

## Schlussbericht

### EnergyMap Berlin

# Verbundvorhaben EnEff:Wärme: EnergyMap Berlin - Online-Plattform zur Erstellung eines gebäudescharfen digitalen Wärmekatasters für den Gebäudebestand des Landes Berlin

Fördermittelgeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

Förderkennzeichen: 03EN3051A/B/C/D/E

Projektlaufzeit: 01.02.2022 – 31.09.2025

Berichtszeitraum: 01.02.2022 – 31.09.2025

Zuwendungsempfänger:

Universität der Künste Berlin

SEnerCon GmbH

Bezirksamt Charlottenburg-Wilmersdorf von Berlin

co2online gGmbH

Luftbild Umwelt Planung GmbH

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das Forschungsprojekt „EnEff:Wärme: EnergyMapBerlin - Online-Plattform zur Erstellung eines gebäudescharfen digitalen Wärmekatasters für den Gebäudebestand des Landes Berlin“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 03EN3051A/B/C/D gefördert und administrativ und fachlich vom Projektträger Jülich (PTJ) betreut. Für die Unterstützung möchten wir uns herzlich bedanken.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor:innen.



Universität der Künste Berlin

**SEnerCon**



co2online



## Inhaltsverzeichnis

I.	Schlussbericht .....	10
I.1.	Ausgangslage / kurze Darstellung.....	10
I.1.1.	Aufgabenstellung.....	10
I.1.2.	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	10
I.1.3.	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	11
I.1.4.	Wissenschaftlicher und technischer Stand.....	14
I.1.5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....	17
I.2.	Eingehende Darstellung.....	20
I.2.1.	Verwendung der Zuwendung und Zielerreichung .....	20
I.2.2.	Zahlenmäßiger Nachweis .....	21
I.2.3.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	21
I.2.4.	Verwertungsplan .....	23
I.2.5.	Anderweitig bekanntgewordener Fortschritt auf dem Gebiet.....	26
I.2.6.	Erfolgte Veröffentlichungen .....	26
II.	Ergebnisteil.....	28
II.1.	Vorgehensweise .....	28
II.1.1.	Entwurf des Softwareframeworks.....	29
II.1.2.	Umsetzungsplan, Risiken und Mitigationsstrategien .....	31
II.2.	Datenquellen, -erhebungen und Datenschutz .....	34
II.2.1.	Crowdsourcing-Daten.....	34
II.2.2.	Amtliche Datenerhebungen .....	37
II.2.3.	Kooperationen mit externen Partnern .....	51
II.2.4.	Öffentlich verfügbare Datenquellen.....	53
II.2.5.	Datenquellen aus Vorprojekten.....	57
II.2.6.	Qualifizierung der 3D-Gebäudedaten.....	58
II.2.7.	Übergeordnete Strukturierung der Datenquellen.....	72
II.2.8.	Datenschutz bei der Erhebung und Weitergabe von Daten .....	73
II.3.	Entwicklung eines KI-gestützten Prognosemodells .....	77
II.3.1.	Gebäudescharfe Simulationen der Heizwärmebedarfe.....	77
II.3.2.	Annahmen zur Berechnung der Wärmebedarfe für die Warmwasserbereitung 81	
II.3.3.	Kalibrierung der Gebäudewärmebedarfe.....	82
II.3.4.	Prognosemodelle für Heizwärmebedarfe.....	86
II.4.	Digitales Wärmekataster EnergyMap Berlin.....	92

II.4.1.	Webseite und Web-Applikation EnergyMap Berlin .....	92
II.4.2.	Veröffentlichungsdatenbank .....	93
II.4.3.	Webinterface zur gebäudescharfen Prognose der Heizenergiebedarfe.....	93
II.4.4.	Anwendungsbeispiel Referenzszenarien .....	96
II.4.5.	Anwendungsbeispiel Nutzerinteraktion .....	97
II.4.6.	Verlinkungen zu Geoportalen .....	99
II.5.	Übertragbarkeit auf andere Kommunen .....	100
II.6.	Veröffentlichung und Ausblick .....	103
II.6.1.	Testphase und Veröffentlichung der Webapp.....	103
II.6.2.	Fortführung und Ausblick .....	104
III.	Literaturverzeichnis .....	106
IV.	Anhang.....	109

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ursprünglicher Projektablaufplan .....	13
Abbildung 2: Angepasster Projektablaufplan .....	14
Abbildung 3 Überblick Datenflüsse und Methoden bei der Datenerhebung und -verarbeitung für EnergyMap Berlin .....	30
Abbildung 4 Softwarearchitektur zur Ergebnisveröffentlichung der Daten von EnergyMap Berlin über eine Webapp.....	31
Abbildung 5: Risikomatrix ohne Mitigation .....	32
Abbildung 6: Risikomatrix mit Mitigation.....	33
Abbildung 7: Heiz-Check-Abfrage an Berliner Nutzende, ob Bereitschaft zur Datenspende besteht .....	35
Abbildung 8: HeizCheck-Seite zur Auswahl des betreffenden Gebäudes und zur Abgabe der Datenspende .....	35
Abbildung 9: Monatliche bundesweite HeizCheck-Nutzungen zwischen 2020 und 2025.....	36
Abbildung 10: Datenerhebungsgebiete in Charlottenburg-Wilmersdorf, © EnergyMap Berlin, Hintergrundkarte © OpenStreetMap.....	39
Abbildung 11: Flächennutzung und Gebäudefunktionen auf der Mierendorff-Insel, Umriss Untersuchungsgebiet © EnergyMap Berlin   Gebäudeumrisse und -funktionen© ALKIS Berlin   Hintergrundkarte © OpenStreetMap .....	40
Abbildung 12: Einladung zur Inselkonferenz 2023, bei welcher das Projekt EnergyMap Berlin vorgestellt wurde .....	41
Abbildung 13: Flächennutzung und Gebäudefunktionen im Klausenerplatz-Kiez, Umriss Untersuchungsgebiet © EnergyMap Berlin   Gebäudeumrisse und -funktionen© ALKIS Berlin   Hintergrundkarte © OpenStreetMap .....	43
Abbildung 14: Gebäudefunktionen im Siedlungsgebiet Eichkamp-Heerstraße, Umriss Untersuchungsgebiet © EnergyMap Berlin   Gebäudeumrisse und -funktionen© ALKIS Berlin   Hintergrundkarte © OpenStreetMap .....	45
Abbildung 15: Gebäudenutzungen im Untersuchungsgebiet City-West, Umriss Untersuchungsgebiet © EnergyMap Berlin   Gebäudeumrisse und -funktionen © ALKIS Berlin   Hintergrundkarte © OpenStreetMap .....	48
Abbildung 16: LOD-Gebäudetypen. Quelle: [Biljecki, 2016].....	54
Abbildung 17: Untersuchungsgebiet in Berlin-Charlottenburg zur Qualifikation des 3D-Gebäudemodells .....	58
Abbildung 18: Workflow zur Qualifikation der 3D-Gebäudedaten. Eigene Darstellung .....	59
Abbildung 19: Workflow zur Gebäudegrundflächenextraktion aus Punktwolken in Global Mapper Pro und QGIS.....	61
Abbildung 20: Beispiele der automatisierten Gebäudeerkennung aus Luftbildern a) korrekte Dacherkennung aber zur Grundfläche verschoben, b) Dacherkennung inklusive	

Gebäudewände, c) korrekte Dacherkennung mit PV und nahezu korrekte Lage, d) korrekte Dacherkennung aber zur Grundfläche leicht verschoben .....	61
Abbildung 21: Vergleich der Gebäudegrundflächenkorrelation.....	62
Abbildung 22: Vergleich der Gebäudegrundrisse aus dem CityGML und der Laserscan-Punktwolke.....	63
Abbildung 23: Vergleich der Gebäudegrundrisse aus der Laserscan-Punktwolke und der Referenzdaten .....	64
Abbildung 24: Fehlende Gebäudeumrisse im CityGML im Vergleich zu den Referenzdaten ..	64
Abbildung 25: Fehler durch nicht aktuelle ALKIS Daten im CityGML im Vergleich zu den Referenzdaten .....	65
Abbildung 26: Vergleich der Gebäudeumrisse aus OpenStreetMap und der Referenzdaten.	66
Abbildung 27: Ergebnisse der Gebäudeerstellung mittels Minkowski Engine und der Laserscan-Punktwolke .....	67
Abbildung 28: aus Punktwolke extrahierte Gebäudegrundrisse angrenzender Gebäude .....	68
Abbildung 29: Beispielgebäude zum Vergleich der Grundrisse, Höhen und Volumen.....	68
Abbildung 30: Vergleich der Grundrisse des Gebäudes 10261632 .....	69
Abbildung 31: Workflow zur Analyse der Baudynamik .....	69
Abbildung 32: Baudynamik in Berlin anhand der OSM-Daten .....	70
Abbildung 33: Mit SimStadt analysierte Sanierungskategorien .....	79
Abbildung 34: Auf Basis von SimStadt automatisch erzeugte Simulationsvarianten für den Berliner Gebäudebestand.....	80
Abbildung 35: In EnergyMap Berlin verwendete Kalibrierungsfunktion zur Berücksichtigung der Rebound-Effekte bei der Gebäudenutzung nach [Loga, 2019] .....	83
Abbildung 36: Stadtquartier in Berlin Pankow, welches zum blockweisen Vergleich „Verbrauch versus Bedarfsberechnung“ herangezogen wurde. Links: 3D-Stadtteilmodell (Quelle: Apple-Karten): rechts: gebäudescharfe Energieeffizienzklassifizierung für den klimabereinigten Ist-Zustand in EnergyMap Berlin. ....	84
Abbildung 37: Verhältnis berechnete EnergyMap Berlin-Endenergie-Blockbedarfe zu Endenergie-Blockverbräuchen der Jahre 2020 bis 2023 für ein nahezu nur über Erdgas beheiztes Stadtquartier .....	84
Abbildung 38: Häufigkeitsverteilung für das Verhältnis berechnete EnergyMap Berlin-Blockbedarfe zu Blockverbräuchen .....	85
Abbildung 39: Trainingsverlauf der 8 neuronalen Netzwerkmodelle (dargestellt ist die Minimierung des mittleren absoluten Fehlers MAE) .....	88
Abbildung 40: Anzahl der Trainingsdaten pro Gebäudekategorie der unterschiedlich großen Wohn- und Nichtwohngebäude .....	89
Abbildung 41: Prognosegüte in Prozent des absoluten Heizwärmebedarfs (kWh/a) pro Gebäudekategorie der unterschiedlich großen Wohn- und Nichtwohngebäude .....	89

Abbildung 42: Prognosegüte in Prozent des spezifischen Heizwärmebedarfs (kWh/m2a) pro Gebäudekategorie der unterschiedlich großen Wohn- und Nichtwohngebäude .....	90
Abbildung 43: Überblick der technisch notwendigen Server-Systeme für die EnergyMap Berlin .....	92
Abbildung 44: Webapp für Darstellung und Bezug von Ergebnisdaten des Forschungsvorhabens ( <a href="https://energymap-berlin.de/map">https://energymap-berlin.de/map</a> ) .....	94
Abbildung 45: Filterfunktionen der Webapp von EnergyMap Berlin .....	95
Abbildung 46: EnergyMap Berlin mit aktivierter 3D-Gebäudedarstellung.....	95
Abbildung 47: Webinterface für das KI-Prognosemodell .....	96
Abbildung 48: Berliner Altbau mit ausgebautem Dachgeschoss, für welchen zusätzliche Gebäudeinformationen und langjährige Energieverbrauchsmessungen vorliegen .....	98
Abbildung 49: Prognostizierte Energiebedarfe und Verbrauchsdaten für den Gründerzeitaltbau der Jahre 2010 bis 2022 .....	99
Abbildung 50: Verlinkung von EnergyMap Berlin mit dem mit dem Energieatlas Berlin: Nach Auswahl eines Gebäudes in der WebApp von EnergyMap Berlin (links) führt die Verlinkung zum gleichen Gebäude auf der Karte des Energieatlas Berlin (rechts). Dort können dann Zusatzinformationen zu verschiedenen Themen der Energieversorgung (PV, Solarthermie, Ladepunkte, BHKW, ...) in der Gebäudeumgebung angezeigt werden. ....	99
Abbildung 51: Kartendarstellung des Energieatlas Berlin mit den in EnergyMap Berlin berechneten gebäudescharfen jährlichen Endenergiebedarfen für Heizen und Warmwasserbereitung.....	100
Abbildung 52: Gemeinde Michendorf mit ihren Gemeindegrenzen (Quelle: <a href="http://energieportal-brandenburg.de">energieportal-brandenburg.de</a> ).....	100
Abbildung 53: genutzte Baualtersklassen und Gebäudenutzungen für die Fallstudie Michendorf (Ausschnitt für das Zentrum der Gemeinde) .....	101
Abbildung 54: Präsentation zur Veröffentlichung von EnergyMap Berlin durch den Projektkoordinator Prof. Nytsch-Geusen (links) und anschließende Podiumsdiskussion mit Fachvertreter:innen(rechts) auf den Berliner Energietagen 2025 .....	103
Abbildung 55: Infostand zu EnergyMap Berlin, an welchem Fachbesucher:innen das digitale gebäudescharfe Wärmekataster selbst testen konnten. ....	104

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ansätze zur 3D-Modellierung des Gebäudebestands (State-of-the-art) .....	16
Tabelle 2: Zahlenmäßiger Nachweis.....	21
Tabelle 3: Risiken und Risikominderungen.....	32
Tabelle 4: Mitigationsstrategien.....	33
Tabelle 5: Anzahl der Gebäude auf der Mierendorff-Insel, kategorisiert nach Nutzungsarten	41
Tabelle 6: Verteilung der Wohngebäude auf der Mierendorff-Insel nach Baualtersklassen ..	41
Tabelle 7: Verteilung der Gebäude und ihrer Nutzfläche auf der Mierendorff-Insel nach Eigentümerart .....	42
Tabelle 8: Datenerhebung und ihre Rücklaufquote auf der Mierendorff-Insel.....	42
Tabelle 9: Nutzungsarten der analysierten Gebäudeflächen im Klausener Platz-Kiez .....	44
Tabelle 10: Verteilung der Gebäude und ihrer Nutzfläche im Klausener Platz-Kiez nach Eigentümerart .....	44
Tabelle 11: Datenerhebung und ihre Rücklaufquote im Klausener Platz-Kiez .....	45
Tabelle 12: Nutzungsarten der analysierten Gebäudeflächen im Siedlungsgebiet Eichkamp/Heerstraße.....	46
Tabelle 13: Verteilung der Gebäude und ihrer Nutzfläche im Siedlungsgebiet Eichkamp/Heerstraße.....	46
Tabelle 14: Datenerhebung und ihre Rücklaufquote im Siedlungsgebiet Eichkamp/Heerstraße .....	47
Tabelle 15: Nutzungsarten der analysierten Gebäudeflächen im Gebiet City West .....	49
Tabelle 16: Verteilung der Wohngebäude nach Baualtersklassen im Gebiet City West .....	50
Tabelle 17: Verteilung der Gebäude und ihrer Nutzfläche im Gebiet City West.....	50
Tabelle 18: Datenerhebung und ihre Rücklaufquote im Gebiet City West .....	51
Tabelle 19: Verfügbare Luftbilder für Berlin der Jahre 2018 bis 2025.....	57
Tabelle 20: Verfügbare Datengrundlage zur Qualifikation des 3D-Gebäudemodells.....	59
Tabelle 21: Vergleich der Gebäude aus dem CityGML, Laserscan-Punktwolke, OSM und Luftbild .....	68
Tabelle 22: Anzahl der Gebäudeumrisse der verschiedenen Datenquellen im Untersuchungsgebiet .....	69
Tabelle 23: Vergleich der Wachstumsraten von Gebäuden in Berlin (schwarz: OSM-Daten, rot: dena-Bericht [dena,2021]) .....	70
Tabelle 24: Annahmen zum nutzflächenspezifischen Warmwasserbedarf verschiedener Gebäudekategorien in EnergyMap Berlin .....	81
Tabelle 25: Angenommene Block-Anlagennutzungsgrade zur Berechnung der Endenergiebedarfe .....	82

Tabelle 26: Die acht neuronalen Netzwerkmodelle des KI-Prognosemodells von EnergyMap Berlin .....	89
Tabelle 27: Referenzszenarien von EnergyMap Berlin .....	96
Tabelle 28: Parametersatz für das Altbaugebäude aus Abbildung 51. Links: statistisch wahrscheinlicher Parametersatz aus der EnergyMap Berlin-Datenbank, rechts: veränderter Parametersatz auf Grund zusätzlichen Nutzerwissens.....	98
Tabelle 29: Prognostizierte Endenergiebedarfe durch EnergyMap Berlin und Endenergieverbräuche (Verbrauchswerte aus energieportal-brandenburg.de in MWh/a) für die Flure des Ortsteils Wilhelmshorst der Kommune Michendorf .....	102

# I. Schlussbericht

## I.1. Ausgangslage / kurze Darstellung

### I.1.1. Aufgabenstellung

Im Forschungsvorhaben „EnergyMap Berlin“ wurde das Ziel verfolgt, ein digitales, gebäudescharfes Wärmekataster für den Gebäudebestand des Landes Berlin zu entwickeln, zu evaluieren und zu etablieren. Aufgabe war, eine umfassende sowie räumlich aufgelöste Datengrundlage zum aktuellen energetischen Zustand des Gebäudebestands zu schaffen, um daraus fundierte Planungs- und Entscheidungsgrundlagen für die Energiewende auf Quartiersebene abzuleiten. Dazu wurde eine datenbankgestützte Multi-User- und Multi-Source-Plattform konzipiert, die öffentlich verfügbare Gebäudeinformationen sowie Wärmeverbrauchsdaten kombiniert.

Ein wesentlicher Bestandteil war die Erhebung tatsächlicher Verbrauchsdaten direkt durch die Gebäudenutzer und -eigentümer:innen, welche diese über eine Webseite von des Verbundpartners co2online eingeben konnten. Zudem war ein Ziel Kooperationen mit z.B. Wohnungsbaugesellschaften und Energieversorgern zu schließen, um weitere gebäudescharfe Energieverbrauchsdaten zu erheben. Parallel wurden auf Basis physikalischer basierter und statistischer Methoden gebäudescharfe Heizwärmebedarfswerte berechnet. Durch den Abgleich der berechneten mit den erhobenen Daten sollten die Berechnungsmodelle kontinuierlich verbessert und validiert werden, um ihre Prognosegüte weiter zu erhöhen. Das Forschungsvorhaben strebte an, schrittweise ein flächendeckendes, hochauflösendes Wärmekataster für Berlin aufzubauen, das nicht nur gebäudescharfe Energiebedarfskennwerte, sondern auch reale Verbrauchswerte enthält. Die erhobenen und berechneten Datensätze sollten in einer einheitlich strukturierten Datenbank gespeichert und über Schnittstellen als Webservice öffentlich verfügbar gemacht werden – gebäudescharf oder in aggregierter Form, etwa auf Blockebene. Langfristig soll das Projekt eine maximale Transparenz über die Energieverbräuche in Berlin ermöglichen und eine solide Basis für energetische Sanierungsstrategien, stadtquartiersbezogene Energiekonzepte und politische Entscheidungen bieten. Der entwickelte methodische Ansatz wurde so gestaltet, dass er auf andere Städte und Regionen übertragbar bleibt. Darüber hinaus wurde ein zivilgesellschaftlicher Ansatz integriert, um auch Bürger:innen als aktive Teilnehmende der Energiewende zu gewinnen und so einen gesellschaftlich verwertbaren Mehrwert zu schaffen.

### I.1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Forschungsprojekt wurde als Verbundprojekt mit den Verbundpartnern Bezirksamt Charlottenburg-Wilmersdorf von Berlin (BezCW), der co2online gGmbH (co2online), der SENERCON GmbH (Senercon), der Luftbild Umwelt Planung GmbH (LUP) und der Universität der Künste Berlin (UdKB) gemeinsam beantragt und durchgeführt. Die Koordination des Gesamtprojekts erfolgte durch die UdKB.

Die sechs Verbundpartner brachten komplementäre Kompetenzen und Vorarbeiten in das Projektvorhaben aus der kommunalen Wärmeplanung, aus dem Crowdsourcing von Gebäudeenergieverbräuchen, der Modellierung gebäudescharfer Heizenergiebedarfe, der 3D-Gebäudemodellierung, GIS-Systemen, Softwareentwicklung in den Bereichen Datenbanken und Webinterfaces ein, welches eine wesentliche Voraussetzung für die komplexen Forschungsziele vom EnergyMap Berlin darstellte.

Das **BezCW** brachte seine Kompetenzen und Bedarfe aus der laufenden kommunalen Wärmeplanung in das Projekt ein. Erfahrungen mit Beteiligungsprozessen in der Stadtentwicklung, bestehende Zugänge zu unterschiedlichsten Akteuren und anderen Verwaltungen, nicht zuletzt rechtlich gesicherte Handlungsmöglichkeiten zur Erhebung von Gebäude- und Wärmeverbrauchsdaten konnten zielführend für EnergMap Berlin eingesetzt werden.

**co2online** nutzte und erweiterte seine bestehenden OnlineChecks und deren Reichweite, um Privathaushalte in Berlin dazu zu motivieren, eigene Daten zum bewohnten Gebäude und seinem Heizwärmeverbrauch gebäudescharf zur Verfügung zu stellen, um damit die Transparenz zum Heizwärmeverbrauch Berliner Gebäude zu erhöhen.

**Senercon** setzte die Anpassungen und Erweiterungen auf der Softwareseite um, die zum Einsatz der OnlineChecks für die Crowdsourcing-Kampagne erforderlich waren. Beispielsweise wurde das Setzen einer virtuellen Standortnadel auf einer Web-Karte ermöglicht, um das jeweilige Gebäude genau zu lokalisieren. Darüber hinaus konnte Senercon bestehende Basiskompetenzen beim Datenschutz nutzen und umfangreich erweitern, im Austausch mit juristischen Experten und durch eigene Recherchen und Untersuchungen der Rechtslage auf europäischer, Bundes- und Landesebene.

Die **LUP** wollte die Bilanzierungsgrundlage, das energetische Gebäudemodell, des Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm (BEK) verbessern und dabei insbesondere automatisierbare Methoden zur Erkennung von Gebäudehüllen aus Fernerkundungsdaten entwickeln. Die LUP bringt im Bereich Geo- und insbesondere Fernerkundungsdaten weitreichende Expertise aus diversen Projekten auch für das Land Berlin ein. Die Verbesserung des energetischen Gebäudemodells sollte in das digitale Informationssystem des BEK (DiBEK) integrierbar sein, das von der LUP entwickelt wurde.

Die **UdKB** brachte ihre bestehende Kompetenz im Bereich Modellierung von Energiebedarfen des Gebäudebestands sowie Analyse der Energieeffizienz von Stadtquartieren ein. Diese bisher auf physikalisch basierten Modellansätzen beruhenden Methoden wurden im Verbundprojekt um ein KI-basiertes Prognosemodell zur gebäudescharfen Bestimmung der Heizwärmebedarfe erweitert, welches den gesamten Gebäudebestand von Berlin umfasst.

Weiterhin bestand die Rolle der UdKB in der Gesamtkoordination des Verbundprojekts, was die Organisation und Durchführung von regelmäßigen Jour Fixes innerhalb des Projekts, von Öffentlichkeitsveranstaltungen zur Bekanntmachung von Projektergebnissen, sowie die Darstellung des Projektes auf einer Webseite (<https://energymap-berlin.de>) betraf.

### I.1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Ablauf des Forschungsvorhabens war in acht Arbeitspakete unterteilt. Die Arbeitspakete lauteten:

- AP 1 Anforderungsanalyse & Spezifikation Gesamtsystem
- AP 2 Datenschutz
- AP 3 Implementierung des softwaretechnischen Systems
- AP 4 Erprobung des Wärmekatasters an einem Testgebiet
- AP 5 Evaluierung des Forschungsansatzes an einem Berliner Stadtquartier
- AP 6 Ausdehnung des Forschungsansatzes auf das Land Berlin
- AP 7 Implementierung der Verbrauchsdaten in die Landesstatistiken
- AP 8 Projektkoordination und Dissemination

Für das Projekt EnergyMap Berlin musste bei einigen Projektpartnern neues Personal eingestellt werden. Da hierbei Fristen für Stellenausschreibungen und Einstellungsprozesse eingehalten werden mussten, konnten diese Einstellungen nicht direkt zu Projektbeginn erfolgen. Dadurch kam es zu Verzögerungen bei der Bearbeitung des ursprünglich geplanten Arbeits- und Zeitplans.

An der UdKB wurden zwei wissenschaftliche Mitarbeiter:innen zum 01.09.2022 eingestellt. Dies führte zu einer Verzögerung der Bearbeitung der Arbeitspakete um sieben Monate. Die beiden wissenschaftlichen Mitarbeiter:innen waren bis zum 30.06.2025 beschäftigt. Zudem wurden im Förderzeitraum zwei studentische Hilfskräfte im Projekt an der UdKB eingesetzt. Im BezW konnte die für die Bearbeitung des AP 5 vorgesehene Personalstelle trotz dreier Stellenausschreibungen nicht dauerhaft besetzt werden. Ausgewähltes Personal wechselte z.T. noch vor Unterzeichnung der Arbeitsverträge auf unbefristete Stellen innerhalb Berlins. Lediglich in der Zeit von 10/2023 bis 01/2024 konnte die Stelle zeitweilig besetzt werden. Die Aufgaben im Bezirksamt wurden daher mit Stammpersonal sowie über Honorarverträge weiterbearbeitet. Damit gelang es, auch ein gegenüber den ursprünglichen Planungen erheblich verändertes Aufgabenpaket erfolgreich abzuschließen.

Da das Projekt EnergyMap Berlin eng mit aktuellen gesellschaftlichen und politischen Entwicklungen verknüpft war, hatten auch äußere Rahmenbedingungen Einfluss auf die Projektarbeit. Besonders relevant war hier das Klimaschutz- und Energiewendegesetz Berlin (EWG Bln), welches die Errichtung eines amtlichen Wärmekatasters für das Land Berlin vorschreibt. EnergyMap Berlin konnte sich einerseits als frei verfügbares, gebäudescharfes Wärmekataster von diesem Vorhaben abgrenzen. Andererseits ermöglichte das Gesetz amtliche Datenerhebungen, was dem Projekt zugutekam.

Aufgrund der Verzögerungen bei der Personaleinstellung sowie einer Re-Evaluation des Projekts vor dem Hintergrund der veränderten Rahmenbedingungen wurde für das Verbundprojekt eine kostenneutrale Verlängerung des Projektzeitraums um neun Monate bis zum 30.09.2025 beantragt. Diese Verlängerung wurde mit Bescheid des Fördermittelgebers vom 19.07.2024 bewilligt.

Durch die verlängerte Projektlaufzeit konnten die wesentlichen Meilensteine und Projektziele erreicht werden. Abbildung 1 zeigt den ursprünglichen Zeitplan als Gantt-Diagramm, während Abbildung 2 den tatsächlichen Ablaufplan unter Berücksichtigung der Laufzeitverlängerung darstellt.



