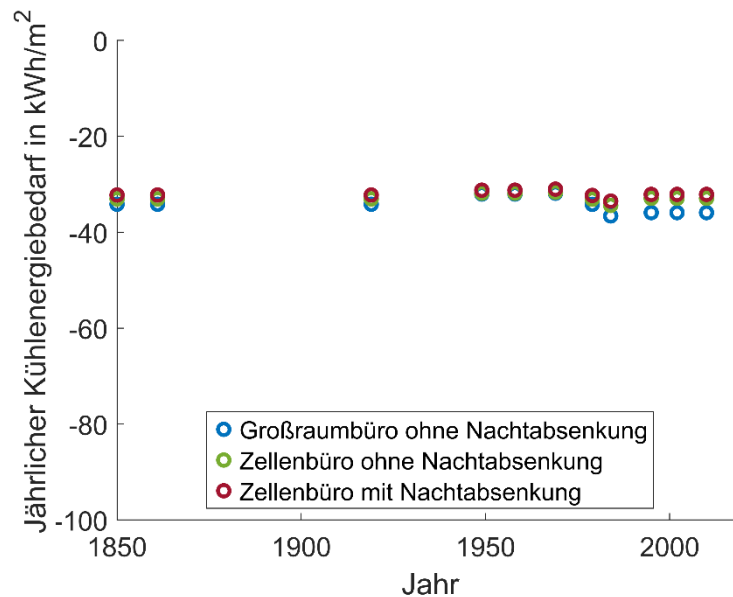


Abbildung 46: Jährlicher Kühlenergiebedarf in Abhängigkeit vom Baualter und den Betriebsweisen „Großraumbüro“, „Zellenbüro ohne Nachtabenkung“ und „Zellenbüro mit Nachtabenkung“ sowie einem Nutzungsprofil von 0 % (100 % Home-Office-Anteil).

Nutzungsverhalten: Temperatursollwert

Gemäß ASR A3.5 liegt die empfohlene Raumtemperatur in Arbeitsräumen, abhängig von der Art der Tätigkeit, im Bereich zwischen 19 °C und 25 °C (BMAS, 2022). Dieser Komfortbereich wird zusätzlich durch Faktoren wie relative Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit sowie Bekleidung beeinflusst. Zur Bestimmung des Einflusses des Temperatursollwertes auf den jährlichen Heiz- und Kühlenergiebedarf, wird dieser im Bereich von 19 °C bis 24 °C in Schritten von 1 K für das Großraumbüro ohne Nachtabenkung variiert. Die Parametrierung für die Analyse des Temperatursollwertes ist in Tabelle 20 dargestellt.

Tabelle 20: Zusammenfassung der für Abbildung 47 und Abbildung 48 relevanten Simulationsparameter.

Abbildung	Gebäudetyp und Nachtabenkung	Baujahr	Bauart	Temperatur in °C	Personenlast / HO-Anteil	Fenster
Abbildung 47 Abbildung 48	GB ohne Nachtabenkung	1850 bis 2010	Schwer	19 bis 24	100 % / 0 %	Einzelne

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Erhöhung des Temperatursollwertes um 1 K zu einer durchschnittlichen Steigerung des jährlichen Heizenergiebedarfs um ca. 8,7 % führt. Gleichzeitig sinkt der Kühlenergiebedarf deutlich mit jeder Erhöhung des Temperatursollwertes. Die absolute Zunahme des Heizenergiebedarfs liegt dabei zwischen rund 10 kWh/m² (bei einer Anhebung von 19 °C auf 20 °C) und etwa 22 kWh/m² (bei einer Erhöhung von 22 °C auf 23 °C). Der Kühlenergiebedarf reduziert sich im Mittel um ca. 20 kWh/m² je zusätzlichem Kelvin. Abbildungen 47 und 48 zeigen diese gegenläufigen Effekte und die temperaturabhängige Entwicklung des Heiz- bzw. Kühlenergiebedarfs in Abhängigkeit vom Baujahr der betrachteten Gebäude. Vor allem ältere Gebäude weisen

einen höheren absoluten Heizenergiebedarf auf und sind somit stärker von Änderungen des Temperatursollwertes betroffen.

Obwohl die maßgeblichen Wärmeverluste (Transmissions- und Lüftungswärmeverluste) bzw. Wärmeeinträge linear von der Differenz zwischen der Innen- und Außentemperatur abhängen, treten die beschriebenen Nicht-Linearitäten auf. Diese lassen sich analog zu den Wohngebäuden dadurch erklären, dass bei einer Erhöhung des Temperatursollwertes bei der Jahressimulation zusätzliche Zeitpunkte mit höheren Außentemperaturen Berücksichtigung finden, in denen eine Beheizung notwendig wird. Der Anstieg des Jahresheizenergiebedarfs für eine Temperatursollwertänderung von beispielsweise 21 °C auf 22 °C setzt sich somit aus dem linearen Anstieg für die Zeitpunkte, die für eine Bereitstellung von 21 °C relevant sind, und einem Anteil der zusätzlichen Zeitpunkte, die für die Bereitstellung von kontinuierlich 22 °C relevant sind, zusammen. Analog lassen sich diese Effekte auch für den Anstieg des Kühlenergiebedarfs erklären.

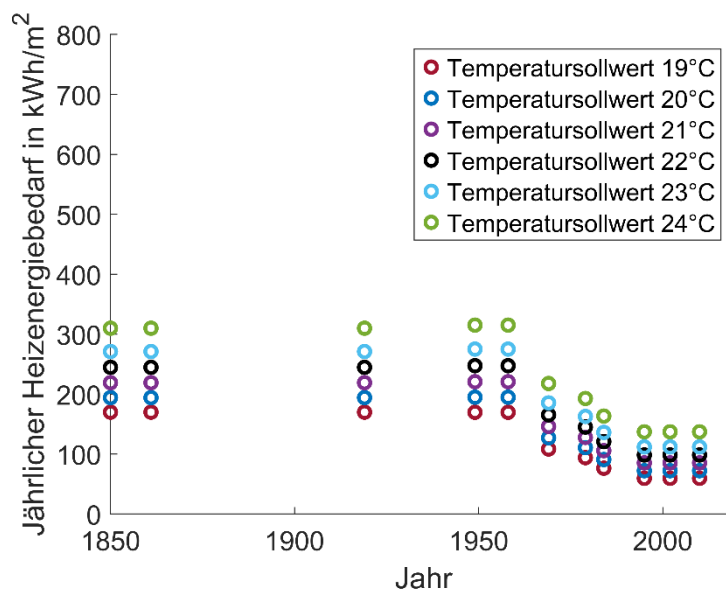


Abbildung 47: Auswirkung einer Veränderung des Sollwerts für die Zonenheizung um 1 K von 18 °C auf 24 °C auf den jährlichen Heizenergiebedarf für NWG

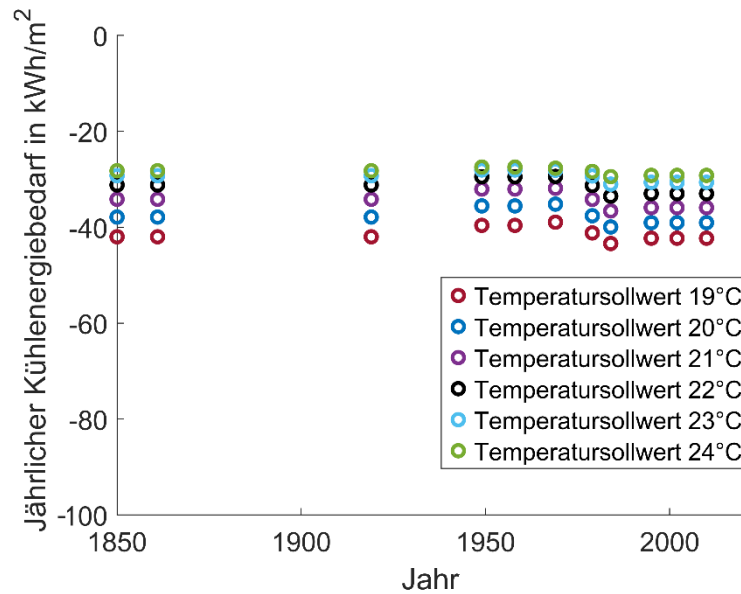


Abbildung 48: Auswirkung einer Veränderung des Sollwerts für die Zonenheizung um 1 K von 18 °C auf 24 °C auf den jährlichen Kühlenergiebedarf für NWG

Bauart: schwer und leicht

Gemäß der Forschungsdatenbank für Nichtwohngebäude ENOB:dataNWG sind die Hauptkonstruktionstypen bzw. Bauarten von Nichtwohngebäuden schwer und leicht. Diese machen ca. 90 % bzw. 10 % der Daten aus (Buschka et al., 2021). Schwere Wandkonstruktionen bestehen aus Ziegeln, Beton und Betonsteinen, während leichte Wandkonstruktionen aus Leichtbeton, Holz und Stahl bestehen. Die detaillierten Eigenschaften der Wandmaterialien in Abhängigkeit vom Baujahr sind in Tabelle 21 aufgeführt. Für eine nachvollziehbare Dokumentation der Simulationseinstellungen, sind neben den deutschen Begriffen zusätzlich die in TEASER hinterlegten Materialnamen angegeben.

Tabelle 21: Schwere und leichte Außenwandkonstruktion für NWG

Baualtersklasse	Bauart	Schichtnummer	Schichtdicke in m	Schichtmaterialname	Wärmeleitfähigkeit in W/(m·K)	Wärmekapazität in J/(K·kg)
[0, 1918]	schwer	0	0,015	Gips (gypsum)	0,3405	1,228
		1	0,3	Vollziegel K (solid_brick_k)	0,745	0,915
		2	0,02	Kalkputz (lime_plaster)	0,7	0,85
[0, 1918]	leicht	0	0,02	Lehmputz (clay_plaster)	0,65	1
		1	0,15	Faserlehm 1200 (fibrous_loam_1200)	0,488	1
		2	0,02	Kalkputz (lime_plaster)	0,7	0,85
[1919, 1948]	schwer	0	0,015	Gips (gypsum)	0,3405	1,228
		1	0,3	Vollziegel K (solid_brick_k)	0,745	0,915
		2	0,02	Kalkputz (lime_plaster)	0,7	0,85
[1919, 1948]	leicht	0	0,02	Lehmputz (clay_plaster)	0,65	1

		1	0,15	Faserlehm 1200 (fibrous_loam_1200)	0,488	1
		2	0,02	Lehmputz (clay_plaster)	0,65	1
[1949, 1968]	schwer	0	0,015	Gips (gypsum)	0,3405	1,228
		1	0,3	Hohlblockstein mit Vermiculit 1200 (hollow_CMU_Vermiculit_1200)	0,535	1,05
		2	0,02	Kalkputz (lime_plaster)	0,7	0,85
[1949, 1968]	leicht	0	0,03	Faserplatte (fibreboard)	0,14	1,7
		1	0,015	Mineralwolle (mineral_wool_040)	0,04	0,85
		2	0,01	Kalkputz (lime_plaster)	0,7	0,85
[1969, 1978]	schwer	0	0,175	Beton CEM II/B-S 32,5 R w/z 0,5 (concrete_CEM_II_BS325R_wz05)	2,1	1
		1	0,03	EPS 040 15 (EPS_040_15)	0,04	1,5
		2	0,08	Beton w/z 0,5 (concrete_wz05)	1,6	0,85
[1969, 1978]	leicht	0	0,03	Faserplatte (fibreboard)	0,14	1,7
		1	0,06	EPS 040 15 (EPS_040_15)	0,04	1,5
		2	0,01	Kalkputz (lime_plaster)	0,7	0,85
[1979, 1983]	schwer	0	0,175	Beton CEM II/B-S 32,5 R w/z 0,5 (concrete_CEM_II_BS325R_wz05)	2,1	1
		1	0,04	EPS 040 15 (EPS_040_15)	0,04	1,5
		2	0,08	Beton w/z 0,5 (concrete_wz05)	1,6	0,85
[1979, 1983]	leicht	0	0,005	Aluminium (aluminium)	237	0,897
		1	0,07	Mineralwolle (mineral_wool_040)	0,04	0,85
		2	0,005	Aluminium (aluminium)	237	0,897
[1984, 1994]	schwer	0	0,175	Beton CEM II/B-S 32,5 R w/z 0,5 (concrete_CEM_II_BS325R_wz05)	2,1	1
		1	0,06	EPS 040 15 (EPS_040_15)	0,04	1,5
		2	0,04	Beton w/z 0,5 (concrete_wz05)	1,6	0,85
[1984, 1994]	leicht	0	0,005	Aluminium (aluminium)	237	0,897
		1	0,09	Mineralwolle (mineral_wool_040)	0,04	0,85
[1995, 2015]	schwer	0	0,175	Beton CEM II/B-S 32,5 R w/z 0,5 (concrete_CEM_II_BS325R_wz05)	2,1	1
		1	0,07	EPS 040 15 (EPS_040_15)	0,04	1,5
[1995, 2015]	leicht	0	0,0125	Gipskartonplatte (plasterboard)	1,38	0,125
		1	0,001	Stahlblech (steel_sheet)	48	0,477
		2	0,1	XPS 3 Kernschicht (XPS_3_core_layer)	0,03	1,5
		3	0,001	Stahlblech (steel_sheet)	48	0,477

Um den Einfluss der Bauart auf den jährlichen Heiz- und Kühlenergiebedarf zu bestimmen, wird für das GB ohne Nachtabsenkung der Wandaufbau variiert. Die Parametrierung für die Analyse des Temperatursollwertes ist in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22: Zusammenfassung der für Abbildung 49 und Abbildung 50 relevanten Simulationsparameter.

Abbildung	Gebäudetyp und Nachtabsenkung	Baujahr	Bauart	Temp. in °C	Personenlast / HO-Anteil	Fenster
-----------	-------------------------------	---------	--------	-------------	--------------------------	---------

Abbildung 49, Abbildung 50	GB ohne Nachtab senkung	1850 bis 2010	Schwer, Leicht	21	100 % / 0 %	Einzelne
-------------------------------	-------------------------	------------------	----------------	----	-------------	----------

Die Ergebnisse in Abbildung 49 zeigen, dass der jährliche Heizenergiebedarf für Gebäude, die bis 1918 errichtet wurden, 205 kWh/m² für Gebäude mit schwerer Bauweise und 300 kWh/m² für Gebäude mit leichter Bauweise beträgt. Von 1919 bis 1948 beträgt der jährliche Heizenergiebedarf für Gebäude mit schwerer Bauweise ca. 200 kWh/m² und für Gebäude mit leichter Bauweise ca. 180 kWh/m², sodass sich das Verhältnis umkehrt. Von 1949 bis 1968 steigt der jährliche Heizenergiebedarf um 7 kWh/m² an, während er bei leichter Bauweise um 10 kWh/m² gegenüber dem vorhergehenden Jahresintervall sinkt. Von 1969 bis 2015 ist ein Rückgang des jährlichen Heizenergiebedarfs für Gebäude mit schwerer Bauweise auf ca. 65 kWh/m² zu beobachten. Der Unterschied zwischen schwerer und leichter Bauweise bleibt in diesem Zeitraum mit 20 bis 25 kWh/m² nahezu konstant.

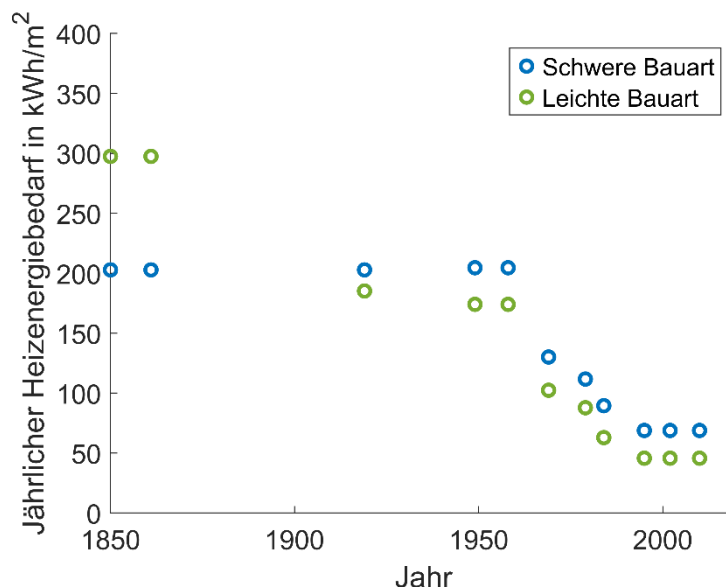


Abbildung 49: Auswirkung der Verwendung von schwerer und leichter Bauart auf den jährlichen Heizenergiebedarf für NWG

In Abbildung 50 ist der jährliche Kühlenergiebedarf in Abhängigkeit der Bauart dargestellt. Generell weisen die Gebäude mit schwerer Bauart geringere Kühlbedarfe auf, da sich aufgrund der höheren Masse bzw. Wärmekapazität Außentemperaturschwankungen erst verzögert auswirken, sodass kurze Hitzeperioden besser weggepuffert werden können. Dieser Vorteil ist jedoch aufgrund einer Anpassung der Materialien bzw. Wandaufbauten für neuere Gebäude nicht mehr zu sehen.

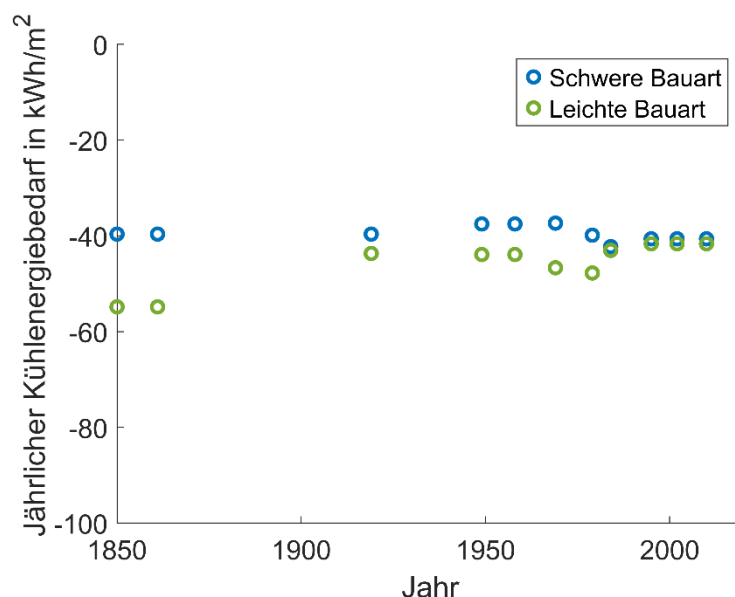


Abbildung 50: Auswirkung der Verwendung von schwerer und leichter Bauart auf den jährlichen Kühlenergiebedarf für NWG

Fenstertyp

Der Fenstertyp und der Fensterflächenanteil beeinflusst die Wärmeeinträge durch solare Einstrahlung und die Transmissionsverluste eines Gebäudes. TEASER bietet eine generische Standardfassade bzgl. des Fensterlayouts, die einen statistischen Mittelwert für die Fensterfläche enthält. Dies ist die Grundlage für die Berechnung weiterer Fensterlayouts mit Korrekturfaktoren (CF). Die Fenstertypen, die in das NWG-Modell aufgenommen werden können, sind Einzelfenster (CF = 0,25), Bannerfassade bzw. kontinuierliches Fensterband (CF = 0,5) und Vollverglasung (CF = 0,9). Die Eigenschaften der in TEASER hinterlegten Fenstertypen sind in Tabelle 23 aufgeführt. In dieser Analyse werden nur Kunststofffenster mit Isolierverglasung genutzt, welche in Tabelle 23 fett hervorgehoben sind. Die Parametrierung für die Analyse des Fenstertyps ist in Tabelle 24 dargestellt.

Tabelle 23: Fensterkonstruktion für NWG-Modelle

Baualtersklasse	Bauart	G-Wert in W/m²K	Dicke in m
[0, 1978]	Holzfenster, zweifach	0,78	0,024
[0, 1978]	Kunststofffenster, Isolierverglasung	0,78	0,024
[0, 1978]	Alu- oder Stahlfenster, Isolierverglasung	0,78	0,024
[1979, 1983]	Holzfenster, zweifach	0,78	0,024
[1979, 1983]	Kunststofffenster, Isolierverglasung	0,78	0,024
[1979, 1983]	Alu- oder Stahlfenster, Isolierverglasung	0,78	0,024
[1984, 1994]	Holzfenster, zweifach	0,78	0,024
[1984, 1994]	Kunststofffenster, Isolierverglasung	0,78	0,024
[1984, 1994]	Alu- oder Stahlfenster, Isolierverglasung	0,78	0,024
[1995, 2015]	Holzfenster, zweifach	0,67	0,024
[1995, 2015]	Kunststofffenster, Isolierverglasung	0,67	0,024
[1995, 2015]	Alu- oder Stahlfenster, Isolierverglasung	0,67	0,024
[1995, 2015]	Alu- oder Stahlfenster, Wärmeschutzverglasung, zweifach	0,65	0,024
[1995, 2015]	Wärmeschutzverglasung, dreifach	0,5	0,024

Tabelle 24: Zusammenfassung der für Abbildung 51 und Abbildung 52 relevanten Simulationsparameter.

Abbildung	Gebäudetyp und Nachtabsenkung	Baujahr	Bauart	Temp. in °C	Personenlast / HO-Anteil	Fenster
Abbildung 51, Abbildung 52	GB ohne Nachtabsenkung	1850 bis 2010	Schwer	21	100 % / 0 %	Einzelne Fenster, Kontinuierliches Fensterband, Vollverglasung

Die Ergebnisse in Abbildung 51 zeigen, dass der jährliche Heizenergiebedarf für die Einzelfensterfassade bis zum Jahr 1968 nahezu konstant bei $205 \text{ kWh/m}^2 \pm 2 \text{ kWh/m}^2$ liegt. Der jährliche Heizenergiebedarf für ein kontinuierliches Fensterbandes ist um 10 kWh/m^2 niedriger als der Heizenergiebedarf für eine Einzelfensterfassade, während der jährliche Heizenergiebedarf bei einer Vollverglasung um 20 kWh/m^2 niedriger ist als der bei einer Einzelfensterfassade. Der geringere Heizenergiebedarf ergibt sich durch die höheren solaren Gewinne aufgrund der größeren Fensterfläche.

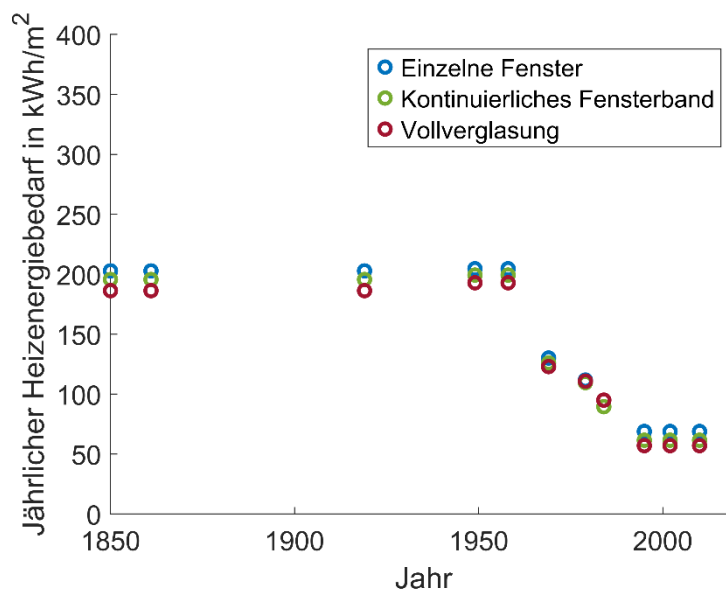


Abbildung 51: Auswirkung des Einsatzes von Einzel-, Kontinuierliches- und Vollverglasungsfenstern auf den jährlichen Heizenergiebedarf für NWG

In Abbildung 52 ist der jährliche Kühlenergiebedarf dargestellt. Ein größerer Fensterflächenanteil führt zu größeren solaren Gewinnen und falls keine adäquaten Verschattungssysteme genutzt werden können, erhöht dies den Kühlenergiebedarf. Aufgrund der besseren Wärmedämmung moderner Gebäude steigen die Kühlbedarfe für neuere Gebäude an.

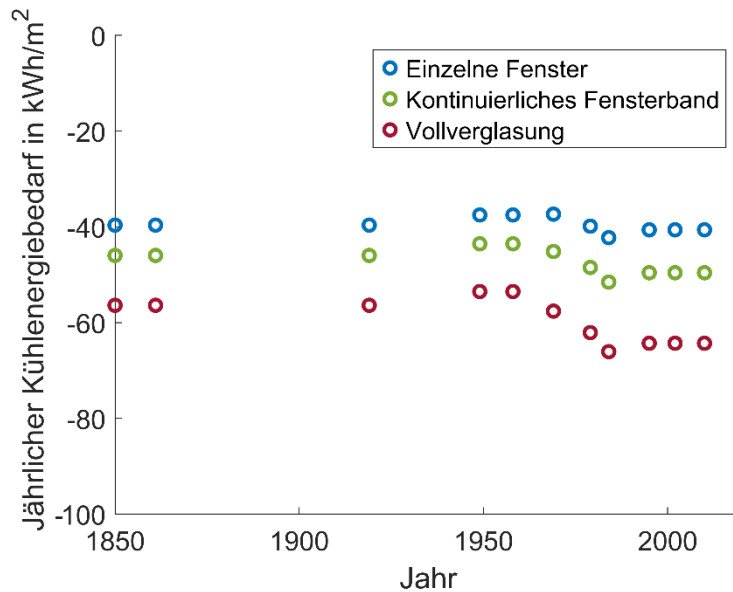


Abbildung 52: Auswirkung des Einsatzes von Einzel-, Kontinuierliches- und Vollverglasungsfenstern auf den jährlichen Kühlenergiebedarf für NWG

Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde eine automatisierte Toolchain zur Erstellung, Parametrierung und Simulation dynamischer Gebäudemodelle für Wohn- und Nichtwohngebäude entwickelt, um die Auswirkungen von Home-Office auf den Energiebedarf zu berechnen. Die Modelle basieren auf der TABULA-Datenbank für Wohngebäude sowie den BMVBS-Richtlinien für Bürogebäude und wurden mithilfe der Werkzeuge TEASER, AixLib und ebcpy automatisiert erzeugt und simuliert.

Für Wohngebäude wurden Mehrzonenmodelle erstellt, die typische Haushaltsgrößen und Raumnutzungen abbilden. Die Modelle für Einfamilienhäuser und Reihenhäuser bestehen aus acht Zonen und berücksichtigten eine Belegung von bis zu vier Personen. Für Mehrfamilienhäuser wurden vier Wohnungstypen modelliert: Studios, 1,5-Zimmer-Wohnungen, 2-Zimmer-Wohnungen und 3-Zimmer-Wohnungen. Die internen thermischen Lasten wurden mithilfe von Bottom-up-Profilen auf Basis von Anwesenheitszeiten, Geräteeinsatz und Raumnutzung abgebildet. Die Simulationen umfassen verschiedene Szenarien in Bezug auf Nutzerverhalten, Sanierungszustand, Temperatursollwert, Gebäudegrößen und den Anteil an Home-Office-Nutzung.

Für Bürogebäude wurden zwei Modellvarianten untersucht: ein Großraumbüro (GB) mit einer einzigen Bürozone und ein Zellenbüro (ZB) mit zwei Bürobereichen, um Temperaturregelungen in Abhängigkeit der Belegung abzubilden. Das GB-Modell wurde in sechs thermische Zonen unterteilt: Büro, Flur, Lager, Besprechungsraum, Sanitärbereich und Serverraum. Die Temperatur in der Bürozone wurde unabhängig von Belegung, Tageszeit oder Wochentag konstant gehalten. Im Gegensatz dazu wurden für das Zellenbüro zwei belegungsabhängige Betriebsstrategien untersucht: ZB ohne Nachtabenkung und ZB mit Nachtabenkung. Die Belegungsdichte wurde auf 10 m² pro Person festgelegt. Zudem wurden unterschiedliche Fensterlayouts (Einzelfenster,

Fensterbänder und Vollverglasung) sowie zwei Bauweisen (leicht und schwer) betrachtet. Die Auswirkungen unterschiedlicher Flächennutzungsgrade (vollständige Nutzung: 100 %, Teilnutzung: 60 % und Nichtnutzung: 0 %) bzw. Home-Office-Anteile (0 %, 40 % und 100 %) wurden in drei Stufen analysiert. In allen Simulationen wurde der thermische Austausch zwischen den Zonen vernachlässigt, wie es bei Reduced-Order-Modellen (ROM) üblich ist.

Die Ergebnisse zeigen, dass ein effizientes Heizverhalten bei einem hohen Home-Office-Anteil den jährlichen Heizenergiebedarf in Wohngebäuden um 25 % bis 45 % senken kann, wenn nur die genutzte Home-Office-Zone geheizt wird. Absolut sind diese Effekte vor allem für ältere, nicht sanierte Gebäude relevant. Bei neueren Gebäuden kann zwar relativ weiterhin Heizenergie eingespart werden, dennoch sind die absoluten Einsparungen aufgrund der besseren Wärmedämmung gering.

Verbesserte Dämmstandards führen im Jahresdurchschnitt zu einer über alle Baujahre gemittelten Reduktion des Heizenergiebedarfs um etwa 41 % bei Einfamilienhäusern und rund 36 % bei Mehrfamilienhäusern. Die absoluten Einspareffekte durch die Dämmung neuerer Gebäude (ab Baujahr 2002) sind vernachlässigbar und praktisch irrelevant.

Eine Erhöhung des Temperatursollwertes um 1 K führt zu einem über alle Baualtersklassen gemittelten Anstieg des Heizenergiebedarfs um 15 % bis 17 %. Die durchgeführte Variation der Gebäudegröße hat nur einen geringen Einfluss auf den flächenspezifischen Heizenergiebedarf, allerdings deckt die Bandbreite der Variation nicht alle real auftretenden Gebäude ab. Der Anstieg des Anteils der Home-Office-Nutzung um jeweils 20% (1 Tag pro fünftägiger Arbeitswoche) wirkt sich bei einem effizienten Heizverhalten kaum auf den über alle Baualtersklassen gemittelten Heizenergiebedarf aus und verursacht einen Anstieg von nur ca. 1,2 %. Bei ineffizientem Heizverhalten liegt der zusätzliche Bedarf hingegen bei etwa 6.1%. Studios bzw. kleine Wohnungen weisen einen höheren flächenspezifischen Heizenergiebedarf auf als größere Wohnungstypen.

Für Nichtwohngebäude ist der Energiebedarf stark von der Büronutzung (Großraumbüro oder Zellenbüro), der Fensterfläche, der Bauweise und dem Nutzungsgrad der Bürofläche abhängig. Eine Erhöhung der genutzten Fläche von 60 % auf 100 % im Szenario „Zellenbüro mit Nachtabsenkung“ führt zu einer Reduktion des Heizenergiebedarfs um etwa 5 %, während der Kühlbedarf um etwa 3 % ansteigt. Bei einer Teilbelegung der Büroflächen bieten sich aus energetischer Sicht Zellenbüros an, wenn diese möglichst vollständig belegt werden, sodass nicht genutzte Büros nur auf eine Standby-Temperatur geheizt bzw. gekühlt werden können. Dazu ist jedoch in der Praxis eine flexible Arbeitsplatznutzung, die Kenntnis der Arbeitsplatzbelegung sowie eine Informationsweitergabe an die Temperaturregelung notwendig. Allgemein ist eine Nachtabsenkung empfehlenswert, um den Energiebedarf ohne Komforteinbußen zu reduzieren, z.B. kann ein ZB mit Nachtabsenkung im Vergleich zum ZB ohne Nachtabsenkung Einsparungen um bis zu 24 % aufweisen.

Leichte Bauweisen führen im Vergleich zu schweren Bauweisen zu einem geringeren Heizenergiebedarf und zu einem höheren Kühlenergiebedarf. Der Wechsel von Vollverglasung zu Einzelfenstern erhöht den Heizenergiebedarf um bis zu 20 kWh/m², kann jedoch den Kühlenergiebedarf reduzieren. Eine Erhöhung des Temperatursollwertes führt

zu einem Anstieg des Heizenergiebedarfs, während der Kühlenergiebedarf entsprechend zurückgeht.

Insgesamt verdeutlichen die Simulationsergebnisse das große Potenzial zur Reduktion des Energiebedarfs durch gezielte Anpassungen im Nutzungsverhalten, der technischen Ausstattung und der Betriebsführung. Die Auswirkungen von Home-Office unterscheiden sich je nach Nutzungsverhalten und Gebäudetyp und sollten bei der Entwicklung zukünftiger Effizienzstrategien im Gebäudesektor berücksichtigt werden. Die Ergebnisse bieten eine fundierte Grundlage für weitere Schritte im Kontext der Energiewende und die Handlungsempfehlungen in AP7 in Abschnitt 2.1.7 und das vereinfachte Berechnungstool aus AP8 in Abschnitt 2.1.8.

2.1.4 AP 4: Energieverbrauch durch Veränderung der Mobilität und Wohnortwahl (Lead IÖW)

Die Reduzierung der täglichen Arbeitswege ist ein Resultat von Home-Office, das große Auswirkungen auf den Klimaschutz haben kann, denn die Wege zur Arbeit tragen mit etwa einem Fünftel des gesamten Personenverkehrs relevant zu den Emissionen bei. Die Einsparungen sind einerseits davon abhängig, wie oft die Wege zur Arbeit mit welchem Verkehrsträger wegfallen und ob wegfallende Wege möglicherweise in der Freizeit kompensiert werden. Daneben können durch Umzüge längerfristig die Entfernungen der Pendelwege verändert werden. Für den Klimaschutz ist letztlich die Größe der Jahresfahrleistung mit den einzelnen Verkehrsträgern ausschlaggebend. Die Entwicklung dieser Größe ist in Abbildung 53 für den Zeitraum von 2014 bis 2023 für die Pkw dargestellt. Der Pkw ist der am häufigsten genutzte Verkehrsträger für Pendelwege, knapp zwei Drittel der Pendler*innen nutzen ein eigenes Auto (statista 2024). Die Abbildung zeigt nach einem Anstieg bis 2018 einen Rückgang der Jahresfahrleistung, der sich 2020 nochmals aufgrund der Pandemie deutlich verstärkt hat. Seitdem fällt die Fahrleistung weiter ab und erreichte 2023 den niedrigsten Wert in dem betrachteten Zeitraum seit 2014.



Abbildung 53: Jahresfahrleistung der Pkw in Deutschland in den Jahren 2014 bis 2023 (Quelle: KBA 2024)

In den Zahlen zu den Pkw-Gesamtzulassungen zeigt sich in dem Zeitraum von 2012 bis 2023 eine kontinuierliche Zunahme (siehe Abbildung 54). Die Pkw-Neuzulassungen ging zwar während der Pandemie 2020 und 2021 deutlich zurück, aber der Einfluss auf die

Gesamtzulassungen war gering. Dies bedeutet, dass damit das Durchschnittsalter der angemeldeten Pkw gestiegen ist und die durchschnittliche Fahrleistung eines einzelnen Pkw gesunken ist.

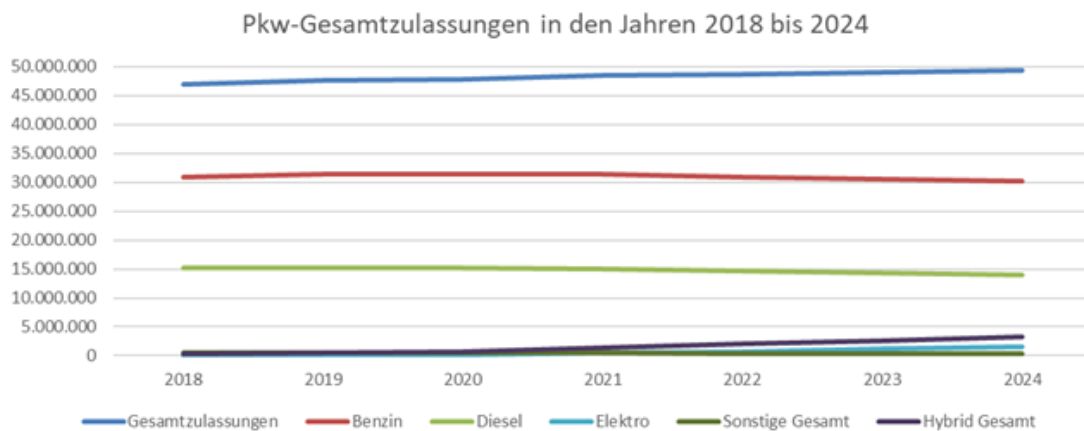


Abbildung 54: Pkw-Gesamtzulassungen in Deutschland in den Jahren 2018 bis 2024. Stichtag ist der 1.7. des jeweiligen Jahres, Quelle: KBA 2023b

Die Ursachen für den Anstieg des Pkw-Bestands sind vielschichtig. Ein naheliegender Erklärungsansatz ist das Bevölkerungswachstum: Zwischen 2018 und 2023 stieg die Gesamtbevölkerung um etwa 2 %. Auch unter Berücksichtigung dieses demografischen Effekts zeigt sich jedoch weiterhin ein Anstieg der Pkw-Zulassungen. Dies deutet darauf hin, dass zusätzlich strukturelle oder verhaltensbezogene Faktoren eine Rolle spielen. Ein möglicher Erklärungsfaktor ist ein gesteigener Mobilitätsbedarf, etwa infolge beruflicher Pendelbewegungen. In der Beschäftigungsstatistik gelten Personen als Pendler*innen, wenn ihr Arbeitsort außerhalb der Gemeinde-, Kreis- oder Landesgrenzen ihres Wohnortes liegt. Ob und in welcher Frequenz sie tatsächlich ihren Arbeitsort aufsuchen, bleibt für die statistische Erfassung jedoch unbeachtet. Die Entwicklung der Pendlerzahlen weist seit dem Jahr 2013 – mit Ausnahme eines leichten Rückgangs im Jahr 2020 – einen kontinuierlichen Anstieg auf (siehe Abbildung 55) (Bundesagentur für Arbeit 2023). Auch die um den Bevölkerungszuwachs bereinigte Darstellung bestätigt diesen Trend.

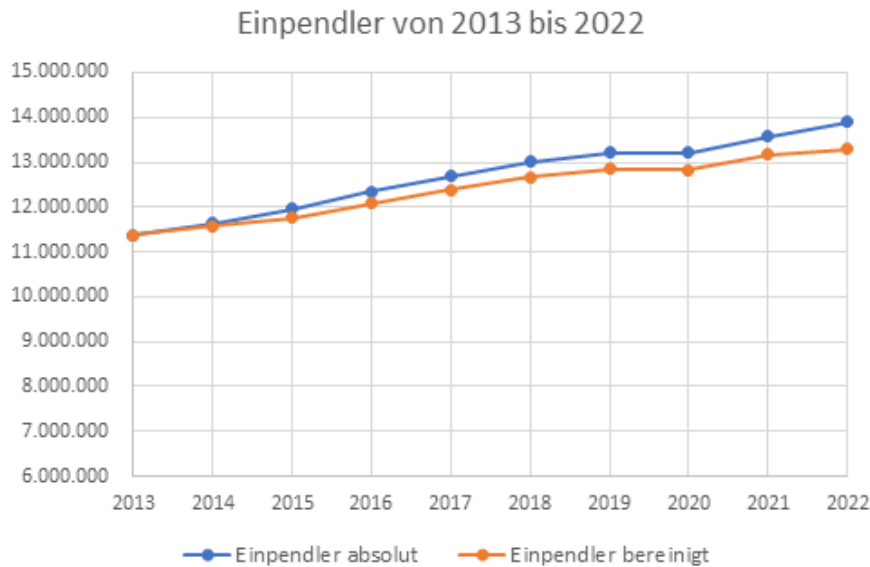


Abbildung 55: Anzahl der Einpender in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2022. Quelle: Bundesagentur für Arbeit (2023)

Aus der Pendlerstatistik lässt sich zunächst nicht unmittelbar ableiten, welche konkreten Pendelverflechtungen der beobachteten Zunahme zugrunde liegen. Unklar bleibt demnach, welche räumlichen Beziehungen die beruflich bedingte Mobilität prägen. Die Analyse der Bevölkerungsentwicklung in Städten zeigt jedoch, dass Großstädte im Zuge der Stadt-Land-Wanderung einen leichten Bevölkerungsverlust verzeichnen: So betrug das Wanderungssaldo im Jahr 2019 -0,25 % der Bevölkerung; im Jahr 2020 verstärkte sich dieser Trend auf -0,45 %. Den größten Anteil an diesen Wanderungsbewegungen finden zwischen Großstädten und ihrem jeweiligen Umland statt (BiB 2022).

Der Pendleratlas weist die Zahl der Ein- und Auspendelnden getrennt für die einzelnen Kreise aus. Zur vertieften Analyse der Pendelbewegungen wurden die Kreise in zwei Kategorien eingeteilt: Landkreise bzw. Kleinstädte einerseits und kreisfreie Großstädte andererseits. Diese Differenzierung ermöglicht es, insbesondere die Entwicklung der Einpendelströme aus ländlich geprägten Räumen in städtische Zentren nachzuvollziehen. Abbildung 56 veranschaulicht diese Entwicklung auf Ebene der Bundesländer im Zeitraum von 2013 bis 2022. In den fünf Bundesländern Bremen, Mecklenburg-Vorpommern, Saarland, Sachsen-Anhalt und Thüringen blieb die Zahl der Einpendelnden aus Landkreisen in Städte weitgehend konstant. In den übrigen Bundesländern ist hingegen ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen – besonders stark fällt dieser in Baden-Württemberg, Bayern und Nordrhein-Westfalen aus.

Nach Angaben von Statista (2022) verlagerten insbesondere Personen im Alter von 30 bis 49 Jahren sowie Minderjährige ihren Wohnsitz aus kreisfreien Großstädten in kleinere Städte oder ländliche Regionen. Daraus lässt sich schließen, dass vor allem Familien die urbanen Zentren verlassen und sich im suburbanen oder ländlichen Raum niederlassen.

Aus dieser Entwicklung folgt für das Mobilitätsverhalten der Beschäftigten, dass sie, wenn auch an weniger Tagen, weitere Wegstrecken zur Arbeit zurücklegen müssen. Dies zeigt sich auch in den Pendeldistanzen. Während 2012 die durchschnittliche Pendeldistanz aller

Arbeitnehmer*innen bei 17,6 km lag, stieg sie 2022 auf 18,2 km. Es besteht dabei ein deutlicher Unterschied zwischen Landkreisen/Kleinstädten und Großstädten. Die durchschnittliche Pendeldistanz betrug im Jahr 2022 in den Landkreisen/Kleinstädten 19,1 km (18,4 km in 2012), während sie in den Großstädten mit 14,2 km (13,3 km in 2012) deutlich niedriger war (BBSR 2023). Dies kann auch ein Grund sein, dass die Zahl der Pkw-Gesamtzulassungen weiter angestiegen ist, weil durch den Bevölkerungsanstieg in Kleinstädten und ländlichen Regionen ein größerer Bedarf an Pkw resultiert.

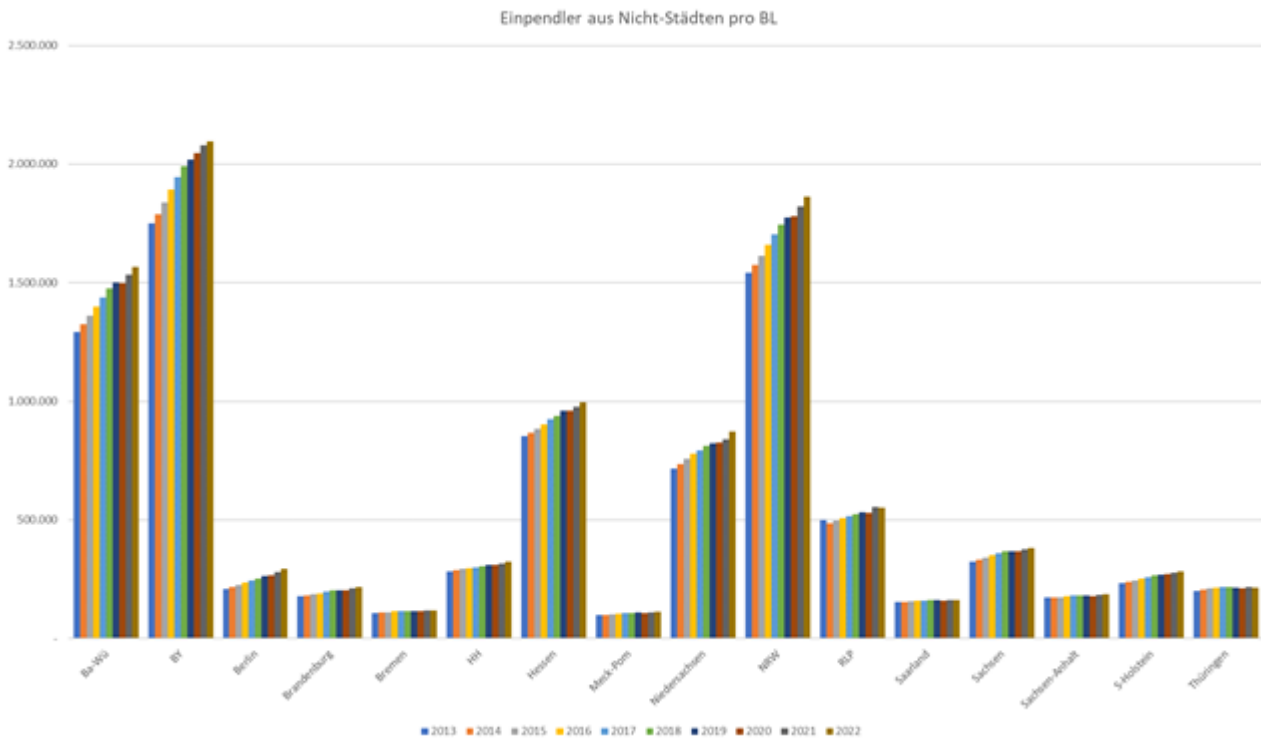


Abbildung 56: Einpendler aus Nicht-Städten in den Bundesländern von 2013 bis 2022. Quelle: Bundesagentur für Arbeit (2023)

Zusammenfassend zeigen sich in den derzeit vorliegenden statistischen Daten zur Mobilität mit dem Pkw, dass sich in den Jahren der Pandemie die Verkehrsleistung reduziert hat und seitdem auch weiter rückläufig ist. Insgesamt gibt es in Deutschland mehr zugelassene Kraftfahrzeuge, aber die spezifische Jahresfahrleistung je Pkw ist rückläufig.

Auswertung der empirischen Erhebungen

Im Rahmen der Befragung wurden die Angaben der Teilnehmenden zu Veränderungen ihrer Mobilität im Kontext beruflicher Pendelwege ausgewertet. Nach Einschätzung der Befragten, basierend auf ihrem eigenen Kenntnisstand, werden die zurückgelegten Pendelstrecken von Erwerbstätigen als vergleichsweise lang wahrgenommen. Vor diesem Hintergrund wird das Entlastungspotenzial durch das Arbeiten im Home-Office als hoch eingeschätzt. Dies bezieht sich nicht nur auf die Reduzierung der reinen Wegezeit, sondern auch auf eine Verringerung von stressbedingten Belastungen infolge unvorhersehbarer Verkehrssituationen sowie auf Einsparungen bei den Kraftstoffkosten.

Gleichzeitig betonen die Befragten die Relevanz einer zumindest gelegentlichen Präsenz am Arbeitsplatz. Die physische Anwesenheit wird insbesondere im Hinblick auf informelle Kommunikation und sozialen Austausch als bedeutsam erachtet. Aus diesem Grund sehen viele Befragte eine regelmäßige, wenn auch begrenzte, Rückkehr ins Büro als notwendig an.

Bezüglich der genutzten Verkehrsmittel wurde überwiegend das Auto als bevorzugtes Mittel für den Arbeitsweg genannt – insbesondere bei längeren Distanzen. Für kürzere Strecken innerhalb städtischer Räume wird hingegen häufiger das Fahrrad oder der öffentliche Personennahverkehr genutzt.

Die Auswertung der Befragungsergebnisse weist insgesamt auf einen leichten Trend hin zu einer reduzierten Nutzung von Verkehrsmitteln im Rahmen beruflicher Mobilität hin (vgl. Abbildung 57). Hieraus lässt sich jedoch keine belastbare Aussage über eine mögliche Veränderung der insgesamt zurückgelegten Distanzen ableiten.

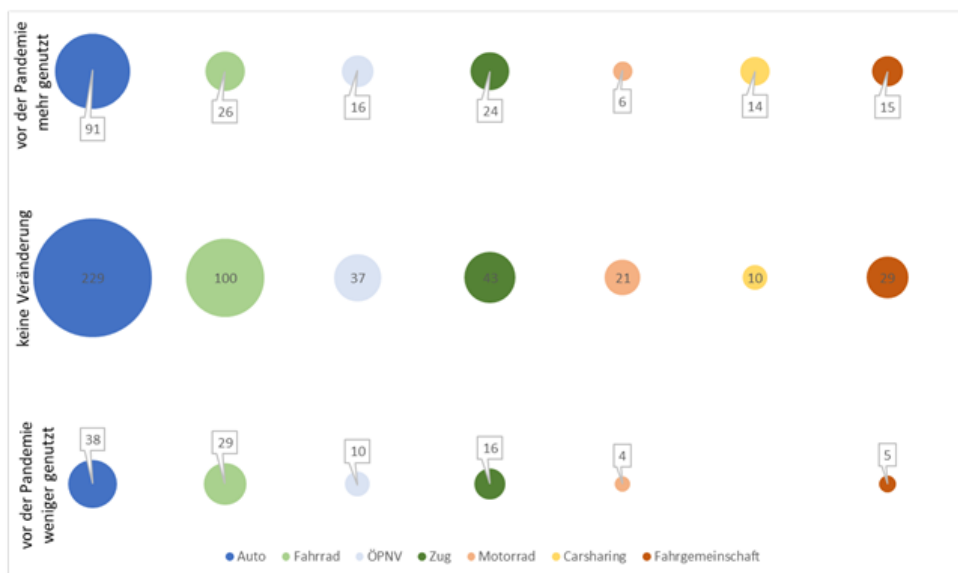


Abbildung 57: Veränderungen der Verkehrsträgernutzung für die berufliche Mobilität im Vergleich zur Zeit vor der Pandemie (eigene Befragung, Mehrfachnennung möglich) („Wie ist Ihre derzeitige Verkehrsmittelnutzung im Vergleich zur Vergangenheit (vor der Pandemie?)“, n = 467. Berücksichtigt wurden Nennungen der Personen, die den Verkehrsträger immer, überwiegend oder gelegentlich nutzt.

Dieser Trend zu einer leicht rückläufigen motorisierten Mobilität soll sich nach Angaben der Interviewten zufolge auch weiter fortsetzen. Abbildung 58 veranschaulicht die geplanten Veränderungen in der Nutzung verschiedener Verkehrsmittel. Demnach beabsichtigt knapp die Hälfte der Personen, die derzeit regelmäßig ein Auto nutzen, dieses Mobilitätsverhalten beizubehalten. Gleichzeitig plant jedoch ein erheblicher Anteil – rund 40 % – die künftige Nutzung des Autos zu reduzieren.

Im Gegensatz dazu ist bei alternativen Verkehrsmitteln eine zunehmende Nutzungsabsicht erkennbar. Besonders Fahrräder sowie der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) sollen verstärkt in den Alltag integriert werden. Auch bei anderen Verkehrsträgern wie dem Zug, dem Motorrad sowie gemeinschaftlich genutzten Mobilitätsformen wie Carsharing und Fahrgemeinschaften ist eine erhöhte Nutzung geplant.

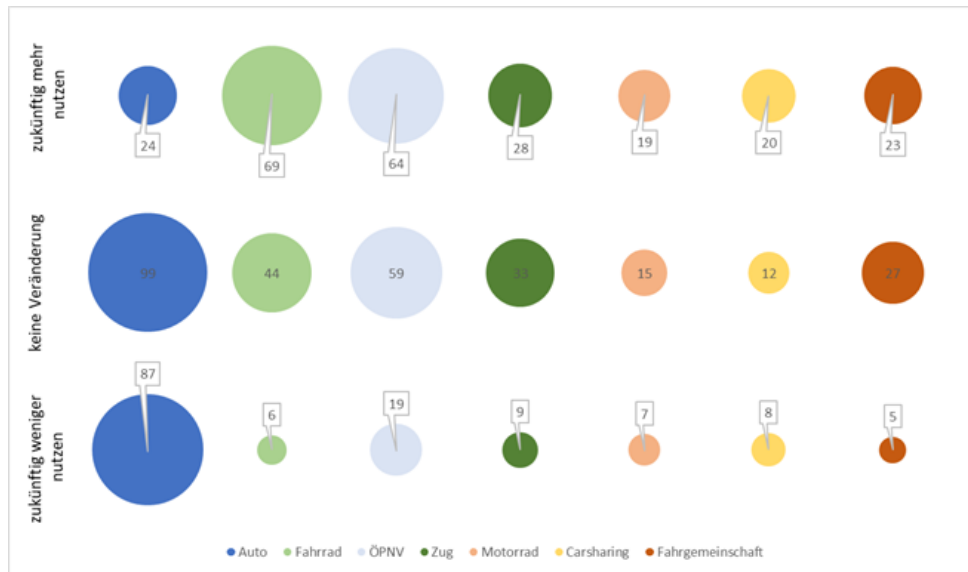


Abbildung 58: Veränderungen der geplanten Verkehrsträgernutzung (eigene Befragung, Mehrfachnennung möglich) („Wie ist Ihre Verkehrsmittelnutzung für die Zukunft geplant?). Berücksichtigt wurden Nennungen der Personen, die den Verkehrsträger immer, überwiegend oder gelegentlich nutzt.

Gleichzeitig ist auch relevant, wie sich die Mobilität im Freizeitbereich verändert hat, denn aus einer rückläufigen Nutzung der Verkehrsträger für den beruflichen Bereich können sich auch Implikationen auf den Freizeitbereich ergeben. Für die Freizeitmobilität wurden nach konkreten Wegstrecken gefragt, die mit den einzelnen Verkehrsträgern zurückgelegt wurden. Eine Auswertung über alle Antworten zeigt die Veränderungen in Abbildung 59.

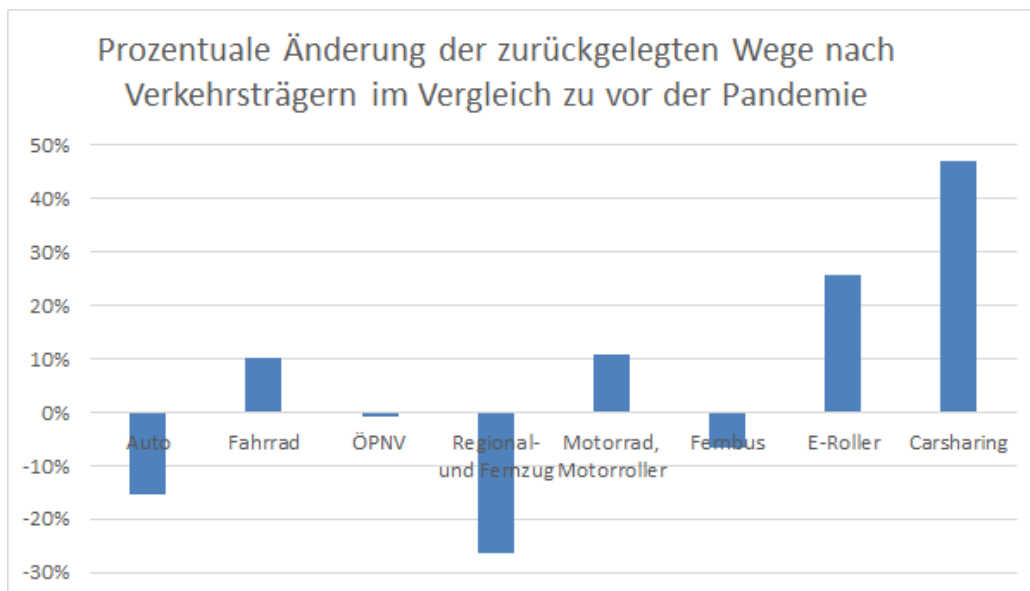


Abbildung 59: Prozentuale Veränderung der zurückgelegten Wegstrecke in der Freizeit nach Verkehrsträgern im Vergleich zu vor der Pandemie („Können Sie abschätzen, wie viele km Sie momentan im Jahr und vor der Pandemie durchschnittlich mit den einzelnen Verkehrsmitteln in Ihrer Freizeit zurücklegen?“)

Es zeigt sich, dass insbesondere das meistgenutzte private Kraftfahrzeug einen Rückgang der zurückgelegten Fahrstrecke aufweist. Auch der öffentliche Personenverkehr, Regional- und Fernzüge, verzeichnet deutliche Einbußen. Diese Entwicklung steht im Einklang mit den statistischen Erhebungen zu den Fahrgastzahlen im Schienenfernverkehr: Zwar ist im ersten Halbjahr 2023 ein Anstieg gegenüber den pandemiebedingten Tiefstständen zu

beobachten, dennoch lag das Fahrgastaufkommen weiterhin unter dem Niveau des ersten Halbjahres 2019, also vor Ausbruch der Pandemie (Destatis 2023).

Insgesamt deutet dies auf einen tendenziellen Rückgang der individuellen Mobilität hin – sowohl im beruflichen als auch im Freizeitkontext. Dieser Befund korrespondiert mit den Ergebnissen der statistischen Auswertung in Abbildung 53.

2.1.5 AP 5: Analyse direkter und indirekter energetischer Rebound-Effekte (Lead IÖW)

Im Rahmen von AP5 wurden durch das IÖW vertiefend energetische Rebound-Effekte untersucht. In Studien und Texten zum Thema Home-Office wird der Begriff "Rebound" zwar häufig verwendet, aber selten explizit definiert. Der energieökonomische Ursprung der Rebound-Debatte, bspw. beim Energieverbrauch und im Bereich Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) (Horner et al., 2016; Lange et al., 2020), ist dabei wenig präsent. Stattdessen wird meist implizit argumentiert, dass die Umstellung auf Home-Office einerseits mit Zeit- oder Kosteneinsparungen einhergeht und andererseits neue Praktiken notwendig macht (zum Beispiel aufgrund des Wegfalls von Synergien zwischen Arbeitsweg und alltäglichen Besorgungen, vgl. Guerin (2021); Hook et al., (2020)). Darüber hinaus können Folgeanpassungen von Verhaltensweisen entstehen, welche zu Mehr- oder Neuverbräuchen führen (zum Beispiel der Umzug in eine größere Wohnung, welche weiter vom Arbeitsplatz entfernt ist; Chakrabarti, 2018; Hook et al., 2020; O'Brien & Aliabadi, 2020). Die ursprünglichen Energieeinsparungen würden somit reduziert (Kitou & Horvath, 2003; O'Brien & Aliabadi, 2020). Die entscheidende Besonderheit besteht darin, dass ein Rebound-ähnliches Phänomen ohne vorausgegangene technische Effizienzsteigerung auftritt. Lediglich die Art und Weise der Technologie-Verwendung, also das Verhalten bzw. die Praktiken verändern sich und daraus entstehen Einsparungen.

Dabei kann die Umstellung auf Home-Office durchaus als Effizienzsteigerungen im Sinne einer höheren Energie- oder Zeiteffizienz bestimmter Praktiken aufgrund technischer und/oder sozialer Modifikation beschrieben werden. So schreibt Mokhtarian (2009) im Kontext der Auswirkung von Telekommunikation auf den Transportsektor: „[the theory of rebound effects] can be at least loosely applied to the effects of ICT on travel, where instead of a specific more energy-efficient appliance, we mean a generally more energy-(or cost- or time-) efficient way of conducting activities (i.e. via ICT).“ Wie die Autorin andeutet, ist die Übertragung der energieökonomischen Theorieansätze zum Rebound-Phänomen auf den Umstieg auf Home-Office nicht trivial. Ein derart weiter Effizienzbegriff verstärkt das Problem der Ursache-Wirkungs-Relativität (Santarius 2015, S. 86). Dieser Begriff benennt, dass es generell außerordentlich schwierig ist, den kausalen Effekt einer Energieeffizienzverbesserung (oder -Einsparung) von anderen Faktoren in der realen Welt zu isolieren, da "normalerweise mehrere Parameter die Entscheidung einer Person beeinflussen, wie sie das Geld ausgibt, das sie beispielsweise durch die verbesserte Kraftstoffeffizienz eines Autos einspart" (ebd.). Anders als bei diesem Beispiel handelt es sich beim Forschungsgegenstand von HOffEn aber um eine Vielzahl von Veränderungen und Entscheidungen. Hier wird noch einmal deutlich, wie voraussetzungsreich die Einführung

des Rebound-Begriffs im vorliegenden Kontext ist. Denn anders als bei der Verwendung eines kraftstoffeffizienteren Autos handelt es sich um eine umfangreiche Veränderung sozialer Praktiken, nicht nur einer einzelnen technischen Komponente. Die veränderten Praktiken zeigen folglich eine Vielzahl von direkten und indirekten Konsequenzen, die zu mehr oder weniger Energieverbrauch führen können und die nahezu unmöglich in einer eindeutigen Kausalkette zueinander in Beziehung gesetzt werden können. Eine pauschale Benennung aller Mehrverbräuche, die irgendwie in Zusammenhang mit der Umstellung auf Home-Office stehen, als Rebound-Effekt zu bezeichnen, würde also zu kurz greifen.

Definition im Projektkontext

Die definitorische Engführung des “Rebound-Effekts” auf Energieeffizienz scheint für den Kontext von HOFFEn nur bedingt geeignet zu sein. Im Zentrum der Betrachtung steht das Phänomen, dass Einsparungen aus veränderten Praktiken entstehen¹. Die Literaturrecherche hat gezeigt, dass es bereits Definitionen des Rebound-Effekts gibt, welche keine technische Effizienzsteigerung voraussetzen. Es wird vorgeschlagen, die Definition auf Einsparungen auszurichten.

In den Vorüberlegungen hat sich gezeigt, dass es sinnvoll ist, zwischen Brutto- und Nettoeinsparungen durch die Umstellung auf Home-Office zu unterscheiden. Die Unterscheidung kann am Beispiel Mobilität gut illustriert werden: durch die Umstellung auf Home-Office entfällt der tägliche Arbeitsweg von z. B. 17 km. Damit ist die Bruttoeinsparung benannt. Andere regelmäßig anfallende Mobilitätsbedarfe, welche bislang mit dem Arbeitsweg verbunden wurden, sind von der Umstellung jedoch unbenommen und müssen nun separat bedient werden. Wenn also zum Beispiel zwei Mal die Woche nach der Arbeit Sporttraining stattfindet und die Sportstätte z. B. 2 km vom Wohnort entfernt liegt, beträgt die Nettoeinsparung an zwei Tagen die Woche nur 15 km pro Fahrweg. Es erscheint wenig sinnvoll, dieses Phänomen als Rebound-Effekt zu kategorisieren, da kein Kausalzusammenhang zwischen der Umstellung auf Home-Office und dem Fortbestehen anderer Alltagspraktiken hergestellt werden kann. Angemessener wird der Begriff Rebound, wenn neue Verhaltensweisen in Anpassung an die dauerhaft veränderten Arbeitspraktiken auftreten. Beispielsweise könnte das Bedürfnis nach Sport- und Freizeitangeboten durch die vermehrte Zeit zu Hause steigen, sodass das Sportangebot nun vier statt zwei Mal die Woche wahrgenommen wird.

Vor dem Hintergrund dieser Diskussion und Einordnung wird für HOFFEn folgende Definition vorgeschlagen:

Die Umstellung auf Home-Office stellt eine soziotechnische Modifikation bestehender Praktiken dar, welche einerseits Einsparungen, andererseits Mehrverbräuche von Energie und/oder Zeit zur Folge hat. Ein Rebound-Effekt liegt vor, wenn die Netto-

¹ Vor diesem Hintergrund könnte auch überlegt werden, vom Begriff “Rebound-Effekte” abzusehen. Alternative Begriffe, die noch näher zu bestimmen sind, wären z.B.: Spill-Over Effekte (negativ und positiv (Bluhm et al., 2020)) Take-Back Effect bzw. Rücknahmeeffekt (Greening et al., 2000) oder Einsparungsverminderung.

Einsparungen aus der Umstellung auf Home-Office durch Folgeanpassungen derselben oder anderer Praktiken vermindert werden.

Da mobiles Arbeiten zu einer Veränderung von Verhaltensweisen in unterschiedlichen Bereichen führt, ist davon auszugehen, dass es zu Verschiebungen zwischen den Verbrauchsbereichen kommt. Zum Beispiel dürfte ein geringeres Verkehrsaufkommen eintreten, zugleich steigt der Stromverbrauch aufgrund virtueller Treffen. Daraus folgt, dass die Rebound-Effekte nicht nur für die einzelnen Bereiche bestimmt werden können. Deshalb erfolgte im Projekt ergänzend zu den Analysen einzelner Teilbereiche (Digitale Infrastruktur, Gebäudenutzung, Mobilität) auch eine Gesamtschau der Effekte.

Taxonomie

Das Rebound-Phänomen tritt in unterschiedlicher Weise auf. In der Rebound-Literatur gibt es bereits eine Reihe von Vorschlägen zur Klassifizierung von Rebound-Effekte in Taxonomien. Basierend auf der Diskussion bestehender Vorschläge wurde ein Taxonomie-Vorschlag für das Projekt entwickelt.

Die in der Literatur zu Rebounds im Kontext von Home-Office vorgeschlagenen Effekt-Taxonomien beziehen sich häufig auf allgemeinere Energie-Effekte von ICT/Home-Office. Rebound-Effekte werden dann in einer oder mehreren Unterkategorien verortet (Berkhout & Hertin, 2004; Bluhm et al., 2020; Clausen et al., 2021; Lange et al., 2020). Dabei fällt 1.) die Popularität der Unterscheidung in direkt/indirekt auf und – eng gekoppelt - 2.) die Verwendung von Aggregationsebenen (direkt = Gerät, Indirekt = Verhaltensänderungen individuell und/oder sozial; häufig wird eine dritte, strukturelle Effektklasse eingeführt (Hilty et al., 2006; Horner et al., 2016). Rebound-Effekte werden dabei meist auf der indirekten und/oder strukturellen Ebene verortet (Horner et al., 2016; Jørgensen et al., 2006). Wie Lange et al. (2021) feststellen, kann eine reine Rebound-Taxonomie jedoch nicht gleichzeitig die Unterscheidung direkt/indirekt und die Aggregation auf verschiedene Ebenen beinhalten. Die Aggregationsdimension geht von der Akteursebene aus, wohingegen die Unterscheidung von direkt und indirekt sich auf die Güterebene oder die Ebene der Energieträger (vgl. Bluhm et al., 2020) bezieht.

Mitunter findet sich auch die Zeit-Dimension im Sinne einer Unterscheidung von kurzer Frist und langer Frist (O'Brien et al. 2020). Auch in HOffEn könnte diese Unterscheidung sinnvoll sein, sofern sie methodisch in den AP 2 bis 4 abgebildet werden kann.

HOffEn beschäftigt sich vornehmlich mit Phänomenen, die auftreten, nachdem sich bestimmte Praktiken im Zusammenhang mit Erwerbsarbeit verändert haben. Daraus entstehen vielfältige Effekte mit Auswirkungen auf den Energieverbrauch, darunter Einsparungs-, Mehrverbrauchs-Effekte (ohne Kausalzusammenhang mit Einsparungen) und Rebound-Effekte. Daher werden unterschiedliche Arten von Energie-Effekten als übergreifende Klassen eingeführt und die identifizierten Rebound-Phänomene auf einer niedrigeren Hierarchieebene angesiedelt.

Eine Unterscheidung in direkt und indirekt erscheint hilfreich. Vor dem Hintergrund des Forschungsdesigns von HOffEn kann folgende Definition aufgestellt werden: Direkte Effekte

bezeichnen all jene Auswirkungen der Umstellung auf Home-Office, welche im selben Handlungsbereich auftreten wie die Einsparung (z. B. Autofahren). Als indirekte Effekte können alle Phänomene bezeichnet werden, welche aufgrund der Umstellung auf Home-Office in anderen Handlungsbereichen auftreten. Ein Handlungsbereich stellt ein Bündel von Praktiken unter Einsatz spezifischer Artefakte in spezifischen Bedeutungszusammenhängen dar. Autofahren ist beispielsweise ein Handlungsbereich, Fahrradfahren ein anderer. Die oben angesprochene Herausforderung der Ursache-Wirkungs-Relativität kann mit der Unterscheidung von direkten und indirekten Effekten allerdings nicht abschließend überwunden werden.

Vor diesem Hintergrund und den ersten Ergebnissen aus der Literaturrecherche wird folgende Taxonomie vorgeschlagen:

- Energieeffekte erster Ordnung bezeichnen die unmittelbaren, kurzfristigen energetischen Auswirkungen im Bereich der ursprünglich durch die Umstellung auf Home-Office veränderten Praktiken. Hierunter fallen Brutto- und Nettoeinsparungen. Im betrieblichen Kontext treten Einsparungen etwa aufgrund wegfallender Strom- und Heizkosten im Büro auf, bei Haushalten z.B. aufgrund verringerter Mobilitätsbedarfe. Zugleich entstehen etwa den Haushalten infolge der Umstellung neue Verbräuche zur Fortführung bestehender Praktiken ohne Bezug zur Lohnarbeit (Einkaufen, Sport, Arztbesuche, etc.). Diese Neuverbräuche sind kausal nicht auf die Einsparungen aufgrund der Umstellung zu Home-Office zurückzuführen, sie treten gewissermaßen trotz Home-Office auf. Es handelt sich um Neuverbräuche in dem Sinne, dass dieselben Praktiken unter neuen Bedingungen fortgeführt werden. Ein Beispiel ist der Wegfall von Mitnahmeeffekten (z.B. Besorgungen des Alltags und täglichen Arbeitsweg verbinden) oder die Anschaffung und Verwendung von IKT für die Arbeit im Home-Office. Der oben vorgeschlagenen Definition folgend verringern diese Verbräuche lediglich die Netto-Einsparungen und stellen keine Rebound-Effekte dar.
- Energieeffekte zweiter Ordnung bezeichnen die energetischen Auswirkungen von Folgeanpassungen von Verhaltensweisen oder die Hinzunahme neuer Praktiken, welche auf die Einführung von Home-Office zurückzuführen sind. Diese Energieeffekte setzen sich aus direkten und indirekten Rebound Effekten zusammen. Führen sie zu weiteren Einsparungen, werden sie als negative Rebound Effekte bezeichnet
 - Direkte Rebound-Effekte beziehen sich auf Mehrverbräuche in den jeweils direkt vom Home-Office betroffenen Handlungs- und Versorgungsbereichen, in denen auch die Einsparungen aufgetreten sind. Die aus den veränderten Praktiken entstehenden Einsparungen können als eine Erhöhung des Realeinkommens angesehen werden, die es den Haushalten ermöglicht, insgesamt mehr Waren und Dienstleistungen zu konsumieren und dadurch den Gesamtnutzen zu erhöhen. Dies wird als "Einkommenseffekt" bezeichnet (Sorrell, 2007, S. 4). Darüber hinaus veranlasst eine Effizienz-induzierte (relative) Preissenkung für eine Ware oder Dienstleistung einen Haushalt dazu, mehr von dieser Ware oder Dienstleistung und weniger von anderen

Waren und Dienstleistungen zu konsumieren, wobei der Nutzen konstant bleibt. Dies wird als "Substitutionseffekt" bezeichnet.

- Indirekte Rebound Effekte bezeichnen alle Phänomene, welche aufgrund der Umstellung auf Home-Office in anderen Handlungsbereichen auftreten. Sie sind ebenfalls über Zeit- oder Geldeinsparungen sowie über Moral Licensing vermittelt. Beispiele für Indirekte Rebound Effekte sind neue oder veränderte Konsumpraktiken, etwa in Form eines Wochenendtrips mit dem Flugzeug oder verändertes Essensverhalten (insoweit dies nicht an Arbeitspraktiken gekoppelt ist). Auf betrieblicher Ebene können die Einsparungen aus dem reduzierten Heiz- und Beleuchtungsbedarf an anderer Stelle zusätzliche Investitionen ermöglichen. Entsprechend der Untergliederung von Sorrell (2007) sind keine embodied energy effects zu erwarten, da diese sich aus dem Lebenszyklus (Produktion, Implementierung, Entsorgung) einer technischen Innovation ergeben. Hauptsächlich ist mit Sekundäreffekten zu rechnen. Die in Abschnitt 2.3 erwähnten Verschiebungseffekte zwischen den Verbrauchsbereichen (Gebäudenutzung, Mobilität, IKT/digitale Infrastruktur) sind zu einem großen Teil hier zu verorten. So ist zum Beispiel denkbar, dass Einsparungen im Bereich Mobilität neue Anschaffungen im Bereich IKT zur Folge haben.

Energieeffekte erster Ordnung – private Ebene

Die Taxonomie unterteilt die energetischen Auswirkungen in Energieeffekte erster Ordnung sowie Energieeffekte zweiter Ordnung. Im Folgenden werden zunächst die Energieeffekte erster Ordnung und im Anschluss die Energieeffekte zweiter Ordnung erläutert. Die Effekte sind weiterhin auf die Ebene der Haushalte sowie der Betriebe aufgeteilt. Beide Bereiche gehen sowohl auf ökologische sowie auch ökonomische Auswirkungen ein. Diese Effekte werden in den Kapitel xxx durch eine eigene Befragung, Berechnungen und Simulation analysiert und quantifiziert und werden hier nur cursorisch behandelt.

Tabelle 25 Energieeffekte 1. Ordnung der privaten Ebene

Wirkungsebene	
Einsparungen	Mehrverbräuche
▪ Verringerte Mobilitätsbedarfe durch wegfallende Arbeitswege ▪ Energieeffizienteres Verhalten im Home-Office	▪ Zunehmender motorisierter Individualverkehr ▪ Zusätzlicher Energieverbrauch im Home-Office für Wärme und Wasser ▪ Mehrnutzung von IKT

Einsparungen

Energieeffekte erster Ordnung beziehen sich auf Einsparungen und Mehrverbräuche durch den Wechsel ins Home-Office. Es handelt sich dabei ausschließlich um unmittelbare und kurzfristige Auswirkungen. Die Nutzung von Home-Office verändert die Anforderungen an die Wohnumgebung, die Wohnortwahl sowie das entsprechende Mobilitätsverhalten. Diese

Veränderungen implizieren unterschiedliche energetische Einsparpotenziale auf der Ebene der Haushalte. Mit der zunehmenden Nutzung des Home-Office werden individuell wegfallende Arbeitswege, eine Abnahme des Pendelverkehrs sowie verringerte Mobilitätsbedarfe erwartet (Noussan und Jarre 2021).

Bezüglich des Energieverbrauchs für die Nutzung von Gebäuden ist im Falle von Home-Office auf der privaten Ebene nur von einem Mehrverbrauch auszugehen (dem auf der Betriebsebene ggf. Einsparungen gegenüber stehen). Allerdings kann im Home-Office ein energieeffizienteres Verhalten der Arbeitnehmer*innen erwartet werden, da die Energienutzung selbst gezahlt werden muss (O'Brien und Aliabadi 2020). Darüber hinaus werden Einsparpotenziale durch ein verändertes Verhalten im Home-Office vermutet, bspw. geringere Nutzung der Dusche oder das seltenere Waschen der Kleidung.

Mehrverbräuche

Zentral sind auf privater Ebene zusätzliche Energieverbräuche im Bereich der privaten Gebäudenutzung sowie der technischen Ausstattung im Home-Office. So ist etwa mit einem erhöhten Bedarf an Heizenergie und Warmwasser zu rechnen (siehe Kapitel 2.1.3).

Praktisch könnten die zusätzlichen Energieverbräuche im Home-Office geringer ausfallen als angenommen, da Heizsysteme in vielen Haushalten auch bei Abwesenheit der Bewohner*innen nicht vollständig heruntergeregelt werden und somit auch während der Bürozeiten Energie verbrauchen. Zudem befinden sich während der Home-Office-Zeiten häufig weitere Haushaltsmitglieder in der Wohnung, was den zusätzlichen Wärmebedarf relativieren kann. Entsprechend ist der potenzielle Mehrverbrauch differenziert zu betrachten und hängt stark von den individuellen Wohn- und Nutzungskonstellationen ab.

Zusätzlich steigert die Arbeit im Home-Office durch die digitale Arbeitsweise den Stromverbrauch für die technische Ausstattung sowie einen erhöhten Datentransfer.

Energieeffekte zweiter Ordnung – private Ebene

Die Taxonomie untergliedert Energieeffekte zweiter Ordnung in positive und negative Rebound-Effekte, die sich hinsichtlich ihrer Wirkungsweise weiter in direkte und indirekte Effekte differenzieren lassen. Zudem unterscheiden sie sich in ihrer zeitlichen Dimension in kurzfristige und langfristige Effekte. Der folgende Abschnitt widmet sich zunächst den direkten Rebound-Effekten und beleuchtet anschließend die indirekten Formen in ihren jeweiligen Ausprägungen.

Tabelle 26: Energieeffekte 2. Ordnung der privaten Ebene (Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

Wirkungsebene	Effekte	
	positiv	negativ
	kurzfristig	

Direkte Rebounds		▪ Wegfall von Mitnahmeeffekten auf Arbeitswegen (z.B. Einkäufe, Arztbesuche, etc.) ▪ Private Mehrnutzung des Autos ▪ Zusätzliche Investitionen in IKT
Indirekte Rebounds	▪ Geringerer Ressourcenverbrauch an anderer Stelle durch höhere Energiekosten im Home-Office	▪ Mehrnutzung des Autos durch Familienmitglieder ▪ Durch mehr frei verfügbare Zeit und Kosteneinsparungen mehr Konsum
	langfristig	
Direkte Rebounds	▪ Veränderte Gewohnheiten zu Hause (z.B. weniger Baden/Duschen)	▪ Umzüge in größere Wohnungen mit einem höheren Energieverbrauch ▪ Zusätzliches Arbeitszimmer oder Arbeit in Co-Working-Orten ▪ Längere Pendeldistanzen durch Umzüge an den Stadtrand ▪ Mehr digitale private Treffen ▪ Weitere Entfernungen zum Arbeitsort möglich
Indirekte Rebounds		▪ Zusätzliche Fahrten zu Kontakten am alten Wohnort (Freunde, Ärzte, etc.)

Direkte Rebound-Effekte

Durch das Home-Office veränderte Verhaltensweisen und Gewohnheiten führen sowohl kurz- als auch langfristig zu energetischen Einsparungen (vgl. Tabelle 26). In der Befragung zeigt sich beispielsweise im Home-Office ein geringerer Warmwasserverbrauch durch eine verringerte Nutzung der Dusche (eigene Befragung). Weiterhin könnte der private Energiebedarf durch neue Hobbies beeinflusst werden, die durch die Home-Office-Nutzung entstehen.