Wiederholung in folgenden Jahren ermöglichen sollte. Dieser Aspekt ist insbesondere für das Monitoring und damit verbundenen Aussagen zur Baudynamik von großem Interesse. Weiterhin wurde im Arbeitsprozess ersichtlich, dass der Hochschulcampus Berlin-Charlottenburg, aufgrund des speziellen Charakters seines Gebäudebestands, als Testgebiet nur bedingt geeignet ist, um neuentwickelte 3D-Geometriemodelle zu validieren. Es erfolgte daher eine Ausdehnung des Untersuchungsgebiets.

AP	Name des Arbeitspakets	Lead-Partner	Personenmonate (PM) bzw. Stunden (h)				2022					2023					2024					2025							
			USt	CoOpOnline	Intersect	BerchW	USt	Feb.	Mär.	Apr.	May	Jun.	Juli	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	May	Jun.	Juli	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.
AP 1	Anforderungsanalyse & Spezifikation Gesamtsystem	USt	6	1	3,5	3	3,5																						
AP 1.1	Recherche zu Datenquellen		1		0,75	3	3																						
AP 1.2	Funktionale Anforderungen und Design des Softwaresystems		1			1	1																						
AP 1.3	Softwareschnittstellen und Datenaustauschformate		2			1	1																						
AP 1.4	Umsetzungsgang zur Implementierung		1			0,5	0,5																						
AP 1.5	Risiken und Minderungsstrategien		1		0,25	0,5	1																						
AP 2	Datenhoheit	Intersect	1		2	7	11,5	0																					
AP 2.1	Erstellung eines Datenschutzkonzepts für das EnergyMap Gesamtsystem		1		2	7	11,5	0																					
AP 2.2	Austausch mit Datenschutzbeauftragten basierend auf dem vorläufigen Datenschutzkonzept		1		0,5	2	0,5																						
AP 2.3	Erstellung und Verifizierung der Datenschutz-Projekt-Guidelines		1		0,5	2	0,5																						
AP 3	Implementierung des softwaretechnischen Systems	USt	21		7	12,5	1	4,1																					
AP 3.1	Implementierung Datenbankstruktur		5		1	1	1																						
AP 3.2	Erweiterung von Open Quarter (n). Datenbankschnittstelle		5		1	1	1																						
AP 3.3	Implementierung Web-Oberfläche und App		6		4	1																							
AP 3.4	Implementierung Backends		6		4	1																							
AP 3.5	Implementierung 2D/3D-Webinterface		4		2	4,1																							
AP 3.6	Implementierung serverseitiges Webinterface		4		2	4,1																							
AP 3.7	Integration zum Gesamtsystem		2		2																								
AP 4	Erprobung des Wärmekatasters an einem Testgebiet	USt	13		4	4	0	17,6																					
AP 4.1	Validierung und Qualifizierung von 3D-Modellen des energetischen Gebäudemodells		1		2	1	14,1																						
AP 4.2	Generierung gebäudescharfer Parametersätze		2		1	1	1,5																						
AP 4.3	Einlesen von Verbrauchsdaten in die Datenbank		1		1	1	2																						
AP 4.4	Aufbau, Test und Validierung des Simulationsrechners		4		2	1	2																						
AP 4.5	Aufbau der Dateninfrastruktur mittels Erprobung zum Vergleichssystem (z.B. Ina)		4		2	1	2																						
AP 5	Erbildung des Forschungsnetzes an einem Berliner Stadtquartier	BerchW	10		3	4,5	21	0																					
AP 5.1	Abstimmung mit Bezirksverwaltung und Kooperationspartnern		10		0,5	0,5	2	0																					
AP 5.2	Weiterentwicklung Methodenset		1		1	1	1																						
AP 5.3	Datenakquise: Durchführung von Öffentlichkeitskampagnen		1,5		1,5	10																							
AP 5.4	Datenakquise: Kooperationsvereinbarungen		1,5		1,5	1,4	4																						
AP 5.5	Erhebung/Strukturierung von Verbrauchs- und Bedarfsdaten		5		2	1	4																						
AP 5.6	Qualitätsanalyse berechneter Energiebedarfe		2		1	1	1																						
AP 5.7	Optimierung der Fragestellung des Datenanforderers		1		1	1	1																						
AP 6	Ausdehnung des Forschungsnetzes auf das Land Berlin	CoOpOnline	13		21	8,5	0	2,1																					
AP 6.1	Bestandsanalyse Heizenergieverbrauchsdaten		1		3	3	1	5																					
AP 6.2	Kooperationsvereinbarungen mit Dritten		1		3	3	1	5																					
AP 6.3	Vorbereitung DA-Instrumente für Generierung zusätzlicher Daten		2		5	1	1																						
AP 6.4	Datenakquise: Dada- und Motivationskampagnen (online)		1		3	1	3																						
AP 6.5	Datenakquise: Kooperationen und Versicherungen		1		3	1	3																						
AP 6.6	Bedarfsforschungen für weitere Bereiche der Stadt Berlin		6		3	1,5	1	2,1																					
AP 6.7	Datenspeicherung und -aufbereitung		1		3	1,5	1	2,1																					
AP 7	Implementierung der Verbrauchsdaten in die Landesstatistiken	USt	7		4	4	1,5	36,3																					
AP 7.1	Disaggregation der Cluster in dBk, Energiekreis und Landeskreis, Defizitanalyse		1		1	1	1	5																					
AP 7.2	Entwicklung von Anlagendaten Indikatoren in EnergyMap		1		1	1	1	5																					
AP 7.3	Schnittstelle zum EnergieGIS		2		2	1	1	7,1																					
AP 7.4	Algorithmen zur Implementierung der Clusterwerte in dBk und Energiekreis		1		1	1	1	10,1																					
AP 7.5	Test und Validierung anhand der Ergebnisse AP 4 und AP 5		1		1	1	1	4																					
AP 7.6	Abgabe erster Geschäftsberichte Rückkopplung mit AP 6		2		2	1	1,5	4																					
AP 8	Projektkoordination und Dissemination	USt	5		2	2	2	2																					
AP 8.1	Projektmanagement, Öffentlichkeitsarbeit, Kommunikation		1		1	1	1	1																					
AP 8.2	Projektberatungen und Meeting zur Weiterführung des Projekts		2		1	1	1	1																					
AP 8.3	Zwischenberichte		2		1	1	1	1																					
Somme			70		68	68	38	65,4																					

Abbildung 2: Angepasster Projektablaufplan

### 1.1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Zu Beginn des Forschungsvorhabens wurden bereits durchgeführte nationale und europäische Forschungsprojekte analysiert, die sich mit der (gebäudescharfen) Ermittlung, Prognose und Kartierung von Wärmebedarfen und -verbräuchen im Gebäudebestand befassen. Im Fokus standen dabei methodische Ansätze, Softwarewerkzeuge und Datenquellen zur energetischen Analyse von Wohn- und Nichtwohngebäuden auf Quartiers- und Stadtebene.

Ein weiterer relevanter Bereich war die Analyse der verfügbaren Methoden zur Erstellung von 3D-Modellen für den Gebäudebestand für eine große Metropole wie Berlin. Methoden zur präzisen Beschreibung der Gebäudegeometrien und zur umfassenden Berücksichtigung des jahresaktuellen Gebäudebestands in einem Stadtmodell stellen eine wichtige Voraussetzung für die Qualität eines städtischen Wärmekatasters dar.

Durch diese beiden Analysen konnte das Forschungsvorhaben EnergyMap Berlin in den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik eingeordnet werden.

### Energetischen Analyse von Wohn- und Nichtwohngebäuden auf Quartiers- und Stadtebene

Auf nationaler Ebene existierten eine Vielzahl abgeschlossener und laufender Projekte mit unterschiedlichen Zielsetzungen. Im Projekt **MeMap** wurde eine offene Softwareplattform zur gebäude- und sektorenübergreifenden Energieplanung und -optimierung von Quartieren entwickelt [Lickleder, 2021]. Auf Basis von Bedarfsprognosen einzelner Gebäude wurden zeitlich hoch aufgelöste Fahrpläne für einen ökonomisch und ökologisch optimierten Anlagenbetrieb erstellt. Die Anwendung wurde in einem Verbund aus Wohn- und Geschäftsgebäuden evaluiert und zeigte Einsparpotenziale gegenüber der Einzelversorgung von Gebäuden.

Mit dem Projekt **dataNWG** wurde erstmals eine umfassende Datengrundlage zum energetischen Zustand des deutschen Nichtwohngebäudebestands geschaffen. Durch eine groß angelegte Primärdatenerhebung konnten Struktur, Baualter, Flächen, Gebäudehüllen und Anlagentechnik systematisch erfasst werden [Hörner, 2022]. Diese Datenbank ermöglicht künftig belastbare Bedarfsabschätzungen für Nichtwohngebäude auf Basis weniger Parameter und stellt eine wichtige methodische Grundlage für Quartiers- und Stadtanalysen dar.

In den Projekten **SimStadt** [NOUVEL, 2015] und **SimStadt 2.0** [Coors, 2020] wurde eine urbane Simulationsumgebung entwickelt, die auf georeferenzierten 3D-Gebäudemodellen (CityGML) basiert. Mit dieser Software können gebäudescharfe energetische Analysen von Stadtquartieren durchgeführt werden, unter anderem zur Simulation von Heizwärmebedarfen, Photovoltaikpotenzialen, Sanierungsszenarien und Wärmeverteilnetzen. Die Modelle wurden in mehreren deutschen Städten anhand realer Verbrauchsdaten validiert und richten sich insbesondere an Kommunen, Stadtplaner und Architekten.

Das Projekt **TRAIL** [Schürmann, 2019] untersuchte Entscheidungsprozesse für Energie- und Klimaschutzmaßnahmen im ländlichen Raum Thüringens. Hierzu wurde ein Online-Tool entwickelt, das auf Basis von GIS-, Zensus- und weiteren Daten Strom- und Wärmebedarfe in einem Raster von 100 m × 100 m prognostiziert. Aufgrund der geringen räumlichen Auflösung und des Fokus auf dünn besiedelte Räume ist der Ansatz jedoch nur eingeschränkt auf Großstädte übertragbar und nicht gebäudescharf.

Im Projekt **GEWISS** wurde für die Stadt Hamburg ein Werkzeug zur gebäudescharfen Berechnung von Heizwärmebedarfen auf Grundlage von ALKIS-Daten und Gebäudetypologien entwickelt [Dochev, 2020]. Die Ergebnisse wurden im Hamburger Wärmekataster auf Blockebene veröffentlicht. Eine Einbindung realer Verbrauchsdaten war jedoch nicht Bestandteil des Projekts. Ähnlich verfolgten die Projekte **DynamiKa** [Becker, 2018] und **DynamiKol** [Becker, 2022] die Entwicklung GIS-basierter Wärmekataster für Kommunen, wobei aktuell zusätzliche Daten zum Sanierungsstand erhoben werden, jedoch ebenfalls keine gebäudescharfen Verbrauchsdaten einfließen.

Auf Landesebene wurden mit dem **Energieatlas Berlin** [Energieatlas Berlin, 2026] sowie dem energetischen Gebäudemodell **diBEK** [Hirsch, 2015] Instrumente geschaffen, die aggregierte Wärme- und Stromverbrauchsdaten beziehungsweise modellbasierte Endenergie- und Emissionsbilanzen darstellen. Beide Ansätze basieren auf räumlich aggregierten oder top-down modellierten Daten und erlauben keine direkte Abbildung realer Verbrauchsdaten auf Gebäudeebene. Erst im Kontext der beginnenden gesamtstädtischen Wärmeplanung wurden 2023 seitens der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen auch ein gebäudescharfer Datensatz **“Nutzwärmebedarf der Wohn- und Nichtwohngebäude 2022”** im Geoportal Berlin veröffentlicht [SenSBW, 2023], der auf die Bestimmung der Gebäudeeignung für zentrale oder dezentrale Wärmeversorgungssysteme zielte.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass nationale Projekte entweder auf die Erstellung digitaler Wärmekataster auf Basis berechneter Bedarfe abzielten oder darüberhinausgehende Werkzeuge für energetische Planung und Management entwickelten. Die Integration realer, gebäudescharfer Verbrauchsdaten blieb jedoch meist unberücksichtigt.

Auch auf europäischer Ebene zeigte sich eine wachsende Bedeutung räumlich hoch aufgelöster Wärmebedarfsanalysen. Mehrere Studien entwickelten typologie- und morphologiebasierte Ansätze zur Berechnung von Heizwärme- und auch Kühlenergiebedarfen und evaluierten diese in europäischen Metropolen. Projekte wie die **London Energy Map**

[LondonEnergyMap, 2026], **EnerCity** [Agugiario, 2016] (Trento) sowie die EU-Projekte **Heat Roadmap Europe** [Heat Roadmap Europa, 2021] und **Hotmaps** [HOTMAPS, 2020] stellten räumlich hoch aufgelöste Wärme- und Kältebedarfsdaten bereit, meist in Rasterauflösungen von 100 m × 100 m. Auch hier lag der Schwerpunkt überwiegend auf modellierten Bedarfen, während reale Verbrauchsdaten nur selten und meist ausschließlich zur Modellvalidierung genutzt wurden.

### 3D-Gebäudemodellierung von Gebäudebeständen städtischer Strukturen

Eine präzise und automatisierte Rekonstruktion von 3D-Gebäuden des Bestands aus Fernerkundungsdaten, insbesondere aus Laserscan-Punktwolken, ist ein aktives Forschungsfeld. Wichtige Methoden zur Modellierung von dreidimensionalen Gebäudeformen umfassen **LiDAR-Prozessierung** und Methoden der **Photogrammetrie**, die Punktwolken aus der Fernerkundung generieren. LiDAR liefert präzise Entfernungsdaten mittels Laserscanverfahren, während Photogrammetrie Bilddaten – aus Luftbild- oder Satellitenaufnahmen- aus verschiedenen Blickwinkeln nutzt, um 3D-Strukturen zu rekonstruieren. Diese Punktwolken können sich in der Punktdichte pro Quadratmeter unterscheiden und werden oft mithilfe von **RANSAC** (Random Sample Consensus) und **Clustering-Algorithmen** segmentiert, um Gebäudeflächen wie Wände und Dächer zu extrahieren. Zur Gebäudeabgrenzung werden in Deutschland zumeist die Katasterdaten der ALKIS-Gebäudeumrisse genutzt.

Ein weiterer bedeutender Ansatz ist die **BIM-basierte Modellierung**, die geometrische und semantische Daten kombiniert, um detaillierte digitale Zwillingmodelle zu erstellen. **Maschinelles Lernen** und **Regressionsmethoden** werden zunehmend eingesetzt, um die Punktwolken automatisch zu klassifizieren und zu segmentieren. Für die 3D-Rekonstruktion kommen auch **Delaunay-Triangulation** und **Voxel-basierte Modelle** zum Einsatz. Die 3D-Geometrien werden zumeist im CityGML Format gespeichert und unterscheiden sich im Detailgrad der Ausformung. Die wichtigsten Ansätze zur 3D-Modellierung des Gebäudebestands, ihre Stärken und die Relevanz für das Projekt EnergyMap Berlin sind in (Tabelle 1) zusammengefasst.

Tabelle 1: Ansätze zur 3D-Modellierung des Gebäudebestands (State-of-the-art)

Kategorie	Ansatz	Kerneigenschaften	Relevanz für das Projekt
<b>Klassische, modellgetriebene Rekonstruktion</b>	Delaunay-Triangulation & Graph-Theorie [Kong, 2024]	Regel- und hypothesenbasierte Rekonstruktion; robust für LoD2-Modellierung; erfordert jedoch komplexe Paket-Setups.	Grundlage für die Topologie-Erhaltung; liefert Referenz für die nachfolgende Mesh-Optimierung.
	Survey & Benchmark der automatischen Oberflächenrekonstruktion [Sulzer, 2025]	Keine einheitlich optimale Methode; stark datenabhängig; erfordert Vorprozessierung.	Betont die Notwendigkeit einer sorgfältigen Datenvorbereitung
<b>Learning-based Ansatz (Sparse CNNs, Graphen, Transformers)</b>	Sparse CNNs mit Minkowski Engine [Choy, 2019]	Ideal für eine semantische Segmentierung von Punktwolken mit geringer Punktdichte; liefert robuste Normalen für die Mesh-Erzeugung.	Nutzung der Engine für die automatische Extraktion von Gebäudehöhen und für die Generierung von Punkt-zu-Mesh-Übergängen . Ergebnis sind .obj Dateien.
	Point2Building [Liu, 2024]	Direkte Polygon-/Mesh-Rekonstruktion aus flugzeuggestützten Laserscandaten (LiDAR);	Ermöglicht die Transformation der Laserscan-Daten in nutzbare

		unterstützt die Konvertierung in XYZ/OBJ-Formate.	Mesh-Formate für die Volumenberechnung.
	Deep Implicit Fields [Chen, 2022]	Implizite neuronale Darstellungen für kompakte, wasserdichte Modelle; hohe Rechenkosten.	Potenziale für zukünftige Erweiterungen werden geprüft; bisher Mesh-Erstellung über klassische Methoden.
CityGML-Management & Validierung	3DCityDB [Yao, 2018]	3D-Geodatenbank für CityGML-Modelle; unterstützt Import/Export, Visualisierung und QA-Workflows.	Zukünftige Speicherung der .obj Ergebnisse in LoD-Modellen in einer 3DCityDB-Instanz, um Interoperabilität zu gewährleisten.
	CityGML Quality Interoperability Experiment [Coors, 2015]	Standardisierte Regeln für maschinenlesbare Qualitätskontrolle.	Die Validierung der generierten Modelle sollte zukünftig anhand der OGC-Richtlinien geprüft werden, um konsistente Qualitätsdaten zu liefern.

Ausgehend von dem beschriebenen wissenschaftlichen und technischen Stand positionierte sich das Forschungsvorhaben „EnergyMap Berlin“ klar als innovativer Ansatz. Im Unterschied zu bestehenden Projekten fokussiert es auf die Entwicklung einer übertragbaren Methodik zur Erstellung hybrider Wärmekataster, die berechnete Wärmebedarfe mit realen Verbrauchsdaten kombinieren. Durch die Nutzung von Crowdsourcing-Ansätzen zur Erhebung von Verbrauchsdaten soll ein sukzessiver Aufbau eines digitalen Wärmekatasters auf Gebäude- und Blockebene ermöglicht werden, um so die Datenqualität kontinuierlich zu verbessern. Ziel war es, eine frei verfügbare, differenzierte und hochwertige Datengrundlage für unterschiedliche Akteure bereitzustellen und damit einen wesentlichen Beitrag zur Planung energetischer und klimaschutzrelevanter Maßnahmen in Städten zu leisten.

### 1.1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

EnergyMap Berlin wurde als Verbundprojekt mit den Verbundpartnern BezCW, Senercon, co2online, LUP und UdKB gemeinsam beantragt und durchgeführt. Zwischen den Verbundpartnern wurde eine **Kooperationsvereinbarung zur Durchführung des Forschungsvorhabens** geschlossen. Die Projektkoordination wurde von der UdKB übernommen. Die Bearbeitung der einzelnen Arbeitspakete erfolgte in enger Abstimmung zwischen den Verbundpartnern. Hierzu wurden **monatliche Jour Fixes** über den gesamten Förderzeitraum durchgeführt. Die UdKB war federführend für die Arbeitspakete *AP 1 Anforderungsanalyse & Spezifikation Gesamtsystem*, *AP 3 Implementierung des softwaretechnischen Systems* und *AP 8 Projektkoordination und Dissemination* zuständig. Das BezCW leitete die Arbeiten für das Arbeitspaket *AP 5 Evaluierung des Forschungsansatzes an einem Berliner Stadtquartier*. Senercon koordinierte das Arbeitspaket *AP 2 Datenschutz*. co2online war hauptverantwortlich für die Bearbeitung des *Arbeitspakets AP 6 Ausdehnung des Forschungsansatzes auf das Land Berlin*. LUP war für die Arbeitspakete *AP 4 Erprobung des Wärmekatasters an einem Testgebiet* und *AP 7 Implementierung der Verbrauchsdaten in die Landesstatistiken* verantwortlich.

Des Weiteren wurde für das Verbundprojekt ein **Projektbeirat** berufen. Die Projektbeiratsmitglieder bildeten einen Expert:innenkreis mit Mitgliedern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Kommunalverwaltung und standen den Verbundpartnern beratend im Rahmen von einem Kick-Off-Meeting und jährlichen Projektbeiratstreffen zur Seite.

- **Prof. Dr. Ursula Eicker - Concordia University Montreal:** Forschung im Bereich energieeffiziente und nachhaltige Stadtquartiere und eine Expertin für Stadtsimulation.
- **Dr. Matthias Sandrock - Hamburg Institut:** Experte im Bereich kommunale Wärmestrategien und der Integration erneuerbarer Energien in den Wärmemarkt und Mitbegründer des Hamburg-Institut.
- **Prof. Dr. Martin Kriegel - Hermann-Rietschel Institut, TU Berlin:** Wissenschaftler im Bereich Energiekomfort und Gesundheit in Gebäuden Heizung und Kühlung.
- **Michael Hörner - Institut für Wohnen und Umwelt Darmstadt:** Experte im Erheben von energiebedarfsrelevanten Daten von Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden des deutschen Gebäudebestands.
- **Susanne Huneke – Berliner Energie und Wärme GmbH, Leiterin Strategie und Politik:** Vertreterin eines großen Fernwärmeversorgers Berlins, auf Erzeuger- und Verteilerseite.
- **Dr. Felix Groba - Sen WEB:** Leiter des Referats Energie bei der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe
- **Klaus Wein– GASAG:** Vertreter eines großen Gasversorgers Berlins, auf Erzeuger- und Verteilerseite.
- **Dr. Jörg Lippert – BBU:** Leiter des Bereichs Technik, Energie und Klima des Verbands Berlin-Brandenburgischer Wohnungsunternehmen e.V.
- **Prof. Dr. LL.M. Max v. Grafenstein - Einstein Center, UdK Berlin:** Jurist und Professor, Leiter des Forschungsprogramms „Governance datengetriebener Innovation und Cybersicherheit“ am Alexander von Humboldt Institut für Internet und Gesellschaft
- **Dr. Benjamin Brunnow – Sen Stadt:** Mitarbeiter der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen, Referat Stadtentwicklungsplanung

Die Projektbeiratsmitglieder haben als Teil des Projektbeirats im Rahmen von insgesamt vier Treffen ihren Input zu den präsentierten Zwischen- bzw. Endergebnissen gegeben und somit ihre jeweilige Expertise in die Erarbeitung der Ergebnisse einfließen lassen können.

Kick-Off-Veranstaltung	20.06.2022
1. Projektbeiratstreffen	20.06.2022
2. Projektbeiratstreffen	27.03.2023
3. Projektbeiratstreffen	09.07.2024

Ein letztes fünftes Projektbeiratstreffen ist im Jahr 2026 nach Vorlage des Schlussberichts geplant, bei dem den Projektbeiratsmitgliedern noch einmal zusammenfassend die Projektergebnisse dargestellt werden.

Weiter verfolgte das Vorhaben EnergyMap Berlin das Ziel, über die Ansprache von regionalen Akteuren Gebäude- und Energieverbrauchsdaten für den Aufbau des gebäudescharfen Heizwärmekatasters zu erhalten. Hierbei standen Akteure der Wohnungswirtschaft, Immobilienportale, Messdienstleister, Energiedienstleister, Energieversorger, Hausverwaltungen, Schornsteinfeger aber auch Mietervereine im Fokus. Um eine Datenbereitstellung auf eine gesicherte Basis zu stellen, wurde der Abschluss von Kooperationsvereinbarungen zwischen dem Projekt und den Institutionen angestrebt.

Mit dem Verband Berlin Brandenburgischer Wohnungsunternehmen (BBU) konnte bereits vor Projektbeginn über einen Letter of Intent ein wichtiger Kooperationspartner eingebunden werden. Mit einem seiner Mitglieder, dem landeseigenen Wohnungsunternehmen HOWOGE,

konnte die UdKB Anfang 2024 eine Kooperationsvereinbarung abschließen, über welche dem Projekt EnergyMap Berlin Daten bereitgestellt werden. Mit der Blockheizkraftwerks-Träger- und Betreibergesellschaft Berlin mbH (BTB), dem drittgrößten Wärmeversorger in Berlin, konnte ebenfalls eine Kooperationsvereinbarung und eine Datenbereitstellung erreicht werden.

Mit weiteren Akteuren wie Immobilienportalen, Messdienstleistern, Mieter-Beratungsstellen, Energiedienstleistern, Hausverwaltern oder Schornsteinfegern wurden zahlreiche Gespräche geführt, die jedoch nicht zum Abschluss von Kooperationsvereinbarungen führten. Weitere Informationen hierzu folgen in Abschnitt II.2.3.

Im Laufe des Projekts wurden mehrere Treffen mit der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe (SenWEB) sowie der Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt (SenUMVK) und den Fachbereichen Vermessung und Geoinformation der Stadtentwicklungsämter von Charlottenburg-Wilmersdorf, Friedrichshain-Kreuzberg und Neukölln durchgeführt, um Synergieeffekte bei der Erstellung der Senats- bzw. Bezirks-eigenen Kataster und der EnergyMap zu ermöglichen.

Um die Methodik des Forschungsprojekts EnergyMap Berlin anhand einer Kommune außerhalb des Landes Berlin zu demonstrieren, konnte eine Kooperation mit der Gemeinde Michendorf in Brandenburg vereinbart werden. Ausführliche Informationen hierzu befinden sich in Abschnitt II.5.2.

## I.2. Eingehende Darstellung

### I.2.1. Verwendung der Zuwendung und Zielerreichung

Der Großteil der Mittel wurde wie geplant für Personalkosten verwendet. Bei der UdKB wurde ein kleiner Teil der Mittel für wissenschaftliche Mitarbeitende umgewidmet zur Nutzung für studentische Hilfskräfte. Die Kosten für Dienstreisen sind geringer ausgefallen als geplant. Im BezCW konnte die vorgesehene Personalstelle trotz dreier Stellenausschreibungen nicht dauerhaft besetzt werden. Die Aufgaben im Bezirksamt wurden daher mit Stammpersonal sowie über Honorarverträge weiterbearbeitet. Durch die Nutzung der Möglichkeit zur Erhebung von Gebäude- und Wärmeverbrauchsdaten von Amts wegen konnten im AP 5 die quantitativen Zielstellungen der Datenbereitstellung im Untersuchungsgebiet Mierendorff-Insel erreicht, die Datenerhebung darüber hinaus auf weitere Quartiere in Charlottenburg-Wilmersdorf ausgedehnt werden. Im AP 5 wurde wegen sehr geringer Nutzerzahlen, die auch auf vergleichsweise hohe Zugangshürden zurückzuführen waren (z.B. Einrichtung eines eigenen Accounts) die Bewerbung des Energiesparkontos Mierendorff-Insel für das Crowdsourcing von Wärmeverbrauchsdaten frühzeitig eingestellt. Aufgrund des Wegfalls von umfangreichen Teilen des AP 7 wurden Personalkosten bei LUP umgewidmet, für einen Präsenzstand bei der INTERGEO 2023 und in das AP 4 verschoben. Bei co2online wurden in AP 6 Teile der Sachmittel für Anzeigen im Kontext der Öffentlichkeitskampagne in Personalmittel umgewidmet, da die Wirkung der Anzeigen in einem zu schlechten Verhältnis mit deren Kosten stand.