Neben den identifizierten Einsparpotenzialen treten auch Effekte mit erhöhtem Energieverbrauch auf (vgl. Tabelle 26). Insbesondere die verstärkte Nutzung des Home-Office und die damit einhergehenden Veränderungen im Pendelverhalten können das Mobilitätsverhalten von Arbeitnehmer*innen nachhaltig beeinflussen. Die reduzierte Anzahl an Fahrten zum Arbeitsplatz verringert die Attraktivität von Monatskarten für den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) und erschwert die Organisation von Fahrgemeinschaften, was tendenziell zu einer Zunahme individueller Fahrten mit dem motorisierten Individualverkehr (MIV) führen kann. Ein erster deutlicher Rückgang der ÖPNV-Nutzung

zeigte sich bereits während der pandemiebedingten Lockdowns, als aus Gründen des Infektionsschutzes vielfach auf alternative Verkehrsmittel ausgewichen wurde (Braut et al., 2022). Auch im Jahr 2023 hat sich die Nutzung des ÖPNV – trotz der Einführung des Deutschland-Tickets – noch nicht auf das Vor-Pandemie-Niveau erholt. Die langfristige Entwicklung dieses Trends bleibt bislang offen.

Gleichzeitig verändern sich durch die Arbeit im Home-Office besonders die Arbeitswege sowie die private Nutzung des Autos. Zwar führen die geringeren Pendelwege zunächst zu einer geringeren Nutzung des Autos, zugleich reduzieren sich dadurch jedoch auch die Mitnahme-Effekte auf den Arbeitswegen. Private Erledigungen wie Einkäufe oder Fahrten zu Freizeitaktivitäten werden nun einzeln umgesetzt und weniger mit dem Arbeitsweg verbunden. Insofern ist im privaten Bereich eine Mehrnutzung des Autos zu erwarten.

Langfristig kann eine häufigere Home-Office-Nutzung Einfluss auf die Wohnortwahl haben. Da Menschen weniger häufig zum Arbeitsort fahren müssen, werden grundsätzlich auch längere Pendeldistanzen ermöglicht. Die Entfernung zum Arbeitsplatz wird damit unwichtiger und abhängig von den individuellen Präferenzen können Menschen leichter in Gegenden außerhalb der Stadt oder an den Stadtrand ziehen (Scheiner et al. 2023).

Neben der Wohnortwahl verändern sich ferner die Bedürfnisse an den eigenen Wohnraum. Aus der Befragung im Projekt HOffEn geht hervor, dass sich Menschen eine größere Wohnung und unter anderem einen extra Raum für die Arbeit wünschen (Kapitel 2.1.1). Neben einem zusätzlichen Arbeitsraum verändern sich außerdem die Anforderungen an die Qualität der Wohnung oder beispielsweise der Wunsch nach einem Garten zur Erholung (Scheiner et al. 2023; Gerwinat und Wismer 2023). Die potenziell größere Wohnung oder ein weiteres Zimmer könnten so den Energie- und Ressourcenverbrauch ansteigen lassen.

Ergänzend verändert das Home-Office auch die Anforderung an die technische Ausstattung, weshalb kurz- und langfristig Investitionen getätigt werden und der Konsum neuer Produkte zunimmt. Eine digitalisierte Arbeitsumgebung sowie veränderte Arbeitsmuster gehen weiterhin mit zusätzlichen Stromverbräuchen für IT-Dienstleistungen sowie die technische Ausstattung einher.

Indirekte Rebound-Effekte

Indirekte Rebound-Effekte beschreiben in dieser Untersuchung Auswirkungen der Home-Office-Nutzung in anderen Handlungsbereichen. Langfristig könnten sich in diesem Kontext Konsummuster durch eine veränderte Kostenstruktur der Haushalte verschieben (vgl. Tabelle 26). Zusätzliche private Kosten im Bereich Energie könnten über Einkommenseffekte den sonstigen Konsum verringern. In der Befragung deutet sich allerdings vielmehr das Gegenteil an und es zeichnen sich durch das Home-Office finanzielle und zeitliche Einsparungen in den Haushalten ab.

In der Umfrage im Projekt HOffEn wurde explizit abgefragt, inwiefern sich Home-Office auf die verfügbare Zeit und das verfügbare Geld auswirken, weil beides zu indirekten Rebound-Effekten führen kann, wenn dadurch an anderer Stelle mehr konsumiert wird bzw. energieintensive Verhaltensweisen praktiziert werden. Die Ergebnisse zeigen, dass

zumindest bei einem Teil der Befragten durch die Verlagerung der Arbeit ins Home-Office sowohl Geld als auch Zeit eingespart wird. So gaben rund 39 % der Befragten an, dass sie durch Home-Office viel mehr bzw. etwas mehr Budget haben (Abbildung 60). Gleichzeitig stellen mehr als die Hälfte der Befragten keinen Unterschied beim verfügbaren Haushaltsbudget fest und 7,9 % haben etwas und viel weniger Budget zur Verfügung. Bei der Frage nach verfügbarer Freizeit gaben sogar gut dreiviertel der Befragten an, viel mehr bzw. etwas mehr Freizeit zur Verfügung zu haben. 19,5 % stellen keinen Unterschied fest und 4,6 % haben etwas und viel weniger Freizeit zur Verfügung.

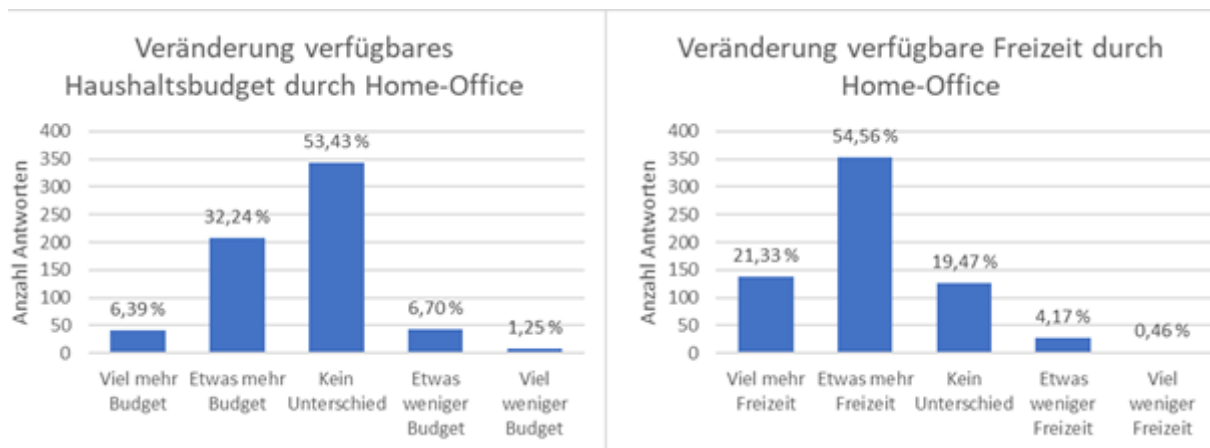


Abbildung 60: Veränderung des verfügbaren Budgets und der verfügbaren Freizeit durch Home-Office („Wie wirkt sich Home-Office auf Ihr verfügbares Haushaltsbudget aus?“ und „Wie wirkt sich Home-Office auf Ihre verfügbare Freizeit aus?“)

Negative Rebound-Effekte sind unter anderem durch die private PKW-Nutzung zu erwarten. Durch die bessere Verfügbarkeit des/der PKVs kann die Nutzung und das Mobilitätsverhalten von anderen Familienmitgliedern steigen. Durch die Veränderung des Wohnorts erhöhen sich außerdem die Fahrten zu Kontakten und Terminen (Arzt, Freunde, etc.) am alten Wohnort.

Ergänzend zur Arbeit im Home-Office bleibt außerdem die Frage, ob mehr zu Hause gekocht oder ähnlich viel auf Außer-Haus-Verpflegung durch Lieferdienste oder Restaurantbesuche zurückgegriffen wird.

Abschließend ist es nicht einfach, die Rebound-Effekte im privaten Bereich explizit zu erfassen. Bei einer umfassenden Betrachtung sollten allerdings besonders die Auswirkungen im Verkehrssektor durch die Wohnortwahl sowie die private Nutzung des Autos berücksichtigt werden. Zusätzlich können Verhaltensänderungen, Kosteneffekte sowie die Größe der Wohnung wesentliche Auswirkungen haben.

Energieeffekte erster Ordnung – betriebliche Ebene

Neben Auswirkungen im privaten Bereich können auch auf betrieblicher Ebene unterschiedliche kurz- und langfristige Effekte festgestellt werden. Im Folgenden werden erneut die Energieeffekte erster Ordnung kursorisch und im Anschluss die Energieeffekte zweiter Ordnung erläutert.

Tabelle 27: Energieeffekte 1. Ordnung der betrieblichen Ebene

Wirkungsebene	
Einsparungen	Mehrverbräuche
▪ Geringerer Energieverbrauch in den Büros durch geringere Anwesenheit ▪ Niedrigere Betriebskosten der Büroflächen ▪ Geringerer Bedarf an Büroflächen ▪ Wegfall von Dienstreisen	▪ Geringerer Verbrauch kann durch ineffiziente Energiemanagement-Systeme nicht realisiert werden ▪ Zusätzlich erforderliche Infrastruktur für das digitale Arbeiten

Einsparungen

Durch eine veränderte Arbeitskultur und die Home-Office-Nutzung zeichnen sich Einsparungen in unterschiedlichen Bereichen in Unternehmen ab (vgl. Tabelle 27). Eine verringerte Arbeitszeit im Büro reduziert insbesondere den Energieverbrauch sowie die Betriebskosten von Unternehmen. Zunächst spiegelt sich die geringere Anwesenheit im Warmwasser- und Stromverbrauch wider (Kapitel 2.1.1). Weiterhin verringert sich durch eine geringere Anwesenheit der Heizbedarf, sofern ganze Büros leer stehen und es sich um keine Großraumbüros handelt. Die Interviews zeigen allerdings gleichzeitig, dass diese Effekte eher als gering einzuschätzen sind und in der Heizungsregulierung noch Potenziale liegen. Potenziale liegen außerdem in der intelligenten Regulierung von Lüftungs- und Kühlungssystemen.

Durch eine ausgeprägte Home-Office-Nutzung kann nicht zuletzt auch der Bedarf an Büroflächen reduziert werden, sodass weitere energetische sowie finanzielle Einsparungen realisiert werden könnten. Ferner können online-Besprechungen umfangreichere Dienstreisen ersetzen und Ressourcen einsparen, was nur bedingt eine Folge von Home-Office ist. Eine Reduzierung der Dienstreisen um 20 % beziehungsweise 40 % geht mit Einsparungen von 5,4 MT CO₂-Äquivalenten beziehungsweise 10,8 MT CO₂-Äquivalenten einher (Lambrecht et al. 2021).

Mehrverbräuche

Neben den unterschiedlichen Einsparungen sind auch Mehrverbräuche bei den Betrieben zu erwarten. Wie im privaten Bereich müssen auch Unternehmen neue technische Ausstattung für die Nutzung im Home-Office anschaffen. Hinsichtlich der Nutzung ist allerdings offen, inwiefern die zusätzliche erforderliche Computer- und Serverinfrastruktur auch den dauerhaften Energiebedarf von Unternehmen beeinflusst.

Energieeffekte zweiter Ordnung – betriebliche Ebene

Tabelle 28: Energieeffekte 2. Ordnung der betrieblichen Ebene

Wirkungsebene	Effekte	
	positiv	negativ
	langfristig	

Direkte Rebounds	▪ Verkleinerung der Büroflächen ▪ Intelligente Steuerung der Energiemanagementsysteme nach Anwesenheit	▪ Höhere Energieverbräuche durch veränderte Nutzungskonzepte (z. B. Gemeinschaftsbüros)
Indirekte Rebounds	▪ Umsetzung von neuen Büronutzungskonzepten ▪ Zunehmende Potenziale für informelle Arbeitstreffen	

Direkte Rebound-Effekte

Im Kontext zunehmender Home-Office-Nutzung lassen sich auch Rebound-Effekte identifizieren (vgl. Tabelle 28). Besonders relevant sind in diesem Zusammenhang die veränderten Strategien zur Nutzung von Büroflächen. Zwar sind entsprechende Umgestaltungen nicht ausschließlich auf die Verbreitung des Home-Office zurückzuführen, doch fungiert diese häufig als Impulsgeber für deren Umsetzung. Insbesondere Desksharing-Konzepte gewinnen an Bedeutung und führen zu einer Reduktion des individuellen Flächenbedarfs, was potenziell mit einem geringeren Energieverbrauch in der gewerblichen Immobiliennutzung einhergeht (siehe Kapitel 2.1.7).

Empirische Befunde von Krause et al. (2024) zeigen, dass in jenen Branchen, in denen der Anteil an Beschäftigten im Home-Office seit der Pandemie besonders hoch ist, der Rückgang der durchschnittlich nachgefragten Bürofläche deutlich ausgeprägter ist. Darüber hinaus könnten durch die geringere Flächennachfrage langfristig Ressourceneinsparungen etwa durch eine reduzierte Neubautätigkeit im gewerblichen Sektor realisiert werden.

Gleichzeitig weisen Ergebnisse der Interviews darauf hin, dass viele Unternehmen weiterhin von einer konstanten oder sogar steigenden Büroflächennachfrage ausgehen, was potenzielle Einsparwirkungen relativiert und auf heterogene Entwicklungen hinweist. Sofern Unternehmen die Bürofläche zwar reduzieren, dabei allerdings von kleinen Büros zu Gemeinschaftsräumen wechseln, besteht die Gefahr, dass die dauerhaft beheizte Fläche steigt. Auch die Dezentralisierung von Bürostandorten über das Konzept der Satellitenbüros kann aktuelleren Anforderungen in der Arbeitswelt zwar stärker gerecht werden und Emissionen durch kürzere Arbeitswege senken (Kim et al. 2021), den Energiebedarf durch unterschiedliche kleinere Standorte jedoch potenziell erhöhen. Um in der Praxis tatsächlich Energieeinsparungen zu erreichen, weisen besonders effiziente Energiemanagementsysteme und neue energetische Konzepte Möglichkeiten auf, um die Räume nach Anwesenheit zu steuern. Die Interviews zeigen, dass dies noch wenig umgesetzt wird und hier Potenziale liegen.

Indirekte Rebound-Effekte

Neue Flächennutzungskonzepte können auch auf andere Bereiche positive Auswirkungen haben. Durch die bessere Verfügbarkeit von Meetingräumen entstehen beispielsweise neue Möglichkeiten für mehr informelle Arbeitstreffen und Begegnungen.

Auch auf der betrieblichen Ebene bleibt eine umfassende Abschätzung der Rebound-Effekte schwierig. Wesentlich dabei sind besonders Nutzungskonzepte von Büros sowie deren effizienter Betrieb. Allgemein deuten sich in diesem Bereich noch deutliche Potenziale an.

2.1.6 AP 6: Analyse von nicht-energetischen Folgen und Rebound-Effekten (Lead HLS)

Systematisierung der Veränderung in Lebens- und Arbeitsgewohnheiten

Die moderne Arbeitswelt ist geprägt durch einen Anstieg zeitlicher und örtlicher Flexibilisierung (Xie et al., 2019; Trougakos et al., 2020). In Folge der Digitalisierung und der Verbreitung der Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien, wie etwa Smartphones, Laptops, Cloud-Diensten und Kommunikationsdiensten, wurde das standortunabhängige Ausführen von Arbeitsaufgaben ermöglicht (Paruzel et al., 2022). Auch im Anschluss an die Covid-19 Pandemie gibt es in Industrienationen, wie den USA, einen hohen Anteil hybrider Arbeit (Barrero, Bloom, Davis, 2025), siehe Abbildung 61.

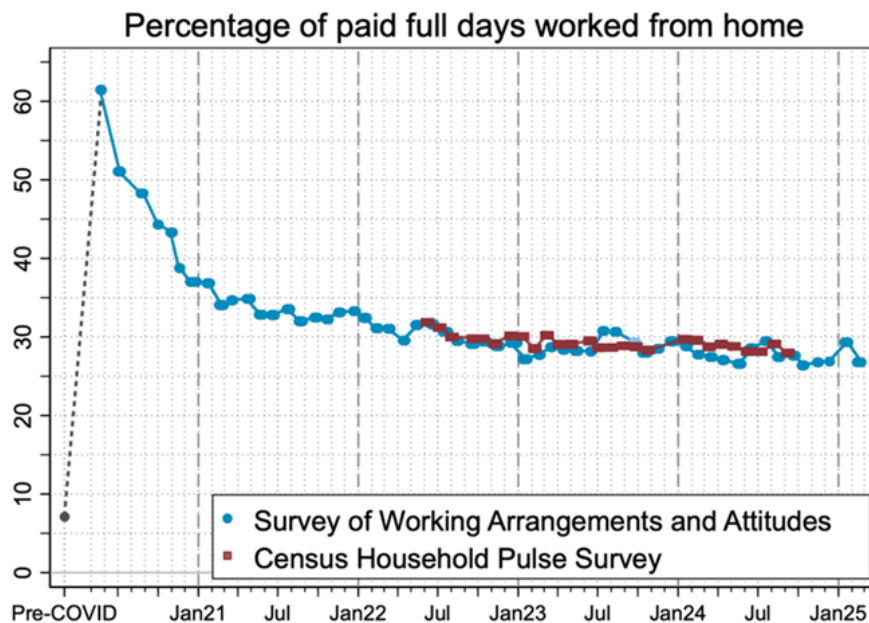


Abbildung 61: Prozentualer Anteil von Home-Office-Arbeitstagen in den USA. (Daten und Grafik: Barrero, Bloom, Davis, 2025; www.wfhresearch.com)

Um die, im Kontext von Arbeit im Home-Office beschriebenen Veränderungen von Lebens- und Arbeitsgewohnheiten herauszuarbeiten und zu systematisieren, wurde wie geplant eine Literaturrecherche durchgeführt. Die Literaturrecherche ergab, dass der prozentuale Anteil der Arbeitszeit im Home-Office ein relevanter Einflussfaktor ist und mit verschiedenen Auswirkungen auf lebens- und arbeitsbezogenen Aspekten in Verbindung gebracht wird (cf. Gajendran & Harrison, 2007). Auch das Arbeitsortssetting kann in vielen Aspekten einen Einfluss auf Arbeitnehmende haben. Es zeigte sich, dass der Arbeitsort verbunden ist mit Auswirkungen auf Wohlbefinden (Boubekri et al., 2014), Gesundheit (Oakman et al., 2020), Arbeitsperformance (Al Horr et al., 2016), Arbeitszufriedenheit (Newsham et al., 2009) und den Tagesablauf (Kirsten et al., 2022). Des Weiteren wird in der Literatur ein Prozess des Verschwimmens von Grenzen zwischen den Bereichen Arbeits- und Privatleben durch die Arbeit im Home-Office beschrieben (Althammer et al., 2021). Infolgedessen kann es vermehrt zu sogenannten Spillover- und Crossover- Effekten kommen (Hu et al., 2021). Der

Begriff Spillover bezeichnet hierbei die Beeinflussung der Stimmung und emotionalen Verfassung einer Person durch Emotionen, die im Kontext der Arbeit hervorgerufen wurden und auch am Ende des Arbeitstages einen Einfluss auf die Person haben. Crossover-Effekte treten dann auf, wenn diese, durch Spillover geprägte emotionale Verfassung einer Person außerhalb der Arbeitszeit eine emotionale Reaktion einer dritten Person (wie etwa ein/e Lebensgefährtin/-in) auslöst.

Neben diesen möglichen Auswirkungen der Arbeit auf das Privatleben (auch als Work-Life Conflict/ Work-Family Conflict bezeichnet (Greenhaus & Beutell, 1985) kann dieser Prozess auch in umgekehrter Richtung stattfinden (Life-Work Conflict / Family-Work Conflict). Die Literaturrecherche zeigte, dass solche Spillover-Effekte im Kontext der Arbeit im Home-Office einen möglichen negativen Effekt auf die Arbeitsperformance haben könnte und mit erhöhten Stress-Levels einhergehen kann (Galanti et al., 2021). Ein weiterer relevanter Aspekt im Kontext der Arbeit im Home-Office ist die verstärkte Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) (Tavares, 2017). Während auch in der Arbeitsumgebung des Präsenzbüros ein Anstieg der Nutzung von IKT zu verzeichnen ist, ist die Nutzung von IKT häufig eine Voraussetzung für Adaptierung mobiler Arbeit, da ihr Einsatz die zeit- und ortsflexible Ausführung der Arbeitsaufgaben erst ermöglicht (Robelski & Sommer, 2020). Neben den möglichen positiven Auswirkungen von zeit- und ortsflexibler Arbeit, beispielsweise auf die Arbeitszufriedenheit und das Wohlbefinden, birgt die Nutzung von IKT allerdings auch mögliche Risiken für negative Auswirkungen für mobil Arbeitende. In der Literatur werden im Zusammenhang mit der Nutzung von IKT beispielsweise negative Folgen auf die psychische Gesundheit sowie Burnout beschrieben (Berg-Beckhoff et al., 2018). Diese negativen Auswirkungen werden unter Schirmbegriffen wie IKT-Stress, oder Technostress zusammengefasst.

Schließlich zeigte die Literaturrecherche, dass die Arbeit im Home-Office in Verbindung mit dem Level an körperlicher Aktivität stehen kann. So deuten Studien aus den USA sowie aus Italien darauf hin, dass die Arbeit im Home-Office mit einem geringeren Level an körperlicher Aktivität einhergehen könnte (Streeter et al., 2021; Scoditti et al., 2024), was möglicherweise längerfristig negative Auswirkungen auf Aspekte wie mentale Gesundheit oder die Arbeitsperformance haben könnte. Gleichzeitig gilt es zu berücksichtigen, dass die Datenerhebung der beiden erwähnten Studien während der Covid-19 Pandemie erfolgte und dass die Reduktion des Levels der täglichen körperlichen Aktivität der Teilnehmenden möglicherweise durch den Kontext der Pandemie und gesetzlicher Vorgaben zur Eindämmung derselbigen (z.B. Ausgangssperren) erklärt werden könnte und nicht allein auf die Arbeit im Home-Office zurückgeführt werden kann.

Zusammenfassend zeigt die Literaturrecherche zahlreiche Zusammenhänge zwischen dem Arbeitsort und nicht-energetischen Aspekten auf. Gleichzeitig bestehen in diesem Bereich große Forschungslücken, die in Teilen durch die folgenden Arbeiten verkleinert werden sollten.

Szenarienentwicklung

In Folge der Literaturrecherche wurde in Absprache mit den Projektpartnern für die Erhebung eine Rekrutierung von Studienteilnehmenden in drei verschiedenen Arbeitsszenarien als sinnvoll erachtet:

- Szenario A (HO): Ausschließliches Arbeiten im Home-Office,
- Szenario B (Büro): Ausschließliches Arbeiten im Büro, sowie
- Szenario C (Hybrid): Anteilige Aufteilung der Arbeitszeit auf die Arbeitsorte Büro und Home-Office.

Neben diesen drei Szenarien wurden für die Erhebung weitere Faktoren für eine Typologisierung berücksichtigt. Hierfür wurde zum einen die Wohnsituation der Beschäftigten betrachtet, um zwischen Personen zu differenzieren, die zusammen mit Familienangehörigen (z.B. Partner*in, Kinder) leben und Personen, die alleinlebend sind. Darüber hinaus wurde die Zufriedenheit mit der sozialen Einbindung im Privatleben berücksichtigt. Bezüglich der Arbeitssituation im Home-Office wurde erhoben, ob im Home-Office ein designierter Arbeitsplatz vorhanden ist oder ob die Arbeit an einem Platz durchgeführt wird, der außerhalb der Arbeitszeit privat genutzt wird.

Literaturauswertung und Formulierung von Fragen für empirische Erhebung

Die Literaturauswertung zeichnet ein heterogenes Bild bezüglich der vielfältigen möglichen Auswirkungen von hybriden Arbeitsformen auf Aspekte wie Wohlbefinden, Arbeitsperformance, (arbeitsbezogener) Stress, Schlafqualität, sowie körperlicher und mentaler Gesundheit. Wir erwarteten daher, dass ein höherer Anteil der Arbeitszeit im Home-Office sowohl mit positiven als auch negativen Folgen einhergeht. Zum einen stellten wir die Hypothese auf, dass das (anteilige) Arbeiten im Home-Office mit einem geringeren Stress-Level einhergeht, verglichen mit der ausschließlichen Arbeit im Präsenzbüro (cf. Fonner & Roloff, 2010; Raghuram & Wiesenfeld, 2004). Gleichzeitig erwarteten wir, dass interpersonale Unterschiede, wie etwa Persönlichkeitscharakteristika, sowie interpersonelle Unterschiede in der jeweiligen Arbeits- und Wohnumgebung, Auswirkungen auf das Erleben im Home-Office haben (cf. Bergefurt et al., 2022).

Feldstudie zu nicht-energetischen Folgen und Rebound-Effekten in unterschiedlichen Arbeitsszenarien - Methodik

Für die Erhebung möglicher Unterschiede bezüglich mentaler und physiologischer Gesundheit in unterschiedlichen Arbeitsortssettings wurde eine Feldstudie konzipiert. In dieser Feldstudie wurden zum einen die subjektive Wahrnehmung der Studienteilnehmenden in Bezug auf positiven und negativen Affekt, das arbeitsbezogene Stress-Level und das Wohlbefinden sowie die Arbeitszufriedenheit und Arbeitsperformance täglich mittels Fragebögen erhoben. Hierbei bezieht sich positiver Affekt auf die Neigung, positive Emotionen zu erfahren und optimistisch mit Lebensherausforderungen umzugehen, während negativer Affekt das Ausmaß negativer und unangenehmer Gefühle beschreibt, wie z.B. Angst oder Ärger.

Des Weiteren wurden objektive Stressindikatoren, mittels Sensoren zur Messung der Herzrate, über den Studienzeitraum hinweg erhoben.

Entwicklung des Studiendesigns

Ziel der durchgeführten Studie war es, den Effekt unterschiedlicher Arbeitsortssettings auf das Stress-Level Arbeitender zu untersuchen. Neben der Erhebung von subjektiven Eindrücken mittels Fragebögen wurden objektive Stressindikatoren, in Form von Herzratenvariabilität erfasst. Die zu untersuchende Studienpopulation wurde hierfür definiert als Personen, die in verschiedenem Ausmaß ihre Arbeitszeit im Home-Office verbringen sowie Personen, die ausschließlich im Büro arbeiten, um einen Vergleich der dargestellten Szenarien A-C zu ermöglichen. Zur empirischen Erhebung möglicher Auswirkungen der Arbeit in den Arbeitsortssettings Büro, Home-Office sowie hybrider Arbeit auf die mentale und körperliche Gesundheit wurden zunächst die relevanten Zielparameter definiert.

Die Durchführung der Datenerhebung erfolgte im Rahmen einer beobachtenden Feldstudie. Die Studie fand an zwei Messzeitpunkten statt, jeweils einmal in der kalten Jahreszeit, der Heizperiode, sowie in der warmen Periode. Für die Teilnehmenden welche ausschließlich an einem Arbeitsort arbeiteten (Home-Office oder Büro; Szenarien A & B) wurde die Länge des Erhebungszeitraums auf jeweils 48 Stunden pro Messzeitpunkt festgelegt. Aufgrund der zum Zeitpunkt der Konzeption der Studie wachsenden Bedeutung hybrider Arbeitsarrangements (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2023) und um within-person Unterschiede der Auswirkungen verschiedener Arbeitsumgebungen erfassen zu können, wurde in Absprache mit dem Projektteam entschieden, einen Fokus auf diese Gruppe zu richten. Im Studiendesign spiegelte sich dies insofern wider, dass für Teilnehmende in hybriden Arbeitssettings (Szenario C) pro Messzeitpunkt ein Erhebungszeitraum von 96 Stunden vorgesehen wurde. Somit umspannten die Erhebungszeiträume jeweils zwei respektive vier vollständige Tage und Nächte. Eine grafische Darstellung des Studienprotokolls befindet sich im Abschnitt *Durchführung* weiter unterhalb.

Ethik und Datenschutz

Im Anschluss an die Finalisierung des Studiendesigns wurden die notwendigen Vorbereitungen getroffen, um das Forschungsvorhaben der unabhängigen Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der RWTH Aachen zur Prüfung vorzulegen. Hierfür wurde ein Antrag für Studien nach BOÄ angefertigt und eingereicht. Neben einer kurzen, wissenschaftlichen Beschreibung des Vorhabens wurde hierfür ein umfassender Prüfplan erstellt. Im Prüfplan wurden der Hintergrund sowie die Zielsetzung des Vorhabens dargelegt. Darüber hinaus wurde der Studienaufbau erläutert und in der Studie erhobenen Parameter, einschließlich der hierfür verwendeten Messinstrumente und -methoden, aufgelistet und beschrieben. Nebst der Beschreibung der Ein- und Ausschlusskriterien für die Studienteilnahme wurde der Ablauf der Rekrutierung und der Aufklärung bezüglich der Studie von Teilnehmenden erläutert. Nach Einreichung des Initialantrags wurde auf Rückfragen seitens der Ethikkommission eingegangen, nach Klärung aller Rückfragen erhielt das Forschungsvorhaben ein positives Votum der Ethikkommission.

Neben der Einschätzung des Forschungsvorhabens durch die Ethikkommission wurden alle relevanten studienbezogenen Dokumente und verwendeten Fragebögen vor Beginn der Erhebung zur Prüfung zwecks Datenschutz-Folgeabschätzung der Stabsstelle Informationssicherheit der Uniklinik RWTH Aachen vorgelegt. Die Studie wurde in Übereinstimmung mit der Allgemeinen Datenschutzverordnung (GDPR oder DSGVO) durchgeführt. Die Datenerhebung erfolgte erst nach Vorliegen der Zustimmung seitens der Ethikkommission der RWTH Aachen.

Rekrutierung

Anhand der entwickelten unterschiedlichen Arbeitsszenarien (Szenario A (HO): Ausschließliches Arbeiten im Home-Office, Szenario B (Büro): Ausschließliches Arbeiten im Büro sowie Szenario C (Hybrid): Anteilige Aufteilung der Arbeitszeit auf die Arbeitsorte Büro und Home-Office), wurden Studienteilnehmende rekrutiert. Der Rekrutierungsprozess erfolgte mittels Anzeigen auf Online-Portalen, einer Zeitungsannonce, Informations-Flyern an öffentlichen Orten im Raum Aachen und Köln sowie über eine Mailingliste eines Projektpartners. Eine Rekrutierung von insgesamt 75 Teilnehmenden wurde angestrebt. Die vorausgegangene Literaturrecherche ergab, dass dem Arbeiten im hybriden Arbeitsortssetting eine besondere Relevanz zukommt, da ein großer Teil ortsflexibel Arbeitender anteilig sowohl von zuhause als auch im Präsenzbüro arbeiten (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2023). Aus diesem Grund wurde anvisiert, für die Substichprobe der hybrid Arbeitenden eine höhere Zahl an Teilnehmenden zu rekrutieren (Büro: 10; HO: 10; Hybrid: 55). Zur Teilnahme wurden Personen aufgerufen, die zum Zeitpunkt der Erhebung in Vollzeit arbeiteten (mindestens jedoch 30 Stunden pro Woche) und einer Bürotätigkeit nachgingen, im Alter zwischen 18-65 Jahren waren, einen BMI zwischen 17-35 hatten, aktuell im Allgemeinen einen guten Gesundheitszustand verfügten und die die freiwillige Teilnahme an der Studie mittels einer unterschriebenen Einverständniserklärung bestätigten. Von der Teilnahme ausgeschlossen wurden Personen, die zum Studienzeitpunkt eine aktive Erkrankung hatten und die Medikamente einnahmen, die einen möglichen Einfluss auf die Herzratenvariabilität haben könnten. Des Weiteren war das Bestehen einer Schwangerschaft, sowie ein regelmäßiger Alkoholkonsum von >2 Portionen (entsprechend ca. 24 Gramm reiner Alkohol) pro Tag für männliche Teilnehmende und >1 Portion (ca. 12 Gramm reiner Alkohol) für weibliche Teilnehmende ein Ausschlusskriterium. Personen, die angaben, illegale Rauschmittel zu konsumieren, wurden ebenfalls von der Teilnahme ausgeschlossen.

Die endgültige Stichprobe bestand aus 51 Teilnehmenden. Die Aufteilung auf die unterschiedlichen Arbeitsortssettings verhielt sich wie folgt: Hybrid: 31 Teilnehmende, Büro: 13 Teilnehmende, Home-Office: 7 Teilnehmende. In der Stichprobe lag der Altersdurchschnitt bei 36 Jahren (SD: 10). 70% der Teilnehmenden waren weiblich und 30% männlichen Geschlechts.

Durchführung der Erhebung

Der Ablaufplan für die Arbeitsszenarien A und B (Abbildung 62) bzw. C (Abbildung 63) wird im Folgenden näher beschrieben. Die Teilnehmenden wurden vor Beginn der Erhebung in einem Telefongespräch mit dem Forschungsteam über den Ablauf und die Ziele der Studie informiert und etwaige Fragen wurden abgeklärt. Nach ausreichend Bedenkzeit konnten die Teilnehmenden sich für eine Studienteilnahme entschließen und ihr schriftliches Einverständnis zur Teilnahme an der Studie geben. Ein Abbruch der Studienteilnahme war zu jedem Zeitpunkt und ohne Angabe von Gründen möglich.

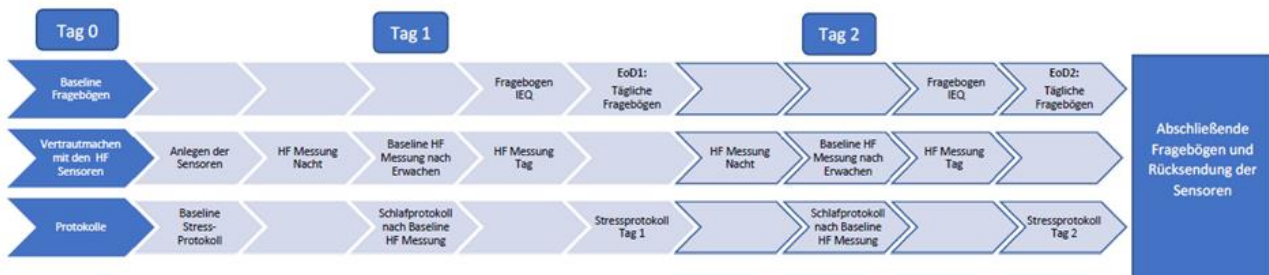


Abbildung 62: Protokoll des Studienablaufs der Teilnehmenden der Szenarien A (nur Home-Office) und B (nur Büro). Die Messungen fanden einmal in der kalten Jahreszeit (Heizperiode) und einmal in der warmen Jahreszeit statt.



Abbildung 63: Protokoll des Studienablaufs der Teilnehmenden der Szenarios C (Hybrid). Die Messungen fanden einmal in der kalten Jahreszeit (Heizperiode) und einmal in der warmen Jahreszeit statt.

Studienteilnehmende, die ihre Einverständniserklärung abgaben, erhielten einen Zugang zu den Baseline Fragebögen via SoSci Survey (Leiner, 2021), einem Tool zur Durchführung von Online-Befragungen. Die Teilnehmenden benötigten zur Handhabung der Sensoren keine technischen Kenntnisse, da die Sensoren vorprogrammiert wurden. Für den Fall, dass hierbei im Laufe der Studie Fragen aufkamen, erhielten die Studienteilnehmende Kontaktdaten einer verantwortlichen Person. Teilnehmende der Hybrid-Gruppe erhielten einen Sensor zur Aufzeichnung der Temperatur und Lichtintensität (HOBO Pendant Data Logger, Onset Computer Corporation). Nebst Zugang zu den Fragebögen und dem Instruktionsvideo erhielten die Teilnehmenden postalisch die Sensoren zur Messung der objektiven Stressindikatoren (Polar H10, Polar ignite 2, Polar Electro GmbH, DE). Bevor sie diese kurz vor 20 Uhr am Vorabend des ersten vollständigen Messtages anlegten, wurden sie gebeten, Baseline Fragebögen und ein Stressprotokoll auszufüllen. Im Anschluss legten sie die Sensoren an, starteten die Aufzeichnung um 20 Uhr und verbrachten die Zeit bis zum Zubettgehen gemäß ihrer regulären persönlichen Routine.

Am Morgen des ersten Messtages wurden die Teilnehmenden gebeten, nach Erwachen eine Baseline HF-Messung durchzuführen. Hierfür war es notwendig, dass sie umgehend

nach Erwachen für 5 Minuten in einer ruhigen, halbliegenden (Rücken an ein Kissen angelehnt) Position verbrachten. Sie wurden gebeten die Aufwachzeit, so wie Beginn und Ende der Baseline Messung, zu protokollieren. Im Anschluss wurden sie gebeten, einen Fragebogen zu ihrem Befinden während des Einschlafprozesses (Gieselmann et al., 2014) auszufüllen. Folgend wurden sie gebeten, ihrem Tagesablauf wie gewohnt zu folgen. Die Teilnehmenden der Hybridgruppe wurden gebeten, den Sensor zur Messung der Temperatur und Lichtintensität während des Messzeitraumes mit sich zu führen und während der Arbeitszeit an ihrem Arbeitsplatz zu platzieren. Die Teilnehmenden wurden gebeten, den Sensor nicht direkt am Körper zu tragen und nicht in Umgebungen zu platzieren, die die Messung im besonderen Maße beeinflussen (z.B. auf Heizkörper oder in direktem Sonnenlicht). Am Ende des ersten 24-stündigen Messzeitraums um 20 Uhr, wurden die Teilnehmenden gebeten, Fragebögen zu ihrer subjektiven Wahrnehmung des Tages auszufüllen sowie in einem kurzen Protokoll eventuell erlebte stressinduzierende Ereignisse des Tages (mit Angabe von Uhrzeit) zu dokumentieren.

Auch am zweiten Abend der Messungen wurden die Teilnehmenden wieder gebeten, ihrer gewöhnlichen Routine entsprechend zu Bett zu gehen. Der Ablauf des zweiten Messtages entsprach dem des ersten Tages. Nach dem Erwachen erfolgte erneut eine Baseline Messung und das Ausfüllen des Fragebogens zum Befinden während des Einschlafens. Auch der weitere Tagesablauf verlief wie am Vortag und endete mit dem Ausfüllen der täglichen Fragebögen und des ‚Stressprotokolls‘.

Am Ende der 48-stündigen Messperiode um 20 Uhr wurden die Teilnehmenden der Home-Office und Büro-Gruppe darum gebeten, die Datenaufzeichnung zu stoppen und die Sensoren abzulegen. Für Teilnehmende der Hybrid-Gruppe wiederholte sich der beschriebene Ablauf noch an den Messtagen drei und vier. Die Sensoren wurden in Folge von den Teilnehmenden postalisch an das Forschungsteam zurückgesendet. Nach Beendigung der Erhebung der Herzfrequenz-Daten erhielten Teilnehmende weitere Fragebögen, die u.a. zur Erhebung von Daten zu der Nutzung von IKT und der Schlafqualität dienten. Die zweite Messperiode verlief nach dem gleichen Schema, nur zu einer anderen Jahreszeit. Insgesamt wurden die Teilnehmenden in zwei Wellen rekrutiert. Die Teilnehmenden der ersten Welle begann im Sommer 2023 mit der ersten Messperiode und schlossen die Studie im Herbst/Winter 2023/2024 mit der zweiten Messperiode ab. Die Teilnehmenden der zweiten Erhebungswelle durchliefen die erste Messperiode im Frühjahr 2024 und schlossen die zweite Messperiode im Sommer 2024 ab.

Datenanalyse und Modellentwicklungen

Die Analyse der Studiendaten erfolgte mittels RStudio (Version 2024.04.2 +764, (R Core Team, 2024)). Zur Analyse der Herzfrequenz-Daten wurde die Software Kubios Scientific (Kubios Oy, 2023) verwendet.

Feldstudie zu nicht-energetischen Folgen und Rebound-Effekten in unterschiedlichen Arbeitsszenarien - Ergebnisse

Die Ergebnisse der Studie werden im Folgenden dargestellt.

Zufriedenheit mit den Raumumgebungsfaktoren

Die Zufriedenheit der Arbeitnehmenden mit den Raumumgebungsfaktoren (Indoor Environmental Quality, IEQ) des jeweiligen Arbeitssettings (Home-Office/Büro) wurde untersucht. Der Begriff IEQ bezeichnet dabei Faktoren der Innenraumumgebung wie Beleuchtung, Luftqualität, Geräuschpegel und die thermische Bedingungen (Kubba, 2017). Zur Erhebung wurden aus der Forschungsliteratur etablierte Fragen eingesetzt, welche die allgemeine Zufriedenheit mit den Raumumgebungsfaktoren abfragen. Die Analyse der Gesamtbewertung der Zufriedenheit mit der IEQ in den jeweiligen Arbeitsbedingungen ergab, dass die Zufriedenheit im Arbeitsortssetting Home-Office signifikant höher war im Vergleich zur Arbeitsumgebung im Büro (Abbildung 64). Ähnliche Ergebnisse bezüglich des positiven Zusammenhangs zwischen der Zufriedenheit mit den IEQ-Faktoren und dem Arbeitsortssetting Home-Office finden sich auch in dem systematischen Review von Manu et al. (2024) wieder.

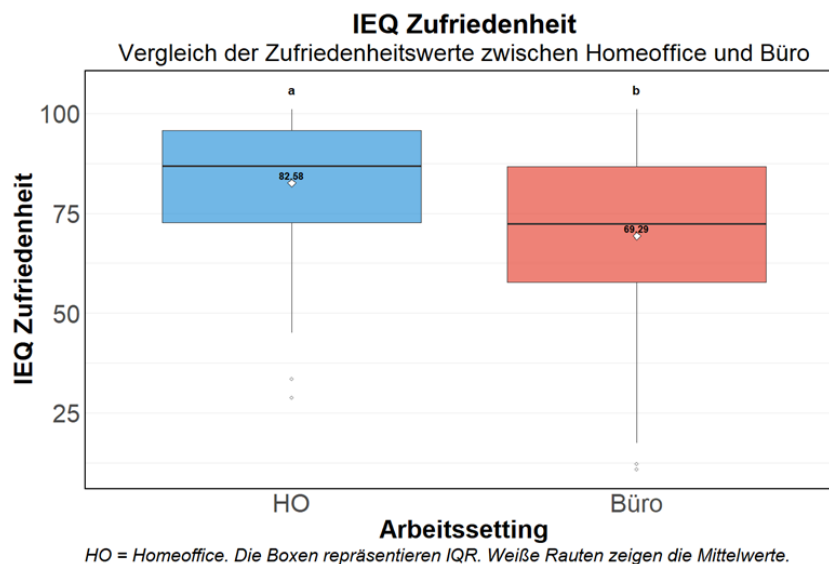


Abbildung 64: Zusammenhang zwischen Arbeitssetting und IEQ Zufriedenheit. Die Analyse der Zufriedenheit mit den Raumumgebungsfaktoren (IEQ) zeigt eine signifikant höhere Zufriedenheit im Home Office, verglichen mit der Arbeitsumgebung im Büro an.

Zusammenhang zwischen Affekt und Arbeitsortssetting

Wie bereits 2007 von Gajendran & Harrison ausgeführt, kann das Arbeiten im Home-Office sowohl mit positiven Aspekten wie beispielsweise einer größeren Autonomie, als auch mit Belastungen, wie psychischen Regulationsanforderungen einhergehen. Diese Aspekte können sich wiederum auf den Affekt und das Wohlbefinden der Arbeitenden auswirken. In der durchgeführten Feldstudie wurde der Affekt mittels der deutschen Version des Positive and Negative Affect Schedule (PANAS, Breyer & Bluemke, 2016) erhoben. Dieser Fragebogen ist ein validiertes und etabliertes Messinstrument zur Erfassung von emotionaler Befindlichkeit. Es werden mit jeweils zehn Items der positive sowie der negative Affekt erhoben.

Zur Prüfung des Zusammenhangs zwischen dem täglichen Arbeitsortssetting und dem Affekt am Abend wurden lineare gemischte Modelle mit zufälligem Interzept für die

Versuchspersonen berechnet. Für den positiven Affekt ergab sich ein signifikanter Gruppenunterschied (Estimate = $-.17$, SE = $.08$, $t = -2.12$, $p = .036$). Somit war der positive Affekt am Abend nach einem Büroarbeitstag um -0.17 Punkte niedriger als an Abenden nach Home-Office-Arbeitstagen (Abbildung 65). Für den negativen Affekt zeigten sich hingegen keine signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Estimate = $.04$, SE = $.05$, $t = .73$, $p = .47$).

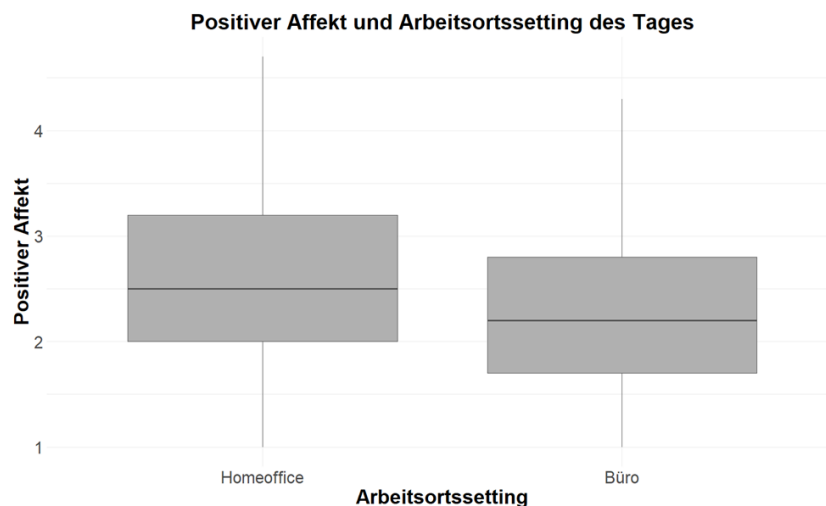


Abbildung 65: Zusammenhang zwischen Arbeitssetting und positiver Affekt. Die Analyse des positiven Affekts zeigt signifikant höheren positiven Affekt im Home Office, verglichen mit der Arbeitsumgebung im Büro an.

Arbeitsortssetting und Schlaf

Bezüglich der Stressbelastung in verschiedenen Arbeitssettings und möglicher Auswirkungen auf die Beschäftigten wurde außerdem der Grad an Pre-Sleep Arousal erhoben. Pre-Sleep Arousal bezeichnet das Ausmaß von sowohl körperlicher als auch kognitiver Erregung in der Phase vor dem Einschlafen und korreliert mit der Schlafqualität gemessen anhand des Pittsburgh Sleep Quality Index (Giesermann et al., 2014). Körperlich zeigt sich Pre-Sleep Arousal anhand von Symptomen wie etwa Herzrasen, angespannten Muskeln, Schwitzen, oder auch Sodbrennen oder Magenkrämpfen. Kognitiv werden Empfindungen wie Gedankenkreisen, Ängste, oder Sorgen als Pre-Sleep Arousal definiert. Im Rahmen der Studie wurde Pre-Sleep Arousal täglich mittels der Pre-Sleep Arousal Scale (Giesermann et al., 2014). erhoben. Die Auswertung der Daten von Teilnehmenden der hybrid arbeitenden Substichprobe ergab, dass das Pre-Sleep Arousal Level höher war an Tagen, an denen sowohl am Arbeitsort Büro als auch im Home-Office gearbeitet wurde, verglichen mit Tagen, an denen nur an einem Arbeitsort (nur Home-Office oder nur Büro) gearbeitet wurde (Tukey's HSD Test für multiple Vergleiche ($F(2, 135) = 6.405$, $p = 0.002$), siehe Abbildung 66). Ein Vergleich der Pre-Sleep Arousal Level an Büroarbeitstagen und Home-Office-Arbeitstagen zeigte sich als nicht statistisch signifikant ($p = 0.225$).

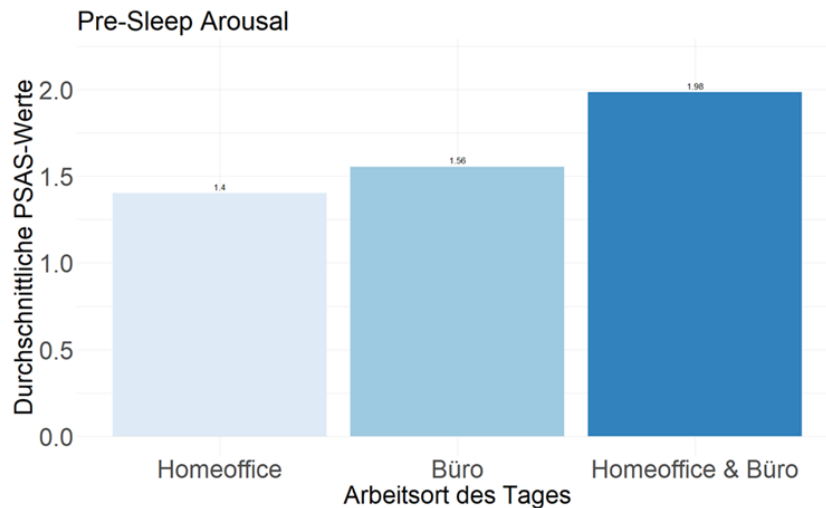


Abbildung 66: Vergleich des Pre-Sleep Arousal Levels und des Arbeitsortssettings des jeweiligen Tages.

Die Ergebnisse weisen somit darauf hin, dass das Arbeiten sowohl im Büro als auch im Home-Office am selben Tag zu verstärktem Pre-Sleep Arousal führen könnte. Aufgrund des Zusammenhangs zwischen der Schlafqualität und Aspekten wie mentaler Gesundheit, Arbeitsengagement und Produktivität (cf. Scott et al., 2017; Schleupner & Kühnel 2021; Kucharczyk et al., 2012), könnten daher längerfristig möglicherweise negative Auswirkungen auf das Wohlbefinden und die Arbeitsperformance auftreten. Gleichzeitig sollte bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden, dass weitere Faktoren zur Erklärung dieses Effekts nicht auszuschließen sind. Möglicherweise gab es an Tagen, an denen sowohl im Büro als auch im Home-Office gearbeitet wurde besondere Stressoren, wie eine bevorstehende Deadline oder ein unvorhergesehenes Ereignis, weswegen das Büro früher verlassen werden musste als geplant, und hierdurch noch ausstehende Arbeiten später im Home-Office fertiggestellt werden mussten.

Schlafqualität

Die Schlafqualität wurde mittels Items des Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI, Riemann & Backhaus, 1996) erhoben. Dieser Fragebogen wurde jeweils am Ende einer Messperiode ausgefüllt und bezieht sich auf die Schlafqualität der zurückliegenden vier Wochen. Für die Analyse der Gruppenunterschiede der Arbeitsortssettings Home-Office, Büro und Hybrid wurde ein gemischtes lineares Modell berechnet. Es zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Schlafqualität zwischen den drei Gruppen. Ähnliche Ergebnisse wurden in der Literatur berichtet. Staller et al. (2023) untersuchten die Auswirkungen der Arbeitsumgebung auf die Schlafeffizienz und Schlafdauer und konnten keine eindeutigen Unterschiede diesbezüglich feststellen. Sie berichteten lediglich von einer Varianz bezüglich des Zeitpunkts des Einschlafens an Tagen unter der Woche, dieser lag bei Arbeitenden im Präsenzbüro früher als bei Arbeitenden im Home-Office.

IKT-Stress

Durch die, bereits ausgeführten, Fortschritte und Entwicklungen im Bereich der IKT, ist die häufige und regelmäßige Verwendung von IKT in der modernen Arbeitswelt etabliert. In der wissenschaftlichen Literatur wird über die gesundheitlichen Folgen der Nutzung von ICT

berichtet. So zeigt es sich beispielsweise, dass IKT im Zusammenhang mit negativen Folgen für Arbeitende stehen kann. In diesem Kontext wird von sogenanntem Technostress oder IKT-Stress (Bondanini et al. 2020) gesprochen. Neben der allgemeinen Relevanz von IKT in der heutigen Arbeitswelt, ist die Verwendung von IKT für die Arbeit in hybriden Arbeitsortssetting unabdingbar. Hierdurch ergibt sich die Frage, ob Personen in hybriden Arbeitsortssettings ein höheres Level an IKT-Stress aufweisen im Vergleich zu Personen, die ausschließlich im Präsenzbüro arbeiten. In der durchgeführten Studie wurde IKT-Stress mittels drei Subskalen eines validierten Fragebogens von Riedl, Reuter und Fischer (2022) erhoben. Die drei verwendeten Subskalen umfassten die Skalen für *Gestörte Work-Life-Balance* durch IKT, *Überlastung mit Informationen und Aufgaben* durch IKT sowie die Skala *Sozialer Druck und Kommunikationsmisere* durch IKT. Das Antwortformat bestand aus einer 7-Punkte Likert-Skala von ‚*stimme überhaupt nicht zu*‘ bis ‚*stimme völlig zu*‘. Zusätzlich gab es die Möglichkeit, die Option ‚*Weiß nicht*‘ auszuwählen. Zum Vergleich von Gruppenunterschieden wurde ein gemischtes Modell berechnet. Für keine der drei Subskalen konnte ein statistisch signifikanter Gruppenunterschied festgestellt werden.

Arbeits-Familien Konflikt

Work-Family Conflict wurde mit der deutschen Version der Work-Family Conflict Scale erhoben (Breyer & Bluemke, 2016). Die Skala besteht aus vier Items welche die Dimensionen Arbeits-Familien Konflikt sowie Familien-Arbeits Konflikt bezogen auf die letzten drei Monate erfassen. Zur Analyse der Gruppenunterschiede bezüglich des Levels an Arbeits-Familien Konflikt wurde ein lineares gemischtes Modell berechnet. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Arbeitsortssetting. In der Literatur beschriebene positive Effekte von Arbeit im Home-Office auf Work-Family Conflict (Daroui & Pluut, 2021) können die Ergebnisse der Feldstudie somit nicht replizieren.

Soziale Unterstützung

Im Rahmen der Studie wurden außerdem Gruppenunterschiede bezüglich der sozialen Unterstützung im privaten Umfeld untersucht. Hierfür wurde die 7-Item Kurzform des Fragebogens zur Sozialen Unterstützung (SOZU-K-14, Fydrich et al., 2009) verwendet. Der Fragebogen wurde mittels einer 5-Punkte-Likert Skala mit den Ankern ‚*trifft nicht zu*‘ und ‚*trifft genau zu*‘ beantwortet. In der Analyse mittels gemischten linearen Modells zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen der verschiedenen Arbeitsortssettings.

Arbeitsverhalten

Aus Sicht der Unternehmen und Angestellten, aber auch aus volkswirtschaftlicher Sicht stellt sich die Frage, inwiefern hybride Arbeitsortsmodelle einen Einfluss auf das Arbeitsverhalten und die Arbeitsperformance haben. Diese Aspekte wurden in einer Reihe von empirischen Studien untersucht. Aus den Ergebnissen dieser vorausgegangenen Studien ließen sich jedoch nicht immer eindeutige Trends herauslesen. So berichteten Bloom et al. (2015) von einem Anstieg der Produktivität bei der Arbeit im Home-Office, während Emanuel & Harrington (2021) einen negativen Zusammenhang fanden. Im Rahmen der durchgeführten

Feldstudie wurden die Arbeitsperformance, sowie eine Reihe von Verhaltensweisen, die nicht direkt der Erfüllung eigener Arbeitsaufgaben dienen, allerdings maßgeblich mit positiven Auswirkungen für die Organisation und den sozialen Beziehungen der Angestellten untereinander beiträgt, erhoben. Diese Aspekte fallen unter den Sammelbegriff Organizational Citizenship Behaviour (OCB; Staufenbiel & Hartz, 2000) und umfassen die Verhaltensweisen Hilfsbereitschaft, Gewissenhaftigkeit, Unkompliziertheit und Eigeninitiative. Neben positiven Auswirkungen auf Mitarbeitende und auf Organisationsabläufe können diese Verhaltensweisen auch zu einer Überlastung und zu Work-Life Konflikten beitragen (Bolino et al., 2024)

Die Arbeitsperformance und die verschiedenen OCB-Aspekte wurden mittels des validierten und erprobten Fragebogens FELA-S (Staufenbiel & Hartz, 2000) untersucht. Jedes der Konstrukte wurde anhand von jeweils fünf Items erhoben. In Rahmen der Analyse wurden mathematische Modelle erstellt, die die Gruppen Home-Office, Büro und Hybrid miteinander verglichen.

Subskala Hilfsbereitschaft.

Für die Subskala Hilfsbereitschaft wurde ein lineares gemischtes Modell mit zufälligem Intercept erstellt. Der Mittelwert der Referenzgruppe (Home-Office) lag bei 4.72 (SE.03, $p < .001$) auf der Skala von 1 bis 7, also mit Tendenz zu höherer Hilfsbereitschaft. Sowohl die Gruppe Büro ($b = .93$, $SE = .41$, $p = .029$) als auch die Gruppe der hybrid-Arbeitenden ($b = .88$, $SE = .36$, $p = .02$) zeigten statistisch signifikant höhere Werte. Die Ergebnisse sind in Abbildung 67 visualisiert. Hieraus ergeben sich Hinweise, dass hybrid Arbeitende und Arbeitende im Büro möglicherweise ein höheres Level an Hilfsbereitschaft aufweisen, verglichen mit Personen, die ausschließlich im Home-Office arbeiten.

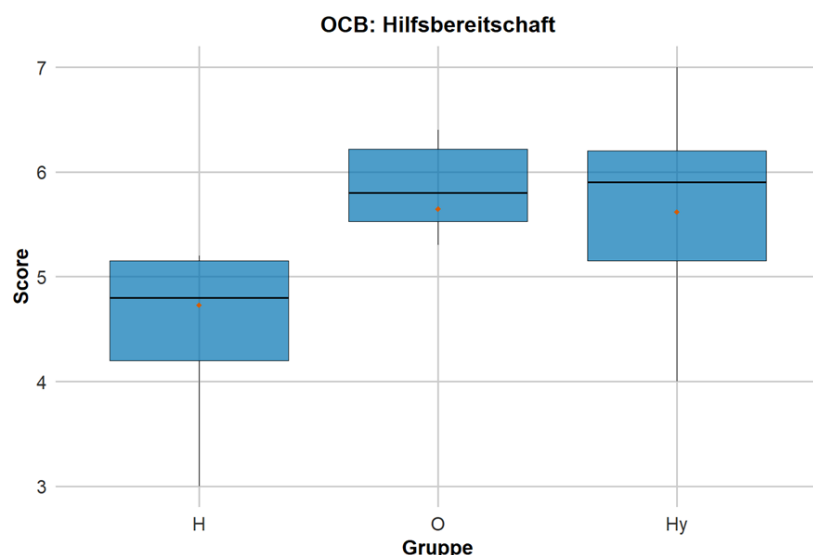


Abbildung 67: Darstellung der Gruppenunterschiede bezüglich der Hilfsbereitschaft gegenüber anderen Kolleg:innen. Der Unterschied zwischen den Gruppen H (Home-Office) und O (Office) sowie HY (Hybrid) zeigte sich als statistisch signifikant.

Subskala Gewissenhaftigkeit

Auch für die Analyse der Gruppenunterschiede der Gewissenhaftigkeit wurde ein gemischtes lineares Modell aufgestellt. Das Modell ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen hinsichtlich dieser Subskala (alle $p > .05$). Der geschätzte Mittelwert der Referenzgruppe Home-Office lag bei 5.66 (SE = .31, $p < .001$). Die Unterschiede der Gruppen Büro ($b = -.09$, SE = .39, $p = .82$) und Hybrid ($b = -.002$, SE = .35, $p = .99$) im Vergleich zur Referenzgruppe waren nicht signifikant. Anhand dieser Ergebnisse lässt sich demnach kein Zusammenhang zwischen dem Arbeitsortssetting und Gewissenhaftigkeit herstellen.

Subskala Unkompliziertheit

Die Analyse der Gruppenunterschiede bezüglich des Levels der Unkompliziertheit wurde in gleicher Weise durchgeführt. Hier ließen sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede feststellen. Der Mittelwert der Referenzgruppe Home-Office lag bei 5.67 (SE = .31, $p < .001$). Die Unterschiede der Gruppen Büro ($b = -.35$, SE = .4, $p = .39$) und Hybrid ($b = -.21$, SE = .35, $p = .56$) im Vergleich zur Referenzgruppe waren nicht signifikant.

Subskala Eigeninitiative

Das gemischte Modell zur Analyse der Gruppenunterschiede bezüglich des Levels an Eigeninitiative war wiederum signifikant. Der Mittelwert der Referenzgruppe Home-Office lag bei 4.32 (SE = .33, $p < .001$). Die Büro-Gruppe zeigte signifikant höhere Werte ($b = .84$, SE = .41, $p = .047$), während die Hybrid-Gruppe sich nicht signifikant unterschied ($b = .61$, SE = .36, $p = .1$). Hier deuten die Ergebnisse der Analyse demnach darauf hin, dass das Level an Eigeninitiative im Arbeitsortssetting Büro höher sein könnte als bei der ausschließlichen Arbeit im Home-Office (siehe Abbildung 68).

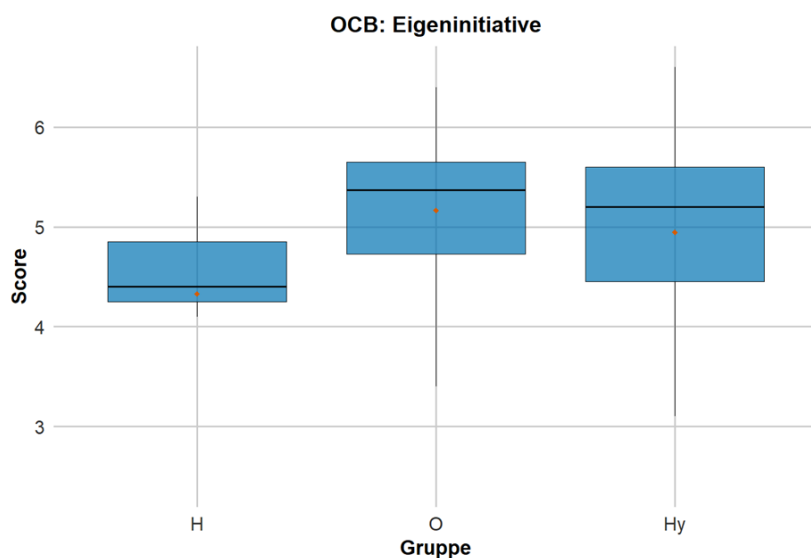


Abbildung 68: Darstellung der Gruppenunterschiede bezüglich der Eigeninitiative. Der Unterschied zwischen der Gruppe H (Home-Office) und O (Büro) zeigte sich als signifikant, während sich die Gruppe Hy (Hybrid) nicht signifikant von der Home-Office Gruppe unterschied.

Gefordertes Arbeitsverhalten

Zuletzt wurden die Gruppenunterschiede bezüglich des geforderten Arbeitsverhaltens untersucht (Abbildung 69). Die Ergebnisse des aufgestellten gemischten linearen Modells zeigten keine signifikanten Unterschiede. Der Mittelwert der Referenzgruppe Home-Office lag bei 6.29 (SE = .26, $p < .001$). Die Unterschiede der Gruppen Büro ($b = -.22$, SE = .33, $p = .51$) und Hybrid ($b = -.13$, SE = .29, $p = .66$) im Vergleich zur Referenzgruppe waren nicht signifikant. Zusammenfassend lässt sich durch diese Analyse kein Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen dem Arbeitsortssetting und der Arbeitsperformance, gemessen am Level des geforderten Arbeitsverhaltens, feststellen.

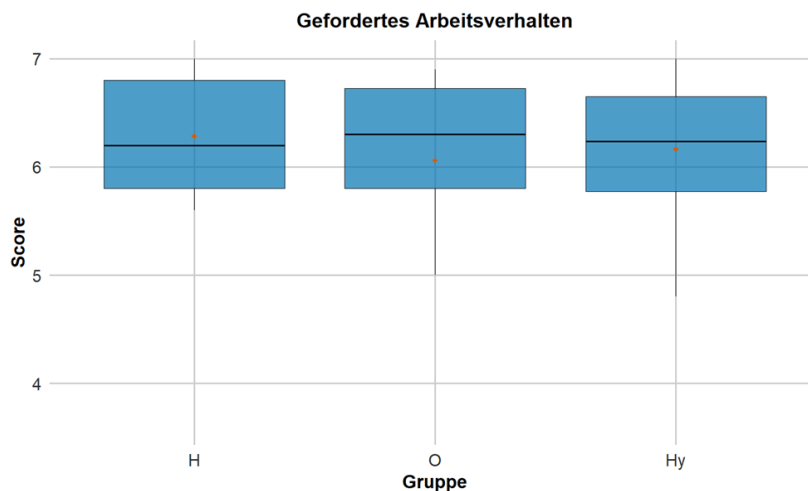


Abbildung 69: Bezüglich der subjektiven Einschätzung des geforderten Arbeitsverhaltens zeigten sich keine statistisch relevanten Gruppenunterschiede zwischen den Gruppen H (Home-Office), O (Office) und Hy (Hybrid).

Turnover-Intentionen

Ein weiterer Aspekt, der im Rahmen der Erhebung untersucht wurde, ist die Wechselintention (auch: Turnover-Intention; cf. Wells & Welty Peachy, 2011) der Arbeitnehmenden. Zur Erhebung wurde ein Single-Item Measure benutzt, welches den mittels einer Skala von *nie* bis *extrem oft* erhob, wie häufig ernsthaft über einen Arbeitsplatzwechsel nachgedacht wird. Hierfür wurden die Antworten der Studienteilnehmenden der drei unterschiedlichen Gruppen miteinander in einem gemischten linearen Modell untersucht. Im Ergebnis zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Referenzgruppe der Arbeitsortssettings Home-Office 2.07 (SE = .5, $p < .001$), Büro ($b = .12$, SE = .63, $p = .06$) und Hybrid ($b = .54$, SE = .56, $p = .33$). Die Studienergebnisse zeigen somit keinen Zusammenhang zwischen dem Arbeitsortssetting und der Wechselwilligkeit der Arbeitenden.

Körperliche Aktivität

Das Arbeitsortssetting Home-Office kann sowohl körperliche Aktivitäten durch fehlende aktive Mobilität zwischen Wohnort und Arbeitsort reduzieren, als auch Möglichkeiten für eine höhere körperliche Aktivität bedeuten. Gleichzeitig gibt es in Bezug zur körperlichen Aktivität große interpersonelle Unterschiede. In der Literatur zeigen sich Hinweise, dass die Arbeit im Home-Office mit einer im Durchschnitt erhöhten täglichen Sitzzeit assoziiert ist (Walle, 2021). Aufgrund der Heterogenität der Befunde bezüglich des allgemeinen Aktivitätsniveaus bei Arbeitenden im Home-Office, wurde im Rahmen der durchgeführten Feldstudie das Level der körperlichen Aktivität betrachtet, um mögliche Unterschiede zwischen Hybrid-Arbeitenden, und Personen, welche ausschließlich im Home-Office oder im Präsenzbüro arbeiten, zu untersuchen.

Die körperliche Aktivität wurde mit Items der deutschen Version der Kurzform des validierten International Physical Activity Questionnaire (IPAQ, Craig et al., 2003) erhoben. Der Fragebogen erfasst das körperliche Aktivitätslevel der letzten sieben Tage und unterteilt dabei in leichte, moderate und anstrengende körperliche Aktivität. Studienteilnehmende wurden befragt, an wie vielen Tagen der letzten Woche sie für mindestens zehn Minuten ohne Unterbrechung Aktivitäten auf einer der drei folgenden Stufen ausführten:

1. Zu Fuß gehen,
2. moderate körperliche Aktivität (beispielsweise Fahrradfahren oder Schwimmen bei gewöhnlicher Geschwindigkeit, das Tragen leichter Lasten), oder
3. anstrengende körperliche Aktivität (beispielsweise Aerobic, Laufen, schnelles Schwimmen oder Fahrradfahren).

Um die Gruppenunterschiede zu analysieren, wurde für jedes der drei Aktivitätslevel ein gemischtes Modell berechnet. Im Ergebnis zeigte das Modell bezüglich der Häufigkeiten des zu Fuß Gehens keine signifikanten Unterschiede zwischen den Arbeitsortssettings. Bezüglich der moderaten körperlichen Aktivität zeigten sich signifikante Gruppenunterschiede für Fixed Effects. Der Mittelwert der Referenzgruppe Home-Office betrug 2.98 (SE = .69, $p < .001$). Verglichen hiermit zeigte die Büro-Gruppe signifikant höhere Werte ($b = 1.77$, SE = .87, $p < .05$), während sich die Hybrid-Gruppe nicht signifikant von der Home-Office-Gruppe unterschied ($b = .33$, SE = .77, $p = .67$). In einer anschließend durchgeführten ANOVA zeigten sich jedoch keine signifikanten Gruppenunterschiede ($F(2, 40.99) = 3.05$, $p = .06$). Post-Hoc-Tests mit Tukey-Korrektur zeigten ebenfalls keine signifikanten Gruppenunterschiede ($p > .05$).

Die Analyse bezüglich anstrengender körperlicher Aktivität zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Der Mittelwert der Gruppe Home-Office lag bei 2.44 (SE = .55, $p < .01$). Im Vergleich zeigte die Büro-Gruppe signifikant höhere Werte ($b = 1.71$, SE = .7, $p = .12$). Die Hybrid-Gruppe zeigte keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur Home-Office-Gruppe ($B = .59$, SE = .61, $p = .34$). Die anschließende Varianzanalyse ergab einen signifikanten Haupteffekt der Gruppe ($F(2, 38.02) = 3.58$, $p = .04$). Post-Hoc-Tests mit Tukey-Korrektur bestätigten einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen Home-Office und Büro ($p < 0.05$).

Zusammenfassend konnten Analyse der Daten der Häufigkeit der leichten und moderaten körperlichen Aktivität der letzten sieben Tage keine signifikanten Gruppenunterschiede festgestellt werden. Bezüglich der Häufigkeit an anstrengender körperlicher Aktivität deuten unsere Daten auf ein größeres Vorkommen in der Büro-Gruppe verglichen mit der Home-Office-Gruppe hin.

Analyse der objektiven Stressindikatoren

Die Daten der Erhebung der objektiven Stressindikatoren wurden mithilfe der Software Kubios HRV Scientific (Version 4.1.0) ausgewertet. Für die Datenaufbereitung wurde die Noise Reduction Level Medium gewählt. Für die Beat Correction wurde die automatische Option zur Korrektur durch Kubios ausgewählt, um Störartefakte und fehlerhaft aufgezeichnete Herzschläge zu korrigieren. Auf Grundlage der in der Feldstudie erhobenen Herzfrequenzdaten wurde die Herzratenvariabilität in Form des RMSSD-Wertes (Root Mean Square of Successive Differences, Laborde et al., 2017) berechnet. Die anschließende statistische Analyse wurde in R (Version 2024.04.2 +764, R Core Team, 2024) durchgeführt.

Für die Teilnehmenden der hybrid-Gruppe wurde untersucht, inwiefern das Arbeitsortssetting des Tages mit der Herzratenvariabilität während der Arbeitszeit zusammenhängt. Hierfür wurden pro Erhebungszeitraum an jeweils zwei Messtagen um 12:30 Uhr drei Stichproben in Form von aufeinanderfolgenden fünfminütigen Intervallen erhoben. Zur Untersuchung eines möglichen Einflusses des Arbeitsortssettings auf die Herzratenvariabilität wurde ein lineares gemischtes Modell mit zufälligem Intercept berechnet. Im Ergebnis fand sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Arbeitsortssetting des Tages und der Herzratenvariabilität in Form von RMSSD (Büro: $b = -3.53$, $SE = 2.13$, $t = -1.66$, $p = .099$, Hybrid: $b = -8.235$, $SE = 6.229$, $t = -1.32$, $p = .19$) im Vergleich zum Arbeitsortssetting Home-Office.

Zusammengenommen ergeben sich aus den Ergebnissen der Erhebung der objektiven Stressindikatoren demnach keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen dem Arbeitsort des Tages bei hybrid-Arbeitenden und der Herzratenvariabilität, einem Maß für das Stressniveau.

Zusammenfassung

Die Literaturrecherche sowie die in diesem Projekt durchgeführte Feldstudie zu nicht-energetischen Effekten des Arbeitsortes führten zu gemischten Ergebnissen.

In Bezug auf subjektiv erhobene Parameter deuten die statistischen Analysen auf Zusammenhänge zwischen dem Arbeitsort und der Zufriedenheit mit IEQ, auf positiven Affekt, Hilfsbereitschaft, Eigeninitiative und schweren körperlichen Aktivitäten hin. Dabei hatte das Setting Home-Office Vorteile in Bezug auf die Zufriedenheit der IEQ und positiven Affekt, während im Büro und hybriden Setting Aspekte wie Hilfsbereitschaft und Eigeninitiative höher waren, als im Home-Office. Auch die schwere körperliche Aktivität war im Setting Büro höher, als im Home-Office.

Bei weiteren untersuchten Aspekten, wie Schlafqualität, IKT-Stress, Arbeits-Familien Konflikte oder Arbeitgeber-Wechselintentionen zeigten sich jedoch in der durchgeführten Feldstudie, teils im Kontrast zu existierender Literatur, keine Unterschiede auf Grund des Arbeitsortsettings. Auch die Analyse des objektiven Stressparameters, die Herzratenvariabilität, deutet darauf hin, dass das Arbeitsortsetting allein keinen statistisch signifikanten Einfluss hat.

Eine abschließende Bewertung inwieweit eines der drei gewählten Settings insgesamt Vorteile gegenüber den anderen beiden Settings hat, ist auf Basis der Ergebnisse nicht möglich. Vielmehr bedarf es weiterhin einer Betrachtung der vorhandenen Umstände und der Eigenschaften der Mitarbeitenden, um Vor- und Nachteile einzelner Settings gegeneinander abzuwägen.

2.1.7 AP 7: Gesamtbewertung und Potential zur Umsetzung der Energiewende (Lead EBC)

Energieverbräuche im Wohn- und Nichtwohngebäudebereich

Entwicklung und Validierung von Regressionsmodellen zur Prognose des Energieverbrauchs

Basierend auf den umfangreichen Simulationsstudien in Abschnitt 2.1.3 wurden Regressionsmodelle entwickelt, die eine schnelle und zuverlässige Prognose des Energieverbrauchs von Wohn- und Bürogebäuden ermöglichen ohne eine erneute Jahressimulation durchführen zu müssen. Diese Modelle finden zudem in der späteren Hochrechnung für Deutschland Anwendung, um die Auswirkungen verschiedener Einflussparameter auf den nationalen Energieverbrauch und CO₂-Emissionen abzuschätzen.

Für die Wohngebäude wurden insgesamt 564 Simulationsläufe durchgeführt, die als Datengrundlage für die Modellbildung dienen. Als Eingangsparameter wurden sowohl numerische als auch kategorische Größen verwendet. Zu den numerischen Parametern zählen die Wohnfläche, der Home-Office-Anteil sowie die Setpoint-Temperaturen während der An- und Abwesenheitszeiten. Die kategorischen Parameter umfassen den Gebäudetyp (EFH, RH, MFH, GMFH), das Heizverhalten während der Home-Office-Nutzung, den Sanierungszustand sowie die Baujahrklasse gemäß der TABULA-Datenbank.

Für die Bürogebäude basiert die Modellbildung auf 494 Simulationsläufen. Hier wurden als numerische Parameter die Auslastung und die Setpoint-Temperaturen während der Anwesenheitszeiten variiert, während die kategorischen Parameter den Gebäudetyp, das Bürolayout (Zellen-/Großraumbüro) die Regelstrategie, die Bauart (schwer/leicht), das Fensterlayout sowie die Baujahrklasse umfassen.

Als Regressionsalgorithmus wurde der GradientBoostingRegressor aus dem scikit-learn Package in python verwendet. Gradient Boosting ist ein Ensemble-Lernverfahren, bei dem sukzessive einfache Basismodelle (typischerweise Entscheidungsbäume) kombiniert werden, um die Vorhersagegenauigkeit zu verbessern (Friedman, 2001). Der Algorithmus funktioniert nach folgendem Prinzip: Ein initiales, einfaches Modell wird trainiert (z. B. ein flacher Entscheidungsbaum). Anschließend werden die Residuen (Fehler) dieses Modells berechnet und ein neues Modell wird trainiert, um diese Residuen vorherzusagen. Die Vorhersagen des neuen Modells werden mit einem Lernfaktor (learning rate) gewichtet und zum bestehenden Ensemble hinzugefügt. Dieser Prozess wird wiederholt, bis eine festgelegte Anzahl von Modellen ($n_{\text{estimators}}$) erreicht ist oder andere Abbruchkriterien erfüllt sind.

Gradient Boosting wurde für diese Anwendung gewählt, da der Algorithmus mehrere Vorteile bietet: Er kann effektiv mit heterogenen Daten arbeiten, was bei der Kombination aus numerischen und kategorischen Eingangsparametern essenziell ist. Er ist in der Lage, nicht-lineare Zusammenhänge abzubilden, wie sie bei den komplexen energetischen Wechselwirkungen in Gebäuden auftreten. Er weist eine gewisse Robustheit gegenüber

Ausreißern auf und es besteht die Möglichkeit, trotz der Komplexität des Ensemble-Modells Rückschlüsse auf die Relevanz einzelner Eingangsparameter zu ziehen.

Zur Validierung der Modelle wurde eine K-Fold-Kreuzvalidierung implementiert (James et al., 2013). Bei der 5-fachen Kreuzvalidierung wird der Datensatz in fünf etwa gleich große Teilmengen (Folds) aufgeteilt. Das Modell wird dann fünfmal trainiert, wobei jeweils vier Folds als Trainingsdaten und der verbleibende Fold als Testdaten dienen. Jeder Fold dient genau einmal als Testdatensatz. Die endgültige Bewertung der Modellgüte ergibt sich aus dem Durchschnitt der fünf Validierungsdurchläufe.

Die Kreuzvalidierung bietet mehrere Vorteile: Sie ermöglicht eine robuste Schätzung der Modellgüte durch die mehrfache Validierung auf unterschiedlichen Teilmengen des Datensatzes. Im Gegensatz zu einer einfachen Train-Test-Aufteilung wird jeder Datenpunkt sowohl für das Training als auch für die Validierung genutzt, was zu einer effizienteren Nutzung der verfügbaren Daten führt. Zudem gibt die Streuung der Leistungsmetriken über die verschiedenen Folds Hinweise auf die Stabilität des Modells.

Die statistische Bewertung der Modellgüte erfolgte anhand zweier Kennwerte: Das Bestimmtheitsmaß (R^2) gibt an, welcher Anteil der Varianz in der Zielgröße durch das Modell erklärt wird. Der Standard Error of Regression (SER) gibt die durchschnittliche Abweichung zwischen vorhergesagten und tatsächlichen Werten in der Einheit der Zielgröße (hier: kWh/(m² a)) an. Je kleiner der SER, desto genauer die Vorhersagen.

Abbildung 70 zeigt die Ergebnisse der Regressionsmodelle für Wohngebäude. Die linke Grafik stellt den Wärmeverbrauch dar, die mittlere den elektrischen Energieverbrauch und die rechte den Gesamtenergieverbrauch. Auf der x-Achse sind jeweils die Testdaten und auf der y-Achse die Vorhersagewerte des Regressionsmodells aufgetragen. Die rote gestrichelte Linie repräsentiert die ideale Übereinstimmung zwischen Vorhersage und tatsächlichem Wert.