Bedingt durch die Verzögerungen bei der Einstellung der wissenschaftlichen Mitarbeitenden und des Projektablaufs und die daher gewährte kostenneutrale Laufzeitverlängerung wurde ein Großteil der Mittel später als ursprünglich geplant abgerufen.

Wie geplant konnte ein digitales, öffentliches Wärmekataster für den Gebäudebestands Berlin entwickelt werden.

Die im Vorgängerprojekt Open eQuarter entwickelten Softwaremodule zur energetischen Quartiersanalyse wurden nicht wie bei Antragstellung geplant in EnergyMap Berlin weiterentwickelt, es wurden aber methodische Ansätze wie z.B. Filterfunktionen zur Analyse größerer Gebäudebestände aufgegriffen.

Es wurde die Mitigationstrategie Energiebedarfssimulationen und zusätzliche Kalibrierung mit Gebäudeverbrauchsdaten auf Blockebene für das KI-Prognosemodell verfolgt, da nicht ausreichend große Datenmengen aus Crowdsourcing-Kampagne zum Training zur Verfügung standen.

Wie bereits beschrieben, wurde die Aktualisierung des energetischen Gebäudemodells von 2018 und die Integration der Ergebnisse in das diBEK nicht weiterverfolgt, jedoch die Anschlussfähigkeit an den Energieatlas weiter bedacht.

Die ursprünglich geplante light Version von EnergyMap Berlin für Nicht-Energieexpert:innen wurde nicht umgesetzt. Stattdessen wurde in der WebApp von EnergyMap Berlin vereinfachte als auch detaillierte Analysewerkzeuge für die Nutzer:innen implementiert.

Das Arbeitspaket Datenschutz war durch die umfangreiche Untersuchung von Rechtsgrundlagen und erheblichen Abstimmungsbedarf des Konsortiums mit juristischen Fachleuten und den Datenschutzbeauftragten des Landes Berlins sehr zeitaufwändig. Aus diesem Grund wurden hier mehr Ressourcen verwendet als geplant.

## 1.2.2. Zahlenmäßiger Nachweis

In Tabelle 2 werden die anfangs geplanten Kosten den tatsächlich erfolgten Ausgaben von 2022 bis 2025 unter Angabe der einzelnen Kostengruppen gegenübergestellt. Erläuterungen zu Abweichungen und Besonderheiten finden sich unter Abschnitt I.1.3.

Tabelle 2: Zahlenmäßiger Nachweis

Position Gesamt- finanzierungsplan	Ausgaben	Ausgaben	Ausgaben	Ausgaben	Ausgaben	Finanzierungsplan
	2022	2023	2024	2025	Gesamt	
812 Beschäftigte E12-E15	214.952,92 €	432.584,94 €	315.926,08 €	141.383,71 €	1.104.847,65 €	1.078.121,82 €
817 Beschäftigte E1-E11	38.035,90 €	34.865,37 €	39.336,87 €	17.540,29 €	129.778,43 €	130.060,25 €
837 Beschäftigte	96.165,72 €	123.699,07 €	101.821,04 €	117.240,64 €	438.926,47 €	429.537,32 €
822 Beschäftigungsentgelte	5.477,98 €	17.523,99 €	16.748,58 €	11.041,82 €	50.792,37 €	46.786,12 €
831 Gegenstände bis 410 EUR	1.200,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	1.200,00 €	1.200,00 €
834 Mieten und Rechnerkosten	0,00 €	267,18 €	275,20 €	-9,04 €	533,34 €	12.951,27 €
835 Vergabe von Aufträgen	21.286,04 €	56.021,65 €	56.823,47 €	80.822,08 €	214.953,24 €	307.247,71 €
843 Sonstige allgemeine	10.119,83 €	7.493,16 €	7.972,28 €	3.991,80 €	29.577,07 €	33.400,03 €
838 und 846 Dienstreisen	0,00 €	240,63 €	3.035,94 €	0,00 €	3.276,57 €	20.226,00 €
850 Gegenstände über 410 EUR	0,00 €	22.017,86 €	0,00 €	0,00 €	22.017,86 €	22.158,73 €
<b>Summe</b>	<b>387.238,39 €</b>	<b>694.713,85 €</b>	<b>541.939,46 €</b>	<b>372.011,30 €</b>	<b>1.995.903,00 €</b>	<b>2.081.689,25 €</b>

## 1.2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

**BezCW:** Der Schwerpunkt der Aufgaben des Bezirksamtes lag im AP 5 "Evaluierung des Forschungsansatzes an einem Berliner Stadtquartier", der federführend bearbeitet wurde. Darüber hinaus wurden Leistungen im AP 2 "Datenschutz" sowie im AP 6 "Ausdehnung des Forschungsansatzes auf das Land Berlin" erbracht. Die Zusammenarbeit mit intermediären Organisationen zur Erschließung von Datenspenden der Gebäudeeigentümer – DorfWerkStadt e.V auf der Mierendorff-Insel sowie der AG City e.V. in der City West – erwies sich als kompliziert, zeitaufwendig und im Ergebnis als nicht zielführend, da diese Organisationen in der Auseinandersetzung um das "Heizungsgesetz" Resonanzräume der (überwiegenden kleineren) Eigentümer bildeten und deren skeptische und z.T. gegen eine kommunale Wärmeplanung gerichteten Positionen, der Crowdsourcing Kampagnen zugerechnet wurden, verstärkten. Die Konzipierung und Durchführung amtlicher Erhebungen von Gebäude- und Wärmeverbrauchsdaten konnte aufgrund des Eigeninteresses der Verwaltung z.T. im Rückgriff auf Stammpersonal des Bezirksamtes sowie nach Umwidmungen von Personalmitteln mit Hilfe von Honorarkräften geleistet werden. Wegen der nicht gelungenen Besetzung der EnergyMap Berlin-Personalstelle im Bezirksamt verfügbare Mittel wurden zur Erstellung eines Rechtsgutachtens für den Datenschutz (AP 2) sowie für Maßnahmen der Datenpflege innerhalb der EnergyMap eingesetzt. Dienstreisemittel wurden

aufgrund der nicht erreichten dauerhaften Stellenbesetzung nicht in Anspruch genommen. Ausgaben für Personal und Auftragsvergaben (Honorare) wurden sparsam und nur in dem für die Zielerreichung des Projektes notwendigen Maße getätigt. Die Minderausgaben des Bezirksamtes gegenüber dem Planansatz belaufen sich auf 103 TEUR bzw. 34,8 Prozent des bewilligten Projektbudgets. **Die dokumentierten Sach- und Personalkosten waren gleichermaßen angemessen wie auch notwendig, um die genannten Projektziele zu erreichen.**

**co2online:** Der Schwerpunkt der Leistungen von co2online im Projekt lag in AP6 „Ausdehnung des Forschungsansatzes auf das Land Berlin“, das co2online federführend bearbeitete. Zentrale Ziele waren hierbei waren zum einen die Akquise von nutzbaren Heizenergieverbrauchsdaten über Kooperationsvereinbarungen mit Dritten (TAP 6.1/2); weiter die Konzeptionierung und Umsetzung der Crowd-Sourcing-Kampagne zur Generierung zusätzlicher Daten mittels einerseits Dialog- und Motivationskampagnen (online) sowie andererseits Kooperationen und Veranstaltungen (offline, TAP 6.3-5). Zur Erreichung der genannten Ziele waren sowohl personelle Ressourcen wie auch Sachmittel notwendig. **Die dokumentierten Sach- und Personalkosten waren gleichermaßen angemessen wie auch notwendig, um die genannten Projektziele zu erreichen.** Unerwartete externe Entwicklungen (Rückgang der HeizCheck-Nutzungen nach dem Höhepunkt der Gaspreiskrise) oder projektinterner Anpassungen (Datenschutz, genutzte Kartendienste) führten weiter zu ungeplanten Mehraufwänden, die jedoch durch interne Umschichtungen ausgeglichen werden konnten. Insbesondere durch freiwerdende Sachkosten, nachdem im Frühjahr 2024 die Ad-Schaltungen im Rahmen der Crowd-Sourcing-Kampagne vorzeitig beendet wurden, aufgrund zu geringer Effizienz (Kosten-Nutzen-Relation).

**Senercon:** Senercon leitete das AP 2 Datenschutz und erarbeitete in Kooperation mit Projektpartnern das Datenschutzkonzept für das EnergyMap Berlin-Projekt sowie eine Datenschutz-Guideline, die es zukünftigen Projekten mit ähnlicher Zielsetzung bei der Behandlung von Datenschutzaspekten helfen soll. Dabei suchte Senercon das Gespräch mit den Berliner Datenschutzbeauftragten und dem Projektbeiratsmitglied Prof. v. Grafenstein, um in zahlreichen Terminen eine Datenschutzstrategie für das Projekt zu entwickeln. Darüber hinaus setzte Senercon das Crowdsourcing mittels OnlineChecks auf der Software-Seite um und arbeitete bei der Datenübergabe an den zentralen Projektserver mit der UdKB zusammen. **Die dokumentierten Sach- und Personalkosten waren gleichermaßen angemessen wie auch notwendig, um die genannten Projektziele zu erreichen.**

**LUP:** Die LUP leitete und bearbeitete schwerpunktmäßig das AP 4 "Erprobung des Wärmekatasters an einem Testgebiet" sowie ursprünglich geplant das AP 7 "Implementierung der Verbrauchsdaten in die Landesstatistiken". Wie unter I.1.3 beschrieben, erforderte die Erprobung fernerkundungsbasierter Methoden aus Laserscandaten an einem erweiterten Testgebiet mehr Zeit und Personalkosten, während die Implementierung in die Landesstatistiken und diBEK verworfen wurde. Ziel war es eine automatisierbare Prozessierungskette zur Verbesserung der bestehenden georeferenzierten Gebäudedaten zu erstellen, auf deren Grundlage auch zeitliche Veränderungen des Gebäudebestands darstellen lassen. Weiterhin erfolgte die Vorstellung des Projekts auf dem Stand der LUP bei der Intergeo 2023 und förderte damit die Sichtbarkeit des Forschungsprojektes auch über die Grenzen Berlins hinaus. **Die dokumentierten Sach- und Personalkosten waren gleichermaßen angemessen wie auch notwendig, um die genannten Projektziele zu erreichen.**

**UdKB:** Die UdKB war breit an vielen der Arbeitspakete beteiligt, der Schwerpunkt der Arbeiten lag in AP 3 „Implementierung des softwaretechnischen Systems“, in AP 4 „Erprobung des Wärmekatasters an einem Testgebiet“ und AP 6 „Ausdehnung des Forschungsansatzes auf das Land Berlin“. Weiterhin war die UdKB als Projektkoordinator federführend an AP 8 „Projektkoordination und Dissemination“ beteiligt. Zentrale Ziele waren hierbei die Konzeption und Implementierung des Rechenkerns von EnergyMap Berlin mit seinem KI-gestützten gebäudescharfen Prognosemodell für den Heizenergiebedarf, das Design und Implementierung der zugehörigen Web-Anwendung mit der Kartendarstellung des interaktiven Wärmekatasters sowie die Validierung des Gesamtsystems gegen Verbrauchsdaten des Berliner Gebäudebestands. Zur Erreichung der genannten Ziele waren sowohl personelle Ressourcen (zwei wissenschaftlichen Mitarbeiter plus 2 studentische Hilfskräfte) wie auch Sachmittel (leistungsfähige IT-Technik zum Aufbau der EnergyMap Berlin-Datenbank, für den EnergyMap Berlin-Server als auch zum Training der KI-Prognosemodelle) notwendig. **Die dokumentierten Sach- und Personalkosten waren gleichermaßen angemessen wie auch notwendig, um die genannten Projektziele zu erreichen.**

#### 1.2.4. Verwertungsplan

##### **Wirtschaftliche Verwertung**

co2online plant, kommunalen Akteuren Beratungsleistungen im Kontext Kommunikation, Klimaschutz und Wärmeplanung anzubieten. Auf Ergebnisse und Erfahrungen des Vorhabens EnergyMap Berlin wird hierbei unmittelbar Bezug genommen werden.

Senercon plant, die gewonnenen Kompetenzen beim Datenschutz in Folgeprojekten einzusetzen und gegebenenfalls auch anderen Projekten, z.B. für Zwecke der Wärmeplanung einzusetzen.

Zudem ist im Mai 2024 das Startup Enpageo als Spin-Off aus dem EnergyMap Berlin-Projekt heraus entstanden. Das Startup wird von einer der wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen der UdKB geführt, die auch maßgeblich am Rechenkern der EnergyMap Berlin mitgewirkt hat. Ein Vertrag wird zukünftig regeln, dass das Startup die EnergyMap Berlin weiterentwickeln darf und das es ein Nutzungsrecht am geistigen Eigentum aus dem Forschungsvorhaben EnergyMap Berlin bekommt. Im Gegenzug wird die Enpageo bei der Außendarstellung des Projekts mitwirken, weitgehend die Kontaktbetreuung übernehmen und bei der strategischen Weiterentwicklung der Plattform EnergyMap Berlin unterstützen.

##### **Verwertung für non-Profitzwecke**

Als gemeinnütziges Unternehmen stellt co2online seinen Nutzer:innen diverse online-Beratungstools, Benchmarks und Themen-Dossiers kostenfrei zur Verfügung. Die in dem Vorhaben neu generierten Datenerfassungs- und -verarbeitungsrountinen sowie die neu gewonnenen Verbrauchswerte fließen in die künftige Ausweitung der co2online Wohngebäude-Datenbank, ausgewählter Dossiers und Online-Beratungstools (u.a. HeizCheck) sowie bundesweite Veröffentlichungen/Benchmarks (HeizSpiegel) ein und werden dadurch einen Nutzen über die Projektdauer hinaus entfalten.

Die im Projekt entwickelte Webapplikation „EnergyMap Berlin“ wurde der Öffentlichkeit dauerhaft über die Homepage <https://energymap-berlin.de/map> zugänglich gemacht.

## Wissenschaftliche Verwertung

Die Forschungsergebnisse von EnergyMap Berlin wurden zum einem für Publikationen genutzt, zum anderen führten sie zur Weiterqualifikation von zwei im Forschungsprojekt beschäftigten studentischen Mitarbeiter:innen im Rahmen von zwei thematisch verwandten Abschlussarbeiten. Die Forschungsergebnisse von EnergyMap Berlin ermöglichten auch die erfolgreiche Beantragung mehrerer Forschungsprojekte, in welchen Ergebnisse aus EnergyMap Berlin aufgegriffen und zukünftig weiterentwickelt werden können.

- Fachartikel:  
“*Revolutionizing Heating Planning: A Data-Driven Approach for Accurate and Scalable Energy Consumption Predictions*” Autor:innen: Stefanie Segbers, Alexander Küster-Inderfurth, Christoph Nytsch-Geusen (23.09.2024).
- Abschlussarbeiten:
  - Bachelorarbeit:  
“*Predicting Heating Demand in Berlin Buildings - A Neural Network Based Approach*” Autorin: Nele Heindorf, abgeschlossen im August 2024.
  - Masterarbeit:  
„*Automated Urban Analysis: Deep Learning for Facade Parsing, Image Rectification, and Building Age Estimation in Citywide Energy Consumption Modeling.*“ Autorin: Sanika Nair voraussichtlicher Abschluss April 2026.

Im Anschluss an das Projekt EnergyMap Berlin wurden mehrere Anträge für neue Forschungsvorhaben eingereicht, die auf den Ergebnissen und Methoden von EnergyMap Berlin aufbauen. Diese Projekte erweitern die bestehenden Konzepte und zielen darauf ab, neue innovative Ansätze in der Energie- und Klimaforschung zu entwickeln. Zu den eingereichten Anträgen gehören:

- **Co2ol Islands - Cooling and CO2 Optimization for Urban Landscapes with Intuitive Software for Local Administrations Integrating Network Design and Subsurface Systems** (eingereicht und erfolgreich genehmigt beim BMBF, Projektlaufzeit 1.3.2026 bis 28.2.2030): Dieses Projekt strebt die Entwicklung einer Software für Kommunen an, die zur Optimierung von Kühlung und CO<sub>2</sub>-Emissionen in urbanen Raum genutzt werden kann und die Konzepte aus EnergyMap Berlin erweitert und in die Planung von Geothermischen Anlagen und Wärme- und Kältenetzen integriert.
- **FACaiDE - Entwicklung einer Analysemethode zur automatisierten Ermittlung der Energieeffizienz von Gebäudefassaden** (eingereicht und erfolgreich genehmigt bei Zukunft Bau, Projektlaufzeit 15.10.2025 bis 14.10.2028): In diesem Forschungsprojekt sollen verschiedene Verfahren der optischen und thermischen Messtechnik sowie der Künstlichen Intelligenz (KI) kombiniert und in einem mobilen Analysegerät prototypisch implementiert werden, um vor Ort eine automatisierte energetische Fassaden- und Gebäudeanalyse durchzuführen.
- **Cooling Map - Erstellung eines gebäudescharfen Katasters zur Analyse und Prognose von Kältebedarfen in städtischen Regionen Deutschlands mittels KI-Bilderkennung, Gebäudemodellierung, neuronaler Netze und Geoinformatik** (eingereicht beim BMWF, voraussichtlicher Projektstart 01.04.2026): In diesem Projekt soll auf den Ergebnissen der Webapplikation von EnergyMap Berlin ein Kältekataster entwickelt werden, das es

ermöglicht, Kältebedarfe in städtischen Regionen präzise zu analysieren und vorherzusagen.

- **SCANDI-COOL - Sustainable Cooling via Absorption Chillers and Heat Pumps in District Networks** (eingereicht beim EU-Programm Life 2025, abgelehnt, Neueinreichung ist geplant): Im Projekt sollen anhand von Fallbeispielen die wichtigsten technischen und wirtschaftlichen Parameter bei der Planung und Umsetzung von Kältenetzen untersucht und modelliert werden. Das Ziel ist die Unterstützung bei der Planung der Kältenetze durch Kapazitätenaufbau in Form von Schulungen, Online-Hubs, Online-Tools zu technischen und wirtschaftlichen Fragestellungen.

Weiterhin wurde die **Python-Bibliothek energy4py** auf GitHub unter <https://github.com/UdK-VPT/energymap4py> veröffentlicht, welche sowohl einen Zugriff auf den veröffentlichten Datenbestand von EnergyMap Berlin als auch auf das KI basierte Prognosemodell für die gebäudescharfen Heizenergiebedarfe ermöglicht. Hierdurch wird Nutzer:innen die Möglichkeit geboten, zukünftig das gebäudescharfe Wärmekataster für den Gebäudebestand von Berlin in ihre eigenen Python-Algorithmen und Python-basierten Programmanwendungen zu integrieren.

### **Verwertung für Zwecke der Wärmeplanung**

Die EnergyMap Berlin wird seit ihrer Veröffentlichung von einigen Berliner Bezirken für die Zwecke der Wärmeplanung eingesetzt. Der Zugriff auf die öffentliche Datenquelle für diesen Zweck steht im Zusammenhang mit dem Umstand, dass die kommunale Wärmeplanung gem. Wärmeplanungsgesetz (WPG) in Berlin als gesamtstädtische Wärmeplanung vom Ref. I A der SenMVKU als planungsverantwortlicher Stelle durchgeführt wird. Von den Bezirken und ihren regional zuständigen Ämtern werden zwar erhebliche Beiträge zur Umsetzung der gesamtstädtischen Wärmeplanung erwartet; gleichzeitig haben die Bezirke bis zur Verabschiedung des Berliner Wärmeplans (bis 30.06.2026) keinen Zugriff auf die Daten des Senatswärmekatasters, das derzeit nur die Wärmeplanungsbehörde der SenMVKU nutzen kann. Insbesondere die Umsetzungsplanungen zur kommunalen Wärmeplanung erfordern aber – z.B. bei der Konzipierung neuer Nahwärmenetze – hochaufgelöste, d.h. gebäudescharfe Daten, für die die Blockebene, auf der die unterschiedlichen Wärmeversorgungsgebiete gem. WPG geplant wurden, nicht mehr ausreicht.

Die Bezirke Charlottenburg-Wilmersdorf, Friedrichshain-Kreuzberg und Pankow haben in ihren Stellungnahmen zum Entwurf des Berliner Wärmeplans, der vom 27.10. bis 27.11.2025 für die TÖB und die Öffentlichkeit ausgelegt worden war, mit Hilfe der EnergyMap Berlin Karten der Bezirke mit der Markierung derjenigen Blöcke beigelegt, in denen die Wohngebäude den höchsten mittleren spezifischen Heizwärmebedarf aller Wohngebäude des Bezirks ausgewiesen wurden [BezCW, 2025]. Da der Entwurf des Berliner Wärmeplans auf die gem. § 18 Abs. 5 WPG eigentlich erforderliche Ausweisung von "Gebieten mit erhöhtem Energieeinsparpotenzial" verzichtet hatte, sahen sich die genannten Bezirke aufgefordert, ihrerseits auf die Aktualität der Problematik der "worst performing buildings" im Sinne der europäischen Gebäudeeffizienz-Richtlinie EPBD für die kommunale Wärmeplanung hinzuweisen.

Mit der Umsetzung der EPBD in nationales Recht bis zum 29.05.2026 wird mit einer verstärkten entsprechenden Nutzungen der EnergyMap Berlin gerechnet.

### 1.2.5. Anderweitig bekanntgewordener Fortschritt auf dem Gebiet

Während der Laufzeit des Forschungsvorhabens EnergyMap Berlin wurde auf Bundesebene ein bedeutender Fortschritt im Bereich der kommunalen Wärmeplanung erzielt. Das Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (Wärmeplanungsgesetz – WPG) wurde am 17.11.2023 vom Deutschen Bundestag beschlossen und trat am 01.01.2024 in Kraft. Erstmals wird darin die umfassende Datenerhebung für die Wärmeplanung gesetzlich geregelt. In § 11 Absatz 2 Satz 1 WPG heißt es:

„Für die Erstellung der Wärmeplanung sind [...] Adressdaten, Informationen über die Gebäude sowie Verbrauchsdaten der Wärmeversorgung zu erheben und zu verwenden.“

Damit wird die Erhebung gebäudescharfer Verbrauchsdaten und adressgenauer Informationen verbindlich eingefordert – eine Anforderung, die zentrale Aspekte des EnergyMap Berlin-Projekts bestätigt und stärkt. Der Berliner Senat hat die Erstellung eines internen amtlichen Wärmekatasters beauftragt. Allerdings wird dieses Kataster unter Berufung auf Datenschutzaspekte voraussichtlich nicht öffentlich zugänglich gemacht. Kartenwerke auf Basis der erhobenen Daten entstehen somit, stehen der breiten Öffentlichkeit jedoch nicht zur Verfügung. Diese Entwicklungen unterstreichen die Relevanz und Aktualität von EnergyMap Berlin als offen zugängliches, gebäudescharfes Werkzeug zur Unterstützung der kommunalen Wärmewende.

Vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Energie des Landes Brandenburg wurde am 30.08.2023 das Brandenburger Wärmekataster veröffentlicht. Es handelt sich um eine digitale Karte, welche eine flächendeckende Bestands- und Potenzialanalyse des Brandenburger Wärmesektors umfasst. Inhaltlich werden Informationen zu Gebäuden wie Wärmebedarf, Gebäudetyp, Sanierungszustand, genutzter Energieträger sowie zur Wärmeversorgung (Gas- und Fernwärmenetze) für ganz Brandenburg georeferenziert für die kommunale Wärmeplanung zur Verfügung gestellt. Die Informationen werden nicht gebäudescharf, sondern mit maximaler Auflösung auf die Ebene der Flure bereitgestellt (siehe <https://energieportal-brandenburg.de/cms/inhalte/tools/werkzeugkasten-waermewende/waermekataster-bestands-und-potenzialanalyse>).

### 1.2.6. Erfolgte Veröffentlichungen

Im Rahmen des Projekts *EnergyMap Berlin* sind verschiedene Veröffentlichungen und Präsentationen entstanden, die das Projekt einem breiten Publikum zugänglich gemacht haben. Nachfolgend die wichtigsten Events:

#### **Aktionskreis Energie**

**01.11.2022**

*Bildungsvortrag: „Wärmekataster als Instrument einer kommunalen Wärmewende“*  
Das Projekt *EnergyMap Berlin* wurde von Vertretern des Bezirks Charlottenburg-Wilmersdorf, der Universität der Künste Berlin und co2online vorgestellt. Anschließend fand eine angeregte Diskussion mit dem Publikum statt.

#### **BOL-Symposium**

**26.01.2023**

*Projektvorstellung* „EnergyMap Berlin“  
Im Rahmen des Berlin Open Lab (BOL), einem interdisziplinären Forschungsraum, wurde *EnergyMap Berlin* präsentiert. Das BOL-Symposium bot eine Plattform, um Erkenntnisse aus verschiedenen Forschungsprojekten zu teilen.

**Inselkonferenz****23.02.2023**

*Vorstellung der EnergyMap Berlin auf der Inselkonferenz der Mierendorff-Insel:* Auf dieser Veranstaltung wurden den Teilnehmer:innen das Forschungsprojekt EnergyMap Berlin und Fragebögen zur Erhebung von Gebäudeparametern und Energieverbrauchsdaten für Wohn- und Nichtwohngebäude präsentiert. Diese Daten fließen in die Analyse des Gebäudebestands der Mierendorff-Insel ein.

**Intergeo 2023****10.-12.10.2023**

*Messestand EnergyMap Berlin:* Auf der internationalen Messe Intergeo, die auf dem Berliner Messegelände stattfand, war *EnergyMap Berlin* am Stand unseres Projektpartners LUP GmbH vertreten. Das Projektkonsortium stellte dort einen Prototypen der Webapplikation vor.

**Maptime Berlin x Open Data Day 2024****29.02.2024**

*Vortrag über EnergyMap Berlin und Datenverfügbarkeit:* Die wissenschaftlichen Mitarbeiter:innen der Universität der Künste Berlin präsentierten den aktuellen Stand des Projekts einem interessierten Publikum von Karten- und Open-Data-Enthusiasten.

**BauSIM 2024****23.-26.09.2024**

*Vorstellung eines Fachartikels auf der BauSIM:* Auf der BauSIM 2024 in Wien wurde das Paper „Revolutionizing Heating Planning: A Data-Driven Approach for Accurate and Scalable Energy Consumption Predictions“ vorgestellt. In diesem Paper wird die Methodik des Ersatzmodells für gebäudescharfe Simulationen im Rahmen des *EnergyMap Berlin*-Projekts beschrieben.

**Berliner Energietage****28.05.2025**

*Veranstaltung und Messestand der EnergyMap Berlin auf den Berliner Energietagen:* Auf den Berliner Energietagen wurde die Veranstaltung „Ein digitales Werkzeug zur gebäudescharfen Wärmeplanung für die Öffentlichkeit“ durchgeführt, bei der die Webapp *EnergyMap Berlin* offiziell gelauncht wurde. Die Veranstaltung wurde von Sebastian Metzger (co2online) moderiert. Es fanden Vorträge von Prof. Dr.-Ing. Christoph Nytsch-Geusen (UdKB) und Expert:innen der Berliner Senatsverwaltungen für Wirtschaft, Energie und Betriebe (SenWEB) sowie für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt (SenMVKU) statt. Eine Podiumsdiskussion bot Raum für Austausch zwischen dem Projekt und Stakeholdern der Berliner Wohnungswirtschaft, Energiewirtschaft, Politik, Architektur und dem Mieterschutz.

**Große KWW-Konferenz 2025****26.06.2025**

*Messestand EnergyMap Berlin auf der KWW-Konferenz in Halle:* *EnergyMap Berlin* wurde auf der Großen KWW-Konferenz des Kompetenzzentrums Kommunale Wärmewende (KWW) präsentiert. Diese Konferenz dient als Plattform für den Austausch zwischen Kommunen und Akteuren der kommunalen Wärmeplanung und bietet wertvolle Impulse für die Weiterentwicklung der Wärmewende auf kommunaler Ebene.

**Workshop Sektorenübergreifende Planung von Energiesystemen – Grundlage für eine nachhaltige Energieversorgung****26.09.2025**

Die Ergebnisse von EnergyMap Berlin wurden auf einem Workshop an der TU Dresden präsentiert, an dem Fachvertreter:innen aus den Bereichen Energieplanung, Energiewirtschaft sowie der kommunalen Wärmeplanung teilnahmen.

## II. Ergebnisteil

### II.1. Vorgehensweise

Die Arbeiten im Verbundprojekt wurden mit dem Entwurf des Softwareframeworks begonnen (siehe Abschnitt II.1.1.), auf welchem EnergyMap Berlin aufbauen sollte. Hierbei wurde eine intensive Diskussion unter Einbeziehung aller Projektpartner geführt, um die sowohl wissenschaftliche, praxisorientierte und datenschutzrechtliche Perspektiven in der Anforderungsanalyse mit einzubeziehen. Ausgehend von diesem Entwurf wurde ein Umsetzungsplan entwickelt, welcher auch Risiken und eine Mitigationsstrategie innerhalb des Projektverlaufs miteinschloss (siehe Abschnitt II.1.2.).

Die nächste umfassende Arbeitsschwerpunkt im Projekt bestand in der Zusammenführung vorhandenen gebäudescharfer Datenquellen für das entstehende Wärmekataster von EnergyMap Berlin, in den hierfür selbst durchgeführten Datenerhebungen und den daraus sich ergebenden Fragen zum Datenschutz (Kapitel II.2): von den Projektpartnern co2online und Senercon wurde eine webbasierte Crowdsourcing-Kampagne entwickelt und durchgeführt (Abschnitt II.2.1). Das BezCW entwickelte und führte eine amtliche Datenerhebungen schwerpunktmäßig auf dem Evaluierungsgebiet „Mierendorff-Insel“ durch (Abschnitt II.2.2.). Weiterhin wurden vom Projektkonsortium Kooperationen mit externen Partnern (ein Wohnungsbauunternehmen und ein Wärmeversorger) abgeschlossen, welche ebenfalls größere Umfänge an energieverbrauchsrelevanten Gebäudedaten dem Projekt zur Verfügung stellten (II.2.3). Grundlegende Informationen für das Projekt sind auch die öffentlich verfügbare Datenquellen wie die 3D-CityGML-Gebäudemodelle und die ALKIS-Gebäudeinformationen (siehe Abschnitt II.2.4). Ergänzend wurden auch Datenquellen aus Vorprojekten des Projektkonsortiums zu Gebäudeenergieverbräuchen in Berlin herangezogen (Abschnitt II.2.5). In Abschnitt II.2.6. werden die Ergebnisse einer Analyse zur Baudynamik des Berliner Gebäudebestands beschrieben. Letztlich mussten diese vielfältigen Datenquellen übergeordnet strukturiert werden, um sie digital für das Wärmekataster von EnergyMap Berlin nutzbar machen zu können (Abschnitt II.2.7). Der Abschnitt II.2.8. beschäftigt sich mit Fragen des Datenschutzes, welche bei der Erhebung, Weitergabe, Verarbeitung und Veröffentlichung gebäudescharfer von Datensätze auftritt, als Ergebnis wurde im Projekt eine Datenschutzkonzept und eine Datenschutz-Guideline formuliert.

Als Rechenkern von EnergyMap Berlin wurde ein KI-gestütztes Prognosemodell entwickelt, welches aus 8 einzelnen neuronalen Netzwerkmodellen besteht und zur Abbildung des Wohn- und Nichtwohngebäudebestands von Berlin dient (Kapitel II.3. und Abschnitt II.3.3). Zum Erzeugen der Trainingsdaten für diese Modelle wurden über einen automatisierten Workflow ca. 15 Mio. gebäudescharfe thermische Gebäudesimulationen für den Berliner Gebäudebestand für unterschiedlichste Sanierungs- und Außenklima-Varianten durchgeführt (Abschnitt II.3.1). Im Anschluss wurden berechneten Bedarfe mit tatsächlichen Energieverbräuchen auf Gebäudeblockebene verglichen und kalibriert (Abschnitt II.3.2).

Aufbauend auf dem Rechenkern wurde das digitale Wärmekataster von EnergyMap Berlin aufgesetzt (Kapitel II.4). Zur grundlegenden Information über das EnergyMap Berlin-Projekt wurde eine Webseite erstellt und die Web-Applikation (WebApp) EnergyMap Berlin implementiert und um Erklärvideos ergänzt (Abschnitt II.4.1). In einer Veröffentlichungsdatenbank (Abschnitt II.4.2.) wurden alle abrufbaren Gebäudeparameter sowie vordefinierte Standardszenarien abgelegt. In der Webapp wurde eine gebäudescharfe

Prognose des Heizenergiebedarf für einzelne Gebäude, aber auch für größere Gebäudebestände ermöglicht, wobei auch verschiedene Filterfunktionen bzgl. der Gebäudetypologie, des Gebäudealters und der Gebäudeenergieeffizienz geschaffen wurden (Abschnitt II.4.3). Ebenfalls sind in der Webapp die verschiedenen Referenzszenarien zu den Sanierungszuständen und Klimaszenarien abrufbar (Abschnitt II.4.4). Mit der Webapp wurde auch die Interaktionsmöglichkeit mit dem KI-Prognosemodell anhand eines Fallbeispiels analysiert, um zu zeigen wie zusätzliches Nutzer:innenwissen über den tatsächlichen Zustand eines Bestandsgebäudes die Prognosegenauigkeit verbessern kann (Abschnitt II.4.5). Als weitere Eigenschaft wurde in der Webapp in Zusammenarbeit mit der Berliner Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe eine direkte georeferenzierte Verlinkung zu dem Energieatlas Berlin geschaffen, wodurch im Umfeld der jeweils analysierten Gebäude ein direkter Zugriff auf zusätzliche Informationen zur städtischen Energieinfrastruktur gegeben wird (Abschnitt II.4.6),

Im Kapitel II.5. wird die Analyse der Übertragbarkeit des Ansatzes von EnergyMap Berlin auf andere Kommunen außerhalb von Berlin am Beispiel einer Gemeinde in Brandenburg beschrieben.

In der letzten Phase des Projektes wurde EnergyMap Berlin nach einer internen Testphase im Frühjahr 2025 auf den Berliner Energietagen veröffentlicht (Kapitel II.6).

### II.1.1. Entwurf des Softwareframeworks

Das Softwareframework von EnergyMap Berlin wurde insbesondere in AP 1 entworfen, siehe dazu die Meilenstein-Reports M 1.1 und M 1.2.

Ziel der im Vorhaben konzipierten Software war eine anwendungsorientierte Karte online bereitzustellen, die es erlaubt, gebäudescharfe Wärmeverbrauchsprognosen für einzelne Gebäude Berlins abzufragen. Dieses Ziel wurde durch drei wesentliche Entwicklungen im Vorhaben umgesetzt. Diese sind:

- (1) Software und Strukturen zur Erhebung von Daten,
- (2) Software und Methoden zur Bestimmung der Wärmeverbrauchsprognosen,
- (3) Software zur Umsetzung einer Webapplikation als Kartenanwendung.

Methodisch werden diese drei Bausteine in der angegebenen Reihenfolge verwendet.

Grundsätzlich wurden für EnergyMap Berlin eine Reihe modularer Software-Komponenten entworfen und implementiert und mit vorhandenen Software-Projekten Dritter zu einem Gesamtsystem integriert. Auf oberster Ebene wurde eine Software zur Erhebung von Daten (1) der Projektpartner co2online und Senercon für die Datenerhebung mittels Crowdsourcing sowie eine Software für amtliche Datenerhebungen des Projektpartners BezCW entwickelt und mit dem softwaretechnischen Kern des Projekts (2), welcher beim Projektpartner UdKB entstand, über Datenbankschnittstellen kombiniert. Schließlich wurde an den Softwarekern die Kartenanwendung (3) gekoppelt.

Das Software-Framework ist im Wesentlichen an den Datenflüssen orientiert. Abbildung 3 zeigt einen Überblick der Eingangsdaten und wie diese im Software-Framework verarbeitet wurden. Zentral ist dabei die Forschungsdatenbank von EnergyMap Berlin. Darin werden die Datenerhebungen des Crowdsourcings und der amtlichen Datenerhebung mit einer Reihe weiterer Datenquellen vereinigt. Hauptdatenquellen sind neben den Erhebungen das 3D-

Geometriemodell der Stadt Berlin im CityGML-Format sowie die Gebäudeinformationen und 2D-Geometrien im ALKIS-System bzw. dem Geoportal Berlin. Zusätzliche Quellen von Gebäude- und Verbrauchsdaten wurden bei Energieversorgungsunternehmen, den öffentlichen Liegenschaften Berlins, bei Wohnungsbaugesellschaften und bereits abgeschlossenen Forschungsvorhaben aufgetan. Datenlücken und vor allem bauphysikalische Parameter wurden durch Literaturwerte ergänzt. Die einzelnen Datenquellen werden in weiteren Abschnitten detaillierter erläutert.

Alle Daten wurden zunächst in der Forschungsdatenbank gespeichert und in der Folge miteinander verschnitten. Dabei konnte in vielen Fällen auf eindeutige Identifikationsnummern (Gebäude-UUIDs, Blocknummern, Flurstückkennzeichen) zurückgegriffen werden, die klaren Zuweisungen ermöglichen. Bei dem Verschneiden (Mapping) von 3D-Gebäudemodellen mit 2D-Datensätzen von ALKIS musste auf geometrische Vergleiche der Grundflächen der Gebäude zurückgegriffen werden, was mit der verwendeten GIS-Datenbank möglich wurde.

Mit allen Daten in der Forschungsdatenbank und versehen mit gegenseitiger Referenzierung, wurden Plausibilisierungen durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Daten ein konsistentes und realistisches Bild des Berliner Gebäudebestandes wiedergeben. Stellenweise mussten Daten mit Standardwerten aus der Literatur aufgefüllt werden.

Für EnergyMap Berlin wurden neben den erhobenen Gebäudeenergieverbrauchsdaten auch umfangreiche Energiebedarfssimulationen mit dem Simulationswerkzeug SimStadt (<https://simstadt.hft-stuttgart.de>) durchgeführt, um den Datenbestand zum Training von KI-Modellen erheblich zu erweitern. Dazu wurden zunächst angereicherte CityGML-Modelle aus dem Datenbanksystem exportiert und dem Simulationswerkzeug zugeführt. Die Resultate der Simulationen wurden wieder in der Forschungsdatenbank gespeichert (Abbildung 3).

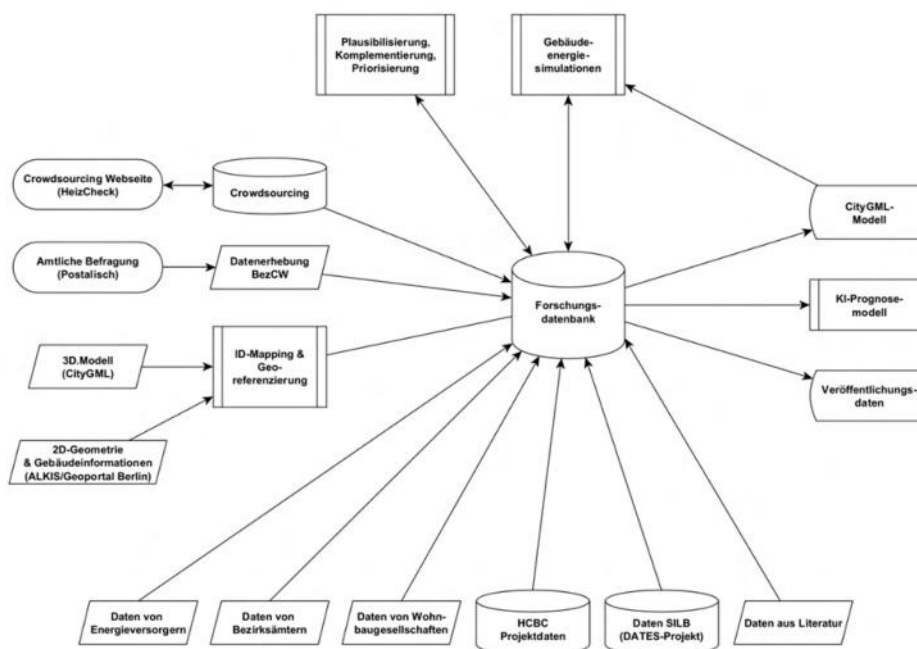


Abbildung 3 Überblick Datenflüsse und Methoden bei der Datenerhebung und -verarbeitung für EnergyMap Berlin

Ziel des Software-Frameworks war es und ist es für den Weiterbetrieb der EnergyMap Berlin eine Kartenanwendung für Endnutzer:innen bereitzustellen, die es erlaubt, die Daten von des gebäudescharfen Wärmekatasters auf einfache Weise abzurufen. Diese Anwendung wurde als Webapp entwickelt innerhalb der Webbrowser auf Endgeräten angeboten. Dafür wurden die Veröffentlichungsdaten von EnergyMap Berlin zusammen mit dem verwendeten 3D-Geometriemodell und dem trainierten KI-Prognosemodell in eine Webserver-Umgebung eingebunden und so bereitgestellt, siehe Abbildung 4.

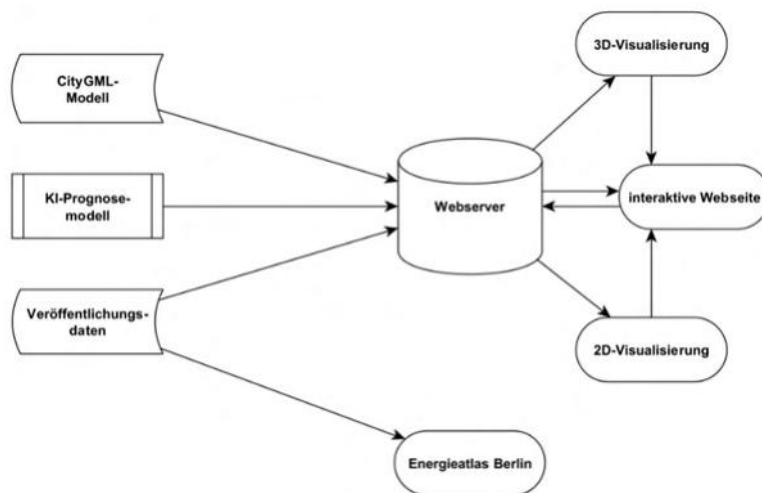


Abbildung 4 Softwarearchitektur zur Ergebnisveröffentlichung der Daten von EnergyMap Berlin über eine Webapp

## II.1.2. Umsetzungsplan, Risiken und Mitigationsstrategien

Um die möglichen Schwierigkeiten, Limitierungen und Gefahren in dem Projekt für die Erreichung des Projektziels einschätzen zu können, wurde anfangs eine Risikoanalyse vorgenommen. Hierdurch konnten die Eintrittswahrscheinlichkeit sowie das Schadensausmaß auf das Gesamtprojekt bewertet werden. Anschließend wurden Lösungen und Mitigationsstrategien, im Falle eines Eintretens eines Risikos, identifiziert. Durch dieses Vorgehen sollten von Anfang an Schwachstellen ausfindig gemacht werden und eine erhöhte Sicherheit für einen erfolgreichen Projektablauf gewährleistet werden. Mehrere dieser Risiken sind tatsächlich während des Projektverlaufs eingetroffen und die Mitigationsstrategien wurden genutzt, um das Projekt dennoch erfolgreich durchzuführen. Die Eintrittswahrscheinlichkeit wurde mit 0 Prozent = unwahrscheinlich und 100 Prozent = sicher eintreffend und das Schadensausmaß wurde mit 0 Prozent = kein Ausmaß und 100 Prozent = Projekt gefährdet bewertet.

In einer Risikomatrix werden die Eintrittswahrscheinlichkeiten und das Schadensausmaß zusammen visualisiert (siehe Tabelle 3 sowie Abbildung 5), sodass die größten Gefahren und Schwachstellen sichtbar werden.

Aufgrund der im Projekt entwickelten Mitigationsstrategien, die zu jedem Risiko zugeordnet wurden, konnte das Schadensmaß oftmals beträchtlich gesenkt werden, wenngleich die Eintrittswahrscheinlichkeit des Risikos selbst unverändert blieb (siehe Tabelle 4 sowie Abbildung 6). Durch die Mitigationsstrategien konnte das Schadensausmaß der Einzelrisiken auf 20 Prozent oder weniger reduziert werden.

Tabelle 3: Risiken und Risikominderungen

Risiko	Beschreibung Risiko	Eingeführte Risikominderungen	Eintrittswahrscheinlichkeit	Schadensausmaß
1	Geringer Rücklauf bei Crowdsourcing Kampagne	Monitoring der Kampagne, Flexible Anpassung der Werbestrategie	30%	60%
2	Fehlerhafte Eingabe der Energieverbräuche bei Crowdsourcing Kampagne	Vorläufige Qualitätssicherung durch Limitierungen/Hinweise bei der Eingabe auf Webseite	10%	60%
3	Nicht eindeutige Zuordnung der Angaben zu einem Gebäude bei Crowdsourcing Kampagne (Fähnchen nicht in einem Gebäude liegend, Gebäudeumrisse bei Datenquellen unterschiedlich)		30%	80%
4	Fehlerhafte Eingabe der Sanierungszustände bei Crowdsourcing Kampagne		20%	30%
5	Gemeinsame Eingabe von Energieverbräuchen für eine Gruppe von Gebäuden bei Crowdsourcing Kampagne		20%	80%
6	Leerstand in Gebäuden nicht abgefragt bei Crowdsourcing Kampagne	Erhebung von Daten mehrerer Jahre	5%	10%
7	Scheitern der Zusammenarbeit mit dem dominierenden lokalen Akteur auf der Mierendorffinsel aufgrund von Differenzen	Klärende Gespräche mit dem lokalen Akteur	80%	100%
8	Geringer Rücklauf bei amtlicher Datenerhebung	Auf Recht zur amtlichen Datenerhebung verweisen, Hürde zur Abgabe durch Einführung von Pflichtangaben und optionalen Angaben gesenkt	30%	80%
9	Leerstand in Gebäuden eventuell nicht angegeben bei amtlicher Datenerhebung	Erhebung von Daten mehrerer Jahre	5%	10%
10	Fehlerhafte Eingabe der Energieverbräuche bei amtlicher Datenerhebung		10%	100%
11	Nicht eindeutige Zuordnung der Angaben zu einem Gebäude bei amtlicher Datenerhebung (bei handschriftlich ausgefüllten Fragebögen)		10%	100%
12	Fehlerhafte Eingabe der Sanierungszustände bei amtlicher Datenerhebung		20%	30%
13	Gemeinsame Eingabe von Energieverbräuchen für eine Gruppe von Gebäuden bei amtlicher Datenerhebung	Möglichkeit mehrere Gebäude auszuwählen wird gegeben	10%	100%
14	Lückenhafte Eingabe bei amtlicher Datenerhebung	Angaben mit statistischen Kennwerten von Bauteilen des Gebäudealter vergleichen	80%	40%
15	Keine Aktualität/Fortschreibung der verfügbaren Informationen zu 3D Gebäudemodellen	Generierung von 3D-Modellen aus aktuellen ALKIS-Daten und Baufertigstellungen	20%	30%
16	Qualität der verfügbaren 3D Gebäudemodelle		30%	50%
17	Keine Vorhandenen Informationen zum Gebäudealter	Gebäudealterskarte im Innenstadtbereich digitalisieren, Blockdaten aus Zensus	70%	70%
18	Lückenhafte Informationen zu öffentlichen Gebäuden der Bezirksämter		70%	40%
19	Fehlerhafte Informationen zu öffentlichen Gebäuden der Bezirksämter		20%	100%
20	Geringer Rücklauf bei Datenabfrage der Energieversorger	Meetings mit Energieversorgern und Auftragsverarbeitungsaufträge schließen	60%	40%
21	Sich widersprechende Quellen zur Nutzung des Gebäudes		20%	40%
22	KI-Modell mit geringer Prognosegüte	unterschiedliche KI-Modelle testen und Modell mit guter Prognosegüte wählen	70%	50%
23	Verbrauchswert aus KI-Modell nicht genau zutreffend	Hinweistext zur Resultatanzeige	90%	50%

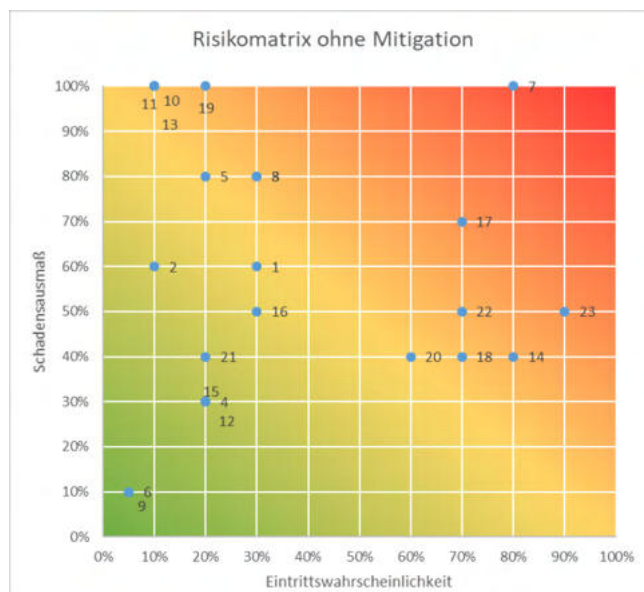


Abbildung 5: Risikomatrix ohne Mitigation

Tabelle 4: Mitigationsstrategien

Risiko	Beschreibung Mitigationsstrategie	Eintrittswahrscheinlichkeit	Schadensausmaß
1	Erzeugung von physikalischen Simulationen zur Ergänzung der Datenerhebung als Trainingsdaten	30%	10%
2	Plausibilitätscheck durch Vergleich mit Blockebene und Bedarfssimulationen, spezifische Kennwerte mit uni-, bi- und multivariater Analysen prüfen	10%	5%
3	Plausibilitätscheck: Angaben auf mögliche Flächen und Volumen beziehen und mit uni-, bi- und multivariater Analyse prüfen, welcher Bezug am Plausibelsten	30%	20%
4	Plausibilitätscheck: uni-, bi- und multivariate Analyse, Angaben mit statistischen Kennwerten von Bauteilen des Gebäudealter vergleichen	20%	5%
5	Möglichkeit mehrere Gebäude auszuwählen bei Eingabe oder Wegfall der Datenspende, Eventuell Aufteilung der Energieverbräuche durch Algorithmus möglich, Unschärfen bleiben	20%	20%
6	Plausibilitätscheck mit uni-, bi- und multivariaten Analysen	5%	5%
7	Auswahl eines weiteren heterogenen Stadtquartiers in der Innenstadt von Charlottenburg-Wilmersdorf für die Evaluierung des Forschungsansatzes und parallele Bearbeitung	80%	0%
8	Datenerhebung auf Berlin ausweiten	30%	20%
9	Plausibilitätscheck mit uni-, bi- und multivariaten Analysen	5%	5%
10	Plausibilitätscheck durch Vergleich mit Blockebene und durch Bedarfssimulationen, spezifische Kennwerte mit uni-, bi- und multivariater Analysen prüfen	10%	10%
11	Plausibilitätscheck: Angaben auf mögliche Flächen und Volumen beziehen und mit uni-, bi- und multivariater Analyse prüfen, welcher Bezug am plausibelsten	10%	5%
12	Plausibilitätscheck: uni-, bi- und multivariate Analyse, Angaben mit statistischen Kennwerten von Bauteilen des Gebäudealter vergleichen	20%	5%
13	eventuell Aufteilung der Energieverbräuche durch Algorithmus möglich, Unschärfen bleiben	10%	20%
14	Plausibilitätscheck: uni-, bi- und multivariate Analyse, Imputationen für Lücken vornehmen	80%	5%
15	Workflow zur Generierung von 3D-Modellen aus aktuellen ALKIS-Daten und Baufertigstellungen zur weiteren Aktualisierung auch nach Ende des Projekts	20%	5%
16	Anwendung von Tools zum Reparieren von Gebäudemodellen	30%	5%
17	KI-Bildererkennung	70%	20%
18	Plausibilitätscheck: uni-, bi- und multivariate Analyse, Angaben mit statistischen Kennwerten von Bauteilen des Gebäudealter vergleichen; Imputationen für Lücken vornehmen	70%	5%
19	Plausibilitätscheck: uni-, bi- und multivariate Analyse, Angaben mit statistischen Kennwerten von Bauteilen des Gebäudealter vergleichen	20%	5%
20	Wärmekataster des Senats für Ende 2022 vorgesehen mit Erhebungen der Verbrauchsdaten	60%	5%
21	Priorisierung der Quellen	20%	5%
22	KI-Modelle vortrainieren, mehr als ein KI-Modell verwenden	70%	0%
23	Wahrscheinlichkeitsverteilung als Resultat angeben statt einem bestimmten Wert	90%	0%

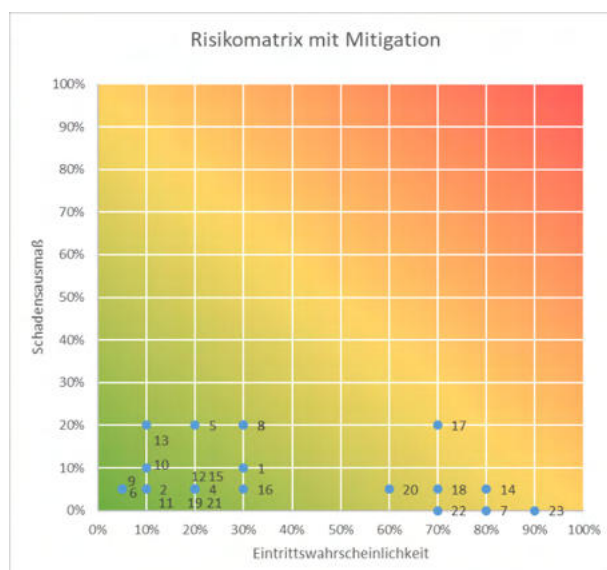


Abbildung 6: Risikomatrix mit Mitigation

## II.2. Datenquellen, -erhebungen und Datenschutz

### II.2.1. Crowdsourcing-Daten

Im Rahmen von AP 6 wurde eine Berlin-weite Crowdsourcing-Kampagne geplant und umgesetzt, die zum Ziel hatte, möglichst viele Berliner Haushalte zur Nutzung des HeizCheck von co2online zu und zur gebäudescharfen Bereitstellung der HeizCheck-Eingaben für EnergyMap Berlin zu bewegen. Auch das co2online-Tool ModernisierungsCheck, dessen erster Abschnitt mit dem HeizCheck identisch ist, wurde im Rahmen der Kampagne genutzt.