Für den Wärmeverbrauch der Wohngebäude (linke Grafik) ist ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,872$ und ein Standard Error of Regression (SER) von 27,09 kWh/m²a zu beobachten. Die Datenpunkte zeigen eine erkennbare Streuung um die Regressionsgerade, insbesondere im mittleren Verbrauchsbereich zwischen 100-200 kWh/(m²a). Diese Streuung spiegelt die komplexen Wechselwirkungen zwischen Gebäudeeigenschaften, Nutzerverhalten und thermischen Prozessen wider, die in den Sensitivitätsanalysen identifiziert wurden.

Der elektrische Energieverbrauch (mittlere Grafik) wird mit einem $R^2 = 1,000$ und einem SER = 0,09 kWh/m²a sehr präzise hervorgesagt. Die Datenpunkte liegen praktisch exakt auf der Regressionsgeraden, was auf sehr eindeutige und gut erfassbare Zusammenhänge zwischen den gewählten Eingangsparametern und dem elektrischen Energieverbrauch hinweist. Die systematische Zuordnung der Geräteverbräuche zu den entsprechenden Gebäudezonen in den Simulationsmodellen führt hier zu präzisen Vorhersagen.

Der Gesamtenergieverbrauch (rechte Grafik) weist mit $R^2 = 0,868$ und SER = 27,07 kWh/(m²a) eine ähnliche Vorhersagegenauigkeit wie der Wärmeverbrauch auf. Dies ist plausibel, da der Gesamtenergieverbrauch in Wohngebäuden maßgeblich vom

Wärmeverbrauch dominiert wird, der typischerweise einen deutlich größeren Anteil als der elektrische Energieverbrauch ausmacht.

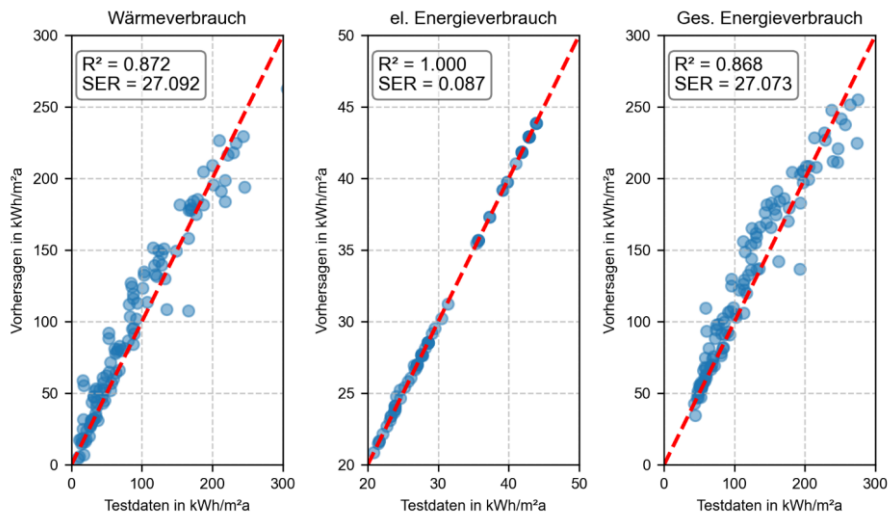


Abbildung 70: Ergebnisse der Regression der Wohngebäudedaten hinsichtlich Wärmeverbrauch, el. Energieverbrauch und gesamter Energieverbrauch für die Testdaten

Abbildung 71 zeigt die entsprechenden Ergebnisse für die Bürogebäude. Hier sind von links nach rechts der Wärmeverbrauch, der elektrische Energieverbrauch und der Kälteverbrauch dargestellt. Im Vergleich zu den Wohngebäudemodellen fällt die insgesamt höhere Modellgüte auf.

Der Wärmeverbrauch der Bürogebäude (linke Grafik) wird mit einem $R^2 = 0,956$ und einem $SER = 14,22 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ sehr präzise vorhergesagt. Beim elektrischen Energieverbrauch (mittlere Grafik) wird mit $R^2 = 1,000$ und $SER = 0,087 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ eine sehr hohe Vorhersagegenauigkeit erzielt. Der Kälteverbrauch (rechte Grafik) wird mit $R^2 = 0,953$ und $SER = 1,29 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ ebenfalls präzise vorhergesagt.

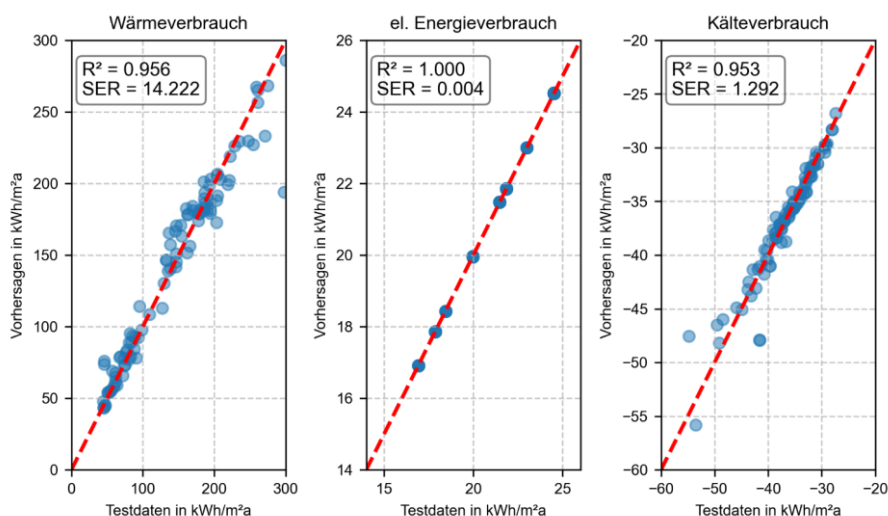


Abbildung 71: Ergebnisse der Regression der Bürogebäudedaten hinsichtlich Wärmeverbrauch, el. Energieverbrauch und Kälteverbrauch für die Testdaten

Die Ergebnisse zeigen, dass der verwendete Gradient Boosting Algorithmus in der Lage ist, die komplexen Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Eingangsparametern und dem Energieverbrauch zuverlässig abzubilden. Dies gilt sowohl für Wohn- als auch für Bürogebäude, wobei die Vorhersagegenauigkeit für Bürogebäude insgesamt höher ist.

Die entwickelten Regressionsmodelle ermöglichen es, den Energieverbrauch von Gebäuden unter verschiedenen Randbedingungen mit hoher Genauigkeit und geringem Rechenaufwand zu prognostizieren. Damit bilden sie eine solide Grundlage für die in einem nachfolgenden Kapitel beschriebene Hochrechnung auf den deutschen Gebäudebestand. Durch die Anwendung von statistischen Verteilungen für die Eingangsparameter, die den tatsächlichen Bestand repräsentieren, kann der Gesamtenergieverbrauch des Wohn- und Bürogebäudesektors in Deutschland abgeschätzt werden. Dies ermöglicht die Bewertung verschiedener Szenarien, etwa die Auswirkungen eines zunehmenden Home-Office-Anteils auf den nationalen Energieverbrauch und die damit verbundenen CO₂-Emissionen.

Zusammenfassend zeigen die Validierungsergebnisse, dass die entwickelten Regressionsmodelle eine hohe Vorhersagegenauigkeit für alle betrachteten Energieverbrauchskategorien aufweisen und damit für die angestrebte Hochrechnung gut geeignet sind.

Eingangsdatenverteilung für die Hochrechnung des Wohngebäudesektors

Basierend auf den im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Simulationsmodellen und Regressionsanalysen wurde eine deutschlandweite Hochrechnung durchgeführt, die die potenziellen Effekte einer zunehmenden Home-Office-Nutzung im Wohn- und Bürogebäudebereich quantifiziert. Im Folgenden werden die Methodik und Ergebnisse dieser Hochrechnung ausführlich dargestellt.

Die Festlegung der betrachteten Szenarien basiert auf einer Auswertung statistischer Daten zur Verbreitung von Home-Office in der Erwerbsbevölkerung.

Als geeignete und differenzierte Datenquelle erwies sich die Arbeitsmarktstatistik des Mikrozensus des Statistischen Bundesamts (Destatis 2024, ergänzt um das Jahr 2019 nach Destatis o.J.). Diese liefert detaillierte Informationen zur Erwerbsarbeit, differenziert nach Arbeitsort (betrieblich vs. Home-Office), Geschlecht, Bundesland sowie Art der beruflichen Tätigkeit.

Für die vorliegende Betrachtung wurden die aggregierten Werte über alle Kategorien hinweg für den Zeitraum von 2019 bis 2023 analysiert. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in Abbildung 72 dargestellt. Deutlich erkennbar ist der pandemiebedingte sprunghafte Anstieg des Anteils an Home-Office-Tätigkeit in den Jahren 2020 und 2021. In den Folgejahren ist ein leichter Rückgang zu verzeichnen, wobei das Niveau weiterhin signifikant über dem Wert von 2019 liegt.

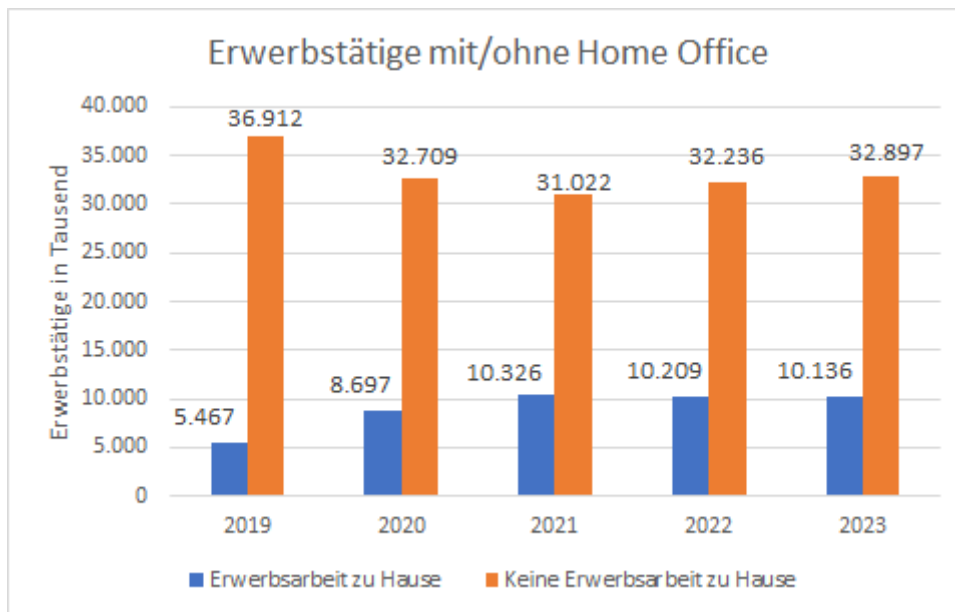


Abbildung 72: Erwerbstätige im Home-Office und am Arbeitsplatz in den Jahren 2019 bis 2023 (Destatis 2024)

Auf Grundlage dieser Datenbasis wurden drei Szenarien für die Hochrechnung entwickelt, die verschiedene Ausprägungen von Home-Office abbilden. Das Referenzszenario weist eine ähnlich hohe Quote an Erwerbstätigen auf, die heute im Home-Office arbeiten. Im Vergleich wurde ein Szenario definiert, das eine Quote wie die im Jahre 2019 aufweist, also ein etwa halb so großer Wert. Ein drittes Szenario wurde unter der Annahme berechnet, dass die Quote für Home-Office dem Potenzial entspricht, das für die Erwerbstätigen berechnet wurde. Diese liegt nach Brenke (2016) und Emmeler/Kohlrausch (2021) bei etwa 40 %.

Dabei drei Szenarien werden für alle drei betrachteten energierelevanten Bereiche Gebäudesektor, Mobilität und IKT zu Grund gelegt:

1. Referenzszenario: Dieses Szenario repräsentiert die aktuelle Verteilung der Home-Office-Nutzung in Deutschland, bei der etwa 75,95 % der Erwerbstätigen nicht im Home-Office arbeiten, während die übrigen verschiedene Anteile der Erwerbstätigen Home-Office praktizieren.
2. Home-Office-Minus-Szenario: Dieses Szenario modelliert eine reduzierte Home-Office-Nutzung im Vergleich zum Referenzszenario, mit 60 % der Erwerbstätigen ohne Home-Office-Nutzung und entsprechend höheren Anteilen in den verschiedenen Home-Office-Kategorien (siehe Home-Office-Anteil aus Tabelle 29).
3. Home-Office-Plus-Szenario: Dieses Szenario spiegelt eine verstärkte Home-Office-Nutzung wider, mit nur 87,1 % der Erwerbstätigen ohne Home-Office-Nutzung und entsprechend geringeren Anteilen in den verschiedenen Home-Office-Kategorien.

Tabelle 29: Übersicht der Home-Office-Verteilungen der drei betrachteten Szenarien

Anteil in der Bevölkerung für Szenario ε_{HO_X}	
--	--

Home-Office-Anteil	HO-Minus	Referenz	HO-Plus
0% (0 Tage)	75,95%	60%	87,1%
20% (1 Tage)	4,72%	7,86%	2,53%
40% (2 Tage)	4,72%	7,86%	2,53%
60% (3 Tage)	3,63%	6,03%	1,95%
80% (4 Tage)	3,63%	6,03%	1,95%
100% (5 Tage)	7,35%	12,22%	3,94%

Die Hochrechnung erfolgte durch die Anwendung der entwickelten Regressionsmodelle auf repräsentative Daten des deutschen Gebäudebestands.

Die Hochrechnung für den Wohngebäudesektor basiert auf einer Datenaufbereitung und -analyse verschiedener Quellen und Annahmen, die im Folgenden beschrieben werden. Ein Fokus liegt dabei auf der Erstellung repräsentativer Gebäudeklassen und der Anwendung der Regressionsmodelle unter Berücksichtigung der verschiedenen Home-Office-Szenarien. Eine Übersicht über die Eingangsparameter, deren Verteilungen und Datenquellen sind in Tabelle 30 aufgelistet.

Tabelle 30: Übersicht über die Eingangsparameter der Hochrechnung für die Wohngebäude

Parameter	Beschreibung	Werte/Verteilung	Datenquelle
Gebäudetyp	Kategorisierung der Wohngebäude	Einfamilienhäuser (EFH), Mehrfamilienhäuser (MFH)	Zensus 2022, Datenquelle 4000W-1014
Baujahrsklasse	Errichtungszeitraum des Gebäudes	Einteilung in Jahrzehnte (TABULA Klassen)	Zensus 2022, Datenquelle 4000W-2009
Wohnfläche	Größe der Wohneinheit	20 m ² -Intervalle (<40 m ² bis >200 m ²)	Zensus 2022, Datenquelle 4000W-2009
Heizverhalten	Effizienz der Raumbeheizung im Home-Office	Effizient: 26,79%, Nicht-effizient: 73,21%	Projektumfrage, Fragen „A610“ und „A611“
Sanierungszustand	Energetische Modernisierung der Gebäudehülle	Saniert: 45,83%, Unsaniert: 54,17%	Projektumfrage, Frage „A316_01“
Home-Office-Anteil	Zeitlicher Anteil der Arbeit von zu Hause	0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%	Eigene Annahme
Setpoint-Temperaturen	Eingestellte Raumtemperaturen	Anwesenheit: 21°C, Abwesenheit: 18°C	Eigene Annahme
Heizenergieträger	Verteilung der Heizungssysteme	Wärmepumpe: 4,4% Erdgas: 56,1% Heizöl: 17,3% Fernwärme: 15,5% Holz: 4,1% Strom: 2,5%	BDEW (2023)

CO ₂ - Emissionsfaktoren	Spezifische Emissionen pro Energieträger	Wärmepumpe: 125 gCO ₂ /kWh Erdgas: 249 gCO ₂ /kWh Heizöl: 300 gCO ₂ /kWh Fernwärme: 130 gCO ₂ /kWh Holz: 100 gCO ₂ /kWh Strom: 344 gCO ₂ /kWh	Naturefund (2023)
--	--	--	-------------------

Für eine präzise Hochrechnung wurde zunächst eine detaillierte Verteilung des Wohngebäudebestands in Deutschland ermittelt. Hierzu wurde eine Anfrage an die Zensusdatenbank 2022 gestellt, um den Wohnungsbestand umfassend zu charakterisieren. Die Anfrage kombinierte zwei zentrale Datenquellen aus dem Zensus 2022:

1. Datenquelle "4000W-2009" (Wohnungen: Fläche der Wohnung in 20 m²-Intervallen - Baujahr in Jahrzehnten)
2. Datenquelle "4000W-1014" (Wohnungen: Gebäudetyp nach Größe)

Durch die Verknüpfung dieser Datenquellen konnte eine detaillierte Aufschlüsselung des Wohngebäudebestands nach Baujahr, Wohnfläche und Gebäudetyp erreicht werden. Die resultierenden Zensusdaten liefern eine differenzierte Klassifizierung, wobei die Gebäudetypen in Einfamilienhäuser (EFH), die alle Ein- oder Zweifamilienhäuser umfassen, und Mehrfamilienhäuser (MFH), die alle Gebäude mit drei oder mehr Wohneinheiten einschließen, zusammengefasst wurden. Die Baujahrsklassen wurden entsprechend der Zensusdaten in Jahrzehnte eingeteilt und so gewählt, dass sie mit den Baualtersklassen der TABULA-Datenbank kompatibel sind, um konsistente Simulationsergebnisse zu gewährleisten. Die Wohnflächen wurden in 20 m²-Intervallen von weniger als 40 m² bis mehr als 200 m² klassifiziert.

Aus dieser umfassenden Klassifizierung resultierten insgesamt 200 Basiswohngebäudeklassen, die den deutschen Wohngebäudebestand repräsentieren. Diese Basisklassen bilden das Fundament für die weiteren Berechnungen und werden im Folgenden durch zusätzliche Parameter weiter ausdifferenziert.

Die 200 Basiswohngebäudeklassen wurden durch drei wesentliche nutzungsrelevante Parameter erweitert, die für die energetische Bewertung von Home-Office-Szenarien entscheidend sind. Der erste Parameter betrifft das Heizverhalten, dessen Klassifikation auf Basis der im Projekt durchgeführten Nutzerbefragung erfolgte. Konkret wurden die Fragen „A610“ und „A611“ ausgewertet, wobei erstere erfasst, ob Personen im Home-Office einen oder mehrere zusätzliche Räume beheizen, und letztere, in welchen Räumen der Wohnung die Heizung abgestellt wird, wenn diese nicht benutzt werden.

Als "ineffizientes Heizverhalten" wurden jene Befragten klassifiziert, die bei „A610“ "oft" oder "immer" angaben und bei „A611“ mindestens einen Raum nannten, in dem sie "nie" oder "selten" die Heizung abstellen, wenn sie den Raum nicht nutzen. Die Auswertung ergab, dass 26,79% der Befragten (n=679) ein effizientes Heizverhalten aufweisen, während 73,21% ein ineffizientes Heizverhalten zeigen. Diese Verteilung wurde in den Hochrechnungen als repräsentativ für die deutsche Wohnbevölkerung angenommen.

Der zweite Parameter, der Sanierungszustand, wurde ebenfalls anhand der Befragungsdaten ermittelt, konkret durch die Frage „A316_01“, die erfasst, wann die Fassade des Wohngebäudes saniert wurde: kürzer als vor 10 Jahren, länger als vor 10 Jahren oder nie. Als "sanierte Wohngebäude" wurden jene klassifiziert, bei denen die Fassade innerhalb der letzten 10 Jahre saniert wurde. Nach dieser Definition wohnen 45,83% der Befragten in sanierten Wohngebäuden und 54,17% in unsanierten Wohngebäuden. Diese Verteilung wurde auf den gesamten Wohngebäudebestand angewendet.

Der dritte Parameter, der Home-Office-Anteil, wurde entsprechend der beschriebenen Szenarien in sechs Kategorien eingeteilt (siehe Tabelle 31). Die Verteilung dieser Anteile variiert je nach betrachtetem Szenario (Referenz-, Home-Office-Minus- und Home-Office-Plus-Szenario), wie bereits im am Anfang des Abschnitts beschrieben.

Die drei beschriebenen Parameter wurden mit den 200 Basiswohngebäudeklassen kombiniert, wobei für jede Basisklasse alle möglichen Kombinationen berücksichtigt wurden. Dies umfasste zwei Varianten des Heizverhaltens (effizient/nicht-effizient), zwei Varianten des Sanierungszustands (saniert/unsaniert) und sechs Varianten des Home-Office-Anteils (0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%). Durch diese Kombination entstand ein Datensatz an 4.800 Wohngebäudeklassen. Für jede dieser Klassen wurde die absolute Anzahl an Gebäuden ermittelt, indem die Verteilungen der Parameter gleichmäßig auf die Basisklassen angewendet wurden. Dies geschah unter der Annahme, dass die Parameter untereinander und mit den Basisklassen statistisch unabhängig sind.

Für alle Wohngebäude wurden einheitliche thermische Randbedingungen angenommen. Die Setpoint-Temperatur während der Anwesenheit wurde mit 21 °C festgelegt, während für Abwesenheitszeiten eine Temperatur von 18 °C angesetzt wurde.

Für jede der 4.800 Wohngebäudeklassen wurden der Wärme- und Stromverbrauch mithilfe der zu Beginn von Kapitel 2.1.7 beschriebenen Regressionsmodelle berechnet. Diese Berechnung erfolgte separiert nach den drei Home-Office-Szenarien.

Die flächenspezifischen Energieverbräuche (kWh/(m²a)) wurden mit der jeweiligen Wohnfläche und der Anzahl der Gebäude in jeder Klasse multipliziert, um den absoluten Energieverbrauch zu ermitteln. Durch Summation über alle Klassen ergab sich der Gesamtenergieverbrauch des deutschen Wohngebäudesektors für die verschiedenen Szenarien.

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen wurden die ermittelten Energieverbräuche mit spezifischen Emissionsfaktoren multipliziert. Im Falle des Wärmeverbrauchs wurde basierend auf der Verteilung der Heizenergieträger in Deutschland ein gewichteter, mittlerer CO₂-Emissionsfaktor berechnet. Die Verteilung der Heizungssysteme im deutschen Wohnungsbestand wurde der aktuellen Statistik des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW, 2023) entnommen.

Die spezifischen CO₂-Emissionsfaktoren für die verschiedenen Energieträger wurden der Datenbank von Naturefund (2023) entnommen. Der so ermittelte mittlere Emissionsfaktor

von 230 gCO₂/kWh wurde mit dem Gesamtwärmeverbrauch multipliziert, um die CO₂-Emissionen aus der Wärmebereitstellung zu berechnen.

Für den Stromverbrauch wurde ein einheitlicher CO₂-Emissionsfaktor von 344 gCO₂/kWh angesetzt, der dem aktuellen deutschen Strommix entspricht (Naturefund, 2023). Dieser Faktor wurde mit dem Gesamtstromverbrauch multipliziert, um die CO₂-Emissionen aus dem Stromverbrauch zu berechnen. Die Summe aus den wärme- und strombedingten CO₂-Emissionen ergibt die Gesamtemissionen des Wohngebäudesektors für die verschiedenen Szenarien.

Eingangsdatenverteilung für die Hochrechnung des Bürogebäudesektors

Analog zur Hochrechnung für den Wohngebäudesektor wurde für den Büro- und Verwaltungsgebäudebestand methodisches Vorgehen entwickelt, um die energetischen Auswirkungen verschiedener Home-Office-Szenarien zu quantifizieren. Im Folgenden wird die Datenbasis und die Methodik der Hochrechnung für den Bürogebäudesektor detailliert erläutert. Eine Übersicht über die Eingangsparameter, deren Verteilungen und Datenquellen sind in Tabelle 31 aufgelistet.

Die Verteilung des Büro- und Verwaltungsgebäudebestands in Deutschland wurde hauptsächlich auf Basis des Fokusthemen-Reports der Deutschen Energie-Agentur (dena, 2024) ermittelt. Dieser Report liefert eine differenzierte Aufschlüsselung des Bestands nach Baujahrsklassen.

Tabelle 31: Übersicht über die Eingangsparameter der Hochrechnung für die Wohngebäude

Parameter	Beschreibung	Werte/Verteilung	Datenquelle
Gebäudetyp	Kategorisierung der Bürogebäude	329.000 Büro- und Verwaltungsgebäude in Deutschland	dena (2024)
Baujahrsklasse	Errichtungszeitraum des Gebäudes	bis 1919: 26% (85.540 Gebäude) 1919-1949: 8% (26.320 Gebäude) 1950-1977: 27% (89.817 Gebäude) 1978-1994: 17% (56.917 Gebäude) 1995-2002: 11% (36.848 Gebäude) 2003-2008: 2% (5.922 Gebäude) 2009-2015: 4% (14.147 Gebäude) 2016-2019: 3% (7.896 Gebäude) ab 2020: 2% (5.593 Gebäude)	dena (2024)
Nutzungsfläche	Durchschnittliche Fläche pro Gebäude je Baujahrsklasse	Individuell berechnet für jede Baujahrsklasse durch Division der Gesamtfläche durch die Anzahl der Gebäude	Berechnung basierend auf dena (2024)
Fensterlayout	Anordnung und Größe der Fenster im Gebäude	Drei Varianten, gleichverteilt zu jeweils 33,3%	Annahme
Bauweise	Thermische Speichereigenschaften	Schwere Bauweise: 50% Leichte Bauweise: 50%	Annahme

	der Gebäudekonstruktion		
Bürostruktur	Raumaufteilung im Gebäude	Großraumbüros: 50% Einzelbüros: 50%	Annahme
Setpoint-Temperaturen	Eingestellte Raumtemperaturen	Anwesenheit: 21 °C	Annahme
Klimatisierungsstrategie	Regelungskonzept für RLT-Anlage	Basis: 25% Standard: 50% Effizient: 25%	Annahme
Büroauslastung	Prozentuale Nutzung der Büroflächen	Referenzszenario: 71,00% (Vor- Pandemie-Wert) HO-Plus-Szenario: 62,53% HO-Minus-Szenario: 76,93%	Referenzwert: Savills (2024)
Heizenergieträger	Verteilung der Heizungssysteme	Gas inkl. Flüssiggas: 56% Nah-/Fernwärme: 22% Heizöl: 13% Biomasse: 6% Strom: 2% Wärmepumpen: 1%	IWU (2022)
CO ₂ -Emissionsfaktoren	Spezifische Emissionen pro Energieträger	Wärmepumpe: 125 g _{CO₂} /kWh Erdgas: 249 g _{CO₂} /kWh Heizöl: 300 g _{CO₂} /kWh Fernwärme: 130 g _{CO₂} /kWh Biomasse: 100 g _{CO₂} /kWh Strom: 344 g _{CO₂} /kWh	Naturefund (2023)
Kühlung	Effizienz der Raumluftkühlung	SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio): 4,5	Annahme

Die Verteilung der Gebäudealtersklassen aus dem dena-Report (dena(2024)) findet sich in Abbildung 73. Basierend auf der prozentualen Verteilung der Gebäudealtersklassen und der Information, dass in Deutschland etwa 329.000 Büro- und Verwaltungsgebäude existieren, wurden die absoluten Zahlen für jede Baujahrsklasse berechnet. Für jede Baujahrsklasse wurde zudem die durchschnittliche Nutzungsfläche ermittelt, indem die Gesamtfläche von 395 Mio. m² der jeweiligen Klasse durch die Anzahl der Gebäude der jeweiligen Klasse dividiert wurde.

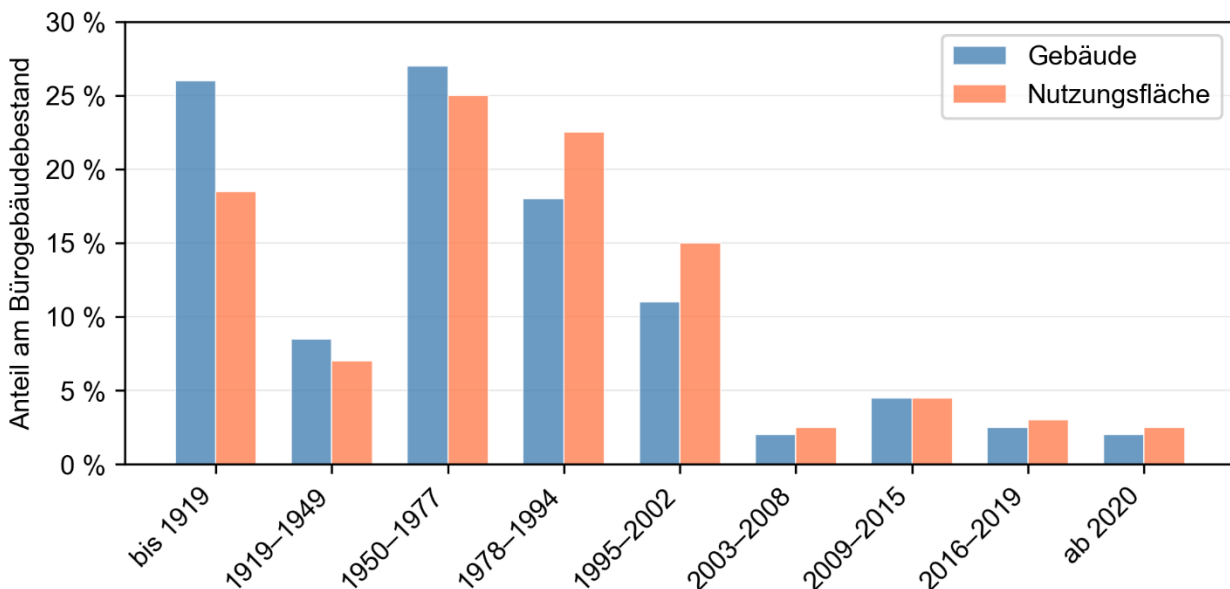


Abbildung 73: Anteile der Gebäudeanzahl und Nutzungsfläche im deutschen Bürogebäudebestand nach dena (2024)

Neben Baujahr und Nutzungsfläche wurden weitere gebäudetypologische Parameter berücksichtigt, die einen signifikanten Einfluss auf den Energieverbrauch haben. Da für diese Parameter keine umfassenden statistischen Daten für den deutschen Bürogebäudebestand verfügbar waren, wurden begründete Annahmen getroffen:

Die Setpoint-Temperatur während der Anwesenheitszeiten wurde einheitlich auf 21 °C festgelegt, was dem Wert entspricht, der auch für die Wohngebäude angenommen wurde. Diese Annahme basiert auf üblichen Komfortstandards in Büroumgebungen und entspricht den Empfehlungen der Arbeitsstättenrichtlinie.

Für das Fensterlayout wurden drei Varianten definiert, die jeweils zu einem Drittel (33,3 %) im Bestand verteilt angenommen wurden. Die Bauweise wurde in zwei Kategorien eingeteilt: schwere und leichte Bauweise. Es wurde eine Gleichverteilung angenommen, sodass 50 % der Gebäude in schwerer und 50 % in leichter Bauweise ausgeführt sind. Für die Regelungsstrategien der Raumlufthechnischen Anlagen wurden drei Varianten berücksichtigt: „6-Zonen Basis / Großraumbüro ohne Nachabsenkung“, „7-Zonen, Zellenbüro ohne Nachabsenkung“ und „7-Zonen, Zellenbüro mit Nachabsenkung“ (siehe Abschnitt "Ergebnisse des Jahresheiz- und Jahreskühlenergiebedarfs für Nichtwohngebäude"). Es wurde angenommen, dass 50 % der Gebäude die Standardstrategie verwenden, während jeweils 25 % die Basis- bzw. die effiziente Strategie

einsetzen. Die Bürostruktur wurde in zwei Kategorien eingeteilt: Großraumbüros und Einzelbüros und auch hier wurde eine Gleichverteilung von jeweils 50 % angenommen.

Durch die Kombination dieser Parameter entstanden insgesamt 162 Bürogebäudeklassen, die den deutschen Bürogebäudebestand repräsentieren.

Ein zentraler Aspekt der Untersuchung war die Berechnung der Büroauslastung in Abhängigkeit von der Home-Office-Nutzung. Hierzu wurde ein mathematisches Modell entwickelt, das den Zusammenhang zwischen der Verteilung der Home-Office-Szenarien, welche in Tabelle 29 definiert sind, und der resultierenden Büroauslastung beschreibt.

Für das Referenzszenario wurde eine durchschnittliche Büroauslastung von 70% angenommen, die einem Wert vor der Covid-19-Pandemie entspricht (Savills, 2024).

Die Berechnung der Büroauslastung für die verschiedenen Szenarien erfolgte mittels einer Funktion, die die Verteilung der Arbeitstage im Home-Office berücksichtigt. Die Funktion berechnet zunächst die durchschnittliche Anzahl von Büropräsenztagen pro Woche:

$$t_{\text{Präsenz,szen.}} = \varepsilon_{\text{HO}_0} \cdot 5d + \varepsilon_{\text{HO}_{20}} \cdot 4d + \varepsilon_{\text{HO}_{40}} \cdot 3d + \varepsilon_{\text{HO}_{60}} \cdot 2d + \varepsilon_{\text{HO}_{80}} \cdot 1d + \varepsilon_{\text{HO}_{100}} \cdot 0d$$

Anschließend wird die prozentuale Büropräsenz bezogen auf eine 5-Tage-Woche ermittelt:

$$x_{\text{Präsenz,szen.}} = \frac{t_{\text{Präsenz,szen.}}}{5d} \cdot 100\%$$

Die Büroauslastung für ein bestimmtes Szenario wird dann durch Skalierung der Referenzauslastung berechnet:

$$\varepsilon_{\text{Büro}} = \varepsilon_{\text{Büro,ref}} \frac{x_{\text{Präsenz,szen.}}}{x_{\text{Präsenz,ref}}}$$

Auf Basis dieser Berechnungsmethodik ergeben sich für die verschiedenen Szenarien Büroauslastungen, die in Tabelle 32 aufgelistet sind.

Tabelle 32: Resultierende Büroauslastung für die drei betrachteten Home-Office-Szenarien

Metrik	Szenario		
	HO-Minus	Referenz	HO-Plus
$t_{\text{Präsenz,szen.}}$	4,59 Tage	4,23 Tage	3,73 Tage
$x_{\text{Präsenz,szen.}}$	91,82%	84,74%	74,62%
$\varepsilon_{\text{Büro}}$	75,83%	70%	62,64%

In der Savills-Studie (Savills, 2024) wird für den gegenwärtigen Zeitraum eine Büroauslastung von 59-60% ermittelt und die berechnete Büroauslastung liegt im Home-Office-Plus-Szenario mit 62,53% nahe an den aktuell in der Praxis beobachteten Werten. Somit stellt das Referenz-Szenario ein Vorpandemieszenario dar, während das Home-Office-Plus-Szenario die aktuelle Situation darstellt. Mit diesen Szenarien kann also retropektiv betrachtet werden, wie sich die Veränderung zu mehr Home-Office energetisch theoretisch ausgewirkt hat und verglichen werden, wie sich eine Veränderung zu weniger Home-Office auswirken könnte.

Analog zum Vorgehen bei den Wohngebäuden wurden die im vorigen Kapitel beschriebenen Regressionsmodelle auf jede der 162 Bürogebäudeklassen angewendet. Dabei wurden drei Energieverbrauchskategorien ermittelt: Heizenergiebedarf, Stromverbrauch und Kühlenergiebedarf.

Die flächenspezifischen Energieverbräuche wurden mit der jeweiligen Nutzungsfläche und der Anzahl der Gebäude in jeder Klasse multipliziert, um den absoluten Energieverbrauch zu ermitteln. Durch Summation über alle Klassen ergibt sich der Gesamtenergieverbrauch des deutschen Bürogebäudesektors für die verschiedenen Szenarien.

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen wurden die ermittelten Energieverbräuche mit spezifischen Emissionsfaktoren multipliziert. Im Falle des Wärmeverbrauchs wurde basierend auf der Verteilung der Heizenergieträger in Büro- und Verwaltungsgebäuden ein gewichteter, mittlerer CO₂-Emissionsfaktor berechnet. Die Verteilung der Heizungssysteme im deutschen Bürogebäudebestand wurde dem IWU-Report (2022) entnommen.

Die spezifischen CO₂-Emissionsfaktoren für die verschiedenen Energieträger wurden analog zu den Wohngebäuden der Datenbank von Naturefund (2023) entnommen. Der so ermittelte mittlere Emissionsfaktor von 219 gCO₂/kWh wurde mit dem Gesamtwärmeverbrauch multipliziert, um die CO₂-Emissionen aus der Wärmebereitstellung zu berechnen.

Für den Stromverbrauch wurde derselbe CO₂-Emissionsfaktor wie bei den Wohngebäuden verwendet (344 gCO₂/kWh), der dem aktuellen deutschen Strommix entspricht. Dieser Faktor wurde mit dem Gesamtstromverbrauch multipliziert, um die CO₂-Emissionen aus dem Stromverbrauch zu berechnen.

Für die Kühlung wurde ein Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER) von 4,5 angenommen. Die SEER beschreibt das durchschnittliche Verhältnis zwischen Kühleistung zu elektrischer Leistung, die zur Kälteerzeugung erforderlich ist. Der daraus resultierende elektrische Energieverbrauch für die Kühlung wurde ebenfalls mit dem CO₂-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix multipliziert.

Die Summe aus den wärme-, strom- und kühlungsbedingten CO₂-Emissionen ergibt die Gesamtemissionen des Bürogebäudesektors für die verschiedenen Szenarien.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Datenlage zu Bürogebäuden in Deutschland weniger umfassend ist als zu Wohngebäuden. Insbesondere für Parameter wie Fensterlayout, Bauweise und Klimatisierungsstrategie mussten mangels statistischer Daten Annahmen getroffen werden. Diese Annahmen wurden auf Basis von Expertenwissen und Plausibilitätsüberlegungen getroffen, stellen jedoch eine Unsicherheitsquelle dar.

Ergebnisse der Hochrechnung

Die deutschlandweite Hochrechnung des Energieverbrauchs für verschiedene Home-Office-Szenarien liefert detaillierte Erkenntnisse über die Auswirkungen veränderter

Arbeitsmodelle auf den Gesamtenergieverbrauch. Im Folgenden werden die Ergebnisse dargestellt und im Kontext bestehender Referenzdaten analysiert.

Die Ergebnisse der Hochrechnung für die verschiedenen Szenarien sind in Abbildung 74 dargestellt. Sie zeigen den Energieverbrauch in Terawattstunden (TWh) aufgeschlüsselt nach Domäne (Wohngebäude und Nichtwohngebäude) sowie nach Energieart (Heizung, Kühlung und el. Energie) für ein gesamtes Jahr.

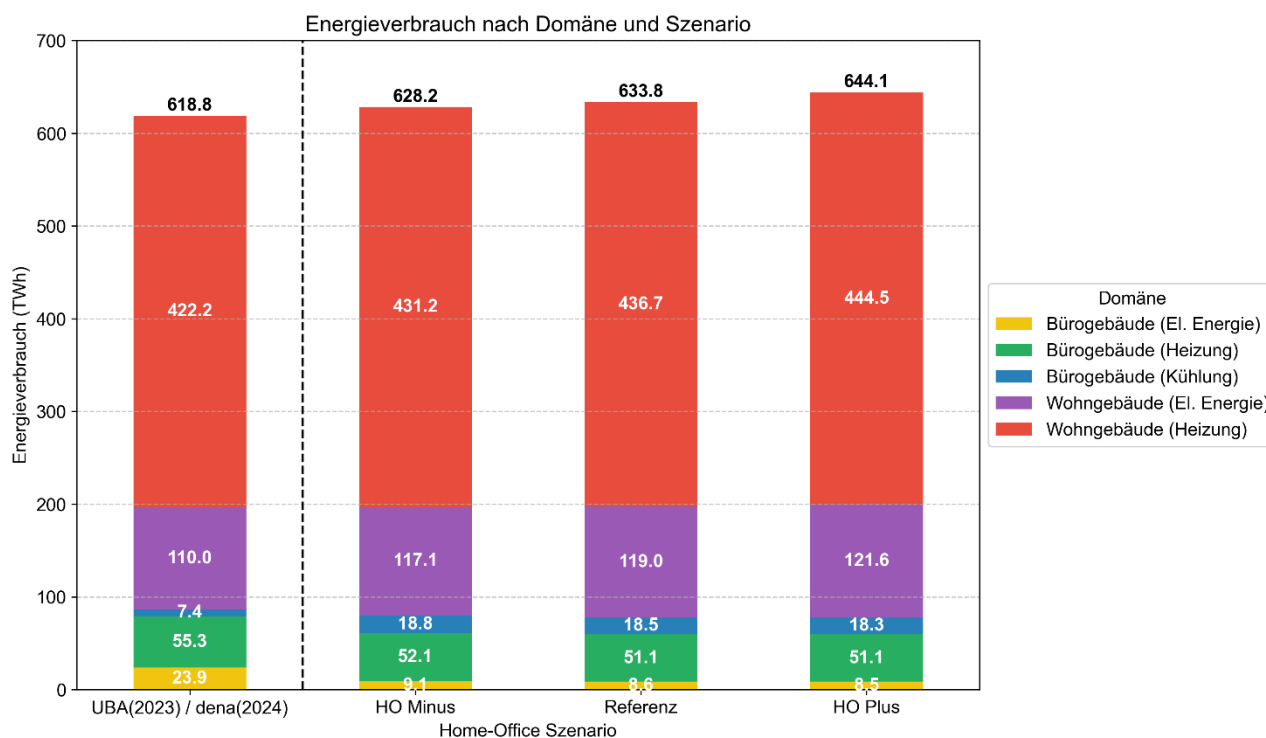


Abbildung 74: Ergebnisse der Hochrechnung für die Büro- und Wohngebäude hinsichtlich Energieverbrauch verglichen mit Validierungsdaten

Zum Vergleich wurde ein Validierungsszenario „UBA(2023) / dena (2024)“ eingefügt, welches auf empirischen Daten des Umweltbundesamtes für Wohngebäude und der Deutschen Energie-Agentur (dena) für Bürogebäude basiert.

Das Validierungsszenario zeigt die Verteilung des Energieverbrauchs basierend auf Literaturwerten mit einem Gesamtenergieverbrauch von 618,8 TWh. Die Daten unterstreichen die dominierende Rolle des Wohngebäudesektors im Gesamtenergieverbrauch, insbesondere im Bereich der Raumwärme mit 422,2 TWh für die Wohngebäudebeheizung und 110,0 TWh für den elektrischen Energieverbrauch der Wohngebäude. Im Nichtwohngebäudebereich trägt die Heizung mit 55,3 TWh, der elektrische Energieverbrauch mit 23,9 TWh und die Kühlung mit 7,4 TWh zum Gesamtverbrauch bei. Eine signifikante Abweichung zwischen dem Validierungsszenario und dem simulierten Referenzszenario besteht in der Verteilung von Strom- und Kühlungsbedarf bei Nichtwohngebäuden, was später detaillierter diskutiert wird.

Das Referenzszenario zeigt einen Gesamtenergieverbrauch von 633,8 TWh. Die Wohngebäudebeheizung verbraucht 436,7 TWh und der elektrische Energieverbrauch der Wohngebäude beträgt 119,0 TWh. Bei den Nichtwohngebäuden entfallen 51,1 TWh auf die Heizung, 8,6 TWh auf den elektrischen Energieverbrauch und 18,5 TWh auf die Kühlung.

Ein deutlicher Unterschied zwischen dem Validierungsszenario und dem Referenzszenario liegt in der Verteilung von Strom- und Kühlungsbedarf bei Nichtwohngebäuden. Während im Validierungsszenario der Stromverbrauch deutlich höher und der Kühlungsbedarf niedriger ausfällt, zeigt das Referenzszenario einen höheren Kühlungsbedarf bei geringerem Stromverbrauch.

Trotz dieser Diskrepanz zeigt der Vergleich, dass die Größenordnungen des Gesamtenergieverbrauchs gut übereinstimmen, was die grundsätzliche Validität der Simulationsergebnisse bestätigt.

Das Home-Office-Minus-Szenario, das eine reduzierte Home-Office-Nutzung im Vergleich zum Referenzszenario modelliert, weist einen Gesamtenergieverbrauch von 628,2 TWh auf, was einer leichten Reduktion von 1,1 % gegenüber dem Referenzszenario entspricht. Die Wohngebäudeheizung verbraucht 431,2 TWh (-1,3% gegenüber dem Referenzszenario) und der elektrische Energieverbrauch der Wohngebäude 117,1 TWh (-1,6 %). Bei den Nichtwohngebäuden ist ein leichter Anstieg des Heizenergiebedarfs auf 52,1 TWh (+0,2 %) und des elektrischen Energieverbrauchs auf 9,1 TWh (+3,4 %) zu verzeichnen, während der Kühlenergiebedarf mit 18,8 TWh (+1,6 %) geringfügig steigt.

Diese Verschiebungen deuten darauf hin, dass eine Rückkehr zu mehr Präsenzarbeit insgesamt zu einer leichten Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs führen könnte, wobei die Einsparungen im Wohngebäudebereich die zusätzlichen Verbräuche im Nichtwohngebäudebereich überkompensieren.

Das Home-Office-Plus-Szenario, das eine verstärkte Home-Office-Nutzung modelliert, zeigt mit 644,1 TWh den höchsten Gesamtenergieverbrauch aller betrachteten Szenarien, was einer Steigerung von 1,4 % gegenüber dem Referenzszenario entspricht. Die Wohngebäudeheizung steigt auf 444,5 TWh (+1,8% gegenüber dem Referenzszenario) und der elektrische Energieverbrauch der Wohngebäude auf 121,6 TWh (+2,2 %). Bei den Nichtwohngebäuden ist hingegen ein Rückgang des Heizenergiebedarfs auf 51,1 TWh (-1,7 %), des elektrischen Energieverbrauchs auf 8,5 TWh (-3,4 %) und des Kühlenergiebedarfs auf 18,3 TWh (-2,7 %) zu beobachten.

Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass eine verstärkte Home-Office-Nutzung zu einer Verschiebung des Energieverbrauchs vom Nichtwohngebäude- in den Wohngebäudesektor führt, wobei der Gesamtenergieverbrauch insgesamt zunimmt.

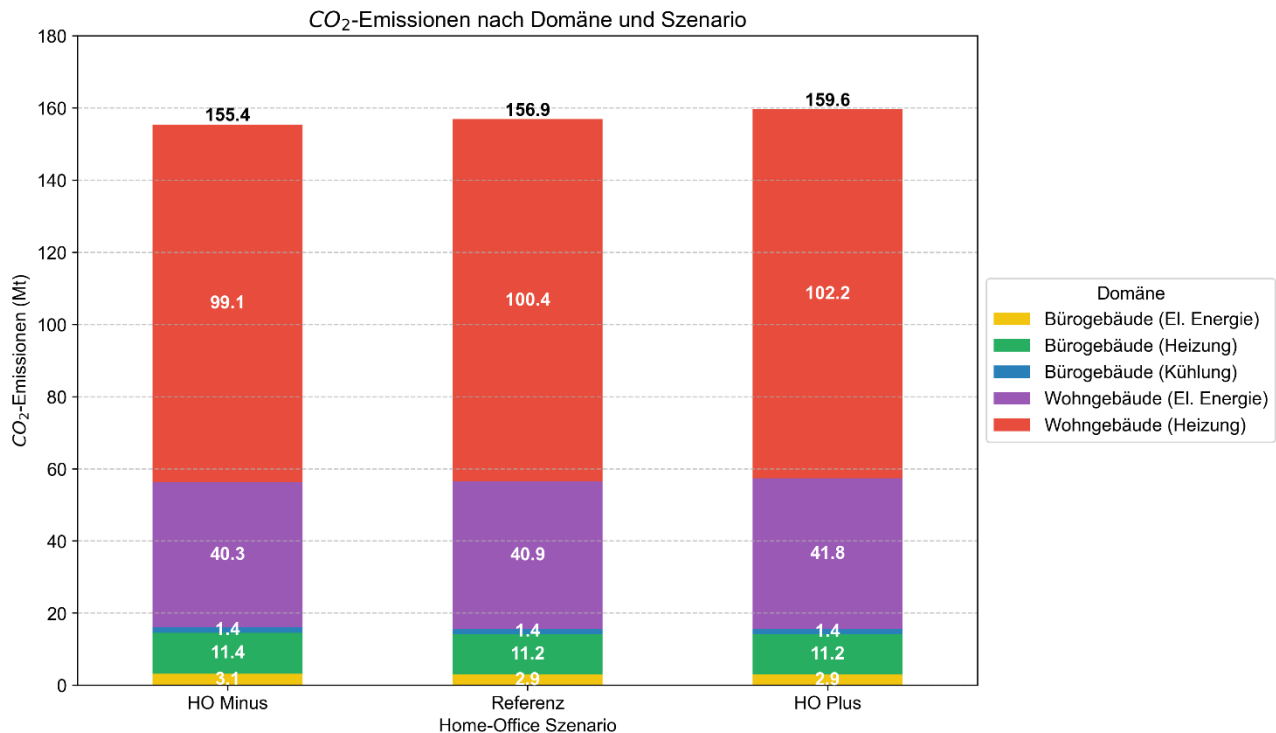


Abbildung 75: Ergebnisse der Hochrechnung für die Büro- und Wohngebäude hinsichtlich CO₂-Emissionen

Parallel zur Energieverbrauchsanalyse wurden die CO₂-Emissionen für alle Szenarien berechnet und in Abbildung 75 dargestellt. Die Emissionen sind aufgeschlüsselt nach Domäne und Energieart, wobei die spezifischen Emissionsfaktoren der verschiedenen Energieträger gemäß den beschriebenen Verteilungen angewendet wurden.

Die CO₂-Emissionen folgen grundsätzlich dem Muster der Energieverbräuche, zeigen jedoch aufgrund der unterschiedlichen Emissionsfaktoren der Energieträger charakteristische Abweichungen. Im Referenzszenario betragen die Gesamtemissionen 156,9 Mt CO₂ pro Jahr.

Die Verteilung der Emissionen zeigt eine noch stärkere Dominanz des Wohngebäudesektors als beim Energieverbrauch. Dies liegt an der Energieträgerverteilung im Wohnbereich, die einen höheren Anteil fossiler Brennstoffe aufweist. Der Heizenergiebedarf der Wohngebäude verursacht mit 100,4 Mt CO₂ etwa 64% der Gesamtemissionen im Referenzszenario. Der elektrische Energieverbrauch in Wohngebäuden trägt weitere 40,9 Mt CO₂ bei, was 26% der Gesamtemissionen entspricht.

Im Home-Office-Minus-Szenario sinken die Gesamtemissionen auf 155,4 Mt CO₂, was einer Reduktion von 1,0 % gegenüber dem Referenzszenario entspricht. Diese Verringerung ist geringer als die entsprechende Energieeinsparung, da die Energieeinsparungen überwiegend im elektrischen Bereich auftreten, der einen höheren CO₂-Emissionsfaktor aufweist.

Das Home-Office-Plus-Szenario führt zu den höchsten CO₂-Emissionen mit 159,6 Mt CO₂ pro Jahr, was einer Steigerung von 1,7 % gegenüber dem Referenzszenario entspricht.

Diese Zunahme ist prozentual höher als die entsprechende Energieverbrauchssteigerung, da der zusätzliche Energiebedarf hauptsächlich im Wohngebäudebereich auftritt, der einen weniger günstigen Energieträgermix aufweist.

Bei den Bürogebäuden sind die Emissionen aus der Heizung mit 11,2 Mt CO₂ im Referenzszenario geringer als die entsprechenden Werte für den Wohngebäudebereich. Dies liegt zum einen am geringeren absoluten Energieverbrauch, zum anderen an dem günstigeren Energieträgermix mit einem höheren Anteil an Fernwärme und einem geringeren Anteil an Heizöl.

Die Emissionen aus der Kühlung in Bürogebäuden betragen etwa 2,6 Mt CO₂ im Referenzszenario. Obwohl der absolute Kühlenergiebedarf gering ist, führt die Umwandlung über elektrischen Energieverbrauch zu nennenswerten CO₂-Emissionen aufgrund des hohen Emissionsfaktors des deutschen Strommixes.

In allen Szenarien entfallen etwa 87-88% des Gesamtenergieverbrauchs auf den Wohngebäudesektor. Dies unterstreicht die Bedeutung von Effizienzmaßnahmen in diesem Bereich für die Gesamtenergiebilanz. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die zentrale Bereitstellung von Heizenergie und Strom in Bürogebäuden effizienter ist als die dezentrale Versorgung vieler einzelner Gebäude und Wohnungen. Die Flächeneffizienz ist in Bürogebäuden typischerweise höher, d.h., die beheizte Fläche pro Person ist geringer als in Wohngebäuden.

Die Szenarien zeigen, dass verstärktes Home-Office zu Einsparungen im Nichtwohngebäudebereich führt, diese jedoch durch Mehrverbräuche im Wohngebäudebereich überkompensiert werden. Dies führt zu einem insgesamt höheren Gesamtenergieverbrauch. Die Analyse der CO₂-Emissionen verdeutlicht, dass Maßnahmen zur CO₂-Reduktion vorrangig im Wohngebäudebereich ansetzen sollten. Hier bieten sich sowohl Effizienzsteigerungen bei der Wärmebereitstellung als auch eine Dekarbonisierung des Energieträgermixes durch verstärkten Einsatz von Wärmepumpen und erneuerbaren Energien an.

Bei der Interpretation der Ergebnisse sollten einige Einschränkungen berücksichtigt werden. Für einige Parameter mussten mangels statistischer Daten Annahmen getroffen werden, insbesondere im Bereich der Bürogebäude. Diese Annahmen könnten die Ergebnisse beeinflussen. Das Nutzerverhalten wurde in den Simulationen vereinfacht abgebildet. In der Realität gibt es eine größere Vielfalt an Verhaltensmustern, die zu abweichenden Energieverbräuchen führen können. Die Hochrechnung berücksichtigt primär den Energiebedarf für Raumwärme, Kühlung und Elektrizität. Andere Energieverbräuche wie Warmwasserbereitung wurden nicht einbezogen. Die Hochrechnung berücksichtigt nicht dynamische Anpassungsprozesse, wie beispielsweise veränderte Baustandards oder technologische Innovationen.

Trotz dieser Limitationen bieten die Ergebnisse wertvolle Einblicke in die energetischen Auswirkungen verschiedener Home-Office-Szenarien und können als Grundlage für weiterführende Analysen und politische Entscheidungen dienen.

Zusammenfassung

Basierend auf umfangreichen Gebäudesimulationen wurden Regressionsmodelle für Wohn- und Bürogebäude entwickelt, die eine zuverlässige Prognose des Energieverbrauchs ermöglichen. Für Wohngebäude wurden 564 Simulationsläufe durchgeführt, für Bürogebäude 494. Als Regressionsalgorithmus kam der GradientBoostingRegressor zum Einsatz, der sich durch seine Fähigkeit auszeichnet, heterogene Daten zu verarbeiten und nicht-lineare Zusammenhänge abzubilden. Die Validierung erfolgte mittels 5-facher Kreuzvalidierung, wobei die Modellgüte anhand des Bestimmtheitsmaßes (R^2) und des Standard Error of Regression (SER) bewertet wurde. Die Regressionsmodelle zeigen hohe Vorhersagegenauigkeiten: Für Wohngebäude werden R^2 -Werte von 0,872 (Wärmeverbrauch) bis 1,000 (elektrischer Energieverbrauch) erreicht. Bürogebäude weisen noch bessere Ergebnisse auf ($R^2 = 0,953$ bis 1,000).

Für die deutschlandweite Hochrechnung wurden drei Home-Office-Szenarien definiert: das Referenzszenario mit aktueller Verteilung (75,95% ohne Home-Office), das Home-Office-Minus-Szenario mit reduzierter Home-Office-Nutzung (87,1% ohne Home-Office) und das Home-Office-Plus-Szenario mit verstärkter Home-Office-Nutzung (60% ohne Home-Office). Die Wohngebäudedaten basierten auf Zensus 2022-Daten und projektspezifischen Umfrageergebnissen. Durch Kombination von Gebäudetyp, Baujahrsklasse, Wohnfläche, Heizverhalten, Sanierungszustand und Home-Office-Anteil entstanden 4.800 Wohngebäudeklassen. Die Bürogebäudedaten stammten hauptsächlich aus dem dena-Fokusthemenbericht 2024, ergänzt durch begründete Annahmen für Parameter ohne verfügbare Statistiken, was zu 162 Bürogebäudeklassen führte. Ein zentraler Aspekt war die Berechnung der Büroauslastung in Abhängigkeit der Home-Office-Nutzung. Basierend auf einem Referenzwert von 70% (Vor-Pandemie-Niveau) ergaben sich Auslastungen von 76,93% (Home-Office-Minus), 70,00% (Referenz) und 62,53% (Home-Office-Plus), wobei letzterer Wert nahe an aktuell beobachteten 59-60% liegt.

Die Hochrechnung ergibt, dass verstärktes Home-Office zu einem leichten Anstieg des Gesamtenergieverbrauchs im Gebäudesektor führt. Das Home-Office-Plus-Szenario weist mit 644,1 TWh den höchsten Verbrauch auf, gefolgt vom Referenzszenario (635,2 TWh) und dem Home-Office-Minus-Szenario (628,2 TWh). Ein Validierungsvergleich mit Literaturdaten (UBA/dena: 618,8 TWh) bestätigte die Plausibilität der Simulationsergebnisse trotz Unterschiede, insbesondere bei der Zuordnung von Strom- und Kühlverbräuchen in Bürogebäuden. Der Wohngebäudesektor dominiert mit 87-88% des Gesamtenergieverbrauchs. Die Verschiebung von Büro- zu Home-Office führt zu einer Verlagerung vom effizienten Nichtwohngebäude- in den weniger effizienten Wohngebäudebereich, was den Gesamtanstieg erklärt.

Die CO_2 -Emissionen folgen dem Energieverbrauchsmuster mit noch ausgeprägteren Unterschieden zwischen den Szenarien. Das Home-Office-Plus-Szenario führt zu 159,6 Mt CO_2 , das Referenzszenario zu 156,9 Mt CO_2 und das Home-Office-Minus-Szenario zu 155,4 Mt CO_2 . Die überproportionale Zunahme der Emissionen im Home-Office-Plus-Szenario resultiert aus dem ungünstigeren Energieträgermix im Wohnbereich mit höherem Anteil fossiler Brennstoffe. Der Wohngebäudesektor verursacht etwa 90% der CO_2 -

Emissionen, wobei allein die Wohngebäudeheizung 64% der Gesamtemissionen ausmacht. Dies unterstreicht die zentrale Bedeutung dieses Bereichs für klimapolitische Maßnahmen. Die Analyse zeigt mehrere wichtige Zusammenhänge auf: Die zentrale Bereitstellung von Heizenergie und Strom in Bürogebäuden ist effizienter als die dezentrale Versorgung vieler Wohnungen. Die Flächeneffizienz in Bürogebäuden ist höher, da die beheizte Fläche pro Person geringer ist.

Die Studie weist einige Einschränkungen auf: Für Bürogebäudeparameter mussten mangels statistischer Daten Annahmen getroffen werden. Das Nutzerverhalten wurde vereinfacht modelliert, obwohl in der Realität größere Verhaltensvariabilität besteht. Die Hochrechnung fokussiert auf Raumwärme, Kühlung und Elektrizität, andere Energieverbräuche wie Warmwasserbereitung wurden nicht berücksichtigt. Anpassungsprozesse wie veränderte Baustandards, technologische Innovationen oder ein effizienteres Nutzungsverhalten blieben unberücksichtigt.

Die Hochrechnung demonstriert, dass Home-Office aus energetischer Sicht ein zweischneidiges Schwert darstellt. Während es Potenziale zur Reduktion des Energiebedarfs in Bürogebäuden bietet, führt es ohne begleitende Maßnahmen zu einem Anstieg des Gesamtenergieverbrauchs und der CO₂-Emissionen. Eine erfolgreiche Energiewende erfordert daher eine ganzheitliche Betrachtung, die sowohl die Optimierung von Bürogebäuden als auch die energetische Ertüchtigung des Wohngebäudebestands sowie eines bewussten und effizienten Nutzungsverhaltens umfasst. Die entwickelten Modelle und Erkenntnisse bieten eine fundierte Grundlage für weiterführende Analysen und politische Entscheidungen zur energetischen Optimierung unterschiedlicher Arbeitsmodelle.

Hochrechnung der Emissionen durch Pendelwege zur Arbeit

In diesem Kapitel wird modellhaft abgeschätzt, in welchem Umfang CO₂-Emissionen durch den Wegfall täglicher Pendelwege zur Arbeitsstätte in Deutschland potenziell vermieden werden könnten und welches Einsparpotenzial sich aus einer verstärkten Nutzung von Home-Office ergibt. Grundlage der Berechnungen ist eine Emissionsmodellierung für die drei betrachteten Szenarien, in der die CO₂-Emissionen aller Erwerbstätigen durch den beruflich bedingten Pendelverkehr ermittelt werden.

Hierfür sind Annahmen über die genutzten Verkehrsmittel der Erwerbstätigen erforderlich, da die Wahl des Verkehrsträgers maßgeblich von der Entfernung zwischen Wohn- und Arbeitsort abhängt. Auf Basis der Daten aus der Studie Mobilität in Deutschland 2017 (BAST 2017) wurden Verkehrsmittelanteile für unterschiedliche Entfernungsklassen gebildet und aggregiert. Diese Aggregation dient als Grundlage für die modellhafte Zuordnung der Verkehrsmittel im Rahmen der Emissionsberechnung. Die getroffenen Annahmen sind in Abbildung 76 dargestellt.

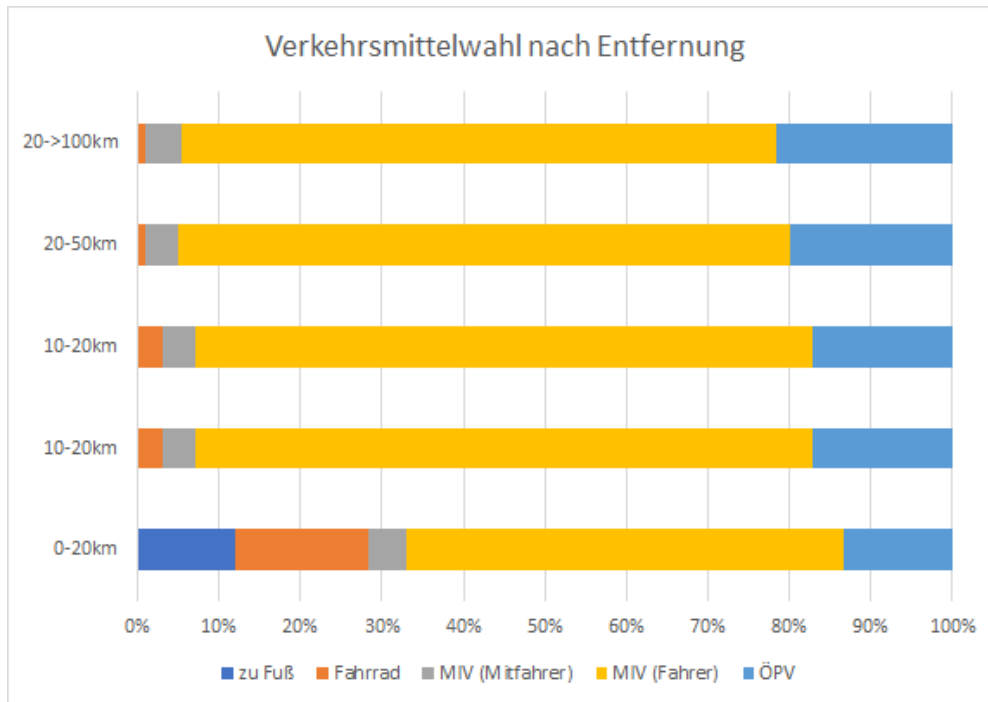


Abbildung 76: Verkehrsmittelwahl nach Entfernung

Empirische Untersuchungen sowie die Ergebnisse der eigenen Befragung bestätigen eine Korrelation zwischen der Anzahl Arbeitstage im Home-Office und der Entfernung zum Arbeitsplatz. Diese Beziehung ist jedoch in der Praxis weder linear noch universell ausgeprägt. Sie wird durch verschiedene Einflussfaktoren beeinflusst, darunter betriebliche Regelungen, individuelle Präferenzen sowie die technischen und organisatorischen Voraussetzungen für das Arbeiten im Home-Office.

Für die Modellierung der Szenarien ist es jedoch erforderlich, diesen Zusammenhang durch Annahmen zu quantifizieren. In diesem Zusammenhang wurde auf Grundlage der Befragungsergebnisse eine systematische Zuordnung der durchschnittlichen Pendeldistanzen in Abhängigkeit von der Anzahl der Home-Office-Tage vorgenommen. Die dabei zugrunde gelegten Annahmen sind in Abbildung 77 dargestellt.

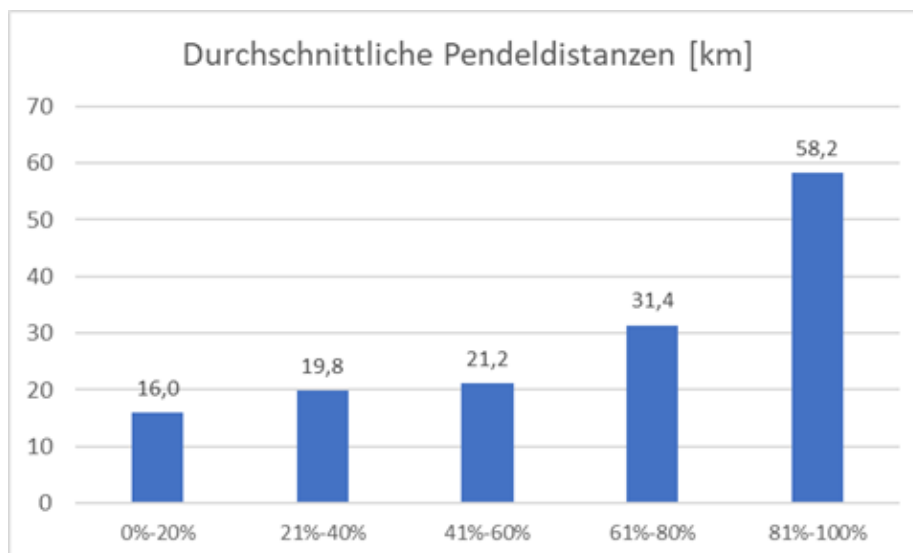


Abbildung 77: Durchschnittliche Pendeldistanzen nach Anteil im Home-Office der Arbeitnehmer*innen

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen, die durch die insgesamt zurückgelegten Pendelwege verursacht werden, sind neben den zurückgelegten Distanzen auch die verkehrsmittelspezifischen Emissionsfaktoren erforderlich. Diese geben an, wie viel Treibhausgasemissionen pro Personenkilometer in Abhängigkeit vom gewählten Verkehrsträger entstehen. Die entsprechenden spezifischen Emissionswerte wurden Umweltbundesamt (2021) entnommen und sind in Tabelle 33 zusammengefasst.

Tabelle 33: Spezifische Treibhausgasemissionen nach Verkehrsträgern. Quelle: Umweltbundesamt (2021)

Verkehrsmittel	g CO _{2eq} / km
Auto	194
Fahrrad	9
Öffentlicher Personenverkehr	78
Fahrgemeinschaft	97
Zu Fuß	0

Ein weiterer relevanter Einflussfaktor auf die CO₂-Emissionen im Zusammenhang mit dem beruflichen Pendelverkehr sind Veränderungen der Wohnstandorte durch Umzüge, die zu veränderten Pendeldistanzen führen können. Im Rahmen der Befragung wurde daher auch erhoben, ob Erwerbstätige Umzugsabsichten haben und inwieweit das Arbeiten im Home-Office diese beeinflusst.

Etwa 40 % der Befragten gaben an, grundsätzlich einen Umzug in Erwägung zu ziehen. Von diesen wiederum erklärten rund drei Viertel, dass das Home-Office einen Einfluss auf ihre Umzugspläne habe (Abbildung 78). Ob und in welchem Umfang diese Pläne tatsächlich realisiert wurden, konnte im Rahmen der Erhebung allerdings nicht überprüft werden. Gleichwohl lässt sich festhalten, dass für fast ein Drittel der Befragten das Home-Office einen Einfluss auf die Umzugsplanungen hat. Da eine belastbare Einschätzung zur tatsächlichen Realisierung der Umzugsabsichten nicht möglich ist, mussten für die Modellierung Annahmen getroffen werden. In Anlehnung an Deutsche Post Adress (2024) wurde angenommen, dass 10 % der Erwerbstätigen infolge veränderter Arbeitsortflexibilität

umziehen. Dabei wurde unterstellt, dass die Erwerbstätigen, die bereits Home-Office nutzen, künftig einen zusätzlichen Tag pro Woche von zu Hause aus arbeiten und infolgedessen in eine größere Entfernungskategorie gemäß Abbildung 77 ziehen. Diese Annahmen fließen in die Emissionsberechnung als potenzielle Veränderung der Pendeldistanzen ein.

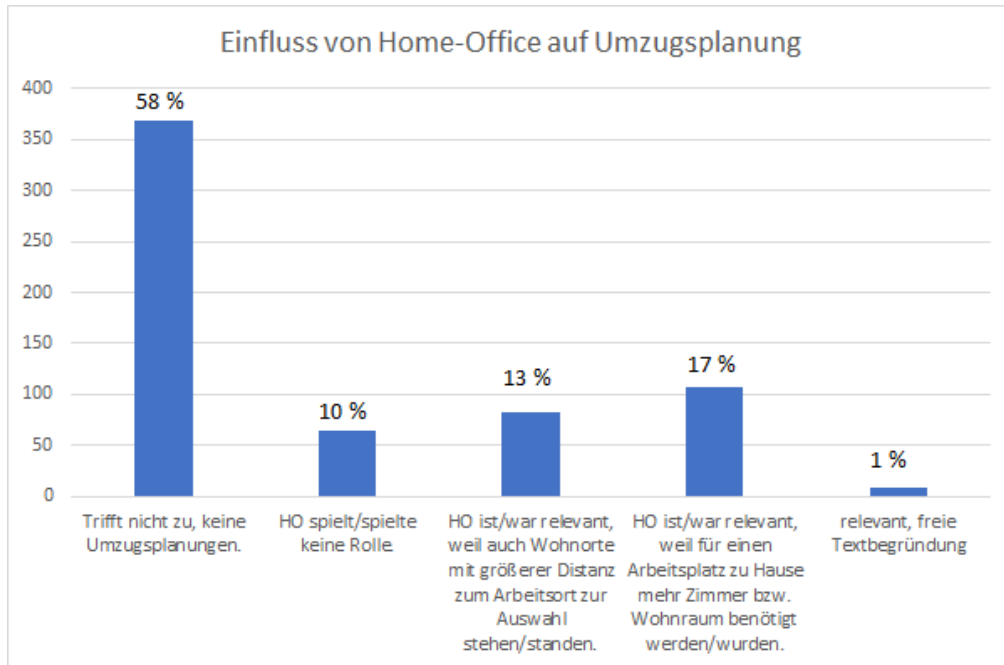


Abbildung 78: Einfluss von Home-Office auf Umzugspläne (eigene Befragung) (Frage: „Planen Sie einen Umzug und hat Home-Office Einfluss auf diese Planung?“), n = 639

Auf Grundlage der beschriebenen Annahmen wurden für die drei definierten Szenarien die jährlichen CO₂-Emissionen aller Erwerbstätigen durch den beruflich bedingten Pendelverkehr berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 79 dargestellt.

Im Referenzszenario belaufen sich die jährlichen CO₂-Emissionen auf 35,2 Millionen Tonnen. Im Szenario mit einem geringeren Home-Office-Anteil würden die Emissionen um etwa 2 Millionen Tonnen höher ausfallen. Im Gegensatz dazu zeigt das Szenario mit einem deutlich ausgeweiteten Home-Office-Anteil ein Einsparpotenzial von rund 3 Millionen Tonnen CO₂ im Vergleich zur Referenz. Diese Ergebnisse zeigen das Potenzial, das in der verstärkten Nutzung von Home-Office liegt.

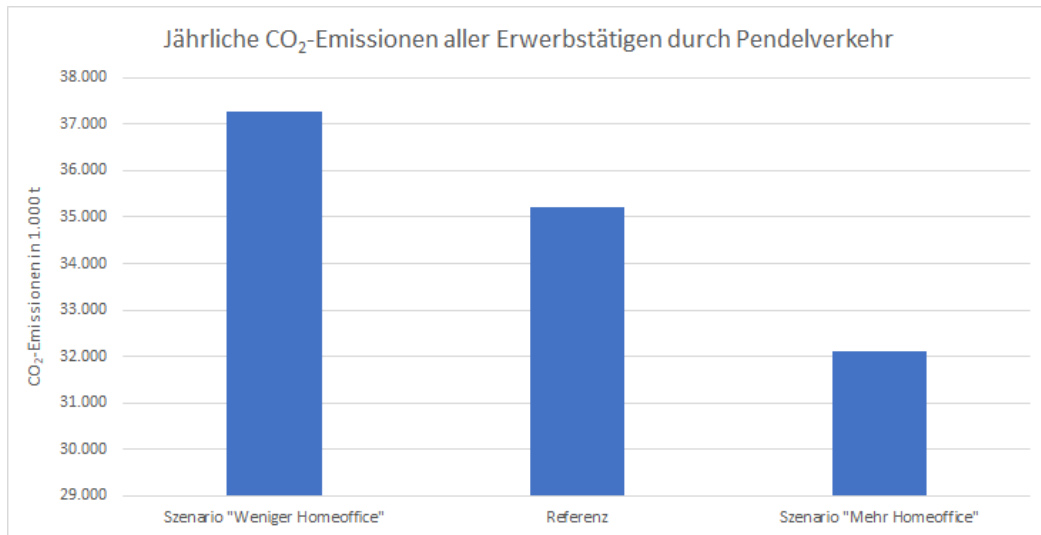


Abbildung 79: Jährliche CO₂-Emissionen aller Erwerbstätigen mit Hauptwohnsitz in Deutschland durch Pendelverkehr in den Szenarien

Hochrechnung der Emissionen durch die IKT-Nutzung

Zur Einordnung wurde eine Hochrechnung der Ergebnisse auf Personenebene auf ganz Deutschland gemacht. Es wurden die drei definierten Szenarien zu Grunde gelegt. Alle drei Szenarien wurden für beide Ausstattungsintensitäten berechnet. In Abbildung 80 sind die Ergebnisse für eine geringe Ausstattungsintensität dargestellt. Dabei wurde angenommen, dass 87,5 % der Erwerbstätigen einen Computer nutzt (Hall, 2024). Für die Erwerbstätigen, die keinen Computer nutzen (12,5 %), wurde angenommen, dass sie nicht im Home-Office arbeiten. Bei einer geringen Ausstattungsintensität unterscheiden sich die Treibhauspotenziale zwischen den Szenarien nur wenig. Im Vergleich zum Referenzszenario weist das Szenario mit weniger Home-Office -4,7 % CO_{2eq}-Emissionen auf. Bei einem höheren Anteil an Home-Office (40 %) steigen die Gesamtemissionen auf 9,3 Mt CO₂-eq/a. Der Hauptemissionstreiber in allen Szenarien ist die Herstellung der Ausstattung, während der Stromverbrauch relativ konstant bleibt. Videocalls tragen nur einen sehr geringen Anteil zur Gesamtemission bei.

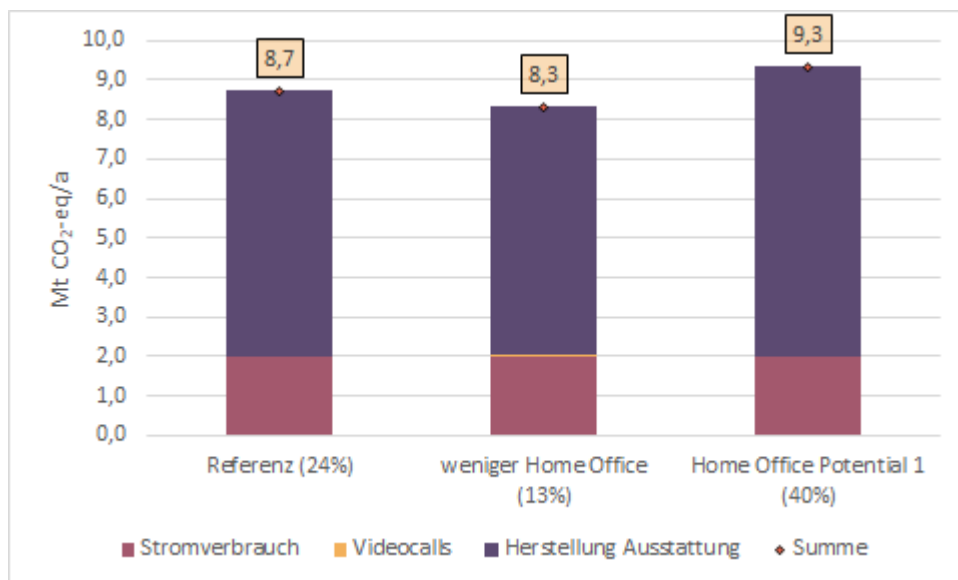


Abbildung 80: Hochrechnung der IKT-Nutzung für geringe Ausstattungsintensität

Abbildung 81 illustriert die Treibhausgasemissionen in den drei Szenarien mit hoher Ausstattungsintensität, differenziert nach den Kategorien Stromverbrauch (rot), Videokonferenzen (gelb) und Herstellung der technischen Ausstattung (blau). Bei einem erhöhten Anteil an Home-Office (40 %) steigen die Gesamtemissionen auf 23,1 Mt CO₂-Äquivalente pro Jahr. Im Vergleich dazu liegen die Emissionen im Referenzszenario bei 22,1 Mt CO₂-eq/a und im Szenario mit geringerem Home-Office-Anteil bei 21,9 Mt CO₂-eq/a. Der Anstieg wird primär durch die Zunahme der Emissionen aus der Herstellung von Ausstattung verursacht. Der Stromverbrauch ist ebenfalls höher im Szenario mit mehr Home-Office, während Videocalls nur einen minimalen Anteil ausmachen.

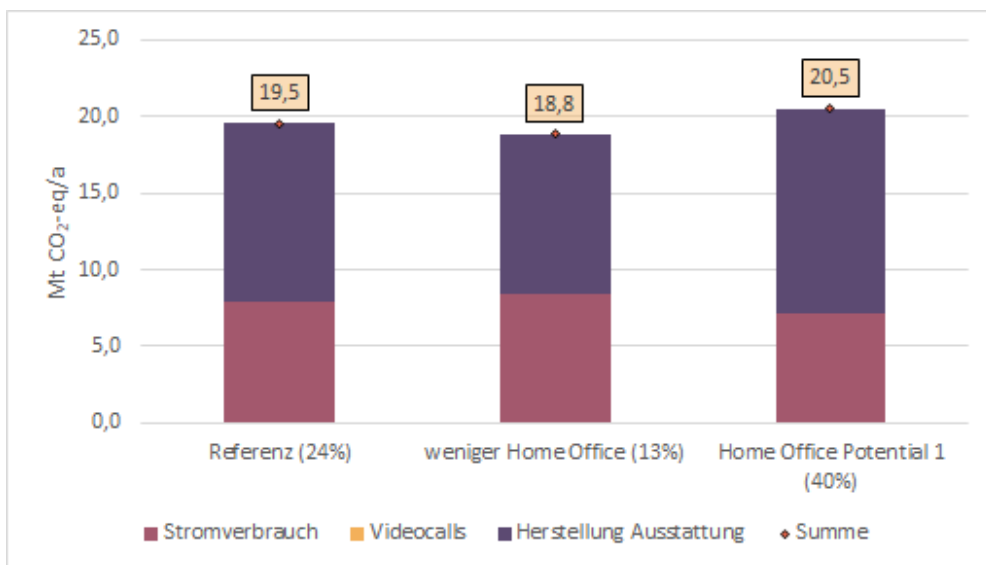


Abbildung 81: Hochrechnung der IKT-Nutzung für hohe Ausstattungsintensität

Für das Szenario mit einem maximalen Home-Office-Potenzial ergibt sich eine Veränderung von +5,1 % im Vergleich zum Referenzszenario.