Der HeizCheck [HeizCheck 2026] und der ModernisierungsCheck [ModernisierungsCheck, 2026] sind von co2online betriebene und von der Senercon entwickelte kostenlose und herstellerunabhängige Online-Tools. Der HeizCheck unterstützt Hausbesitzer:innen und Mieter:innen dabei, die eigenen Heizkosten und den Heizenergieverbrauch zu bewerten. Ziel des Tools ist es, Transparenz zu schaffen, Einsparpotenziale aufzuzeigen und Investitionen in energieeffiziente Maßnahmen anzustoßen.

Der HeizCheck analysiert die individuellen Gebäudedaten, Heizkosten und Heizenergieverbräuche und stuft den Heizenergieverbrauch über den Vergleich mit ähnlichen Immobilien auf einer Skala von Grün (niedrig) bis Rot (hoch) ein. Er stellt außerdem auch konkrete Energiespartipps sowie Empfehlungen für Modernisierungen bereit.

Da beide Checks vor Projektbeginn als niedrigste geografische Auflösung die Postleitzahl des Gebäudes abfragten, waren sie in ihrer ursprünglichen Ausgestaltung nicht für die Bereitstellung von gebäudescharfen Daten geeignet.

#### **Zeitachse der Umsetzung der Datenspenden**

co2online und Senercon setzten bereits im Dezember 2022 eine Ergänzung des HeizChecks um, die allerdings aufgrund folgender Sachverhalte kurz nach Online-Schaltung wieder abgeschaltet werden musste:

- Das zunächst genutzte Kartentool OpenStreetMaps, auf dem die HeizCheck-Nutzenden ihr Gebäude markieren sollten, stellte sich als nicht ausreichend kompatibel mit dem Kartentool ALKIS heraus, das seitens der UdKB für die Umsetzung der EnergyMap ausgewählt worden war; deshalb musste eine Umstellung der Heiz-Check-Datenspende auf ALKIS vorgenommen werden mit der ALKIS-ID als zentralem Übergabe-Datum zur geografischen Lokalisierung des beschriebenen Gebäudes.
- Die zunächst im HeizCheck umgesetzte Datenschutzerklärung musste nach umfangreichen Beratungen zum Datenschutzkonzept nochmals neu aufgesetzt werden.
- Die Funktionalität, mehr als ein Gebäude auswählen zu können (da manche Heizkostenabrechnungen sich auf mehrere Gebäude beziehen) musste ergänzt werden.

Die beschriebenen Anpassungen wurden in der ersten Jahreshälfte 2023 umgesetzt, so dass im September 2023 der überarbeitete HeizCheck online gehen und die Crowd-Sourcing-Kampagne (neu) begonnen werden konnte.

#### **Umgesetzte Ergänzungen des HeizChecks**

Um Daten des HeizChecks gebäudescharf und somit für EnergyMap Berlin nutzbar zu machen, nahm die Senercon folgende programmiertechnischen Ergänzungen am HeizCheck vor:

- Fallsteuerung für die Datenspende, so dass nur Nutzende aus Berlin (gesteuert über die zuvor eingegebene Postleitzahl) auf eine mögliche Datenspende angesprochen wurden.
- Für Berliner Haushalte: Abfrage, ob die Bereitschaft besteht, die HeizCheck-Daten dem Projekt EnergyMap gebäudescharf zur Verfügung zu stellen (siehe Abbildung 7); hier auch Integration der Datenschutzerklärung, die die Weiterverarbeitung und -nutzung der Daten durch die UdK Berlin beschreibt.

**Spenden Sie Ihre HeizCheck-Eingaben der Wissenschaft!**

Bevor Sie sich die Analyse Ihrer Heizkosten anschauen, haben wir eine kleine Bitte. Worum geht's?

Berlin hat sich zur Klimaneutralität bis 2045 verpflichtet. Berlin braucht dafür die Unterstützung der Bürgerinnen und Bürger – Ihre Unterstützung! Denn Kenntnisse zur Beschaffenheit des Berliner Gebäudebestandes sind grundlegend auf dem Weg zu einer klimafreundlichen Stadt. Sie haben es in der Hand. Mit Ihrer anonymen Datenspende an EnergyMap bringen Sie die lokale Energiewende voran – für sich, für Ihre Kinder, für eine lebenswerte Stadt!

Das Projekt EnergyMap ([www.energymap-berlin.de](http://www.energymap-berlin.de)) wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert mit dem Ziel, eine belastbare Planungsgrundlage für die Energiewende in der Hauptstadt zu schaffen. Ihre Eingaben werden ausschließlich im Rahmen des Projektes ausgewertet und nicht an Dritte weitergegeben.

Details zur Datennutzung und Ihren Datenschutzrechten finden Sie in der Datenschutzerklärung.

Ja, ich möchte meine Daten spenden!

Nein danke, weiter ohne Spende

→ weiter

Abbildung 7: Heiz-Check-Abfrage an Berliner Nutzende, ob Bereitschaft zur Datenspende besteht

- Bei Zustimmung zur Datenspende: Bitte um Eingabe der Straße über Drop-Down-Menü, das alle Straßen der gewählten Postleitzahl zur Auswahl stellt; Eingabe der Hausnummer.
- Auf Basis der eingegebenen Adressdaten erfolgt Ansicht des gewählten Berliner Gebietes in einer Online-Karte auf Basis des Kartendienstes ALKIS. Die Nutzenden werden dann gebeten, das oder die Gebäude, auf welche sich die Heizkostenabrechnung bezieht, auf der Karte durch Klick auf das/die Gebäude auszuwählen (Gebäudefarbe springt dann von Gelb auf Rot).
- Die ausgewählten Gebäude werden in Textbox nochmals benannt (siehe Abbildung 8); der Nutzende wird dann gebeten, die nun gebäudescharfen HeizCheck-Daten zu spenden; auch ein Abbruch und eine Fertigstellung des HeizChecks ohne Datenspende ist zu jedem Zeitpunkt noch möglich.

**Sie wohnen in Berlin und möchten die lokale Energiewende voranbringen?**

Markieren Sie alle Gebäude die zu Ihrer Abrechnung gehören. Sie können ein oder mehrere Gebäude (Liegenschaften) eingeben, wie auf Ihrer Heizkostenabrechnung angegeben.

Sie haben folgendes Wohngebäude markiert  
HochMärchstraße 11 10829 Berlin

Sollten auf Ihrer Heizkostenabrechnung weitere Gebäude angegeben sein, klicken Sie bitte ebenfalls in der Karte auf das entsprechende Gebäude.

→ Jetzt Daten spenden

Abbildung 8: HeizCheck-Seite zur Auswahl des betreffenden Gebäudes und zur Abgabe der Datenspende

## Crowdsourcing-Kampagne

Für die berlinweite Akquise gebäudescharfer Wärmeverbrauchsdaten startete co2online Ende 2022 die digitale Crowdsourcing-Kampagne unter Nutzung der hierfür eingerichteten Kampagnen-Webseite [www.energymap.berlin](http://www.energymap.berlin) (seit Projektende nicht mehr aktiv) und des dort eingebundenen und erweiterten Online-Tools „HeizCheck“ (siehe auch Meilensteinbericht 6.2). Die Kampagne wurde jedoch nach zwei Monaten wegen erforderlicher Anpassungen am Tool (siehe oben) unterbrochen und dann erst im September 2023 wieder fortgeführt.

Unter Nutzung umfangreicher Öffentlichkeitsmaßnahmen (Medienkooperation mit Tagesspiegel, SocialMedia-Anzeigen-Kampagne, E-Mailings, Einbindung Influencerin, Pressearbeit) wurden Berliner:innen angesprochen, die Kampagnenwebseite aufzusuchen und dort den HeizCheck inklusive Datenspende auszuführen.

Im Laufe der Kampagne stellte sich jedoch heraus, dass auf der neu eingerichteten Webseite nur schwer Reichweite zu erzielen war. Bei Nutzer:innen mit mobilen Endgeräten war vermutlich der Sachverhalt, dass die Heizkostenabrechnung beim Starten des HeizChecks nur selten vorlag, eine Ursache für die schlechte Konversion. Deshalb wurden in der Folge verstärkt Berliner Nutzer:innen des regulären co2online-HeizChecks um die Bereitstellung ihrer eingegebenen Daten für EnergyMap Berlin gebeten, unter anderem durch ein Sondermailing an Berliner Leser:innen des co2online Newsletters.

## Ergebnisse der Crowdsourcing-Kampagne

Die generelle Nutzungsrate des HeizChecks war eine wesentliche Einflussgröße für die Generierung von Datenspenden über das Online-Tool. Der HeizCheck hatte in der Phase des Projektbeginns bundesweit sehr hohe Zugriffszahlen mit einem Peak von über 30.000 Nutzungen im September 2022 anlässlich der Gaspreiskrise aufgrund des russischen Angriffs auf die Ukraine (vgl. Abbildung 9).

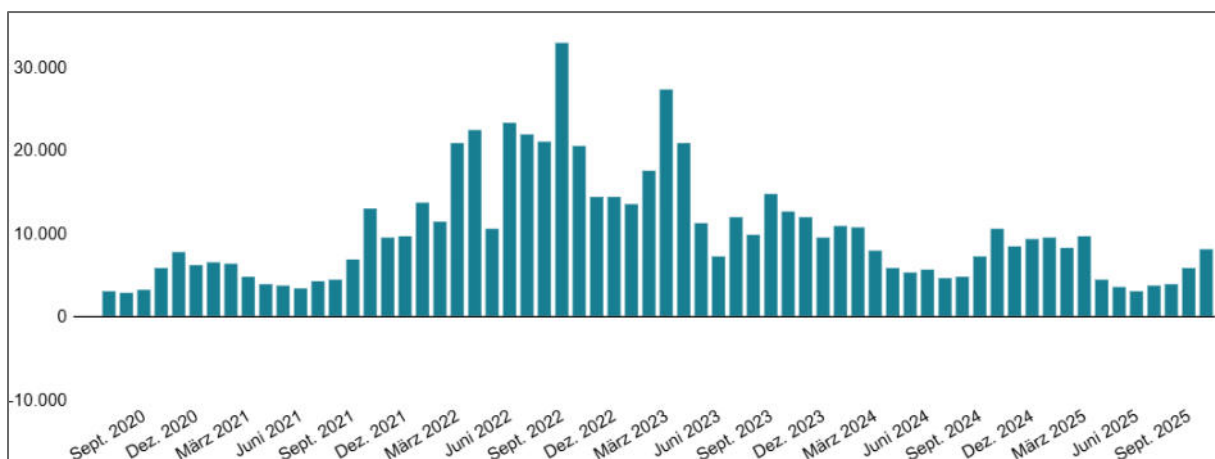


Abbildung 9: Monatliche bundesweite HeizCheck-Nutzungen zwischen 2020 und 2025

Über die Dauer des Projektes konnten diese sehr hohen Nutzungszahlen leider nicht aufrechterhalten werden, ab Herbst 2023 pendelten sich die monatlichen bundesweiten Zugriffe auf Werte zwischen 3.000 und 10.000 ein, jeweils mit höheren Zugriffszahlen während der Heizsaison. Ungefähr 5 Prozent der HeizCheck-Nutzungen kommen aus dem Gebiet des Bundeslandes Berlin, welches allein für das Projekt EnergyMap Berlin relevant war.

Bis zum Ende des Vorhabens nutzten gut 3.000 Berliner:innen den Heiz- bzw. ModernisierungsCheck. 25 Prozent (775) waren zu einer Datenspende bereit, 6 Prozent (178) scheiterten aber am Anklicken ihres Gebäudes in der Karte, so dass final 19 Prozent (597) bis Ende des Projekts eine valide Datenspende gab. Diese Daten wurden an die UdKB zum Trainieren und Validieren des KI-Prognosemodells weitergegeben.

Aufgrund des sehr schlechten Kosten-Nutzen-Verhältnisses der Kampagnenkosten zu den erhaltenen Datenspenden wurde im Frühjahr 2024 beschlossen, die aktive Bewerbung der Datenspende zu beenden. Ab dann wurde ausschließlich auf die Verbesserung der Konversionsrate bei den regulären Nutzungen des HeizChecks fokussiert.

## II.2.2. Amtliche Datenerhebungen

Mit der Novelle des Berliner Energiewende- und Klimaschutzgesetzes (EWG Bln) im Herbst 2021 war kurz vor dem Start des Projektes EnergyMap Berlin den zuständigen Senatsverwaltungen und den Berliner Bezirken das Recht eingeräumt worden, zum Zweck der Wärmeplanung erforderliche Wärmedaten zu erheben (§ 21 EWG Bln). Da die Ergebnisse des Crowd Sourcings von Wärmedaten weit hinter den Erwartungen zurückblieben, und auch das vom Bezirksamt gemeinsam mit der Senercon eingerichtete Energiesparkonto für die Mierendorff-Insel nur sehr wenige Nutzer anzog [Fußnote: Das Energiesparkonto für die Mierendorff-Insel war unter der Adresse [www.energiekosten-mierendorffinsel.de](http://www.energiekosten-mierendorffinsel.de) vom 09.05.2022 bis 08.10.2025 zu erreichen. Insbesondere die Notwendigkeit der Anlage eines eigenen Accounts und das Fehlen einer breiteren Umgebung, die das Thema sachlich mittrug, waren nach unseren Erkenntnissen Hinderungsgründe für die Erschließung einer breiteren Nutzerkreises, weshalb diese Option der amtlichen Datenerhebung gezogen wurde.

Für die Datenerhebung war ursprünglich ein Online-Verfahren vorgesehen, das einen angemieteten Server außerhalb der IT-Infrastruktur der Berliner Verwaltung nutzen sollte. Ein Online-Verfahren wurde jedoch vom Datenschutzbeauftragten des Bezirksamtes abgelehnt, wenn es nicht als ein neues IT-Fachverfahren im Land Berlin auf der IT-Infrastruktur der Berliner Verwaltung eingerichtet würde. Die Möglichkeit eines solchen neuen Berliner IT-Fachverfahrens wurde seitens des Projektes EnergyMap Berlin jedoch aus Gründen des damit verbundenen sachlichen und zeitlichen Aufwandes verworfen. An einem solchen Verfahren hätten sämtliche Senats- und Bezirksverwaltungen, der Hauptpersonalrat und weitere Stellen im Land Berlin beteiligt werden müssen, bei einem zu erwartenden Zeitbedarf von mehr als einem Jahr.

Nach der Entscheidung für die Durchführung der Datenerhebung im Postverfahren wurden in Zusammenarbeit mit der UdKB und unter Rückgriff auf Erfahrungen mit dem HeizCheck der co2online zwei vierseitige Fragebögen - je einer für Wohngebäude und Nichtwohngebäude - entwickelt. Da § 21 EWG Bln nur juristische Personen zur Datenbereitstellung verpflichtet, gesetzlich nicht verpflichtete natürliche Personen sowie Wohneigentumsgemeinschaften (WEG) aber einen großen Anteil der Eigentümer selbst bei großen MFH in den Innenstadtquartieren des Bezirks stellen und schon aus diesem Grund an der Befragung beteiligt werden sollten, wurden weiter unterschiedliche Anschreiben für die Zielgruppen entwickelt. Die von der Pflicht zur Datenbereitstellung ausgenommenen Eigentümer erhielten die gleichen Fragebögen wie die verpflichteten, wurden mit einem anderen Anschreiben aber ausdrücklich auf die Freiwilligkeit ihrer Teilnahme an der Datenerhebung hingewiesen.

Besondere Vorkehrungen erforderten die für die Datenerhebung zu befragenden Wohneigentums-gemeinschaften (WEG). Für das Anschreiben der juristischen Personen konnten die in ALKIS enthaltenen Adressen der Eigentümer verwendet werden; diese mussten nur im Fall von nicht zustellbaren Rückläufern nachrecherchiert werden. ALKIS-Daten enthalten jedoch keinerlei Hinweise, wer aus der Liste der Eigentümer einer WEG für die Gemeinschaft auskunftsberechtigt, d.h. Sprecher:in der WEG ist, noch ggf. welche Hausverwaltung aktuell mit der Verwaltung des Objektes beauftragt ist. Da WEGs in den meisten Quartieren des Bezirks einen erheblichen Anteil der Eigentümer stellen, wurde seitens des Bezirksamtes entschieden, der Erhebung von Wärmedaten eine Erhebung der Hausverwaltungen vorzuschalten. Diese Erhebung der Hausverwaltungen wurde dann auf sämtliche Gebäude im Besitz von natürlichen Personen und WEG ausgedehnt, die an der Wärmedatenerhebung teilnahmen. Die Erhebung der Hausverwaltungen in den für die Befragung vorgesehenen Quartieren wurde fußläufig sowie durch telefonische und online-Nachrecherchen durch eine Honorarkraft des Projektes EnergyMap Berlin erledigt.

Damit die Verarbeitung der vom Bezirksamt erhobenen Daten für die EnergyMap Berlin von der UdKB übernommen werden konnte, wurde angesichts kursierender unterschiedlicher Rechtsauffassungen zum Status dieser Daten – Personenbezug gegeben, oder nicht? – zwischen ihnen am 23.11.2023 vorsorglich ein Vertrag über die gemeinsame Verantwortung bei der Verarbeitung personenbezogener Daten geschlossen.

Das BezCW führte für das Projekt EnergyMap Berlin in der Folge Datenerhebungen in insgesamt vier Quartieren durch: Mierendorff-Insel, Klausenerplatz-Kiez, City West und im Siedlungsgebiet Eichkamp-Heerstraße (Abbildung 10).

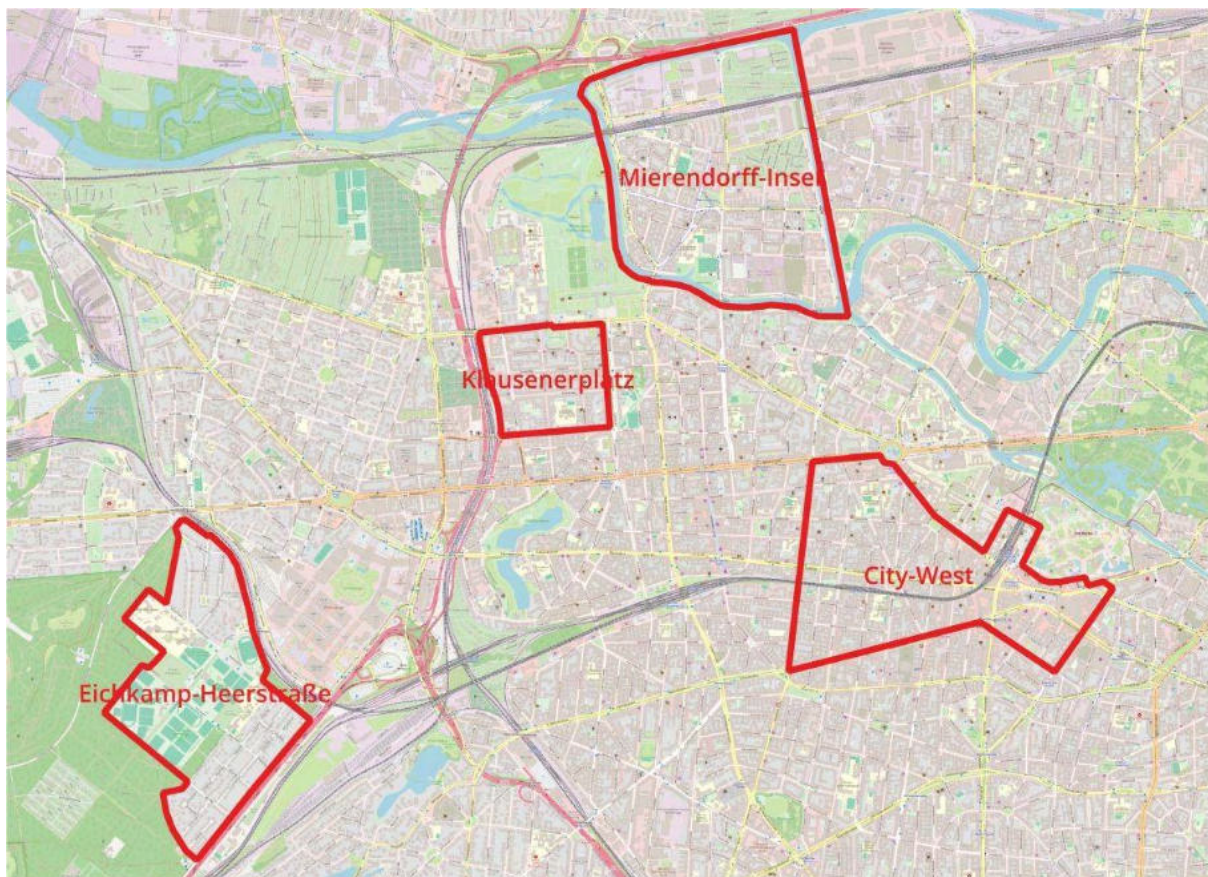
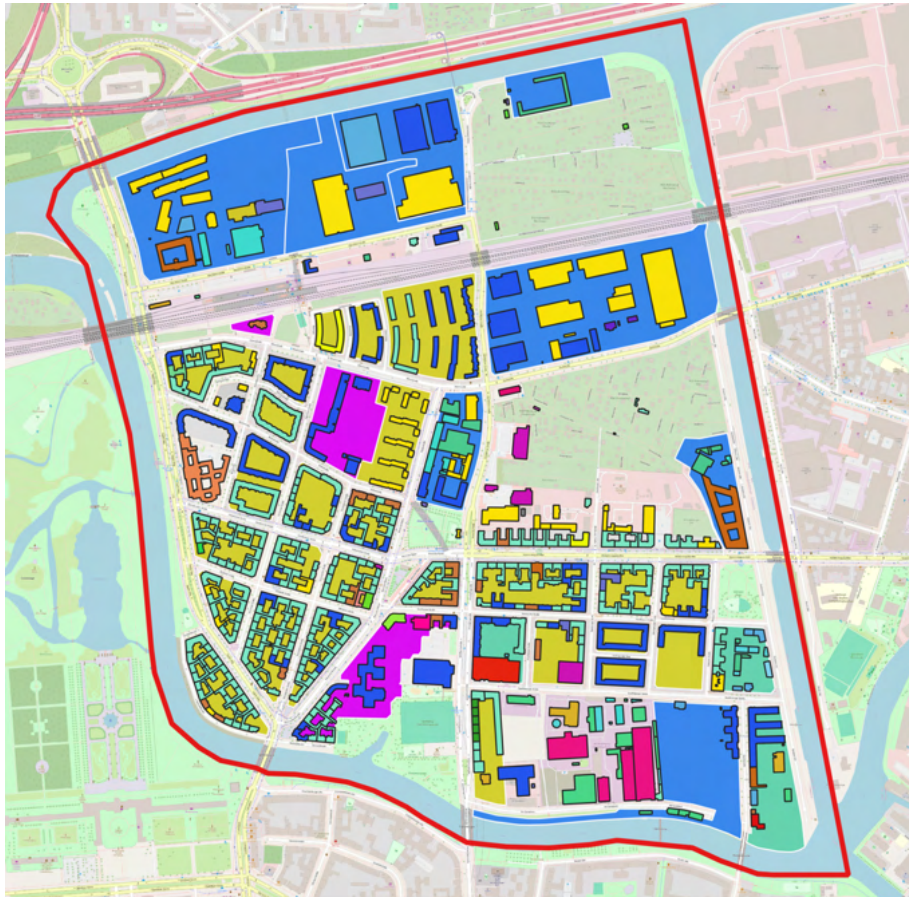


Abbildung 10: Datenerhebungsgebiete in Charlottenburg-Wilmersdorf, © EnergyMap Berlin, Hintergrundkarte © OpenStreetMap

## 1) Mirendorff-Insel

Das im Ortsteil Charlottenburg gelegene Gebiet um den Mirendorffplatz (vgl. Abbildung 11), umgangssprachlich als Mirendorff-Insel bezeichnet, ist eine echte Insellage: Der Westhafenkanal im Norden, der Charlottenburger Verbindungskanal im Osten und die Spree im Süden und Westen umschließen ein Mischgebiet (Wohnen und Gewerbe) von 183 ha, in dem aktuell ca. 18.000 Einwohner leben. Die Stadt Charlottenburg wuchs ab den 1890er Jahren in das Gebiet. Große Industrieanlagen für die öffentliche Versorgung waren das 1890 errichtete Gaswerk Gaußstraße im Norden am Berliner S-Bahnring (heute ein Gewerbegebiet) und das 1900 in Betrieb gegangene Kraftwerk Charlottenburg (heute HKW) am Spreeufer im Süden. Die Wohnbebauung des Quartiers wird von den sog. Gründerzeitbauten, daneben aber auch von denkmalgeschützte Reformwohnungsbauten der Weimarer Republik, sowie Wohnanlagen aus den 30er, 60er und 70er Jahren geprägt. Aktuell ist das Quartier auch der größte Standort der Wohnungsbaunachverdichtung im Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf; die Einwohnerzahl wird in den kommenden Jahren auf ca. 21.000 steigen. Für die Wohngebiete der Mirendorff-Insel ist seit dem 01.09.2018 eine soziale Erhaltungssatzung (Milieuschutz) gem. § 172 Abs. 1 Satz 1 Nr. 2 Baugesetzbuch (BauGB) in Kraft, nach der für den Rückbau, die Änderung oder die Nutzungsänderung baulicher Anlagen und die Begründung von Wohnungs- und Teileigentum eine Genehmigung des Fachbereichs Stadtplanung des bezirklichen Stadtentwicklungsamtes erforderlich ist.