Die Emissionen steigen bei einer höheren Home-Office-Quote, da Home-Office immer mit einer höheren IKT-Ausstattung einhergeht. In den Szenarien mit mehr Home-Office machen entsprechend weniger Menschen kein Home-Office und es kommt zu einer Zunahme der IKT-Ausstattung, was wiederum zu höheren Treibhausemissionen führt.

In der folgenden Abbildung 82 ist der Einfluss der verschiedenen Home-Office Konfigurationen auf das Gesamtergebnis abgebildet.

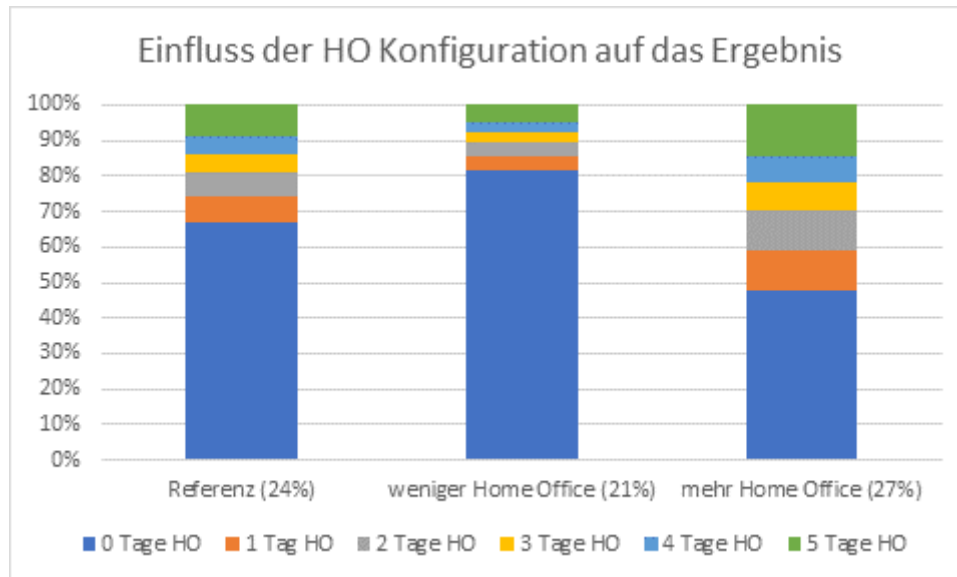


Abbildung 82: Einfluss der Home-Office Konfigurationen auf das Gesamtergebnis

In allen Szenarien hat die IKT-Ausstattung und -Nutzung der Erwerbstätigen, die gar nicht im Home-Office arbeiten, den größten Anteil. Im Referenzszenario und im Szenario mit weniger Home-Office sind es 67 % bzw. 82 %. Bei einem höheren Home-Office-Anteil sinkt der Einfluss auf einen Anteil von 48 %.

In der Hochrechnung zeigt sich, dass eine Erhöhung der Home-Office-Quote mit einem leichten Anstieg der Treibhausgasemissionen verbunden ist, da die zusätzliche Ausstattung im Home-Office die Vorteile einer reduzierten Büropräsenz überwiegt. Für eine nachhaltigere Gestaltung von Arbeitsmodellen empfiehlt sich daher ein stärkerer Fokus auf eine reduzierte und langlebige Ausstattung sowie energieeffiziente IK-Technologien.

Zusammenfassende Bewertung der Kohlendioxid-Emissionen aus den Domänen Wohn- und Nichtwohngebäude, Mobilität und IKT-Nutzung

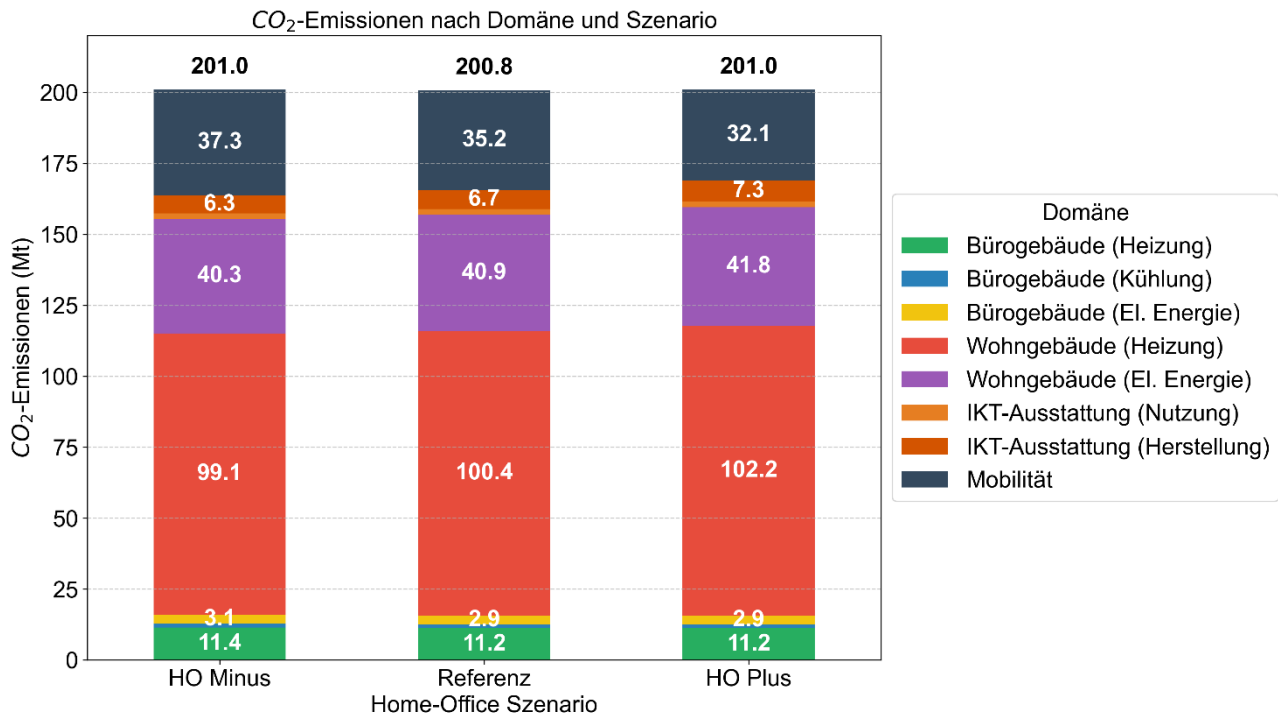


Abbildung 83: Ergebnisse der gemeinsamen Hochrechnung für die Wohn- und Nichtwohngebäude, Mobilität und IKT-Nutzung hinsichtlich CO₂-Emissionen

Basierend auf dem gestapelten Balkendiagramm in Abbildung 83 lassen sich die folgenden übergeordneten Erkenntnisse zur Gesamtbewertung der CO₂-Emissionen aus den drei untersuchten Domänen ableiten:

Die Gesamtbetrachtung aller drei Domänen zeigt deutlich, dass der Gebäudesektor mit Abstand den größten Anteil an den CO₂-Emissionen verursacht. Mit etwa 155-160 Mt CO₂ pro Jahr dominieren die Emissionen aus Wohn- und Nichtwohngebäuden das Gesamtergebnis und machen rund 75-80% der betrachteten Gesamtemissionen aus. Im Vergleich dazu fallen die Emissionen aus dem Pendelverkehr mit etwa 32-37 Mt CO₂ sowie aus der IKT-Nutzung mit rund 7 Mt CO₂ deutlich geringer aus.

Bemerkenswert ist, dass alle drei Szenarien nahezu identische Gesamtemissionen von etwa 201 Mt CO₂ aufweisen, sich jedoch die Verteilung zwischen den Domänen unterscheidet. Im Home-Office-Minus-Szenario, das eine reduzierte Home-Office-Nutzung modelliert, sind die Pendelemissionen mit 37,3 Mt CO₂ am höchsten, während die Wohngebäudeemissionen mit 99,1 Mt CO₂ am niedrigsten ausfallen. Das Referenzszenario zeigt ausgeglichene Werte mit 35,2 Mt CO₂ für Mobilität und 100,4 Mt CO₂ für Wohngebäudeheizung.

Im Home-Office-Plus-Szenario kehrt sich das Verhältnis um: Die Pendelemissionen sinken auf 32,1 Mt CO₂, während die Wohngebäudeemissionen auf 102,2 Mt CO₂ ansteigen. Die IKT-Emissionen variieren nur geringfügig zwischen 6,3 Mt CO₂ (Home-Office-Minus) und 7,3 Mt CO₂ (Home-Office-Plus).

Die Analyse verdeutlicht, dass sich die Effekte der verschiedenen Home-Office-Szenarien zwischen den Domänen nahezu vollständig kompensieren. Während verstärktes Home-Office zu erheblichen Einsparungen im Mobilitätsbereich führt, werden diese durch entsprechende Mehrverbräuche im Wohngebäudesektor ausgeglichen. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer ganzheitlichen Betrachtung von Home-Office-Strategien. Für eine effektive CO₂-Reduktion ist daher nicht primär die Arbeitsplatzwahl entscheidend, sondern vielmehr die energetische Optimierung sowohl des Wohn- als auch des Bürogebäudebestands sowie die Dekarbonisierung der Energieversorgung insgesamt. Zudem spielt das Nutzerverhalten im Home-Office eine wichtige Rolle, sowohl für die Modellierungsgenauigkeit als auch für die tatsächlichen Umweltauswirkungen in der Praxis.

2.1.8 AP 8: Handlungsempfehlungen und Online-Berechnungs-Tool (Lead E3D)

Online-Berechnungs-Tool

Ein zentrales Ziel des HOffEn-Projekts war die praxisnahe und benutzerfreundliche Bereitstellung der Forschungsergebnisse für verschiedene Zielgruppen. Zu diesem Zweck wurde eine interaktive Web-Anwendung entwickelt, die unter <https://hoffen-webapp.eonerc.rwth-aachen.de/> öffentlich zugänglich ist. Die WebApp integriert die verschiedenen Arbeitspakete des Projekts in einer einheitlichen Plattform und ermöglicht sowohl Privatpersonen als auch Unternehmen eine individuelle Bewertung ihrer Home-Office-Nutzung hinsichtlich energetischer und gesundheitlicher Aspekte.

Die HOffEn-WebApp verfolgt das Ziel, die komplexen Zusammenhänge zwischen Home-Office-Nutzung, Energieverbrauch und Wohlbefinden für Nutzer*innen verständlich und anwendbar zu machen. Basierend auf den umfangreichen Erkenntnissen aus den qualitativen Interviews aus AP1 (siehe Kapitel 2.1.1), den quantitativen Erhebungen und den entwickelten Regressionsmodellen (siehe Kapitel 2.1.7) bietet die Anwendung individualisierte Bewertungen und Handlungsempfehlungen.

Die WebApp ist in drei Hauptbereiche unterteilt, die unterschiedliche Zielgruppen ansprechen: einen Bereich für Privatpersonen, einen für Unternehmen und einen für die Hochrechnung in Deutschland. Alle Bereiche nutzen die im Projekt entwickelten wissenschaftlichen Modelle und Erkenntnisse in benutzerfreundlicher Form.

Ein zentrales Designprinzip der WebApp ist die Vergleichsfunktionalität. Sowohl im Privatpersonen- als auch im Unternehmensbereich können Nutzer*innen zwei Situationen parallel bewerten und direkt miteinander vergleichen. Diese Funktion ermöglicht es, verschiedene Home-Office-Szenarien zu evaluieren und fundierte Entscheidungen zu treffen.

Die Anwendung zeigt stets eine Ist-Situation und eine Variations-Situation nebeneinander an, sodass die Auswirkungen von Änderungen in der Home-Office-Nutzung oder anderen Parametern direkt sichtbar werden. Diese Funktionalität unterstützt sowohl die individuelle Optimierung als auch die strategische Planung in Unternehmen.

Bereich „Home-Office und Privatpersonen“

Der Privatpersonenbereich der WebApp ermöglicht es Nutzer*innen, die Auswirkungen ihrer individuellen Home-Office-Nutzung auf den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen zu bewerten. Grundlage hierfür bilden die in AP3 entwickelten Gebäudesimulationsmodelle und die daraus abgeleiteten Regressionsmodelle für Wohngebäude (siehe Kapitel 2.1.7).

Die Nutzer*innen können verschiedene Parameter ihrer Wohnsituation eingeben, wie Gebäudetyp, Baujahr, Wohnfläche, Sanierungszustand und ihr individuelles Heizverhalten. Auf Basis dieser Eingaben berechnet die Anwendung die Energieverbräuche und CO₂-Emissionen für verschiedene Home-Office-Anteile. Die Berechnungen basieren auf den validierten Regressionsmodellen (siehe Kapitel 2.1.7).

Ein weiterer Bestandteil ist die Bewertung der mobilitätsbedingten Emissionen, die auf den Erkenntnissen aus AP4 zur Veränderung der Mobilität und Wohnortwahl basiert (siehe Kapitel 2.1.4). Nutzer*innen können ihre Pendelwege und Verkehrsmittelwahl eingeben, um die durch Home-Office eingesparten CO₂-Emissionen zu ermitteln.

Zusätzlich erfolgt eine Bewertung der IKT-bedingten Umweltauswirkungen entsprechend den Erkenntnissen aus AP2 (siehe Kapitel 2.1.2). Die Anwendung berechnet basierend auf der Geräteausstattung und Nutzungsintensität die zusätzlichen Energieverbräuche und Emissionen durch die Home-Office-spezifische IKT-Nutzung.

Ein innovatives Element der WebApp ist die Integration qualitativ-basierter Handlungsempfehlungen. Basierend auf den Eingaben der Nutzer*innen werden individualisierte Hinweise ausgegeben, die auf den Erkenntnissen der qualitativen Interviews aus AP1 basieren (siehe Kapitel 2.1.1). Diese Hinweise umfassen sowohl energetische Optimierungsmöglichkeiten als auch Empfehlungen für eine gesundheitsförderliche Home-Office-Gestaltung.

Die Anwendung berücksichtigt auch die nicht-energetischen Aspekte der Home-Office-Nutzung aus AP6. Basierend auf den Erkenntnissen der Arbeitspakete zur Gesundheitsbewertung (siehe Kapitel 2.1.6) werden signifikante Einflussfaktoren auf das psychische Wohlbefinden ausgewiesen. Diese Integration von energetischen und gesundheitlichen Aspekten spiegelt den ganzheitlichen Ansatz des HOffEn-Projekts wider.

Bereich „Home-Office und Unternehmen“

Der Unternehmensbereich der WebApp richtet sich an Arbeitgeberinnen und Facility Managerinnen, die die energetischen Auswirkungen verschiedener Home-Office-Strategien auf ihre Bürogebäude bewerten möchten. Die Berechnungen basieren auf den entwickelten Regressionsmodellen für Nichtwohngebäude (siehe Kapitel 2.1.7), die eine hohe Vorhersagegenauigkeit aufweisen.

Unternehmen können Parameter wie Gebäudetyp, Baujahr, Nutzungsfläche, Bürostruktur und geplante Home-Office-Anteile eingeben. Die Anwendung berechnet daraufhin die

Veränderungen im Heizenergie-, Strom- und Kühlenergieverbrauch sowie die damit verbundenen CO₂-Emissionen.

Die Erkenntnisse aus den qualitativen Interviews fließen auch in die Unternehmensanwendung ein, indem spezifische Handlungsempfehlungen für die Implementierung nachhaltiger Home-Office-Konzepte gegeben werden. Diese umfassen sowohl technische Maßnahmen zur Energieoptimierung als auch organisatorische Empfehlungen für eine erfolgreiche Home-Office-Umsetzung.

Bereich „Hochrechnung Deutschland“

Die WebApp präsentiert auch die Ergebnisse der deutschlandweiten Hochrechnung (siehe Kapitel 2.1.7) in einer verständlichen Form. Diese statische Zusammenfassung zeigt die gesamtgesellschaftlichen Auswirkungen verschiedener Home-Office-Szenarien auf die Energieverbräuche und CO₂-Emissionen im Wohn-, Nichtwohn- und Mobilitätssektor. Für die Hochrechnung wurden die entwickelten Regressionsmodelle auf repräsentative Daten des deutschen Gebäudebestands angewendet, wobei drei Szenarien mit unterschiedlichen Anteilen der Home-Office-Nutzung betrachtet wurden. Die Wohngebäudedaten basieren auf Zensus-Daten aus dem Jahr 2022 und projektspezifischen Umfrageergebnissen, die zu 4.800 Wohngebäudeklassen führen, während die Bürogebäudedaten hauptsächlich aus dem dena-Fokusthemenbericht 2024 stammen und 162 Bürogebäudeklassen ergeben.

Ergänzend wurden für den Mobilitätssektor Hochrechnungen durchgeführt, bei denen Pendeldistanzen und Fahrzeugverteilungen als Eingangsgrößen genutzt wurden, um die CO₂-Emissionen durch wegfallende Pendelwege bei verschiedenen Home-Office-Szenarien zu bewerten. Diese Analysen berücksichtigen sowohl die Häufigkeit der Pendelwege als auch die genutzten Verkehrsmittel und ermöglichen eine umfassende Bewertung der mobilitätsbedingten Klimaauswirkungen von Home-Office.

Die Darstellung der Hochrechnungsergebnisse ermöglicht es den Nutzer*innen, ihre individuellen Entscheidungen in einen größeren gesellschaftlichen Kontext einzuordnen und das Potenzial kollektiver Veränderungen zu verstehen.

Ausblick

Die HOffEn-WebApp stellt einen wichtigen Baustein für die Verbreitung und praktische Anwendung der Projektergebnisse dar. Durch die Integration verschiedener Forschungsaspekte in einer einheitlichen Plattform wird eine ganzheitliche Bewertung von Home-Office-Konzepten ermöglicht. Die Anwendung trägt somit zur evidenzbasierten Gestaltung nachhaltiger Arbeitsmodelle bei und unterstützt sowohl individuelle als auch unternehmerische Entscheidungen im Kontext der Energiewende.

Die öffentliche Verfügbarkeit der WebApp gewährleistet eine breite Zugänglichkeit der Forschungsergebnisse und ermöglicht deren praktische Nutzung über die Projektlaufzeit hinaus. Damit leistet das Tool einen wichtigen Beitrag zur Transformation des Energiesystems durch bewusste und informierte Entscheidungen in der Arbeitswelt.

2.2 Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die zahlenmäßige Nachweise wurden bereits separat übermittelt. Gemäß dem zahlenmäßigen Verwendungsnachweis wurden die Kosten insgesamt wie geplant verausgabt und es haben sich im Projektverlauf nur geringfügige Änderungen im Vergleich zum ursprünglichen Finanzierungsplan ergeben.

Der größte Teil der Zuwendung wurde wie geplant für wissenschaftliches Personal aufgewendet. Die tatsächlichen Personalkosten haben die geplanten im Ergebnis leicht überstiegen. Die entsprechende Kompensation wurde durch Einsparungen in anderen Kostenpositionen (Reise- und Sachkosten) ermöglicht. Die Abweichungen zwischen den Kostenpositionen befinden sich in einem überschaubaren Rahmen. Aufgrund der Coronapandemie konnten anfänglich einige Treffen nicht vor Ort stattfinden, daher wurde diese digital durchgeführt. Außerdem konnten die Open Access Kosten für den Artikel eingespart werden, da dieser kostenfrei über den Lead eingereicht werden konnte. Die Projektergebnisse konnten auf den Berliner Energietagen vorgestellt werden. Dafür musste keine offizielle Umwidmung erfolgen, das schriftliche Einverständnis haben wir im März 2024 bekommen.

Die Laufzeit des Projektes wurde im Zuge einer kostenneutralen Laufzeitverlängerung um 6 Monate verlängert.

Hinsichtlich der Zielerreichung des Vorhabens haben sich keine Änderungen ergeben, so dass der Zuwendungszweck erreicht wurde.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Ein Vorhaben wie dieses ist nicht im Alltagsgeschäft der beteiligten Partner zu bewältigen. Hätte es diese Förderung nicht gegeben, wäre dieses Projekt nicht realisierbar gewesen.

Die einzelnen Arbeitsschritte, wurden entsprechend dem Projektantrag durchgeführt, während ihre Notwendigkeit regelmäßig überprüft wurde. Auch nach diesen Überprüfungen nach Projektbeginn stellten sich die einzelnen Arbeiten als notwendig heraus, um die angestrebten Ziele zu erreichen. Hierzu zählten u.a. die Literaturanalysen und Interviews, die Simulationsstudien und die Feldstudie mit Probanden.

Bei allen Arbeiten wurde auf eine angemessene Nutzung der Fördermittel geachtet. Dies bedeutet, dass keine unnötigen Arbeiten durchgeführt wurden, wie beispielsweise eine unverhältnismäßige Anzahl an Interviews oder Studienteilnehmenden.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

Durch die Auswertung der Interviews konnte ein breiter Einblick in die Vielfalt der Nutzung von Home-Office und den Umgang mit daraus entstehenden Herausforderungen und Chancen gewährt werden. Die qualitative Methodik bietet die Möglichkeit eines tieferen Verständnisses für Zusammenhänge und Hintergründe dessen. Motive für die Arbeit von zu Hause, mögliche Konflikte sowie Perspektiven werden dargestellt und erläutert; Hypothesen

werden abgeleitet. Home-Office scheint auch nach Abklingen der Pandemie fest in der Arbeitswelt etabliert zu sein. Auswirkungen/Nachwirkungen der Pandemie auf die dargestellten Ergebnisse können aufgrund des Zeitpunktes der Datenerhebung jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Im Sinne einer quantitativen, pandemie-unabhängigen Überprüfung der Ergebnisse bieten sich weitere Folgeuntersuchungen an.

Durch die durchgeführte Feldstudie konnten relevante Daten und Erkenntnisse für den Vergleich nicht-energetischer Effekte unterschiedlicher Arbeitsortsettings erfasst bzw. erlangt werden. Die geplante Publikation der Ergebnisse ist zum Nutzen eines breiteren wissenschaftlichen Diskurses zum Thema, das bisher in keiner Studie abschließend behandelt werden konnte. Somit ist die Verwertbarkeit der Ergebnisse für die Wissenschaft, aber auch für die Unternehmenspraxis gegeben. Des weiteren kann sich HLS mit der Publikation als wichtiges Mitglied der wissenschaftlichen Gemeinschaft in diesem Themenfeld weiter etablieren und hierdurch die Chance auf Folgeprojekte erhöhen.

Die Ergebnisse der einzelnen APs wurden in Form des Online-Tool gesammelt und zugänglich gemacht. Sowohl Privatpersonen als auch Unternehmen wird über das Tool die Möglichkeit gegeben die eigene Home-Office-Nutzung zu analysieren und Verbesserungspotentiale aufzudecken. Damit ist eine praxisnahe, anwendungsfreundliche Möglichkeit gegeben auf Ergebnisse zuzugreifen und diese zu nutzen.

2.5 Fortschritte bei anderen, die während der Durchführung bekannt geworden sind

Auf Fortschritte anderer, die den Forschenden während der Bearbeitung des Projekts bekannt wurden, wird (bezogen auf die Auswertung der Interviews) teils im Kontext der Ergebnisdarstellung verwiesen. Weiterhin sind folgende Arbeiten zu nennen, welche die Home-Office Nutzung mit den hier im Projekt betrachteten Auswirkungen (Energie, Emissionen, Flächenbedarf, Gesundheit) betrachten:

Chalabi, G., & Dia, H. (2024). The impacts of remote work and attitudinal shifts on commuting reductions in post-COVID Melbourne, Australia. *Sustainability*, 16(17), 7289.

<https://doi.org/10.3390/su16177289>

Gerich, J. (2025). Gekommen um zu bleiben: Was kann aus den Pandemieerfahrungen für die Auswirkungen und die positive Gestaltung des Arbeitens im Homeoffice gelernt werden?

Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 79, 36–50. <https://doi.org/10.1007/s41449-024-00421-w>

Grünwald, R. & Caviezel, C. (2022). Energieverbrauch der IKT_Infrastruktur. Endbericht TA-

Projekt, Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag. https://www.tab-beim-bundestag.de/projekte_energieverbrauch-der-ikt-infrastruktur.php

Krause, S., Trumpp, A., Dichtl, T., Kiese, S. & Rutsch, A. (2024). Neue Arbeitswelt, neue Arbeitsorte: Auswirkungen von Homeoffice auf den Büroimmobilienmarkt«, ifo Schnelldienst, 77(3), 63–73. <https://hdl.handle.net/10419/296213>

Krause, S., Trumpp, A., Dichtl, T., Kiese, S. & Rutsch, A. (2024). Homeoffice und die Zukunft der Büros: Flexibilisierung, Reduzierung und Umnutzungspotenzial«, ifo Schnelldienst, 77(9), 64–68. <https://hdl.handle.net/10419/306130>

Ku, A. L., Qiu, Y. L., Lou, J., Nock, D., & Xing, B. (2022). Changes in hourly electricity consumption under COVID mandates: A glance to future hourly residential power consumption pattern

with remote work in Arizona. *Applied Energy*, 310, 118539.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118539>

- Kunze, F. & Hampel, K. (2025). Zwischen Präsenzpflcht und Homeoffice-Euphorie : Stand des mobilen Arbeitens fünf Jahre nach Beginn der Corona-Pandemie : Konstanzer Homeoffice Studie Ergebnisreport. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:352-2-rsuie9779vv4>
- Marz, W. (2022). Reduziert mehr Homeoffice die Emissionen im Verkehr? ifo Schnelldienst, ISSN 0018-974X, ifo Institut - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München, München, 75(5), 15–18. <https://hdl.handle.net/10419/263808>
- Pfnür, A., Voll, K., Höcker, M. C. & Bachtal, Y. (2023). Work from Home: Von der Pandemienotlösung zum Konzept multilokaler Arbeit: Empirische Studie zu den Erfahrungen der Beschäftigten für eine Zukunft der Arbeitswelten an verteilten Orten. Arbeitspapiere zur immobilienwirtschaftlichen Forschung und Praxis, No. 50, Technische Universität Darmstadt. <https://hdl.handle.net/10419/278610>
- Sepanta, F., Sirati, M., & O'Brien, W. (2024). Sustainability of telework: Systematic quantification of the impact of teleworking on the energy use and emissions of offices and homes. *Journal of Building Engineering*, 91, 109438. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.109438>
- Wöhrmann, A. M., Backhaus, N. & Ducki, A. (2023). Mobiles Arbeiten: Chancen und Risiken. In: Badura, B., Ducki, A., Baumgardt, J., Meyer, M., Schröder, H. (Hrsg.) Fehlzeiten-Report 2023. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-67514-4_16

2.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Erfolgte Veröffentlichungen

Das Projekt wurde gemeinsam durch HLS und E3D am Wissenschaftstag Built and Lived Environment 2022 in Aachen vorgestellt.

Konferenzbeiträge durch HLS im Rahmen des DGAUM 2023 Kongresses in Jena mit einer Präsentation und einem Poster im Nachwuchssymposium 2023 des Aktionsbündnisses Arbeitsmedizin.

Teilnahme als Impulsgeber beim Zukunftsworkshop „Mobiles Arbeiten“ im Rahmen des Projekts KLIMASCAN des BMWK am 20.04.2023 (IÖW)

Durchführung der Veranstaltung „Zukunftstrend Home-Office und Nachhaltigkeit“ im Rahmen der Berliner Energietage 2024 (IÖW)

2024 fand eine Podiumsdiskussion / ein Interview zum Thema „Home-Office: Welche Veränderungen entstehen dadurch im Bürogebäude?“ auf dem 4. Kongress Energiewendebauen im Rahmen der Light & Building in Frankfurt statt. Beteiligt waren hier IÖW (Moderation) und E3D (Gesprächsteilnahme).

Fachlicher Input und Diskussion bei der Landesarbeitsgemeinschaft Wirtschaft und Finanzen von Bündnis 90/ Die Grünen – Berlin zum Thema „Home-Office und Energiewende“ am 30.05.2024 (IÖW)

Konferenzbeiträge bei dem DGPPN-Kongress 2024 in Berlin im Rahmen von zwei Präsentation (HLS).

Konferenzbeitrag durch HLS im Rahmen der DGAUM 2025 in Wuppertal (2025)

Manu, Sanyogita; Burgholz, Tobias Maria; Nabilou, Fatemeh; Rewitz, Kai; El-Mokadem, Mahmoud; Yadav, Manuj et al. (2024): A state-of-the-art, systematic review of indoor environmental quality studies in work-from-home settings. In: Building and Environment 259, S. 111652. DOI: 10.1016/j.buildenv.2024.111652. (Beteiligung HLS, E3D, EBC)

Elmokadem, Mahmoud Hamdy Sobhi Hassan; Rewitz, Kai; Müller, Dirk (2024): Influence of working from home scenarios on annual heating energy demand for german residential buildings. In: RoomVent 2024 Proceedings, 22.-24. April 2024, Stockholm.

Gemeinsame geplante Veröffentlichungen

Eine gemeinsame Veröffentlichung in Form einer Projektübersicht befindet sich derzeit in Arbeit. Vorgesehen ist die Beschreibung der angewandten Methoden sowie die Darstellung einiger Kernergebnisse. Darüber hinaus soll das entwickelte Tool, welches die anwendungsorientierte Verbreitung der Ergebnisse anvisiert, in Kurzform vorgestellt werden. Die Einreichung soll bei dem Journal GAIA erfolgen.

Geplante Veröffentlichung des E3D

Seitens des Lehrstuhls für Energieeffizientes Bauen der RWTH ist ein Konferenzbeitrag für das Forum Bauinformatik 2025 in Aachen geplant, in dem Teile der vorhandenen Ergebnisse aufgegriffen und nachverwertet werden. Thema sollen die Auswirkungen neuer Arbeitskonzepte auf räumliche Bedarfe und Anforderungen sein. Das Abstract zu dem Vorhaben wurde akzeptiert. Das Konferenzpaper befindet sich derzeit in Arbeit.

Geplante Veröffentlichung HLS

Seitens HLS befindet sich derzeit ein Artikel für ein Fachjournal in Arbeit. Der Artikel befasst sich mit den im Rahmen der durchgeführten Feldstudie erhobenen Daten bezüglich der Auswirkungen des Arbeitsortssettings auf das Stress-Level von Arbeitenden.

Geplante Veröffentlichung IÖW und EBC

Es ist ein Artikel für die Zeitschrift Ökologisches Wirtschaften in Arbeit, der die zentralen Ergebnisse der Hochrechnung und Implikationen daraus darstellt.

3. Literaturverzeichnis

- Ahlers, E., Mierich S. & Zucco, A. (2021). *Homeoffice: Was wir aus der Zeit der Pandemie für die zukünftige Gestaltung von Homeoffice lernen können*. Hans-Böckler-Stiftung.
https://www.boeckler.de/pdf/p_wsi_report_65_2021.pdf (Zugegriffen 18. Juli 2023).
- Al Horr, Y., Mohammed, A., Kaushik, A., Mazroei, A., Katafygiotou, M., Elsarrag, E., (2016). Occupant productivity and office indoor environment quality: A review of the literature, *Building and Environment*, Volume 105, 2016, Pages 369-389, ISSN 0360-1323,
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.001>.
- Althammer, S. E., Reis, D., van der Beek, S., Beck, L., & Michel, A. (2021). A mindfulness intervention promoting work–life balance: How segmentation preference affects changes in detachment, well-being, and work–life balance. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 94(2), 282-308.
- American Express (2022). 2023 Global Meetings and Events Forecast, ab Seite 25.
<https://www.amexglobalbusinesstravel.com/content/uploads/sites/12/2022/10/2023-Global-Meetings-and-Events-Forecast-opt.pdf>.
- ARGE e. V. (2021). *Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung des Ausschusses für Bau, Wohnen, Stadtentwicklung und Kommunen zum Thema „Bauwende“*.
<https://www.bundestag.de/resource/blob/820034/3282d6b250150c9320eb89a9a2d01bd5/Stellungnahme-SV-Walberg-data.pdf> (Zugegriffen 30. Mai 2023).
- Aslan, J., Mayers, K., Koomey, J. G. & France, C. (2018): Electricity Intensity of Internet Data Transmission: Untangling the Estimates: Electricity Intensity of Data Transmission. *Journal of Industrial Ecology* 22, Nr. 4 (August): 785–798.
- Ballarini, I., Corgnati, S. P., & Corrado, V. (2014). Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The experience of TABULA project. *Energy Policy*, 68, 273–284. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.027>
- BASt Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (2017). Mobilität in Deutschland 2017.
https://www.bast.de/DE/Verkehrssicherheit/Fachthemen/MobilityDataCampus/Datenangebot/Datenangebot_node.html.
- BBSR. (2021). Number of single households will continue to rise until 2040. Federal Institute for Research on Building, Urban Affairs and Spatial Development.
<https://www.bbsr.bund.de/BBSR/EN/home/topnews/household-forecast.html>
- BBSR [Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung] (2023): Zahl der Pendlerinnen und Pendler gestiegen. <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/startseite/topmeldungen/pendeln-2022.html>.
- BDEW (2023). Beheizung des Wohnungsbestandes in Deutschland. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Online verfügbar unter: <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/beheizung-des-wohnungsbestandes-in-deutschland/>
- Bettgenhäuser, K., Boermans, T., Offermann, M., Krechting, A. & Becker, D. Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung. In: Umweltbundesamtes.
- Berg-Beckhoff, G., Nielsen, G., & Ladekjær Larsen, E. (2018). Use of information communication technology and stress, burnout, and mental health in older, middle-aged, and younger workers – results from a systematic review. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 31(5), 659–677.
- Bergefurt, L., Weijs-Perrée, M., Appel-Meulenbroek, R., & Arentze, T. (2021). The physical office workplace as a resource for mental health – A systematic scoping review. *Building and Environment*, 207, 108505. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108505>
- BiB [Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung] (2022). Zwei Jahre Pandemie im Spiegel der BiB-Forschung. Veranstaltung: Veranstaltung „BiB informiert“ 2022.
<https://www.bib.bund.de/DE/Aktuelles/2022/2022-01-24-BiB-Infoveranstaltung-Zwei-Jahre-Pandemie-im-Spiegel-der-BiB-Forschung.html>.

- Bieser, J. C.T., Hintemann, R., Hilty, L. M. & Beucker, S. (2023). A review of assessments of the greenhouse gas footprint and abatement potential of information and communication technology. *Environmental Impact Assessment Review* 99 (März). 107033.
- Bieser, J., Salieri, B., Hischier, R. & Hilty, L. (2020). Next generation mobile networks: Problem or opportunity for climate protection? Zurich, St. Gallen: University of Zurich, Empa.
<https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/191299/>.
- BMVBS. (2010). Vereinfachung zur geometrischen und technischen Datenaufnahme im Nichtwohngebäudebestand. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- BMWK. (January 20, 2022). Share of final energy consumption in residential buildings in Germany in 2020, by end use [Graph]. In Statista. Retrieved July 22, 2022, from
<https://www.statista.com/statistics/1297381/final-energy-consumption-in-residential-buildings-in-germany-by-end-use/>
- Bloom, N., Liang, J., Roberts, J., Zhichun Jenny Ying, Does Working from Home Work? Evidence from a Chinese Experiment , *The Quarterly Journal of Economics*, Volume 130, Issue 1, February 2015, Pages 165–218, <https://doi.org/10.1093/qje/qju032>
- Boerner, S. (2023). Frauen als Führungskräfte–geht das und wenn ja, wie?. In: Female Leaders–Führen Frauen anders? Einblicke in die Leadership-Forschung für Wissenschaft und Praxis (S. 9-46). Wiesbaden. Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-41546-4_2
- Bolino, M. C., Klotz, A. C., & Whitney, J. M. (2024). The origin, evolution, and future of organizational citizenship behavior. *Academy of Management Collections*, 3(3), 35-56.
- Bondanini, G., Giorgi, G., Ariza-Montes, A., Vega-Muñoz, A., & Andreucci-Annunziata, P. (2020). Technostress Dark Side of Technology in the Workplace: A Scientometric Analysis. *International journal of environmental research and public health*, 17(21), 8013.
<https://doi.org/10.3390/ijerph17218013>
- Boubekri M., Cheung, I.N., Reid K.J., Wang, C.H. & Zee, P. C. Impact of windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers: a case-control pilot study. *J Clin Sleep Med*. 2014 Jun 15;10(6):603-11. doi: 10.5664/jcsm.3780. PMID: 24932139; PMCID: PMC4031400.
- Braut, B., Migheli, M. & Truant, E. (2022). Household mobility in food purchasing during COVID-19 lockdown: Evidence from Torino, Italy. *Cities* 122, Nr. 103554.
- Brenke, K. (2016). Home Office: Möglichkeiten werden bei weitem nicht ausgeschöpft, DIW Wochenbericht, ISSN 1860-8787, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 83, Iss. 5, pp. 95-105.
- Breyer, B., & Bluemke, M.(2016). Deutsche Version der Positive and Negative Affect Schedule PANAS (GESIS Panel). Zusammenstellung sozialwissenschaftlicher Items und Skalen (ZIS).
<https://doi.org/10.6102/zis242>
- Breyer, B., & Bluemke, M.(2016). Work-Family Conflict Scale (ISSP).Zusammenstellung sozialwissenschaftlicher Items und Skalen (ZIS). <https://doi.org/10.6102/zis243>
- Bührer, S., Hufnagl, M. Und Schraudner, M. (2009). Frauen im Innovationssystem - im Team zum Erfolg. Fraunhofer-Verlag. <https://doi.org/10.24406/publica-fhg-294515>
- Bundesagentur für Arbeit (2023). Pendlerverflechtungen der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten nach Kreisen - Deutschland (Jahreszahlen).
https://statistik.arbeitsagentur.de/SiteGlobals/Forms/Suche/Einzelheftsuche_Formular.html;jsessionid=3C10D6382A843BFD09A3ABE96133BA03?nn=15024&topic_f=beschaeftigung-sozbe-krpend.
- Bundesagentur für Arbeit (2023). Regionale Mobilität. <https://pendleratlas.statistikportal.de/>.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (2004). *Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD)*. Abschlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/energieverbrauch-abschlussbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=12 (Zugegriffen 9. Februar 2022).
- Calì, D., Müller, D. & Madsen, H. (2019). Benefits of the Inclusion of Occupant Behaviour Profiles in the Simulation of the Energy Performance of Buildings. In: *Proceedings of Building Simulation 2019*:

16th IBPSA International conference and exhibition. Unter Mitarbeit von Vincenzo Corrado. BS2017. Rome, Italy, 2019-09-02 - 2019-09-04. IBPSA, S. 2388–2395.