Flächennutzung		
<span style="color: blue;">■</span>	Gewerbe- und Industrie	
<span style="color: lightgreen;">■</span>	Mischgebiet ohne Wohnen	
<span style="color: magenta;">■</span>	Schule, Kita	
<span style="color: yellow;">■</span>	Wohnen	
Gebäudefunktion		
<span style="color: pink;">■</span>	Allgemein bildende Schule	<span style="color: red;">■</span> Kreditinstitut
<span style="color: brown;">■</span>	Bürogebäude	<span style="color: purple;">■</span> Laden
<span style="color: magenta;">■</span>	Elektrizitätswerk	<span style="color: green;">■</span> Lager
<span style="color: blue;">■</span>	Fabrik	<span style="color: blue;">■</span> Seniorenheim
<span style="color: purple;">■</span>	Gaswerk	<span style="color: cyan;">■</span> Sonstiges für Gewerbe
<span style="color: lightgreen;">■</span>	Gebäude für Bewirtung	<span style="color: cyan;">■</span> Speichergebäude
<span style="color: brown;">■</span>	Gebäude für Bildung und Forschung	<span style="color: yellow;">■</span> Sport-, Turnhalle
<span style="color: magenta;">■</span>	Gebäude für Fernmeldewesen	<span style="color: orange;">■</span> Umspannwerk
<span style="color: yellow;">■</span>	Gebäude für Forschungszwecke	<span style="color: purple;">■</span> Verwaltungsgebäude
<span style="color: lightblue;">■</span>	Gebäude für Gewerbe u. Industrie	<span style="color: green;">■</span> Wohngebäude
<span style="color: lightblue;">■</span>	Gebäude für Handel und Dienstleistung mit Wohnen	<span style="color: green;">■</span> Wohngebäude mit Gewerbe und Industrie
<span style="color: brown;">■</span>	Gebäude für Handel und Dienstleistungen	<span style="color: green;">■</span> Wohngebäude mit Handel und Dienstleistungen
<span style="color: green;">■</span>	Gebäude für soziale Zwecke	<span style="color: lightgreen;">■</span> Wohnhaus
<span style="color: magenta;">■</span>	Gebäude für Wirtschaft o. Gewerbe	
<span style="color: green;">■</span>	Gebäude zur Elektrizitätsversorgung	
<span style="color: red;">■</span>	Gemeindehaus	
<span style="color: orange;">■</span>	Gericht	
<span style="color: red;">■</span>	Geschäftsgebäude	
<span style="color: lightgreen;">■</span>	Hochschulgebäude	
<span style="color: red;">■</span>	Hotel, Motel, Pension	
<span style="color: lightgreen;">■</span>	Kinderkrippe, -garten, -tagesstätte	
<span style="color: green;">■</span>	Kirche	

Abbildung 11: Flächennutzung und Gebäudefunktionen auf der Mierendorff-Insel, Umriss Untersuchungsgebiet © EnergyMap Berlin | Gebäudeumrisse und -funktionen © ALKIS Berlin | Hintergrundkarte © OpenStreetMap

Die Datenerhebung im Quartier wurde mit der Verteilung von Flyern zum Projekt EnergyMap Berlin an unterschiedliche Eigentümergruppen sowie der Durchführung einer sog. Inselkonferenz – ein stehendes Format der sozialen Aktivitäten des Quartiers – vorbereitet. Die Inselkonferenz vom 23.02.2023 wurde gemeinsam mit DorfWerkStadt e.V. organisiert, dem zentralen sozialen Akteur im Gebiet, der auch die Webseite <https://mierendorffinsel.org> betreibt, einen Newsletter herausgibt und Inhaber der Wort-Bild-Marke "nachhaltige Mierendorff-Insel" ist (vgl. Abbildung 12).



Abbildung 12: Einladung zur Inselkonferenz 2023, bei welcher das Projekt EnergyMap Berlin vorgestellt wurde

Für die Datenerhebung wurden von den 570 oberirdischen Gebäuden im Quartier 386 anhand ihrer Größe (>100 m<sup>2</sup> Nutzfläche) ausgewählt. Die Nutzflächen dieser Gebäude belaufen sich auf 1.174.198 m<sup>2</sup>, die sich auf verschiedene Nutzungsarten wie folgt verteilen:

Tabelle 5: Anzahl der Gebäude auf der Mierendorff-Insel, kategorisiert nach Nutzungsarten

Nutzungsart	Anteil Nutzfläche in Prozent	Anzahl Gebäude
ausschließliches Wohngebäude	62,58	278
Produktions-, Lager- oder Betriebsgebäude	19,26	62
Büro-, Verwaltungs- oder Amtsgebäude	9,28	14
Handelsgebäude	3,54	9
Schule, Kindertagesstätte und sonstige Betreuungsgebäude	2,30	6
Gebäude für Forschung und Hochschullehre	0,94	2
Sonstige	2,10	15

Die für die Erhebung ausgewählten 278 Wohngebäude gehören dabei zu folgenden Baualtersklassen:

Tabelle 6: Verteilung der Wohngebäude auf der Mierendorff-Insel nach Baualtersklassen

Baujahr	1871-1920	1921-1940	1950-1970	1971-1990	1991-2010	seit 2010
Anteil Gebäude	66 Prozent	11 Prozent	12 Prozent	6 Prozent	0 Prozent	4 Prozent

Die Mierendorff-Insel zeichnet sich durch eine sehr kleinteilig differenzierte Eigentümerstruktur aus. Es dominiert Privatbesitz; 208 Gebäude (54 Prozent) gehören Wohneigentumsgemeinschaften (WEG) oder natürlichen Personen, wobei auf einen einzelnen Eigentümer im Durchschnitt nur ein bis zwei Gebäude entfallen. Auch Kapitalgesellschaften, denen 22 Prozent der an der Erhebung teilnehmenden Gebäude gehören, sind mit durchschnittlich zwei Gebäuden im Besitz nur wenig größer. Landeseigene Wohnungsunternehmen sind auf der Mierendorff-Insel, wo ihnen nur 3 Prozent der Gebäude gehören, im Vergleich zu Berlin insgesamt unterrepräsentiert (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Verteilung der Gebäude und ihrer Nutzfläche auf der Mierendorff-Insel nach Eigentümerart

<b>Eigentümerkategorie</b>	<b>Anzahl Akteure</b>	<b>Anzahl Gebäude</b>	<b>Anteil Gebäude in Prozent</b>	<b>Nutzfläche in m<sup>2</sup></b>
WEG (Wohneigentumsgemeinschaft)	78	122	32	312.051
Natürliche Person	75	86	22	197.191
Kapitalgesellschaft	62	129	33	504.267
Gemeinnützige Einrichtung	7	13	3	24.688
LWU (landeseigene Wohnungsunternehmen)	4	7	2	50.959
Genossenschaft	3	10	3	46.038
Land Berlin	1	19	5	39.004

Wie für Berlin typisch, sind für die Gebäude im Quartier Hausverwaltungen zuständig, die weit überwiegend klein- und kleinstbetrieblich organisiert sind. So wurden für die 208 Gebäude, die sich im Besitz von WEG oder natürlichen Personen befinden, vorab der Datenerhebung 153 verschiedene Hausverwaltungen ermittelt.

Die Datenerhebung auf der Mierendorff-Insel wurde im Zeitraum vom 11.05.2024 bis zum 06.12.2024 durchgeführt. Etwa die Hälfte der von der Erhebung erfassten Akteure reagierte erst nach einem Erinnerungsschreiben. In zwei Fällen konnten zur Datenbereitstellung verpflichtete Eigentümer erst mit der Androhung eines Zwangsgeldes gem. §§ 6, 9, 11 und 13 des Verwaltungsvollstreckungs-gesetzes (VwVG) zur Mitarbeit bewegt werden.

Nach Beginn der Erhebung mussten von den 386 ausgewählten Gebäuden 39 Gebäude aufgrund von fehlerhaften oder nicht auffindbaren Eigentümeradressen, Leerstand, laufenden Sanierungen oder einem erfolgten Abriss, der noch nicht im Liegenschaftskataster verzeichnet war, von der Erhebung ausgeschlossen werden. Für die verbleibenden 347 Gebäude ergaben sich folgende Rücklaufquoten:

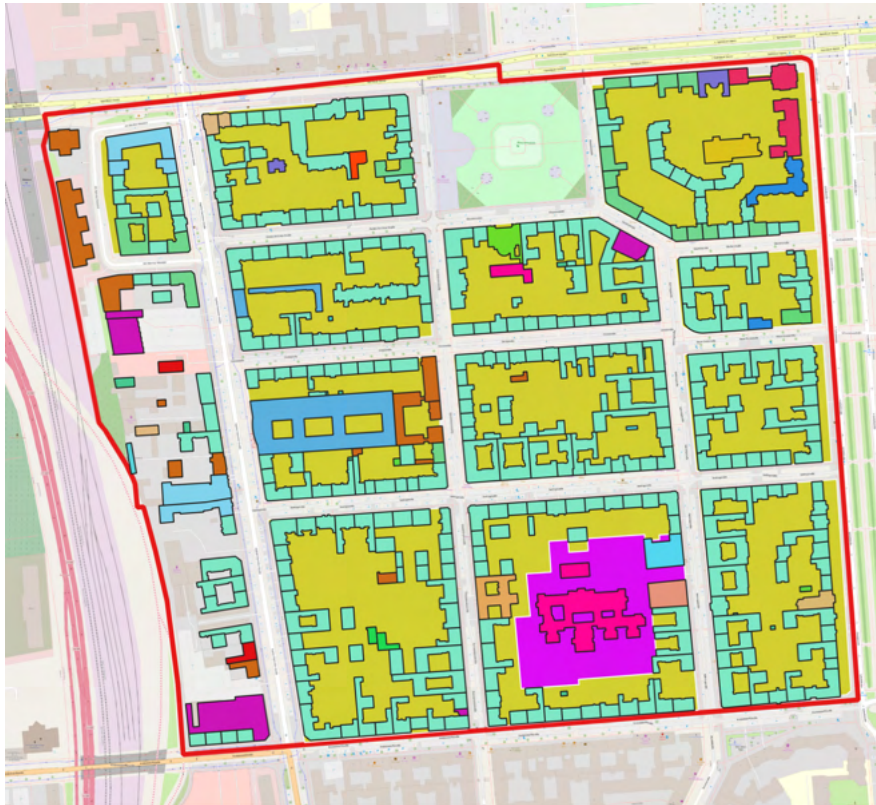
Tabelle 8: Datenerhebung und ihre Rücklaufquote auf der Mierendorff-Insel

<b>Kategorie</b>	<b>Anzahl Gebäude/Fragebögen</b>	<b>Rücklauf</b>	<b>Rücklaufquote in Prozent</b>
Pflichtabgabe	153	139	91
Freiwillige Datenbereitstellung	184	61	33
Kommunale Gebäude	10	10	100
<b>Gesamt</b>	<b>347</b>	<b>210</b>	<b>58</b>

Für die Mierendorff-Insel konnten mit der Rücklaufquote von 58 Prozent das im Projektantrag dargestellte Ziel, für mindestens 50 Prozent des relevanten Gebäudebestandes Daten zu erheben, erreicht werden.

## 2) Klausenerplatz-Kiez

Der Klausenerplatz-Kiez liegt im Ortsteil Charlottenburg südlich des Spandauer Damms, schräg gegenüber dem auf der Nordseite gelegenen Charlottenburger Schloss. Die Schloßstraße, die nach Süden verlängerte Mittelachse des Schlosses, begrenzt den Kiez im Osten, im Westen bilden die Gleisanlagen der Ringbahn und die Autobahn A100 die Gebietsgrenze, die im Süden entlang der Knobelsdorffstraße verläuft (vgl. Abbildung 13).



Flächennutzung	
<span style="color: yellow;">■</span> Schule, Kita	<span style="color: lightgreen;">■</span> Kapelle
<span style="color: yellow;">■</span> Wohnen	<span style="color: green;">■</span> Kirche
Gebäudefunktion	
<span style="color: magenta;">■</span> Allgemein bildende Schule	<span style="color: purple;">■</span> Laden
<span style="color: orange;">■</span> Bibliothek, Bücherei	<span style="color: teal;">■</span> Lagerhalle, Lagerschuppen, Lagerhaus
<span style="color: brown;">■</span> Bürogebäude	<span style="color: red;">■</span> Museum
<span style="color: magenta;">■</span> Gebäude fuer religiöse Zwecke	<span style="color: blue;">■</span> Seniorenheim
<span style="color: cyan;">■</span> Gebäude für Gesundheitswesen	<span style="color: cyan;">■</span> Sonstiges Gebäude für Gewerbe und Industrie
<span style="color: blue;">■</span> Gebäude für Gewerbe und Industrie	<span style="color: yellow;">■</span> Speichergebäude
<span style="color: lightblue;">■</span> Gebäude für Handel und Dienstleistung mit Wohnen	<span style="color: yellow;">■</span> Sport-, Turnhalle
<span style="color: orange;">■</span> Gebäude für Handel und Dienstleistungen	<span style="color: brown;">■</span> Studenten-, Schülerwohnheim
<span style="color: green;">■</span> Gebäude für soziale Zwecke	<span style="color: orange;">■</span> Theater, Oper
<span style="color: red;">■</span> Geschäftsgebäude	<span style="color: purple;">■</span> Verwaltungsgebäude
<span style="color: brown;">■</span> Jugendfreizeitheim	<span style="color: green;">■</span> Wohngebäude
	<span style="color: lightgreen;">■</span> Wohngebäude mit Handel und Dienstleistungen
	<span style="color: cyan;">■</span> Wohnhaus

Abbildung 13: Flächennutzung und Gebäudefunktionen im Klausenerplatz-Kiez, Umriss Untersuchungsgebiet © EnergyMap Berlin | Gebäudeumrisse und -funktionen © ALKIS Berlin | Hintergrundkarte © OpenStreetMap

Das Quartier ist ein Wohngebiet mit rd. 9.000 Einwohnern, das gegenüber dem Schloß mit dem Museum Berggruen und dem Böhan-Museum auch bedeutende kulturelle Sammlungen beherbergt, die internationalen und Kulturtourismus anziehen. Die Gebäude des

Wohngebietes sind nur in den nördlichen Lagen gegenüber dem Schloss und entlang der Schlossallee repräsentativ; weiter südlich und westlich sind die Gründerzeitbestände weniger opulent. Dem landeseigenen Wohnungsunternehmen Gewobag gehören 181 Gebäude im Gebiet. Die Tradition sozialer Wohnungsunternehmen – vor der Gewobag war die Neue Heimat stark vertreten -- hat einen konservierenden Einfluss in dem Wohngebiet, auf dem ansonsten ein erheblicher Aufwertungsdruck lastet, dem die Bezirksverwaltung mit den Mitteln einer sozialen Erhaltungssatzung (Milieuschutz) zu begegnen versucht. Der Klausenerplatz-Kiez war 2013 das erste Berliner Quartier, dem lokale Aktivisten mit Unterstützung des Bezirks zu einem Klimaschutzkonzept verhalfen. Das Kiezbündnis Klausenerplatz ist seitdem weiter aktiv, ebenso wie andere Vereine und Initiativen im Quartier. Das Untersuchungsgebiet umfasst auf einer Fläche von 45 ha 477 oberirdische Gebäude, davon 349 Wohngebäude, von denen 93 Prozent Baualtersklassen von 1870 bis 1920 zugeordnet sind. Für die Datenerhebung wurden 393 Gebäude ausgewählt, Kriterien waren eine Nutzfläche >100m<sup>2</sup> sowie Gebäudefunktionskennungen des Liegenschaftskatasters<sup>1</sup>.

Tabelle 9: Nutzungsarten der analysierten Gebäudeflächen im Klausener Platz-Kiez

<b>Nutzungsart</b>	<b>Anteil Nutzfläche in Prozent</b>
ausschließliches Wohngebäude	76,36
Büro-, Verwaltungs- oder Amtsgebäude	4,67
Produktions-, Lager- oder Betriebsgebäude	4,10
vorwiegend Wohngebäude mit weiteren Nutzungen	3,99
Schule, Kindertagesstätte und sonstige Betreuungsgebäude	2,82
Anderweitig genutzte Gebäude inkl. Wohnen	2,71
Gebäude für Gesundheit und Pflege	1,53
Handelsgebäude	1,07

Die Eigentümerstruktur des Klausenerplatz-Kiezes ist durch die starke Präsenz von landeseigenen Wohnungsunternehmens geprägt, denen 45 Prozent der Gebäude im Quartier gehören. Ansonsten haben Wohneigentumsgemeinschaften und natürliche Personen zusammen 33 Prozent der Gebäude in ihrem Besitz und damit die für den Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf typische starke Stellung unter den Eigentümern.

Tabelle 10: Verteilung der Gebäude und ihrer Nutzfläche im Klausener Platz-Kiez nach Eigentümerart

<b>Eigentümerkategorie</b>	<b>Anzahl Akteure</b>	<b>Anzahl Gebäude</b>	<b>Anteil Gebäude in Prozent</b>	<b>Nutzfläche in m<sup>2</sup></b>
LWU (landeseigene Wohnungsunternehmen)	2	175	45	229.534
WEG (Wohneigentumsgemeinschaft)	78	71	18	107.107
Natürliche Person	75	64	16	89.593
Kapitalgesellschaft	62	62	16	117.054
Gemeinnützige Einrichtung	7	8	2	14.819
Land Berlin	3	9	2	38.298
Genossenschaft	1	4	1	3.419

<sup>1</sup> Für die Erhebung nicht relevante Gebäudefunktionen wie Bahnhöfe, Garagen, Kioske u.a. wurden nicht berücksichtigt.

Die Datenerhebung im Quartier wurde im Zeitraum vom 11.10.2024 bis zum 04.02.2025 durchgeführt. Wie auf der Mierendorff-Insel belasteten bei den kleinen Eigentümern bzw. deren Hausverwaltungen notwendige Erinnerungen und Mahnungen das Verfahren. Es wurden die folgenden Rücklaufquoten der Fragebögen erreicht:

Tabelle 11: Datenerhebung und ihre Rücklaufquote im Klausener Platz-Kiez

Kategorie	Anzahl Gebäude/Fragebögen	Rücklauf	Rücklaufquote in Prozent
Pflichtabgabe	251	204	81
Freiwillige Datenbereitstellung	131	38	29
Kommunale Gebäude	11	11	100
<b>Gesamt</b>	<b>393</b>	<b>253</b>	<b>64</b>

### 3) Siedlungsgebiet Eichkamp-Heerstraße

Das einzige außerhalb des Berliner S-Bahn-Rings gelegene Untersuchungsgebiet befindet sich im Ortsteil Westend von Charlottenburg-Wilmersdorf; es wird im Westen und Süden durch den Grunewald, im Südosten durch AVUS und Wannseebahn, im Nordosten durch den Hamburger Stadtbahnanschluss und an am nördlichsten Punkt durch die Heerstraße begrenzt (vgl. Abbildung 14).



- Gebäudfunktion
- Allgemein bildende Schule
  - Bürogebäude
  - Gebäude für Handel und Dienstleistungen
  - Gebäude für soziale Zwecke
  - Laden
  - Lagerhalle, Lagerschuppen, Lagerhaus
  - Sport-, Turnhalle
  - Studenten-, Schülerwohnheim
  - Werkstatt
  - Wohngebäude
  - Wohngebäude mit Handel und Dienstleistungen
  - Wohnhaus

Abbildung 14: Gebäudfunktionen im Siedlungsgebiet Eichkamp-Heerstraße, Umriss Untersuchungsgebiet © EnergyMap Berlin | Gebäudeumrisse und -funktionen© ALKIS Berlin | Hintergrundkarte © OpenStreetMap

Das Siedlungsgebiet entstand nach dem Ende des Ersten Weltkrieges, um den Bedarf an preisgünstigem Wohnraum für städtische Beamte und Angestellte zu decken. Ab 1920 wurden die Siedlung Eichkamp durch die Märkische Heimstätte und die Siedlung Heerstraße durch die Gemeinnützige Baugesellschaft Berlin-Heerstraße errichtet. Gebaut wurden Reihen-, Doppel- und Einzelhäuser, in denen heute rd. 4.000 Einwohnern leben. Zwischen den beiden Siedlungen liegt ein größeres Gebiet mit mehreren Schulen und einer Vielzahl von v.a. Freiflächen-Sportanlagen.

An der Auswahl des Untersuchungsgebietes hatte die Bezirksverwaltung ein besonderes Interesse, die seit Jahren lokale Initiativen zur Entwicklung eines Erneuerbare-Energien-Nahwärmenetzes im Siedlungsgebiet unterstützt. 2025 erfolgte dort die Gründung der Genossenschaft nahwärme-eichkamp.berlin eG.

Auf einer Fläche von 107 ha liegen im Untersuchungsgebiet 1.351 oberirdische Gebäude. Über 60 Prozent der Gebäudenutzflächen werden ausschließlich für Wohnzwecke genutzt. Die Gebäude für Schulen, Kindertagesstätten und sonstige Betreuungsgebäude umfassen 37 Prozent der gesamten Gebäudenutzflächen im Gebiet und zeichnen dieses auch als einen besonderen Schulstandort im Ortsteil Westend aus.

*Tabelle 12: Nutzungsarten der analysierten Gebäudeflächen im Siedlungsgebiet Eichkamp/Heerstraße*

<b>Nutzungsart</b>	<b>Anteil Nutzfläche in Prozent</b>
ausschließliches Wohngebäude	62,41
Schule, Kindertagesstätte und sonstige Betreuungsgebäude	36,74
Beherbergungs- oder Unterbringungsgebäude, Gastronomie- oder Verpflegungsgebäude	0,38
Gebäude für Kultur und Freizeit	0,29
vorwiegend Wohngebäude mit weiteren anderen Nutzungen	0,19

Wie nach den Eckpunkten der Siedlungsgeschichte zu erwarten, sind 92 Prozent der Gebäude der Baualtersklasse 1921-1930 zuzuordnen. Die Baualtersklasse 1971-1980 ist, v.a. durch Schulneubauten, mit knapp 4 Prozent aller Gebäude vertreten.

Die Eigentümerstruktur des Siedlungsgebietes weist bei 80 Prozent aller Gebäude natürliche Personen als Eigentümer aus.

*Tabelle 13: Verteilung der Gebäude und ihrer Nutzfläche im Siedlungsgebiet Eichkamp/Heerstraße*

<b>Eigentümerkategorie</b>	<b>Anzahl Akteure</b>	<b>Anzahl Gebäude</b>	<b>Anteil Gebäude in Prozent</b>	<b>Nutzfläche in m<sup>2</sup></b>
Natürliche Person	320	369	80	55.508
Land Berlin	1	55	12	48.901
Gemeinnützige Einrichtung	10	18	4	14.374
WEG (Wohneigentums-gemeinschaft)	6	9	2	2336
Kapitalgesellschaft	4	9	2	2.682
Bund	1	1	< 1	206

Vom Gebäudebestand des Untersuchungsgebietes wurden anhand erhebungsrelevanter Gebäudefunktionskennungen und einer Nutzfläche >100m<sup>2</sup> 461 Gebäude für die Erhebung ausgewählt. Da zwei Eigentümeradressen aus ALKIS sich als nichtzutreffend erwiesen und im Erhebungszeitraum nicht nachrecherchiert werden konnten, reduzierte sich die Anzahl der im Verfahren berücksichtigten Gebäude auf 459.

Tabelle 14: Datenerhebung und ihre Rücklaufquote im Siedlungsgebiet Eichkamp/Heerstraße

Kategorie	Anzahl Gebäude/Fragebögen	Rücklauf	Rücklaufquote in Prozent
Pflichtabgabe	38	9	24
Freiwillige Datenbereitstellung	362	88	24
Kommunale Gebäude	59	59	100
<b>Gesamt</b>	<b>459</b>	<b>156</b>	<b>34</b>

Die Datenerhebung wurde im Zeitraum vom 24.10.2014 bis 15.01.2025 durchgeführt. Im Ergebnis hat im Siedlungsgebiet Eichkamp-Heerstraße die Eigentümerstruktur den maßgeblichen Einfluss auf die geringe Rücklaufquote von insgesamt 34 Prozent. Für vier Fünftel der Adressaten war die Teilnahme an der Erhebung freiwillig, da es sich bei ihnen um natürliche Personen oder WEG handelte. Aber nur ein knappes Viertel dieses Personenkreises sah sich durch die Ansprache seitens des Bezirksamtes veranlasst, auch tatsächlich Daten bereitzustellen. Neben den angespannten öffentlichen Diskussionen zum sog. „Heizungsgesetz“, die eine an Zwecken der Wärmeplanung orientierte Datenerhebung nicht begünstigten, kann auch ein gewisser Einfluss eines Trittbrettfahrer-Effekts vermutet werden. Bei den für das Siedlungsgebiet typischen sehr geringen Gebäudegrößen dürfte öfters die Annahme nahe gelegen haben, dass die Auflieferung eigener Daten ohnehin keinen Einfluss auf das Gesamtergebnis habe. *Last not least* war der Zeitraum der Datenerhebung wohl ungünstig, weil er Weihnachten und den Jahreswechsel miteinschloss.

#### 4) City-West

Das Untersuchungsgebiet umfasst einen Teil des als Berlin City West bekannten Stadtgebietes. Rund um den Savignyplatz wird es durch die Leibnizstraße, die Bismarckstraße bis zum Ernst-Reuter-Platz, die Hardenbergstraße - einschließlich der Gebäude um den Bahnhof Zoo – und den Zoo, die Nürnberger Straße, den Kurfürstendamm und die Augsburger Straße begrenzt (vgl. Abbildung 15).

Die City West entwickelte sich als eines der zentralen städtischen Zentren Berlins im späten 19. Jh. mit dem Ausbau des Kurfürstendamms. Ihre Bebauung spiegelt mehrere städtebauliche Epochen, von repräsentativer Gründerzeit, expressionistischen Neubauten über die Nachkriegsmoderne bis hin zu aktuellen Hochhausprojekten. Nach schwerer Beschädigung im Zweiten Weltkrieg mussten weite Teile der City West abgerissen werden. Es entstanden viele Büro- und Geschäftshäuser mit Betonfassaden und Rasterarchitektur, etwa das Europa-Center am Breitscheidplatz oder die Hochhäuser am Ernst-Reuter-Platz. Seit den 2010er Jahren wurden viele Nachkriegsbauten abgerissen und durch spektakuläre Neubauten ersetzt. Die Bebauung reicht heute von luxuriösen Wohnbauten über Geschäfts-, Kultur- und Hotelbauten bis hin zu Bürokomplexen.

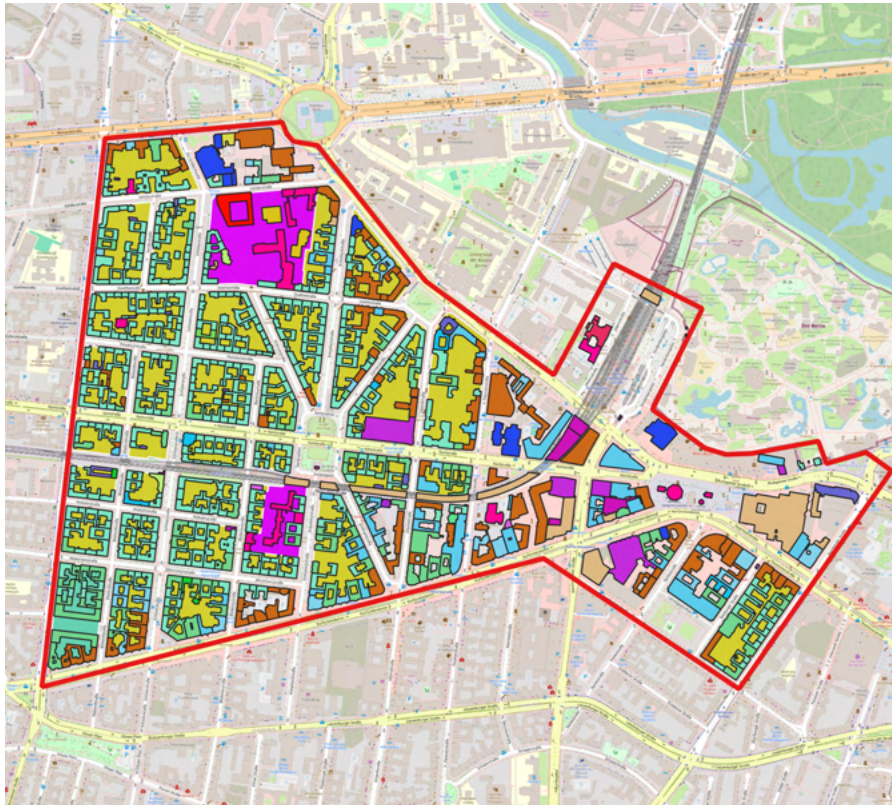


Abbildung 15: Gebäudenutzungen im Untersuchungsgebiet City-West, Umriss Untersuchungsgebiet © EnergyMap Berlin | Gebäudeumrisse und -funktionen © ALKIS Berlin | Hintergrundkarte © OpenStreetMap

Der Umriss des Untersuchungsgebietes City-West war 2023, einige Zeit vor Beginn der Erhebung, festgelegt worden. Zu dieser Zeit zeichnete sich in Charlottenburg-Wilmersdorf die Möglichkeit einer engeren Zusammenarbeit zwischen der Bezirksverwaltung und der Arbeitsgemeinschaft City e.V. (AG City) auf dem Gebiet der energetischen Quartiersentwicklung ab. Die 1976 gegründete AG City – Eigenwerbung: „Das starke Netzwerk in Berlin.“ [Fußnote: Siehe die Webpräsenz des AG City e.V. [www.agcity.de](http://www.agcity.de)] -- ist mit heute mehr als 500 Mitgliedsunternehmen eine der einflussreichsten Wirtschaftsvereinigungen der

Stadt, die insbesondere im Bereich der City West die Interessen seiner Mitgliedsunternehmen gegenüber Politik, Medien und Verwaltungen vertritt.