- Cavallo, J., & Mapp, J. (2000). Targeting Refrigerators for Repair or Replacement. ACEEE-Energy Efficiency in Buildings.
- Clausen, J., Niebel, T., Schramm, S., Axenbeck, J., Hintemann, R. & Iffländer, S. (2021). Klimaschutz durch digitale Transformation: Realistische Perspektive oder Mythos? CliDiTrans Endbericht. Berlin: Borderstep.
- CML - Department of Industrial Ecology (2021). CML-IA Characterisation Factors. Leiden, The Netherlands: Institute of the Faculty of Science of Leiden University.
- Colliers, GARBE und PwC (2024). *Obsoleszenzrisiken von Büroimmobilien - Wohnen und Life Science als Ausweg?*
- Coroama, V., Hintemann, R., Hinterholzer, S. & Arbanowski, S. (2020). Nachhaltigkeit von Streaming & Co. Energiebedarf und CO₂-Ausstoß der Videonutzung im Netz. Berlin: Bitkom e.V.
https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-06/200618_If_nachhaltigkeit-von-streaming.pdf.
- Craig, C. L., Marshall, A. L., Sjöström, M., Bauman, A. E., Booth, M. L., Ainsworth, B. E., ... & Oja, P. (2003). International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(8), 1381-1395.
- Darouei, M., & Pluut, H. (2021). Work from home today for a better tomorrow! How working from home influences work-family conflict and employees' start of the next workday. *Stress and Health*, 37(5), 986-999. <https://doi.org/10.1002/smi.3053>
- Destatis. (2018). Electricity consumption of private households by household size. German Federal Statistical Office. <https://www.destatis.de/EN/Themes/Society-Environment/Environment/Material-Energy-Flows/Tables/electricity-consumption-households.html>
- Destatis. (2021). Families and family members with minor children living in the family. Statistisches Bundesamt. <https://www.destatis.de/EN/Themes/Society-Environment/Population/Households-Families/Tables/families.html>
- Destatis. (2022). Employed persons working from home. German Federal Statistical Office. https://www.destatis.de/EN/Themes/Labour/Labour-Market/Quality-Employment/Dimension3/3_11_homeoffice.html
- Destatis [Statistisches Bundesamt] (2023). 10 % mehr Fahrgäste in Bussen und Bahnen im 1. Halbjahr 2023 - Statistisches Bundesamt. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/09/PD23_375_461.html
- Destatis (2023). Gut 8 % aller Vollzeitwerbstätigen arbeiten 2022 mehr als 48 Stunden pro Woche (Info: Dauer der Beschäftigung beim aktuellen Arbeitgeber 2022). https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/07/PD23_N043_13.html (Zugriff: 17.06.2025)
- Destatis (2024). Bevölkerung nach Nationalität und Geschlecht (Eintrag: 2022, Insgesamt). <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/deutsche-nichtdeutsche-bevoelkerung-nach-geschlecht-deutschland.html>
- Destatis [Statistisches Bundesamt] (2024). Erwerbstätige aus Hauptwohnsitzhaushalten. Code: 12251-0103. <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/12251/table/12251-0103>
- Destatis (2024). Dauer der Beschäftigung beim aktuellen Arbeitgeber. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Qualitaet-Arbeit/Dimension-4/dauer-beschaefigung-aktuell-Arbeitgeber.html> (Zugriff: 19.07.2024)
- Destatis [Statistisches Bundesamt] o.J.: Erwerbstätige, die von zu Hause aus arbeiten. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Qualitaet-Arbeit/Dimension-3/home-office.html#:~:text=Im%20Jahr%202019%20hatten%20noch%2012%2C9%20%25%20der,sie%20ab>

[h%C3%A4ngig%20besch%C3%A4ftigt%20oder%20als%20Selbstst%C3%A4ndige%20t%C3%A4tig%20sind](#) (Zugriff 9.4.2025)

Deutsche Energie-Agentur (dena) (2024). Gebäudeforum. Fokusthema Büro- und Verwaltungsgebäude. Online verfügbar unter:

https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2024/GEFO_Fokusthemen_Buerogebaeude.pdf

Deutsche Post Adress (2024). Umzugsstudie 2024 - So zieht Deutschland um.
www.postadress.de/umzugsstudie.pdf

DIN (03-2022). Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik – Modul M1-6; Deutsche Fassung EN 16798-1:2019 (DIN EN 16798-1). Beuth Verlag GmbH.

Dolls, M. & Lay, M. (2023). Wie wirken sich Homeoffice und steigende Wohnkostenbelastung auf die Wohnortwahl aus? Evidenz aus einer großangelegten Umfrage in Deutschland. *ifo-Schnelldienst* 2/2023 (15. Februar): 37–42.

Drees & Sommer SE (2023). Trendstudie Workspace Benchmark. <https://www.dreso.com/de/workspace-benchmark-report#kontaktformular> (Zugriff: 04.06.2025).

eco - Verband der Internetwirtschaft (2022). eco Umfrage: 74,6 Prozent der Beschäftigten wollen auch nach Corona digital arbeiten. eco – Verband der Internetwirtschaft e.V. 29. März. Website:
<https://www.medienakademie-koeln.de/presse/nach-corona-digital-arbeiten/> (Zugriff: 24. Mai 2023).

ECOLOG-Institut und Fraunhofer-Institut ISI [ECOLOG-Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung] (2019): *Einflussfaktoren des Raumwärmeverhaltens im Wohnungsbereich vor und nach energetischer Sanierung*. KOSMA.
https://www.kosma-projekt.de/aa_dat/KOSMA_Werkstattbericht_1_2019_ff.pdf (Zugegriffen 23. Mai 2023).

Emanuel, N. und E. Harrington (2021). Working Remotely? Selection, Treatment, and the Market for Remote Work, Working Paper, verfügbar unter:
https://scholar.harvard.edu/files/eharrington/files/harrington_jmp_working_remotely.pdf

Emmler, H. & Kohlrausch, B. Homeoffice (2021). Potenziale und Nutzung. Aktuelle Zahlen aus der HBS-Erwerbspersonenbefragung, Welle 1 bis 4. Policy Brief WSI 3/2021. Nr. 52.
https://www.boeckler.de/de/faust-detail.htm?sync_id=HBS-007979.

Eurostat (2021). Glossary: Overcrowding rate. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Overcrowding_rate

Faber, G. (2021). A framework to estimate emissions from virtual conferences. *International Journal of Environmental Studies* 78, Nr. 4 (4. Juli): 608–623.

Fichter, K., Clausen, J. & Hintemann, R. (2020). Roadmap „Ressourceneffiziente Arbeitsplatz-Computerlösungen 2020 - Entwicklung eines Leitmarktes für Green Office Computing. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH.

Fonner, K. L., & Roloff, M. E. (2010). Why Teleworkers are More Satisfied with Their Jobs than are Office-Based Workers: When Less Contact is Beneficial. *Journal of Applied Communication Research*, 38(4), 336–361. <https://doi.org/10.1080/00909882.2010.513998>

Friedman, J. (2001). Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine. *The Annals of Statistics*, 29(5), 1189-1232.

Fuß, S. und Karbach, U. (2019). Grundlagen der Transkription. Eine praktische Einführung (2. Auflage). Opladen und Toronto. Verlag Barbara Budrich GmbH.

Fydrich, T., Sommer, G., Tydecks, S., & Brähler, E. (2009). Fragebogen zur sozialen unterstützung (F-SozU): Normierung der Kurzform (K-14). *Zeitschrift für medizinische Psychologie*, 18(1), 43-48.

Gähns, S., Bluhm, H., Dunkelberg, E., Katner, J., Weiß, J., Hennig, P., Hermann, L. & Knauff, M. (2021). Potenziale der Digitalisierung für die Minderung von Treibhausgasemissionen im Energiebereich.

Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/potenziale-der-digitalisierung-fuer-die-minderung> (Zugriff: 14. Januar 2022).

- Gajendran, R. S., & Harrison, D. A. (2007). The good, the bad, and the unknown about telecommuting: meta-analysis of psychological mediators and individual consequences. *Journal of applied psychology*, 92(6), 1524.
- Galanti, T., Guidetti, G., Mazzei, E., Zappalà, S., & Toscano, F. (2021). Work from home during the COVID-19 outbreak: The impact on employees' remote work productivity, engagement, and stress. *Journal of occupational and environmental medicine*, 63(7), e426
- Gensler Research Institute (2023). Die Rückkehr ins Büro. <https://www.gensler.com/gri/germany-workplace-survey-2023-de>
- Gerwinat, V. & Wismer, A. (2023). Homeoffice und Wohnstandortwahl in Großstädten: neue Perspektiven. vhw FWS 6. https://www.vhw.de/fileadmin/user_upload/08_publikationen/verbandszeitschrift/FWS/2023/FWS_6_2023/FWS_6_2023_Gerwinat_Wismer.pdf.
- Gieselmann, A., de Jong-Meyer, R. & Pietrowsky, R. (2014). PSAS. Pre-Sleep Arousal Scale - deutsche Fassung [Verfahrensdokumentation und Fragebogen mit Auswertung]. In Leibniz-Institut für Psychologie (ZPID) (Hrsg.), Open Test Archive. Trier: ZPID.
- Gröger, J. (2020). Digitaler CO₂-Fußabdruck - Datensammlung zur Abschätzung von Herstellungsaufwand, Energieverbrauch und Nutzung digitaler Endgeräte und Dienste. Berlin: Öko-Institut e.V., im Auftrag des Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND).
- Gröger, J., Liu, R., Stobbe, L., Druschke, J. & Richter, N. (2021). Green Cloud Computing Lebenszyklusbasierte Datenerhebung zu Umweltwirkungen des Cloud Computing. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. (Zugriff: 27. April 2023).
- Guerra Santin, O. (2011). Behavioural Patterns and User Profiles related to energy consumption for heating. *Energy and Buildings* 43, Nr. 10 (Oktober): 2662–2672.
- Hall, A. (2024). IT-Kompetenzen: Anforderungen an Erwerbstätige. In: In: BWP 53 (2024) 3, S. 37-39. URL: <https://www.bwp-zeitschrift.de/dienst/publikationen/de/19796>
- Hanmer, C., Shipworth, M., Shipworth, D. & Carter, E. (2019). How household thermal routines shape UK home heating demand patterns. *Energy Efficiency* 12, Nr. 1 (Januar). 5–17.
- Heinze, T., Müller, E., Stickelmann, B. & Zinnecker, J. (1975). Handlungsforschung im pädagogischen Feld. München. Juventa Verlag.
- Helminen, V. & Ristimäki, M. (2007). Relationships between commuting distance, frequency and telework in Finland. *Journal of Transport Geography* 15, Nr. 5 (September): 331–342.
- Hintemann, R. & Clausen, J. (2016). Materialband 8: Internet und Cloud Computing. Umweltinnovationen und ihre Diffusion als Treiber der Green Economy. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2016/09/8_UBA-Materialband-Internet-PUB_final.pdf.
- Hintemann, R. & Hinterholzer, S. (2019). Energy Consumption of Data Centers Worldwide - How will the Internet become Green? In: ICT for Sustainability. Veranstaltung: ICT4S 2019, Juni, Lappeenranta, Finland. https://ceur-ws.org/Vol-2382/ICT4S2019_paper_16.pdf.
- Hintemann, R. & Iffländer, S. (2021). Klimaschutzpotenziale durch den Einsatz von Virtualisierung und Cloud Computing in privaten und öffentlichen Unternehmen. CliDiTrans Werkstattbericht. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.
- Henderson, D. K., Koenig, B. E. & Mokhtarian, P. L. (1996). Using Travel Diary Data to Estimate the Emissions Impacts of Transportation Strategies: The Puget Sound Telecommuting Demonstration Project. *Journal of the Air & Waste Management Association* 46, Nr. 1 (Januar): 47–57.
- Hofmann, J., Piele, A., Piele, C. & Helfritz, K. (2023). *Arbeiten nach der Corona-Pandemie Folgeergebnisse - Ein Jahr danach*. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO; Deutsche Gesellschaft für Politikwissenschaft DGfP, 31. August.

<https://www.iao.fraunhofer.de/content/dam/iao/images/dokumente/arbeiten-nach-der-corona-pandemie-ein-jahr%20danach.pdf> (Zugegriffen 28. Juni 2024).

- Hook, A., Court, V., Sovacool, B. K. & Sorrell, S. (2020). A systematic review of the energy and climate impacts of teleworking. *Environmental Research Letters* 15, Nr. 9 (1. September): 093003.
- Hu, J., Chiang, J. T. J., Liu, Y., & Gao, Y. (2021). Double Challenges: How Working From Home Affects Dual-Earner Couples' Work-Family Experiences. In *Academy of Management Proceedings* (Vol. 2021, No. 1, p. 10734). Briarcliff Manor, NY 10510: Academy of Management.
- IEA ESTASP. (2012a). Cold Appliances. International Energy Agency. https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/R05%20Cold%20Appliances_FINAL_v2_GSOK.pdf
- IEA ESTASP. (2012b). Cooking Appliances. International Energy Agency. https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/R06_Cooking_FINAL_GSOK.pdf
- IEA ESTASP. (2012c). Dishwashers. International Energy Agency. https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/R08_dishwashers_AEAT_Final_GSOK.pdf
- IEA ESTASP. (2012d). Electric Appliances. International Energy Agency. https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/R10_electric%20appliances_FINAL_GSOK.pdf
- IEA ESTASP. (2012e). Electronic Appliances. International Energy Agency. https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/R11_Electronics_FINAL_GSOK.pdf
- IWU (2022). Verteilung der Energieträger im Büro- und Verwaltungsgebäudebestand. Institut Wohnen und Umwelt.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning*. Springer.
- KBA [Kraftfahrt-Bundesamt] (2024). Verkehr in Kilometern (VK), Zeitreihe 2014-2023. Kraftfahrt-Bundesamt - Inländerfahrleistung (Zugriff: 18.12.2024)
- KBA [Kraftfahrt-Bundesamt] (2024). Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Bundesländern, Fahrzeugklassen und ausgewählten Merkmalen, 1. Juli 2024 (FZ 27). https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz27_b_uebersicht.html?nn=3514348.
- KBA [Kraftfahrt-Bundesamt] (2023a). Verkehr in Kilometern (VK), Zeitreihe 2014-2023. https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/vk_inlaenderfahrleistung/vk_inlaenderfahrleistung_node.html.
- Karl-Franzens-Universität Graz (o. J.). Regeln zur Transkription qualitativer Interviews. <https://static.uni-graz.at/fileadmin/gewi-institute/Volkskunde/Studieren/Transkriptionsregeln-fr-Interviews.pdf>
- Khanna, T., Miersch, K., Creutzig, F., Meyer, R., Karras, J., Reeh, G. & Minx, J. (2022). *Maßnahmen für energiesparendes Verhalten im Wohnsektor*. Ariadne-Projekt. <https://ariadneprojekt.de/publikation/analyse-massnahmen-fuer-energiesparendes-verhalten-im-wohnsektor/> (Zugegriffen 18. Juli 2023).
- Kim, S., Lee, Y. & Choi, B. (2021). Adoption of Satellite Offices in Response to a Pandemic: Sustainability and Infection Control. *Sustainability* 13, Nr. 8008: 1–18.
- Kitou, E. & Horvath, A. (2006). Transportation Choices and Air Pollution Effects of Telework. *Journal of Infrastructure Systems* 12, Nr. 2 (Juni): 121–134.
- Konrad, W., Dratsdrummer, F. & Scheer, D. (2022a). Homeoffice für Klimaschutz? Potenziale und Grenzen der Telearbeit für Energie- und Ressourceneffizienz. Energie, Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz in IT und Rechenzentren (ENRICH). Stuttgart. <https://www.dialogik-expert.de/sites/default/files/downloads/de/konrad-et-al-2022-homeoffice-fur-klimaschutz.pdf> (Zugriff: 27. April 2023).
- Konrad, W., Dratsdrummer, F. & Scheer, D. (2022b). Massenphänomen Videostreaming Implikationen für Nutzer:innen, Infrastruktur und Klima. Stuttgart: Energie, Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz in IT und Rechenzentren (ENRICH). <https://www.dialogik-expert.de/sites/default/files/downloads/de/dratsdrummer-et-al-2022-massenphanomen-videostreaming.pdf> (Zugriff: 27. April 2023).

- Krause, S., Trumpp, A., Dichtl, T., Kiese, S. & Rutsch, A. (2024a). Neue Arbeitswelt, neue Arbeitsorte: Auswirkungen von Homeoffice auf den Büroimmobilienmarkt. *ifo Schnelldienst* 77, Nr. 03 (13. März): 63–73.
- Krause, S., Trumpp, A., Dichtl, T., Kiese, S. & Rutsch, A. (2024b). *Homeoffice und die Zukunft der Büros: Flexibilisierung, Reduzierung und Umnutzungspotenzial*. September.
- Kubba S. (2017). Indoor Environmental Quality. *Handbook of Green Building Design and Construction*, 353–412. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810433-0.00007-1>
- Kubios Oy. (2023). Kubios HRV Scientific (Version 4.1) [Computer software]. Kuopio, Finland: Kubios Oy. <https://www.kubios.com/hrv-software/>
- Kucharczyk, E. R., Morgan, K., & Hall, A. P. (2012). The occupational impact of sleep quality and insomnia symptoms. *Sleep Medicine Reviews*, 16(6), 547–559. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2012.01.005>
- Kuckartz, U. (2018). Qualitative Inhaltsanalyse mit Computerunterstützung. In: Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung (4. Auflage). Weinheim Basel. Beltz Juventa.
- Kuckartz, U. und Rädiker, S. (2024). Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Umsetzung mit Software und künstlicher Intelligenz (6., überarbeitete und erweiterte Auflage). Weinheim Basel. Beltz Juventa.
- Laborde S., Mosley E. & Thayer, J. F. (2017) Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research – Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting. *Front. Psychol.* 8:213. doi: 10.3389/fpsyg.2017.00213
- Lambrecht, U., Kräck, J. & Dünnebeil, F. (2021). Homeoffice und Ersatz von Dienst- und Geschäftsreisen durch Videokonferenzen. Potenziale zur Minderung der Treibhausgasemissionen unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus der Corona-Krise. ifeu paper 04/2021. Heidelberg.
- Lauster, M., Constantin, A., Remmen, P., Fuchs, M. & Müller, D. (2017). Verification of a Low Order Building Model for the Modelica Library AixLib using ASHRAE Standard 140. In: Proceedings of Building Simulation 2017: 15th Conference of IBPSA. With the collaboration of Charles S. Barnaby and Michael Wetter. BS2017. San Francisco, USA, 2017-08-07 - 2017-08-09. IBPSA, pp. 468-477.
- Lawrence, K., Maurer, I. S., Rybka, D., Mayer, L., Möcker, D. R. & Roland, R. M. [Dritte Auflage der PWC-Studie zum ortsunabhängigen Arbeiten] (2023). *Home sweet Homeoffice*. PWC (PricewaterhouseCoopers), August. <https://www.pwc.de/de/real-estate/real-estate-institute/home-sweet-homeoffice.pdf> (Zugegriffen 28. Juni 2024).
- Leiner, D. J. (2021). SoSci Survey [Computer software]. Available at <https://www.soscisurvey.de>
- Lincoln, Y. S. und Guba, E. G. (1985). The Only Generalization Is: There Is No Generalization. In: *Naturalistic inquiry* (S. 110-128). Beverly Hills. Sage Publ.
- Loga, T., Diefenbach, N., Stein, B. & Born, R. (2012). TABULA - Scientific Report Germany. Further Development of the German Residential Building Typology. Typology Approach for Building Stock Energy Assessment. Hg. v. IWU: Institut Wohnen und Umwelt GmbH. Online verfügbar unter www.building-typology.eu.
- Maier, L., Mans, M., Wüllhorst, F., Nie, Y., Streblow, R. & Müller, D. (2022). Gasverbrauch senken, Heizkosten sparen: Bewertung von einfachen Energieeffizienzmaßnahmen. White Paper, RWTH-EBC 2022-006, Aachen. DOI: 10.18154/RWTH-2022-07544.
- Malmodin, J. & Lundén, D. (2018). The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015. *Sustainability* 10, Nr. 9 (25. August): 3027.
- Markovic, R., Frisch, J. & van Treeck, C. (2019). Learning short-term past as predictor of window opening-related human behavior in commercial buildings. *Energy and Buildings* 185: 1–11.
- Masanet, E. & Lei, N. (2020). How much energy do data centers really use? McCormick School of Engineering and Applied Science, Northwestern University. <https://www.agci.org/research-reviews/how-much-energy-do-data-centers-really-usev> (Zugriff: 25. Mai 2023).
- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S. & Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science* 367, Nr. 6481 (28. Februar): 984–986.

- Matthews, H. S. & Williams, E. (2005). Telework Adoption and Energy Use in Building and Transport Sectors in the United States and Japan. *Journal of Infrastructure Systems* 11, Nr. 1 (März): 21–30.
- Matthies, E. & Thomas, D. (2011). Nachhaltigkeitsrelevante Routinen am Arbeitsplatz - Voraussetzungen für einen erfolgreichen Wandel. In *Wesen und Wege nachhaltigen Konsums*, von Rico Defila, Antonietta Di Giulio, und Ruth Kaufmann-Hayoz, S. 229–244. München: Oekom.
- MAXQDA (o. J.). MAXQDA 2022 Manual. <https://www.maxqda.com/de/hilfe-mx22/willkommen>
- Mayring, P. (2015). Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken (12., überarbeitete Auflage). Weinheim und Basel. Beltz.
- Mayring, P. (2023). Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zu qualitativem Denken (7., überarbeitete Auflage). Weinheim Basel. Beltz.
- Meerssche, B. P. V., van Ham, G., van Hertem, D., & Deconinck, G. (Eds.) (2012). General and financial potential of Demand Side Management. IEEE.
- Möbert, J. & Schattenberg, M. (2020). *Arbeitswelt der Zukunft: Ist das Homeoffice wirklich das Ei des Kolumbus?* Deutsche Bank AG. https://www.dbresearch.de/PROD/RPS_DE-PROD/PROD0000000000512075/Arbeitswelt_der_Zukunft%3A_Ist_das_Homeoffice_wirkli.PDF;REWEBSESSIONID=21CA2F98D000BCA852AA3499E22DA8D4?undefined&reaload=ZHVit~fCUy~gC60FfrB1wEU~DXR6/j1ENoQwoCXX23FkTmXhE2TBYeOUELrvJVMn (Zugegriffen 30. Mai 2023).
- Mokhtarian, Patricia (2009). If telecommunication is such a good substitute for travel, why does congestion continue to get worse? *Transportation Letters* 1, Nr. 1 (Januar): 1–17.
- Nakanishi, H. (2015). Does telework really save energy? *International Management Review*, 11(2), 89-97..
- Nasruddin, M. N. b. M. (2018). Laptop Or Desktop? An Estimation Of Potential Energy Savings In Cuba Unites. *The European Proceedings of Social and Behavioural Sciences* (pp. 638–643). Cognitive-Crcs. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2018.07.02.68>
- Naturefund (2023). CO2-Emissionsfaktoren verschiedener Energieträger. Online verfügbar unter: https://www.naturefund.de/wissen/co2_rechner/daten
- Newsham, G., Brand, J., Donnelly, C., Veitch, J., Aries, M. & Charles, K. (2009). Linking indoor environment conditions to job satisfaction: A field study. *Building Research & Information*. 37. 129-147. 10.1080/09613210802710298.
- Noussan, M. & Jarre, M. (2021). Assessing Commuting Energy and Emissions Savings through Remote Working and Carpooling: Lessons from an Italian Region. *Energies* 14, Nr. 21 (1. November): 7177.
- Nowak, K., Nowak-Dzieszko, K. & Marcinowski, A. (2018). Analysis of ventilation air exchange rate and indoor air quality in the office room using metabolically generated CO2. *Materials Science and Engineering* 415.
- Oakman J., Kinsman, N., Stuckey, R., Graham, M. & Weale V. A rapid review of mental and physical health effects of working at home: how do we optimise health? *BMC Public Health*. 2020 Nov 30;20(1):1825. doi: 10.1186/s12889-020-09875-z. PMID: 33256652; PMCID: PMC7703513.
- O'Brien, W. & Yazdani Aliabadi, F. (2020). Does telecommuting save energy? A critical review of quantitative studies and their research methods. *Energy and Buildings* 225 (Oktober): 110298.
- Obringer, R., Rachunok, B., Maia-Silva, D., Arbabzadeh, M., Nateghi R. & Madani, K. (2021). The overlooked environmental footprint of increasing Internet use. *Resources, Conservation and Recycling* 167 (April): 105389.
- Öko-Institut (2022). Arbeiten im Homeoffice – gut für die Umwelt und die Mitarbeiter:innen? Analyse der potenziellen ökologischen und sozialen Auswirkungen mobilen Arbeitens. Öko-Institut e.V. https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/compan-e_Homeoffice.pdf.
- Ong, D., Moors, T. & Sivaraman, V. (2014). Comparison of the energy, carbon and time costs of videoconferencing and in-person meetings. *Computer Communications* 50 (September): 86–94.

- Pfnür, A., Gauger, F., Bachtal Y. & Wagner, B. (2021). *Homeoffice im Interessenkonflikt - Ergebnisbericht einer empirischen Studie*. Arbeitspapiere zur immobilienwirtschaftlichen Forschung und Praxis. Technische Universität Darmstadt.
- Prakash, S., Antony, F., Köhler, A. R., Liu, R. & Schlösser, A. (2016). Ökologische und ökonomische Aspekte beim Vergleich von Arbeitsplatzcomputern für den Einsatz in Behörden unter Einbeziehung des Nutzerverhaltens (Öko-APC). Öko-Institut e.V.
- Prakash, S., Liu, R., Schischke K. & Stobbe, L. (2013). Schaffung einer Datenbasis zur Ermittlung ökologischer Wirkungen der Produkte der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT). Umweltbundesamt.
- Preuß, S. & Dütschke, E. (2023). *Determinanten und Ansatzpunkte zur Eindämmung von rebound-Effekten im Wohnraum-Heizen: Ein Vignetten-Experiment mit Mietenden aus Deutschland*. https://www.kosma-projekt.de/aa_dat/KOSMA_Werkstattbericht_Vignetten_FINAL.pdf (Zugegriffen 23. Mai 2023).
- Proedrou, E. (2021). A Comprehensive Review of Residential Electricity Load Profile Models. In: IEEE Access 9, S. 12114–12133. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3050074.
- PwC (2021). Home bleibt Office. Neuauflage der PwC-Studie zum ortsunabhängigen Arbeiten und zur Wirtschaftlichkeit bei Flächenanpassungen. <https://www.pwc.de/de/real-estate/real-estate-institute/pwc-home-bleibt-office.pdf>.
- PwC (2022). *Global Workforce Hopes and Fears Survey 2022*. <https://www.pwc.com/gx/en/hopes-and-fears/downloads/global-workforce-hopes-and-fears-survey-2022-v2.pdf> (Zugegriffen 18. Juli 2023).
- R Core Team (2024). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation, Vienna. URL: <https://www.R-project.org/>
- Rädiker, S. und Kuckartz, U. (2019). Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA. Text, Audio und Video. Wiesbaden. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-22095-2>
- Raghuram, S., & Wiesenfeld, B. (2004). Work-nonwork conflict and job stress among virtual workers. *Human Resource Management*, 43(2–3), 259–277. <https://doi.org/10.1002/hrm.20019>
- Riedl, R., Fischer, T., & Reuter, M. (2022). Fragebogen zur Messung von digitalem Stress im Arbeitskontext. *Wirtschaftsinformatik & Management*, 14(4), 262-272.
- Riemann D, Backhaus J (1996). Behandlung von Schlafstörungen. Ein psychologisches Gruppenprogramm. Weinheim: Beltz PsychologieVerlagsUnion.
- Robelski, S., & Sommer, S. (2020). ICT-enabled mobile work: Challenges and opportunities for occupational health and safety systems. *International journal of environmental research and public health*, 17(20), 7498.
- Rouleau, J. & Gosselin, L. (2021). Impacts of the COVID-19 lockdown on energy consumption in a Canadian social housing building. *Applied Energy* 287, Nr. 116565.
- Savills (2023). European Office Occupancy Rates. Online verfügbar unter: <https://pdf.euro.savills.co.uk/european/european-commercial-markets/european-office-occupancy-november-2024.pdf>
- Schäper, C., Schrenker, A., und Wrohlich, K. (2023). Gender Care Gap and Gender Pay Gap Increase Substantially until Middle Age. DIW Weekly Report, 13(9), 83-88. https://doi.org/10.18723/diw_dwr:2023-9-1
- Scharnhorst, W, L Hilty und O Joliet (2006). Life cycle assessment of second generation (2G) and third generation (3G) mobile phone networks. *Environment International* 32, Nr. 5 (Juli): 656–675.
- Schleupner, R., & Kühnel, J. (2021). Fueling work engagement: The role of sleep, health, and overtime. *Frontiers in Public Health*, 9, 592850.
- Schlemminger, M., Niepelt, R., & Brendel, R. (2021). A Cross-Country Model for End-Use Specific Aggregated Household Load Profiles. *Energies*, 14(8), 2167. <https://doi.org/10.3390/en14082167>

- Schödwel, B., Zarnekow, R., Liu, R., Gröger, J. & Wilkens, M. (2018). Kennzahlen und Indikatoren für die Beurteilung der Ressourceneffizienz von Rechenzentren und Prüfung der praktischen Anwendbarkeit. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-02-23_texte_19-2018_ressourceneffizienz-rechenzentren.pdf.
- Scheiner, J., Frank, S., Gerwinat, V., Schimohr, K. & Wismer, A. (2023). *Homeoffice als Chance für den Wohnungsmarkt – und als Rolle rückwärts für die Verkehrswende*. Verbandszeitschrift. Bundesverband für Wohnen und Stadtentwicklung vhw.
https://www.vhw.de/fileadmin/user_upload/08_publikationen/verbandszeitschrift/FWS/2023/FWS_3_2023/FWS_3_23_Scheiner_et_al.pdf (Zugegriffen 28. Juni 2024).
- Schweizerische Eidgenossenschaft (2020). *2000-Watt-Gesellschaft leben: Reduktion des End-Energieverbrauchs durch Verhaltensänderungen*. Schlussbericht.
https://digitalcollection.zhaw.ch/bitstream/11475/22811/3/2020_Sandmeier-et-al_Schlussbericht-2000-Watt-Gesellschaft-leben.pdf (Zugegriffen 18. Juli 2023).
- Scott, A. (2021). 770 Does Improving Sleep Lead to Better Mental Health? A Meta-Analysis of Randomised Controlled Trials. *Sleep*, 44, A300.
- Scoditti, E., Bodini, A., Sabina, S., Leo, C. G., Mincarone, P., Rissotto, A., ... & Garbarino, S. (2024). Effects of working from home on lifestyle behaviors and mental health during the COVID-19 pandemic: A survey study. *Plos one*, 19(4), e0300812.
- Shi, Y., Sorrell S. & Foxon, T. (2023). The impact of teleworking on domestic energy use and carbon emissions: An assessment for England. *Energy and Buildings* 287 (Mai): 112996.
- Siddik, M. A. B., Shehabi A. & Marston, L. (2021). The environmental footprint of data centers in the United States. *Environmental Research Letters* 16, Nr. 6 (1. Juni): 064017.
- Slavici, M. (2023). *Wohnen & Nachhaltigkeit: Politikwissenschaftliche Perspektiven*. Working Paper. Universität Magdeburg; Lehrstuhl für Politikwissenschaft; Schwerpunkt Nachhaltige Entwicklung.
<https://journals.ub.ovgu.de/index.php/NFL/article/download/2128/2135> (Zugegriffen 23. Mai 2023).
- Staniek, B., & Staniek, C. (2013). Typologie der Büroorganisationsformen / A Typology of Office Forms. In C. Schittich (Ed.), *Edition Detail. Büro Office: Best of Detail* (pp. 32–51). Institut für Internat. Architektur-Dokumentation. <https://doi.org/10.11129/detail.9783955531140.32>
- Statista. (2022). Distribution of the population in Germany from 2015 to 2022, by dwelling type.
<https://www.statista.com/statistics/536495/distribution-of-the-population-in-germany-by-dwelling-type/>
- Statista (2022). Deutsche ziehen verstärkt aufs Land. Nettowanderungsrate der Stadt- und Landkreise in Deutschland. <https://de.statista.com/infografik/28893/nettowanderungsrate-der-stadt-und-landkreise-in-deutschland/>
- Statista (2022). Anteil der Beschäftigten, die zumindest teilweise im HO arbeiten, nach Wirtschaftssektoren in Deutschland von Februar 2021 bis November 2022.
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1260179/umfrage/beschaefigte-im-homeoffice-nach-sektoren/> (Zugegriffen 18. Juli 2023).
- Statista (2022). Final energy consumption in the residential sector in Germany in 2022, by end use
<https://www.statista.com/statistics/1297381/final-energy-consumption-in-residential-buildings-in-germany-by-end-use/>.
- Statista (2023). Anteil ausgewählter Kraftstoffarten an den Neuzulassungen von Personenkraftwagen in Deutschland von 2012 bis 2022. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/699301/umfrage/anteil-von-kraftstoffarten-an-neuzulassungen-von-pkw-in-deutschland/>.
- Statista (2024). Mehrheit pendelt mit dem eigenen Auto. <https://de.statista.com/infografik/27544/anteil-der-pendler-nach-verkehrsmittel-fuer-den-weg-zur-arbeit-schule-oder-uni/>
- Statistisches Bundesamt (2022). Zensus 2022, Datenquellen 4000W-2009 und 4000W-1014. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2023, 11. Juli). Knapp ein Viertel aller Erwerbstätigen arbeitete 2022 im Homeoffice [Pressemitteilung]. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2023/PD23_28_p002.html

- Statistisches Bundesamt (2023). *Ein Viertel aller erwerbstätigen arbeiten 2021 im Homeoffice*.
https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2022/PD22_24_p002.html
(Zugegriffen 18. Juli 2023).
- Statistisches Bundesamt (2023). Altersstruktur der Bevölkerung in Deutschland zum 31. Dezember 2022.
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1351/umfrage/altersstruktur-der-bevoelkerung-deutschlands/>
- Staufenbiel, T., & Hartz, C. (2000). Organizational Citizenship Behavior: Entwicklung und erste Validierung eines Meßinstruments [Organizational Citizenship Behavior: Development and validation of a measurement instrument]. *Diagnostica*, 46(2), 73–83. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1026/0012-1924.46.2.73>
- Stettes, O. & Voigtländer, M. (2021). *IW-Kurzbericht 6/2021. Büroflächenabbau bleibt die Ausnahme*.
https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Kurzberichte/PDF/2021/IW-Kurzbericht_2021-Bueroflaechenabbau.pdf (Zugegriffen 30. Mai 2023).
- Stinner, F., Kümpel A. & Müller, D. (2021). *Energieverbrauch während COVID-19 Maßnahmen: Untersuchung des Energie- und Wasserverbrauchs sowie der Luftqualität in kommunalen Gebäuden*.
https://www.researchgate.net/publication/353559002_Energieverbrauch_waehrend_COVID-19_Massnahmen_Untersuchung_des_Energie-und_Wasserverbrauchs_sowie_der_Luftqualitaet_in_kommunalen_Gebauden (Zugegriffen 2. Februar 2022).
- Streeter, J., Roche, M., & Friedlander, A. (2021). From bad to worse: the impact of work-from-home on sedentary behaviors and exercising. URL: <https://longevity.stanford.edu/wp-content/uploads/2021/05/Sedentary-Brief.pdf>.
- Suski, P., Pohl, J. & Frick, V. (2020). All you can stream: Investigating the role of user behavior for greenhouse gas intensity of video streaming. In: Proceedings of the 7th International Conference on ICT for Sustainability, S. 128–138. Veranstaltung: ICT4S2020: 7th International Conference on ICT for Sustainability, 21. Juni, Bristol United Kingdom. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3401335.3401709>.
- Tao, Y., Yang, L., Jaffe, S., Amini, F., Bergen, P. Hecht, B. & You, F. (2023). Climate mitigation potentials of teleworking are sensitive to changes in lifestyle and workplace rather than ICT usage. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 120, Nr. 39 (26. September): e2304099120.
- Tavares, A. I. (2017). Telework and health effects review. *International Journal of Healthcare*, 3(2), 30-36.
- TopTarif und Thermondo (2016). *Heizungstechnik und Heizverhalten in Deutschland*.
<https://docplayer.org/33637467-Heizungstechnik-und-heizverhalten-in-deutschland-eine-studie-von-toptarif-und-thermondo-partner-fuer-mehr-energieeffizienz.html> (Zugegriffen 9. Februar 2022).
- Ullrich, N., Piontek, F. M., Herrmann, C., Saraev A. & Viere, T. (2022). Estimating the resource intensity of the Internet: A meta-model to account for cloud-based services in LCA. *Procedia CIRP* 105: 80–85.
- UBA Umweltbundesamt (2023). *Energieverbrauch privater Haushalte*.
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte#direkte-treibhausgas-emissionen-privater-haushalte-sinken> (Zugegriffen 18. Juli 2023).
- UBA Umweltbundesamt (2021). Umweltfreundlich mobil! Ein ökologischer Verkehrsartenvergleich für den Personen- und Güterverkehr in Deutschland.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_fb_umweltfreundlich_mobil_bf.pdf.
- VDI (2021). Referenzlastprofile von Wohngebäuden für Strom, Heizung und Trinkwarmwasser sowie Referenzerzeugungsprofile für Fotovoltaikanlagen; Reference load profiles of residential buildings for power, heat, and domestic hot water as well as reference generation profiles for photovoltaic plants (VDI Richtlinie 4655).
- Villeneuve, H., Abdeen, A., Papineau, M., Simon, S., Cruickshank C. & O'Brien, W. (2021). New Insights on the Energy Impacts of Telework in Canada. *Canadian Public Policy* 47, Nr. 3 (1. September): 460–477.

- Walle, O. (2021). Körperliche Aktivität während Corona bei Beschäftigten im Homeoffice. *B&G Bewegungstherapie und Gesundheitssport*, 37(06), 260-268.
- Weeber, M., El-Mokadem, M. & Sauer, A. (2019). Assessment of Energy Related Planning Goals in Factory Design using Simulation Experiments. In: *Procedia CIRP* 84 , pp. 550-557. DOI: 10.1016/j.procir.2019.03.264.
- Weiß, J., Galvin, R., Madlener, R., Großmann D. & Hirschl, B. (2015). *Sondierungsstudie zur Quantifizierung von Rebound-Effekten bei der energetischen Sanierung von Nichtwohngebäuden/Bundesliegenschaften*. Arbeitsbericht/Forschungsbericht. BBSR-Online-Publikation. Bonn und Berlin: IÖW, RWTH, FCN, BTU Cottbus.
http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2015/DL_ON012015.pdf?blob=publicationFile&v=2.
- Weiß, J., Heinbach, K., Großmann, D., Hirschl B. & Galvin, R. (2017). *Quantifizierung von Rebound-Effekten bei der energetischen Sanierung von Nichtwohngebäuden / Bundesliegenschaften - Energiekennwerte, Prebound-Effekt und Verhalten der Nutzer/innen vor einer energetischen Sanierung*. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.
<https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2017/bbsr-online-02-2017-dl.pdf;jsessionid=3F489A985DDC10705A0673768FBAE7D5.live21303?blob=publicationFile&v=6>
(Zugegriffen 18. Februar 2019).
- Wells, J. E., & Welty Peachey, J. (2011). Turnover intentions: Do leadership behaviors and satisfaction with the leader matter?. *Team Performance Management: An International Journal*, 17(1/2), 23-40.
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz E. & Weidema, B. (2016). The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 21, Nr. 9: 1218–1230.
- Williams, E. (2011). Environmental effects of information and communications technologies. *Nature* 479, Nr. 7373 (November): 354–358.
- Xin, Z., Tiance, L., Xing S. & Xing, J. (2018). Case study of window operating behavior patterns in an open-plan office in the summer 165: 15–24.
- Yilmaz, S.; Chambers, J.; Patel, M. K. (2019). Comparison of clustering approaches for domestic electricity load profile characterisation - Implications for demand side management. In: *Energy* 180, S. 665–677. DOI: 10.1016/j.energy.2019.05.124.
- Yoshino, H., Hong, T., & Nord, N. (2016). IEA EBC annex 53: Total energy use in buildings—Analysis and evaluation methods. International Energy Agency.
- Yun, G. Y. & Steemers, K. (2010). Night-time naturally ventilated offices: Statistical simulations of window-use patterns from field monitoring 84, Nr. 7: 1216–1231.
- ZEW [Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH Mannheim] (2022). *Unternehmen halten nach der Pandemie an hybriden Arbeitsmodellen fest*.
<https://www.zew.de/presse/pressearchiv/unternehmen-halten-nach-der-pandemie-an-hybriden-arbeitsmodellen-fest> (Zugegriffen 18. Juli 2023).