Nachdem es auf der Plattform WerkStadtForum [Das WerkStadtForum war im September 2019 auf Initiative des Bezirksamtes Charlottenburg-Wilmersdorf gemeinsam mit dem AG City e.V., der IHK Berlin, dem VBKI und dem Werkbund gegründet worden, um einen offenen und vertrauensvollen Rahmen zu schaffen, in dem grundlegende Fragen der Entwicklung der City West und der Zusammenarbeit ihrer vielfältigen Akteure besprochen werden konnten. Die Verabschiedung der Charta City West 2040 im Jahr 2022, in der 79 Ziele für die gesellschaftliche und städtebauliche Entwicklung zusammengefasst und fixiert wurden, stellte den Höhepunkt der Arbeit des WerkStadtForums dar. Siehe die Webpräsenz [www.werkstadtforum.de](http://www.werkstadtforum.de)] im August 2022 nach einem Vortrag der Wärmeplanung des Bezirksamtes eine interessierte Diskussion zu Fragen einer nachhaltigen Wärmeversorgung gegeben hatte, entspannten sich zwischen Vertretern der AG City aus dem Bereich Stadtentwicklung/Stadtplanung und dem Bereich Klimaschutz des Umwelt- und Naturschutzamtes Gespräche über die weitere Zusammenarbeit. Seitens des Bezirksamtes wurde dabei insbesondere auf die Unterstützung durch die AG City bei der Aktivierung von Eigentümern und Investoren für Klimaschutzthemen gesetzt sowie die Chance, mit Hilfe von deren Netzwerk vorbildlichen Projekten zur Energieeinsparung oder zur Umstellung auf erneuerbare Energie eine erhebliche Reichweite und öffentliche Wahrnehmung zu verschaffen. Umgekehrt konnten seitens der Bezirksverwaltung Unterstützung bei wichtigen Investitionsvorhaben, Einbeziehung in Vorlaufplanungen u.a. angeboten werden. Die Gespräche führten zur Ausarbeitung einer Kooperationsvereinbarung, die auch die gemeinsame Vorbereitung und Durchführung einer Datenerhebung zur Gewinnung von Plandaten aus dem Bereich Gebäude, Heizungstechnik und Verbrauch umfasste, die zugleich dem Projekt EnergyMap Berlin zur Verfügung gestellt werden sollten. Nach Vorlage der unterschriftsreifen Kooperationsvereinbarung im November 2023 wurden die Gespräche seitens der Vertreter der AG City jedoch abgebrochen und konnten in der Folge trotz verschiedener Interventionen nicht wieder in Gang gesetzt werden. Die AG City hat sich zu keinem Zeitpunkt zu den Gründen für die Beendigung der Zusammenarbeit erklärt.

Die Datenerhebung musste damit vom Bezirksamt ohne die Unterstützung durch einen starken lokalen Partner durchgeführt werden. Das vorgesehene Untersuchungsgebiet umfasst auf einer Fläche von 145 ha 850 oberirdische Gebäude; von diesen sind 509 Wohngebäude mit aktuell ca. 16.500 Einwohnern. Für die Untersuchung wurden 634 Gebäude ausgewählt.

*Tabelle 15: Nutzungsarten der analysierten Gebäudeflächen im Gebiet City West*

<b>Nutzungsart</b>	<b>Anteil Nutzfläche in Prozent</b>
ausschließliches Wohngebäude	33,91
Büro., Verwaltungs- oder Amtsgebäude	18,09
Handelsgebäude	15,52
Beherbergungsgebäude, Gastronomie	13,78
vorwiegend Wohngebäude mit weiteren anderen Nutzungen	12,63
sonstige	6,07

Von den vier untersuchten Gebieten weist das Gebiet City-West die am meisten ausdifferenzierte, heterogenste Nutzungsstruktur auf; diese entspricht seiner großstädtischen Zentrenfunktion.

Die Baualtersklassen der Wohngebäude im Untersuchungsgebiet sind wie folgt gewichtet:

Tabelle 16: Verteilung der Wohngebäude nach Baualtersklassen im Gebiet City West

<b>Baujahr</b>	<b>Anteil Wohngebäude in Prozent</b>
bis 1900	50,91
1901 - 1910	23,64
1911 - 1920	3,64
1951 - 1960	8,89
1961 – 1970	0,20
1971 - 1980	0,61
1981 - 1990	2,42
Gemischte Baualtersklasse	9,70

Die Eigentümerstruktur im Untersuchungsgebiet ist stark ausdifferenziert. Von den 634 ausgewählten Gebäuden gehört ein knappes Drittel, 32 Prozent, Kapitalgesellschaften. Die Nutzflächen dieser Gebäude sind fast dreimal so groß wie die der WEGs, denen 35 Prozent der ausgewählten Gebäude gehören. Mit einem Anteil von 23 Prozent sind weiter auch natürliche Personen als Eigentümer stark vertreten. LWUs, dem Land Berlin und dem Bund gehören im Untersuchungsgebiet dagegen, verglichen mit den anderen untersuchten Gebieten, relativ wenige Flächen.

Tabelle 17: Verteilung der Gebäude und ihrer Nutzfläche im Gebiet City West

<b>Eigentümerkategorie</b>	<b>Anzahl Akteure</b>	<b>Anzahl Gebäude</b>	<b>Anteil Gebäude in Prozent</b>	<b>Nutzfläche in m<sup>2</sup></b>
WEG (Wohneigentums-gemeinschaft)	108	225	35	597.279
Kapitalgesellschaft	145	201	32	1.509.747
Natürliche Person	62	148	23	363.993
Gemeinnützige Einrichtung	16	27	4	66.099
Landeseigenes Wohnungsunternehmen (LWU)	6	15	2	37.608
Land Berlin	1	13	2	110.423
Bund	3	5	1	24.366

Mit Beginn der Datenerhebung reduzierte sich die Anzahl der einbezogenen Gebäude, da für etwa ein Fünftel von ihnen, 152 Gebäude, in der zur Verfügung stehenden Zeit keine zutreffenden Eigentümeradressen ermittelt werden konnten, nachdem sich die in ALKIS verzeichneten Adressen als nichtzutreffend herausgestellt hatten. Ursachen einer solchen Häufung von nicht aktuellen Adressdaten sind in der City West nach unseren Erfahrungen überdurchschnittlich häufige Eigentümerwechsel oder Umfirmierungen von Eigentümern. Letztendlich konnten in der Erhebung nur Fragebögen für 482 Gebäude zugestellt werden. Für die 386 Gebäude, die WEGs und natürlichen Personen gehören, waren zuvor 170 zuständige Hausverwaltungen fußläufig recherchiert worden.

Die Rückläufe der Fragebögen stellten sich wie folgt dar:

Tabelle 18: Datenerhebung und ihre Rücklaufquote im Gebiet City West

<b>Kategorie</b>	<b>Anzahl Gebäude/Fragebögen</b>	<b>Rücklauf</b>	<b>Rücklaufquote in Prozent</b>
Pflichtabgabe	227	158	70
Freiwillige Datenbereitstellung	244	73	30
Kommunale Gebäude	11	11	100
<b>Gesamt</b>	<b>482</b>	<b>242</b>	<b>50</b>

Insgesamt gelang es, im Untersuchungsgebiet City West von der Hälfte der an der Erhebung teilnehmenden Gebäude Daten zu erheben.

### II.2.3. Kooperationen mit externen Partnern

Neben der Crowd-Sourcing-Kampagne und den amtlichen Datenerhebungen stellte die Ansprache unterschiedlicher Akteursgruppen, die vertragliche Leistungen für Gebäudeeigentümer erbringen, die wichtigste Strategie zur Akquise von Gebäude- und Energieverbrauchsdaten im Vorhaben EnergyMap Berlin dar. Um diese Datenbereitstellung auf eine gesicherte Basis zu stellen, wurde der Abschluss von Kooperationsvereinbarungen zwischen dem Projekt und möglichst vielen solcher Akteure angestrebt (siehe auch Meilensteinbericht 6.1).

Eine zentrale Herausforderung bei der Ansprache datenhaltender Akteure war, dass viele von ihnen auch gemäß Berliner Klimaschutz- und Energiewendegesetz (EWG Bln) [EWG Bln, 2016] im Kontext des dort verankerten öffentlichen Wärmekatasters zur Übermittlung von Daten an das Land Berlin verpflichtet sind. Hierzu gehören laut §21 EWG Bln Energieversorgungsunternehmen, Gewerbebetriebe sowie öffentliche Stellen, insbesondere bevollmächtigte Bezirksschornsteinfegerinnen und Bezirksschornsteinfeger.

Im Rahmen des Vorhabens EnergyMap Berlin wurden zahlreiche in Berlin aktive Akteure der folgenden Bereiche auf eine mögliche Bereitstellung Berliner Gebäude- und Energieverbrauchsdaten angesprochen: Wohnungswirtschaft, Energieversorger, Immobilienportale, Messdienstleister, Mieterschutzorganisationen, Energiedienstleister, Hausverwaltungen sowie das Schornsteinfegerhandwerk.

Von wenigen Ausnahmen abgesehen verwiesen diese Akteure auf ihre Berichtspflicht gegenüber dem Berliner Senat gemäß EWG Bln und lehnten es ab, dem Aufwand der Datenzusammenstellung und -ermittlung zweifach nachzukommen. Sie baten das Projekt EnergyMap Berlin, sich wegen der Daten an den Berliner Senat zu wenden. Eine Weiterleitung von Daten des offiziellen Berliner Wärmekatasters an das Projekt EnergyMap Berlin durch die Berliner Senatsverwaltung konnte im Projektzeitraum jedoch nicht erreicht werden.

Gleichwohl konnten mehrere Kooperationen vereinbart werden, unter anderem in der Wohnungswirtschaft:

- Mit dem Verband Berlin Brandenburgischer Wohnungsunternehmen (BBU) konnte bereits vor Projektbeginn in einem Letter of Intent ein wichtiger Kooperationspartner eingebunden werden. Jedoch verfügt der Verband nicht über eigene Gebäude- und Energieverbrauchsdaten, sondern konnte hier nur an seine Mitglieder verweisen.

- Mit einem der Mitglieder, dem landeseigenen Wohnungsunternehmen HOWOGE, konnte die UdKB Anfang 2024 eine Kooperationsvereinbarung abschließen, über welche dem Projekt EnergyMap Berlin Daten des Unternehmens anonymisiert bereitgestellt werden.
- Darüber hinaus steht EnergyMap Berlin mit dem BBU darüber im Austausch, wie ggf. eine Schnittstelle gestaltet werden kann, über welche die Datenbereitstellung an EnergyMap Berlin und den Berliner Senat in einem kombinierten Vorgang organisiert werden kann.

Energieversorgungsunternehmen (EVU) verfügen mindestens über Daten zu den gelieferten Energiemengen, jedoch nicht immer gebäudescharf. Mit Verweis auf das EWG Bln wurde seitens der zwei größten EVU, die im Berliner Stadtgebiet Berlin tätig sind, Gasag und Vattenfall (seit Mai 2024 Berliner Energie und Wärme AG), eine Datenbereitstellung an das Projekt abgelehnt.

- Mit der Blockheizkraftwerks-Träger- und Betreibergesellschaft Berlin mbH (BTB), dem drittgrößten Wärmeversorger in Berlin, ist der Abschluss einer Kooperationsvereinbarung mit der UdKB 2024 gelungen und konnten Wärmeverbrauchsdaten dem Projekt zugänglich gemacht werden.

Mit weiteren Akteuren wie Immobilienportalen, Messdienstleistern, Mieter-Beratungsstellen, Energiedienstleistern, Hausverwaltern oder Schornsteinfegern wurden Gespräche geführt, die jedoch nicht zum Abschluss von Kooperationsvereinbarungen führten:

- ImmobilienScout24 ist das mit Abstand größte Immobilienportal Deutschlands und verfügt beispielsweise über Energieausweisdaten von in Berlin zu Kauf oder Vermietung angebotenen Gebäuden, welche für EnergyMap Berlin sehr hilfreich gewesen wären. Ein Gespräch im Februar 2024 verlief vielversprechend. Energiebezogene Daten könne ImmoScout einerseits zu aktuellen Inseraten per API-Schnittstelle bereitstellen oder als CSV-Export bezüglich historischer Daten, wobei auch Sanierungsstände dokumentiert sind. Nach einer firmeninternen Rücksprache wurde die Zusammenarbeit jedoch abgelehnt, da die freie Verfügbarkeit der EnergyMap Berlin-Plattform als potenzielle Konkurrenz zu dem ImmoScout-Produkt „Modernisierungsrechner“ gesehen wurde.
- Techem ist einer der führenden Messdienstleister in Deutschland und bietet insbesondere im Bereich des vermieteten Mehrfamilienhausbestandes Services zur Erfassung und Abrechnung von Wärme und Wasser an, verfügt somit über Gebäude- und Energieverbrauchsdaten, die für EnergyMap Berlin sehr relevant wären. Im April 2023 führte co2online ein Gespräch mit Vertreter:innen des Unternehmens Techem bzw. seines Tochterunternehmens Techem Research Institute on Sustainability (TRIOS). Wichtiger Teil des Austausches war eine Vorstellung des EnergyMap Berlin-Projektes sowie das Angebot, in einem gesonderten Termin Möglichkeiten der Kooperation im Rahmen des Projektes auszuloten. Obgleich die Reaktion im Termin selbst sehr interessiert und unterstützend war, kam es zu keinen weiteren Terminen oder gar zu einer Kooperation.
- Der Berliner Mieterverein berät seine Mitglieder u.a. zu (vermeintlich) fehlerhaften Energiekostenabrechnungen. Im Kontext dieser Beratungen werden Nebenkostenabrechnungen auf formale Richtigkeit, Plausibilität und mögliche Fehler überprüft. Mit den im Rahmen einer solchen Beratung ohnehin vorliegenden Gebäude- und Verbrauchsdaten ließe sich ohne großen Zusatzaufwand ein gebäudebezogener Datensatz generieren, der für EnergyMap Berlin gut geeignet gewesen wäre. Vor diesem Hintergrund wurden seit 2022 mehrere Gespräche mit dem Berliner Mieterverein geführt. Dieser sah das Projekt EnergyMap Berlin grundsätzlich sehr positiv, gerade auch aus

Mietersicht durch das Erreichen einer größeren Transparenz. Jedoch wurden prozessuale Aspekte (Daten lagen nicht digitalisiert vor) wie auch Datenschutzaspekte kritisch gesehen. Erst nach Veröffentlichung von EnergyMap Berlin im Frühjahr 2025 konnte kurz vor Projektende eine Verständigung dahingehend erreicht werden, dass der Mieterverein seine Mitglieder auf den HeizCheck von co2online aufmerksam machen wolle, über den die Mitglieder / Mietenden eigenständig ihre Daten dem Projekt EnergyMap Berlin zur Verfügung stellen können.

Grundsätzlich zählten zu den genannten Gründen, eine Datenbereitstellung abzulehnen, der erwartete Zusatzaufwand bei der Datenbereitstellung, Unsicherheiten bezüglich der datenschutzrechtlichen Situation, aber auch die Sorge, dass durch die Datenbereitstellung eine Verschlechterung eigener Verwertungsmöglichkeiten einhergehen könne. Seitens der Schornsteinfeger-Innung Berlin wurde zudem ebenfalls auf eine Vereinbarung mit der für das Berliner Wärmekataster zuständigen Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klima und Umweltschutz verwiesen. Danach wird eine Datenbereitstellung an den Berliner Senat erfolgen, nicht aber an weitere Akteure in Berlin.

#### II.2.4. Öffentlich verfügbare Datenquellen

Frei verfügbare, öffentlich zugängliche Daten für Gebäude spielten eine zentrale Rolle im vorliegenden Forschungsprojekt. Sie bilden nicht nur eine wichtige Grundlage für die angewandte Methodik, sondern tragen auch maßgeblich zur Nachvollziehbarkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse bei. Aufgrund ihrer hohen Relevanz wird in Abschnitt II.5.1 Verfügbarkeit von Datenquellen in anderen Bundesländern zusätzlich aufgezeigt, in welchem Umfang die wichtigsten dieser Daten in den einzelnen Bundesländern verfügbar sind.

##### **ALKIS-Daten / Geoportal Berlin**

Das Geoportal<sup>2</sup> Berlin (vormals FIS-Broker) ist die erste Anlaufstelle für frei verfügbare Daten für das Land Berlin. Es hält Information für viele Themengebiete bereit. Interessant für EnergyMap Berlin sind die Gebäudedaten aus dem ALKIS (Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem), welche unter anderem wichtige Gebäudeinformationen und die Geometrien der Gebäudegrundrisse enthalten. Zu den wichtigsten Informationen des ALKIS-Systems<sup>3</sup> für dieses Vorhaben zählen die Gebäudefunktion, die Bauweise, Flächen- und Höhenangaben sowie die Grundrisse der Gebäude als Polygon im lokalen Koordinatensystem (EPSG 25833).

Neben reinen Gebäudedaten enthält das Geoportal auch Daten von Flurstücken, statistischen Gebäude(teil-)blöcken oder Postleitzahlengebieten, die geometrisch oder mittels Identifikationsnummern an Einzelgebäude geknüpft werden können (im Land Berlin wird in ALKIS das Gebäudealter nicht eingepflegt, abweichend von anderen Bundesländern).

Das Geoportal Berlin stellt stattdessen einen Datensatz zum Gebäudealter der Wohnbebauung mit Stand 01.12.2015 bereit. Die Grundlage bildet die Zensuserhebung (2011) für Wohngebäude und die Angaben über die Baufertigstellungen von 2011 bis 2015. Allerdings liegen diese Altersangaben nicht gebäudescharf, sondern auf der statistischen Block(teil-)

---

<sup>2</sup> [Geoportal – Daten und Dienste - Berlin.de](https://www.berlin.de/sen/sbw/_assets/service/rechtsvorschriften/bereich-geoportal/liegenschaftskataster/alkis-ok_berlin.pdf)

<sup>3</sup> [https://www.berlin.de/sen/sbw/\\_assets/service/rechtsvorschriften/bereich-geoportal/liegenschaftskataster/alkis-ok\\_berlin.pdf](https://www.berlin.de/sen/sbw/_assets/service/rechtsvorschriften/bereich-geoportal/liegenschaftskataster/alkis-ok_berlin.pdf)

ebene vor und zeigen daher das überwiegende Gebäudealter der Wohnbebauung als Jahrzehnt in dem Block. Daneben gibt es für ein 160 km<sup>2</sup> großes Teilgebiet „Innere Stadt“ einen Datensatz des gebäudescharfen Baualters bis 1992 [Aust, 1994], der 2014 noch um die Angaben aus der Gebäudedatenbank des Berlin-Modells 1:500 ergänzt, aber seitdem nicht mehr weiter aktualisiert wurde.

Weiterhin gibt es im Geoportal eine gebäudescharfe Wärmebedarfskarte "Nutzwärmebedarfe der Wohn- und Nichtwohngebäude 2022" [SenSBW, 2023]. Alle Daten des Geoportals Berlin inkl. der ALKIS-Datensätze können über den WMS- oder WFS-Dienst auch automatisiert in die Datenbank von EnergyMap Berlin eingebunden werden.

Zur Qualifikation der ALKIS Gebäudedaten siehe Abschnitt II.2.6.

### OpenStreetMap-Daten

OpenStreetMap (OSM) ist ein kollaboratives, Open Source-Projekt für geografische Daten wie Straßen, Gebäude, Landnutzung und sogenannte „points of interests“. Die Daten des aktuellen Jahres können kostenfrei z.B. über den Downloadserver der Geofabrik [Geofabrik, 2024] bezogen werden.

### CityGML-Modelle Berlin

Geographic Markup Language (GML) ist ein XML-basiertes Format zur Kodierung, Speicherung und Analyse geografischer Informationen, die mit 3D-Stadtmodellen in Zusammenhang stehen. Das Land Berlin stellt ein jährlich aktualisiertes Geometriemodell des gesamten Stadtgebiets über die „Berlin Open Data“-Initiative bzw. das Geoportal Berlin zur Verfügung, welches in verschiedenen Datenformaten bezogen werden kann [SenWEB, 2015]. Dabei ist es möglich nur Teilgebiete der Stadt auszuwählen. Für EnergyMap Berlin wurde der gesamte Datensatz mit Stand Frühjahr 2024 verwendet.

Die Gebäude sind hier im sogenannten Level of Detail 2 (LoD2) gespeichert (vgl. Abbildung 16). D.h., dass die Dachform der Gebäude realitätsnah abgebildet, basieren jedoch auf Standarddachformen. Die Grundflächen der Gebäude sind aus den 2D-Polygonen des ALKIS-Datensatzes (Stand ebenfalls Frühjahr 2024) abgeleitet. Die 3D-Informationen stammen aus

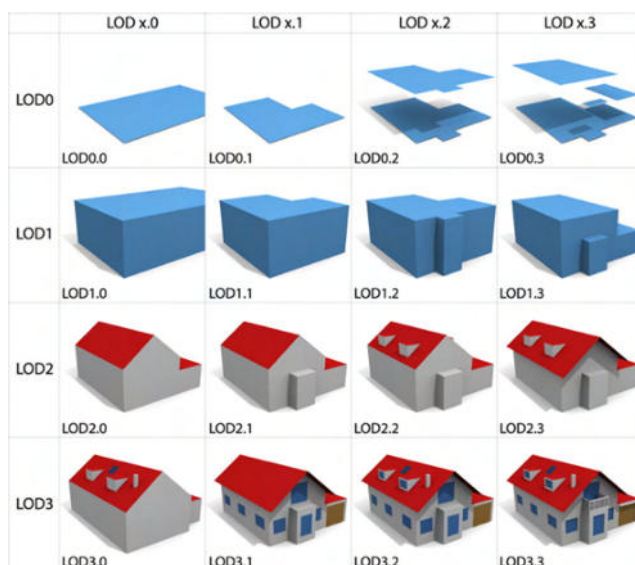


Abbildung 16: LOD-Gebäudetypen. Quelle: [Biljecki, 2016]

dem bildbasierten digitalen Oberflächenmodell (bDOM) aus der Stereo-Luftbildbefliegung des Vorjahres (Stand Frühjahr 2023).

Das 3D-Gebäudemodell wurde für EnergyMap Berlin im Format CityGML 2.0 [CityGML 2.0, 2025] verwendet. CityGML ist eine weitverbreitete Implementierung eines Urbanen Digitalen Zwillinges und kann so auch in einer Datenbankvariante verwendet werden (z.B. 3DCityDB [Yao, 2018]). Unter einem Urbanem Digitalen Zwilling versteht man die virtuelle Abbildung einer realen Stadt mit den verfügbaren digitalen Daten.

Zur Qualifikation der CityGML Daten siehe Abschnitt II.2.6.

### **Energieatlas Berlin**

Der Energieatlas Berlin [Energieatlas Berlin, 2026] enthält Datensätze zu energierelevanten Themen für das Land Berlin. Wichtigste Datenquelle für dieses Vorhaben sind darin die Blockverbrauchskarten, welche für die leitungsgebundenen Energieträger Erdgas und Fernwärme jährliche Verbrauchsdaten ab dem Jahr 2021 bereitstellen.

### **Berliner öffentliche Gebäude**

Von den Berliner Bezirken und der Berliner Immobilien Management GmbH (BIM) werden gemäß dem Berliner Energiewendegesetz von 2016 (EWG Bln §9) jährlich Energieverbrauchsdaten öffentlicher Gebäude veröffentlicht. Diese wurden innerhalb des EnergyMap Berlin-Projektes für die Jahre ab 2017 bis 2024 genutzt. Die Dokumente enthalten die folgenden relevanten Gebäudeparameter: Name der Liegenschaft, Zugehörigkeit zu Bezirk oder BIM, Gebäude-ID oder Gebäudenummer, Straße, Hausnummer, PLZ, Energieträger, Bruttogeschossfläche, CO<sub>2</sub>-Emissionen, Verbrauchsjahr, Energieverbrauch, Information zur Witterungsbereinigung, Gebäudenutzung, Anschlussleistung Fernwärme und Energiekosten. Die Daten liegen als PDF, MS Excel- oder als CSV-Dateien vor und wurden in die EnergyMap Berlin-Datenbank übertragen.

Ebenfalls werden durch die öffentliche Hand Sanierungsfahrpläne für öffentliche Gebäude und Liegenschaften gemäß EWG Bln §9 erstellt und über die Webseite veröffentlicht. Die Sanierungsfahrpläne enthalten teils für dieses Projekt relevante Gebäudedaten, die ebenfalls verwendet wurden. Zu den Daten gehören Nettoraumfläche, eine Denkmalschutzinformation, Einsparpotenzial bei Endenergie, Grobschätzung von Sanierungskosten (brutto), Sanierungsbedarfe an Fassade, Fenstern, Dach, Wärmeerzeugern, Beleuchtung sowie der Sanierungsstand. Die Daten liegen als PDF-Dateien vor und wurden ebenfalls in die EnergyMap Berlin-Datenbank übertragen.

### **IWU-Bibliothek**

**Wohngebäude:** Das IWU hat eine deutsche Gebäudetypologie für Wohngebäude erstellt [Loga, 2015]. Hierzu wurden bereits seit 1989 umfangreiche Daten von Wohngebäuden erhoben und kontinuierlich weiter gepflegt. Aus dieser Datengrundlage wurde ein Satz von Modellgebäuden erstellt, die bestimmte Größen- und Baualtersklassen des deutschen Gebäudebestands repräsentieren. Die Gebäudeparameter entsprechen den mittleren Werten aller Gebäude der jeweiligen Klasse. Zu diesen Gebäudeparametern gehören die U-Werte, Materialien sowie die Flächen der Hüllenbauteile. Die Wohngebäude wurden in die Kategorien Einfamilienhäuser, Reihenhäuser, Mehrfamilienhäuser und große

Mehrfamilienhäuser eingeteilt. Weiterhin gibt es pro Gebäudeart 5-11 Gebäudealtersklassen, sodass insgesamt 40 verschiedene Basistypen von Wohngebäuden entstanden sind. Jedes deutsche Wohngebäude kann einem dieser Basis-Typen zugeordnet werden. Insbesondere für Hochrechnungen auf den gesamten Wohngebäudebestand ist die Einschränkung auf Basis-Typen sinnvoll. Zusätzlich wurden je nach Häufigkeit sowie weiterer Merkmale 10 Subtypen definiert. Die Gebäudeparameter der Modellgebäude wurden für den unsanierten Zustand der Gebäude aufgenommen, d.h. nicht der IST-Zustand, sondern der unsanierte Zustand wurde dargestellt.

**Nichtwohngebäude:** Nichtwohngebäude weisen in ihrer Funktion und Bauweise eine große Vielfalt auf. Diese Vielfalt wurde von der IWU auf 33 Gebäudetypen reduziert, um auch hier synthetische Modellgebäude zu definieren, deren Gebäudeparameter den mittleren Werten von Stichprobengebäuden in ihrer jeweiligen Klasse entsprechen [Hörner, 2022]. Die 33 Gebäudetypen werden in 11 Gebäudefunktionen und 3 Baualtersklassen unterschieden. Wie auch bei den Wohngebäuden wurden U-Werte, Materialien sowie die Flächen der Hüllenbauteile der 33 Modellgebäude definiert. Bei den Stichproben der Nichtwohngebäude wurden die Gebäudeparameter im IST-Zustand, d.h. in den Jahren 2018 bis 2019 aufgenommen. Aus diesem Grund bilden die Werte eine Mischung aus sanierten und unsanierten Gebäuden ab.

## **Fernerkundungsdaten**

Für das Projekt EnergyMap Berlin relevante Fernerkundungsdaten liegen als LIDAR-Daten und Luftbildaufnahmen und digitale Oberflächenmodelle vor.

### **1.) LIDAR-Daten**

Für Berlin liegen flugzeuggestützte Laserscandaten (ALS) für das Jahr 2021 (02/03.2021) als Höhendaten vor. Dabei handelt es sich um eine klassifizierte 3D-Punktwolke im las1.4-Format in 4 km<sup>2</sup> großen Kacheln. Die Punktdichte beträgt ca. 9,8 Punkte/m<sup>2</sup>. Folgende Klassen sind im Datensatz enthalten: Boden (class 2), geringe Vegetation (class 3), mittlere Vegetation (class 4) und hohe Vegetation (class 5), Ausreißer (class 7) und Default (class 0).

### **2.) Luftbildaufnahmen und Digitale Oberflächenmodelle**

Für das Land Berlin werden jährlich Luftbildbefliegungen (Stereo-Luftbilder) durchgeführt. Diese werden als farbige digitale (True)Orthophotomosaik kostenfrei als WMS oder Rasterdatensatz über das Geoportal Berlin oder auf Nachfrage auch die Original-Stereoaufnahmen bei der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen Berlin zur Verfügung gestellt. Aus den Aufnahmen wird ein bildbasiertes Oberflächenmodell (bDOM) erstellt und mit dem Geländemodell (DGM, Stand 2017-2021) normiert (bDOM). Georeferenzierte Luftbilder haben eine hohe räumliche Auflösung von 20 cm, jedoch eine geringe spektrale Auflösung mit 4 Farbkanälen (Rot, Grün, Blau, Infrarot). Die zeitliche Auflösung variiert nach Gebiet. Für Berlin werden die Befliegungen jährlich im Frühjahr oder in manchen Jahren im Sommer zur Untersuchung von Vegetationsstrukturen durchgeführt. Je nach Vegetationsphase können bereits Frühjahrsaufnahmen für die Untersuchung von Gebäudestrukturen weniger geeignet sein, da durch die beginnende Belaubung Gebäudeüberschirmungen entstehen. In Luftbildern können farbliche Unterschiede und Muster erkannt werden, die Objekte wie Dächer oder auch Wände räumlich abgrenzen. Ein weiterer Unterschied der verfügbaren Luftbilder liegt in der Aufnahmeweise und Erstellung

des Bildmosaiks. Zur Entfernung geometrischer Verzerrungen (Verkippungen) werden seit 2022 nur noch stark überlappender Nadir-Bildaufnahmen (genau lotrechte Aufnahmerichtung) gemacht und unter Hinzunahme eines digitalen Oberflächenmodells True-Orthophotos erstellt, die zur Georeferenzierung insbesondere für hohe Gebäude verwendet werden können. Für Berlin liegen aus dem Zeitraum 2018 bis 2025 folgende Luftbilder vor:

Tabelle 19: Verfügbare Luftbilder für Berlin der Jahre 2018 bis 2025

Jahr	Aufnahmezeitpunkt	Vegetationszustand	Ortho / TrueOrtho	Quelle
2018	März + April	unbelaubt	Ortho	Geoportal Berlin Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen Berlin
2019	April	leicht belaubt	Ortho	
2020	August	belaubt	TrueOrtho	
2021	Februar	unbelaubt	Ortho	
2022	März	unbelaubt	TrueOrtho	
2023	April	leicht belaubt	TrueOrtho	
2024	März	leicht belaubt	TrueOrtho	
2025	März + April	unbelaubt	Ortho	
	August	belaubt	TrueOrtho	

## II.2.5. Datenquellen aus Vorprojekten

Neben öffentlich verfügbaren Daten wurden im Rahmen des Projekts auch Daten aus früheren Forschungsarbeiten der Verbundpartner genutzt. Diese internen Gebäudedatenbestände stammen aus abgeschlossenen Vorprojekten und konnten in das aktuelle Forschungsvorhaben integriert werden.

### **DATES-Projekt**

Im Forschungsprojekt DATES wurde von der UdKB in Kooperation mit der TU Berlin und Industriepartnern ein simulationsgestütztes Analysetool entwickelt, welches die energetische Bewertung von Bestandsgebäuden und die Erstellung von energetischen Sanierungsfahrplänen für große Gebäudebestände ermöglicht [Wilke, 2020]. Hierfür wurden 959 Nichtwohngebäude der öffentlichen Hand evaluiert, sodass für diese Gebäude dezidierte Daten zu Sanierungsständen und Endenergieverbräuchen vorliegen, die im Projekt EnergyMap Berlin genutzt werden.

### **Veröffentliche Gebäudedaten der Berliner Bezirke**

Entsprechend dem Berliner Klimaschutz- und Energiewendegesetz (EWG Bln) werden die Energieverbrauchsdaten der öffentlichen Gebäude Berlins regelmäßig überwacht und veröffentlicht. Die Bezirke sowie das Land Berlin veröffentlichen die Daten jährlich online (Energieverbrauchsdaten öffentlicher Gebäude des Landes Berlin - Berlin.de). Aus diesem Datenfundus konnten 1.561 Liegenschaften mit insgesamt 11.781 Einzelgebäuden extrahiert und eindeutig zugeordnet werden, die Verbrauchsdaten stammen aus den Jahren 2010 bis 2020. Nicht betrachtete Gebäude konnten wegen teils fehlender oder widersprüchlicher Daten nicht georeferenziert werden.

### **Hochschulcampus Berlin-Charlottenburg**

Der Hochschulcampus Berlin-Charlottenburg (HCBC) wurde bereits in mehreren Forschungsprojekten, namentlich *Eneff: HCBC – Demonstration eines innovativen Wärmeenergiemanagements für ein Bestandsquartier* und *ATES: Effizienz und*

*Betriebssicherheit von Energiesystemen mit saisonaler Energiespeicherung in Aquiferen für Stadtquartiere*, durch den Projektpartner UdKB in Zusammenarbeit mit Dritten untersucht. Innerhalb der Projekte wurde ein großer Datensatz zu den ca. 40 Einzelgebäuden auf dem Hochschulcampus inklusive ihrer Gebäudegeometrien, ihrer Verbräuche von Wärme, Kälte und Strom, sowie ihrer Nutzung durch die Universitäten gesammelt und in einer Datenbank strukturiert abgelegt. Die zwischen 2013 und 2018 erhobenen Datensätze wurden auch im EnergyMap Berlin-Projekt genutzt.

## II.2.6. Qualifizierung der 3D-Gebäudedaten

Die Validierung und Qualifizierung der dreidimensionalen Gebäudehüllen des CityGML-Modells erfolgte in Hinblick auf die Konsistenz der absoluten Lage sowie der Höhe als essentielle Gebäudecharakteristika zum Vergleich der Grundflächen sowie der Gebäudevolumina. Dafür wurden anhand eines Testgebiets Datengrundlagen verglichen und Methoden der Fernerkundung angewandt.

### Untersuchungsgebiet

Das Testgebiet (1x1 km<sup>2</sup>) ist Teil einer 4 km<sup>2</sup>-Kachel (386\_5820 Blattschnitt Berlin, siehe Abbildung 11) östlich der Mierendorffinsel mit Teilen von Moabit und Charlottenburg sowie der Spree.

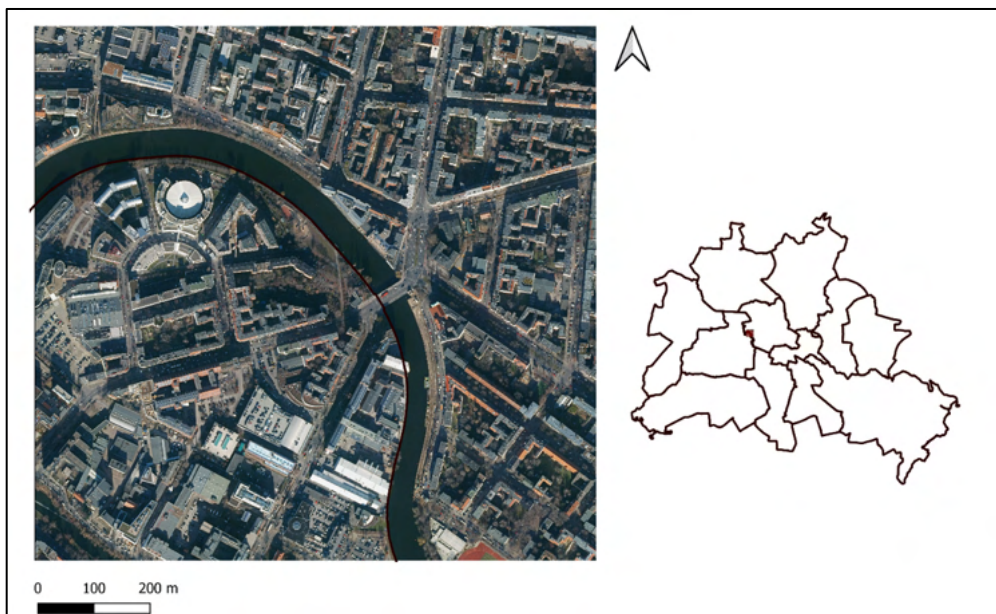


Abbildung 17: Untersuchungsgebiet in Berlin-Charlottenburg zur Qualifikation des 3D-Gebäudemodells

Es handelt sich um ein exemplarisches Mischgebiet für Berlin: nördlich der Spree überwiegen Wohnbebauungen mit Blockbebauung der Gründerzeit mit Seitenflügeln und Hinterhäusern, Blockrandbebauung der Gründerzeit mit massiven Veränderungen und Nichtwohnbebauung (dichte Bebauung mit überwiegender Nutzung durch Gewerbe und Industrie); südlich der Spree finden sich überwiegend Nicht-Wohngebäude mit einem Teil des Hochschulcampus Berlin-Charlottenburg (Bebauung mit überwiegender Nutzung durch Gemeinbedarf und Sondernutzung, Baustelle oder Verkehrsflächen ohne Straßenland) und geringe und dichte Bebauung mit überwiegender Nutzung durch Gewerbe und Industrie sowie wenige Wohngebiete mit Blockbebauung der Gründerzeit mit Seitenflügeln und Hinterhäusern sowie ein Block mit Siedlungsbebauung der 1990er Jahre und jünger. Entlang der Spree finden sich

zudem Park- und Grünflächen mit nicht oder gering bebauter Fläche der Gemeinbedarfs- und Sondernutzungen. Das Gebiet umfasst etwa 1.000 energienutzende Gebäude. Die Gebäude unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Grundgeometrien, z.B. rechteckig und kreisförmig. Ein weiterer Aspekt ist die Baudynamik im Untersuchungszeitraum, d.h. einige Gebäude befinden sich (2021) in Bau, andere wurden bereits abgerissen.

### Datengrundlagen

Tabelle 20 gibt einen Überblick über die verfügbaren und zur Qualifizierung verwendeten **Datengrundlagen** inklusive der jeweilige Erfassungszeitpunkte und räumlichen Auflösungen.

Tabelle 20: Verfügbare Datengrundlage zur Qualifikation des 3D-Gebäudemodells

Nr	Daten	Format	Auflösung	Dargestellter Zeitpunkt	Quelle
1	CityGML Gebäudemodell LoD2 basierend auf 2, 3, 4	CityGML, Vektor	Gebäude	14.03.2021	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen Berlin
2	Bildbasiertes Oberflächenmodell (bDOM)	Raster	1 m	01.,08., 12.,16. 08. 2020	
3	Digitales Geländemodell (DGM)	Raster	1 m	31.07.2017 - 20.01.2021	
4	ALKIS Gebäudeumrisse	Vektor	Gebäude	01.03.2021	
5	Airborn Laserscan	LAZ/ Punktwolke	10 Pkt./m <sup>2</sup>	24.,25.02.,02.03. 2021	
6	RGBI-DOP (digitale Orthophotos)	Raster	20 cm	22.02.2021	
7	OpenStreetMap	Vektor		01.01.2021 - 31.12.2025	OSM-Kartenbibliothek

### Qualifikation des CityGML-Gebäudemodells 2021 (LoD2) mittels Fernerkundungs- und Zusatzdaten

Die Qualifikation der CityGML-Gebäudemodellaten erfolgte entsprechend Abbildung 18 nach Erstellung eines Referenzdatensatzes zu Gebäudegrundflächen und einer Vorprozessierung der Laserscandaten zunächst anhand der 2D-Grundflächen.

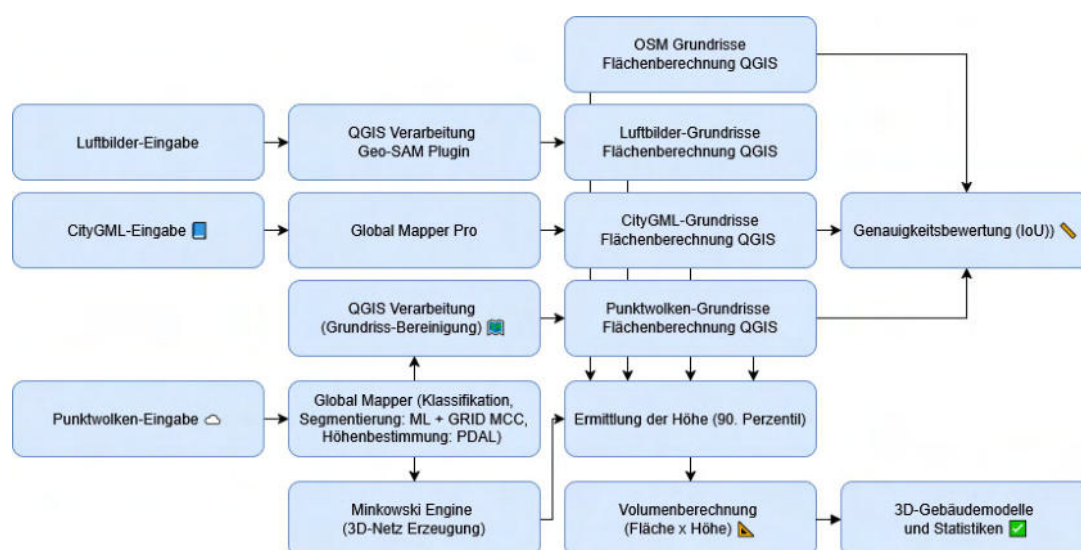


Abbildung 18: Workflow zur Qualifikation der 3D-Gebäudedaten. Eigene Darstellung

Für den Vergleich wurden die Grundflächen der ALKIS-Gebäudeumrisse, die dem CityGML zugrunde liegen, und der OpenStreetMap-Gebäude verwendet sowie Gebäudeumrisse aus den Laserscandaten und Luftbildern extrahiert. Anschließend erfolgte die Genauigkeitsbewertung anhand eines geostatistischen Maßes (IoU). Darauf aufbauend wurden die Höhen und Gebäudevolumen der CityGML-Daten mittels der Höhenwerte aus den Laserscandaten anhand einer Gebäudegruppe qualifiziert und Methoden zur automatisierten Erstellung fehlender Gebäude im Level of Detail 1 (LoD1) aus den verfügbaren Datenquellen getestet.

### **1. Erstellung von Referenzdaten zu Gebäudeumrissen**

Für Berlin existierte kein Referenzdatensatz, der vollständig alle Gebäudegrundflächen enthält. Daher wurde zunächst durch visuellen Abgleich der Gebäudeumrisse ein Referenzdatensatz (Ground-Truth) für 2021 im Vektorformat erstellt. Dafür wurden die Gebäudegrundrisse aus dem CityGML, basierend auf ALKIS Gebäudeumrissen mit den Laserscandaten überlagert und anschließend mittels des Luftbilds visuell abgeglichen.

Nur dort, wo im Luftbild und auch in der Punktwolke das Gebäude dargestellt war, wurde das CityGML Gebäude übernommen. ALKIS-Gebäudeumrisse, die am Bildrand des Untersuchungsgebiets angeschnitten waren, waren nicht im CityGML-Gebäudeset der Kachel enthalten und wurden demnach auch im Referenzdatensatz nicht einbezogen. Auch Brücken und Tiefgaragen wurden ausgeschlossen. Fehlende Gebäudegrundflächen wurden anhand der Laserscandaten (s. nächster Abschnitt) abgeleitet und die Grundrisskanten glattgezogen. Für Gebäude wurde ein Schwellwert von 60 m<sup>2</sup> angesetzt, der anhand bestehender Wohn-/Nutzgebäude abgeleitet wurde. Der Export der Grundflächen als Shapefile aus dem CityGML erfolgte mit der Software Global Mapper Pro.

Der Untersuchungszeitraum 2021 bildete aufgrund der Laserscandaten, die nur für 2021 vorliegen, und den unbelaubten Luftbilddaten desselben Jahres die beste Datengrundlage zur Untersuchung der 3D-Gebäudegeometrien.

### **2. Erstellung der Gebäudeumrisse aus Fernerkundungsdaten**

**Laserscandaten:** Laserscandaten erfassen die Erdoberfläche mittels aktiver Sensorik, in dem vorliegenden Datensatz mit 10 Punkten pro Quadratmeter, und werden zur Erfassung der bebauten Umwelt im Frühjahr erhoben, da hierbei Vegetationseffekte reduziert werden. Für Gesamt-Berlin bedeutete dies eine Punktwolke von etwa 12 Millionen detektierten Punkten, die als klassifizierter Datensatz bereitgestellt wurde (geringe, mittlere und hohe Vegetation). Vegetation beeinflusst die Ergebnisse, insbesondere wenn Bäume über Gebäude ragen. Aufgrund unzufriedenstellender Ergebnisse für Gebäudewände, -grundflächen und -dächer wurde die Punktwolke entsprechend Abbildung 19 vorprozessiert und die Gebäudeumrisse aus der resultierenden Punktwolke (LAS-Format) segmentiert und diese bereinigt, z.B. dort wo die Punktdichten zur Erfassung gerader Kanten zu gering waren. Der erste Schritt der Segmentierung und Isolierung bestand in einer vollständig manuellen Analyse mithilfe der Software Global Mapper Pro durch die Anwendung der Maximum-Likelihood-Methode und des GRID-MCC Algorithmus (multiskalige Krümmungsklassifikation) aus dem LiDAR-Bereich. Die Nachbearbeitung beinhaltete den Ausschluss von Innenhofflächen, die vermutlich aufgrund von Schatten fälschlich als Gebäude klassifiziert wurden, sowie von Gebäudeumrissen, die aufgrund der Lage am Kachelrand von der Analyse ausgeschlossen wurden. Anschließend wurden die Flächengrößen ermittelt, ein wesentlicher

Parameter für die anschließende Volumenberechnung und den Vergleich der Datensätze. Diese Werte wurden pro Datensatz in der Attributtabelle gespeichert.

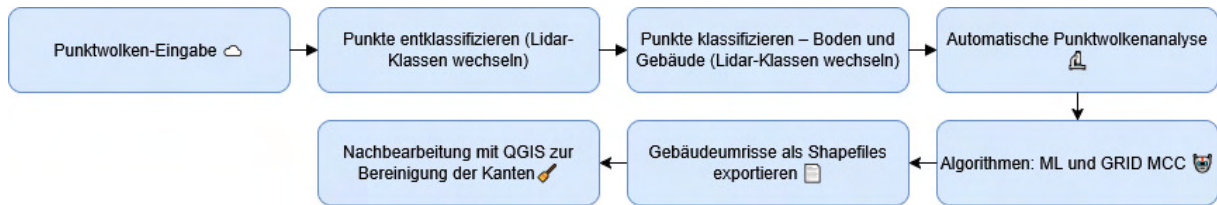


Abbildung 19: Workflow zur Gebäudegrundflächenextraktion aus Punktwolken in Global Mapper Pro und QGIS

**Luftbilder:** Als Anwendung automatisierbarer Klassifikation von Gebäuden mittels Luftbilder wurde die Segment-Anything-Methode als QGIS Plugins Geo-SAM [Zhao, 2023] getestet. Dabei werden durch manuelle Punkteingabe Objekte mit ähnlicher Farbe und Struktur im Umfeld aus den Luftbildern (2021) extrahiert. Die Gebäudeumrisse können als Shapefile exportiert werden.

Schwierigkeiten ergaben sich bei verkippten Luftbildern, d.h. nicht TrueOrtho-Aufnahmen. Unter der Vereinfachung, dass die Grundfläche der Draufsicht der Dachfläche entspricht, liegen durch die Schrägbildaufnahme höhere Bildpunkte (Dächer) nicht über der Grundfläche, wodurch ein lagegetreuer Grundflächenvergleich (IoU) nicht möglich ist. Ebenso wurde die Erfassung der Grundfläche dabei durch die Bildpunkte von erfassten Wandflächen erschwert (Abbildung 20b). Der Ansatz der Grundflächenextraktion aus dem Luftbild 2021 (nicht TrueOrtho) wurde daher nicht weiterverfolgt. Bei TrueOrtho-Luftbildern können die Probleme der Lagegenauigkeit und Wandflächen weitestgehend vermieden werden, jedoch liegt für das Referenzjahr 2021 kein solches vor. TrueOrtho-Luftbilder für Berlin liegen für die Jahre 2020 und ab 2022 standardmäßig vor. Weitere Probleme ergaben sich durch Schattenbereiche, insbesondere wenn die Dachflächen ähnliche Farbwerte hatten und sich daher spektral schlecht abgrenzen ließen.

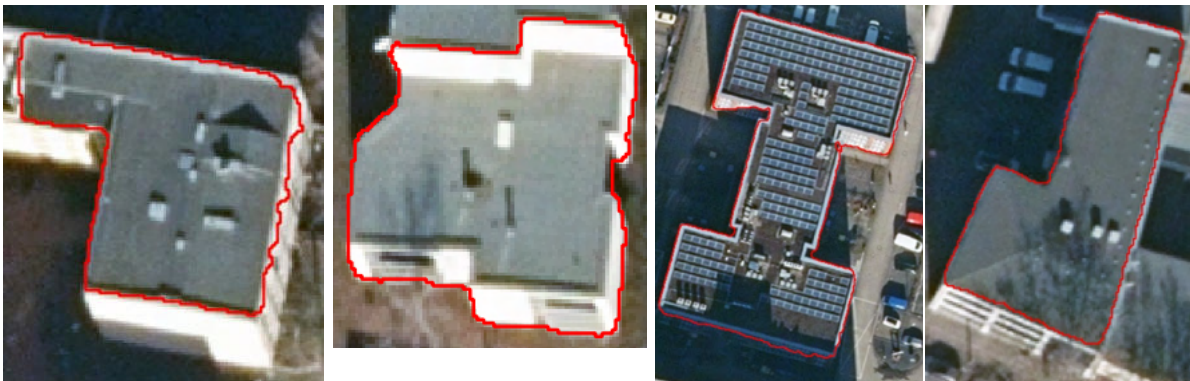


Abbildung 20: Beispiele der automatisierten Gebäudeerkennung aus Luftbildern a) korrekte Dacherkennung aber zur Grundfläche verschoben, b) Dacherkennung inklusive Gebäudewände, c) korrekte Dacherkennung mit PV und nahezu korrekte Lage, d) korrekte Dacherkennung aber zur Grundfläche leicht verschoben

**Satellitenbilder:** Die Ableitung von Gebäudeumrissen aus Satellitendaten war aufgrund der geringen räumlichen Auflösung (3 – 10 m) nicht zielführend, um Gebäudekanten der Grundrisse lagegenau abzubilden.

Satellitendaten, z.B. Sentinel-2 kostenfrei und mit einer räumlichen Auflösung von 10 m und zeitlichen Auflösung von 5 Tagen, könnten künftig für Zeitreihenanalysen genutzt werden, um Veränderungsräume zu identifizieren, in denen Gebäude neu gebaut oder abgerissen wurden.

Schwierigkeiten ergeben sich dabei jedoch in der bislang unzureichenden Differenzierung von “bebaut” und “unbebaut” versiegelten Gebieten, die sich aufgrund der Spektralwerte schwer unterscheiden lassen.

### 3. Vergleich der Gebäudegrundflächen

Zur Detektion von fehlenden oder veränderten Gebäudegrundrissen zweier Datensätze (Objekterkennung) und zum statistischen Vergleich wurde die Übereinstimmung zweier Gebäudegrundflächen mittels der IoU-Methode geprüft (IoU: Intersection over Union). Hierbei wurde die in beiden Datensätzen (z.B. Laserscan zu Referenzdaten) enthaltene Fläche zur Gesamtfläche der beiden Datensätze ins Verhältnis gesetzt. Bei gleichem Gebäudeumriss ergibt sich der Wert 1. Dies wurde auf den Gesamtgebäudebestand des Untersuchungsgebiets angewandt.

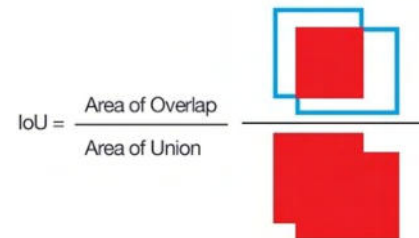


Abbildung 21: Vergleich der Gebäudegrundflächenkorrelation

### 4. Höhenwerte und Volumenberechnung aus Laserscandaten

Die Segmentierung und Isolierung einzelner Gebäude aus der Laserscan-Punktwolke war der wichtige Vorprozessierungsschritt für die automatische, präzise und effiziente Ableitung einzelner Gebäudekubaturen. Dabei mussten die Gebäude eindeutig erkennbar, voneinander getrennt und extrahiert werden. Dieser Schritt erfolgte mit Global Mapper Pro und der Punktwolke im LAS-Format. Dabei wurden Ausreißer ausgeschlossen und die Gebäude einzeln mit dem Tool PDAL (Point Data Abstraction Library) exportiert.

Anschließend wurde mit der Minkowski Engine (Choy, 2019), einer Sparse Convolutional Neural Network (CNN) Methode, das 3D-Netz (3D-Mesh) mit Dach- und Wandflächen der Einzelgebäude aus der Punktwolke erstellt und die Gebäudehöhe bestimmt. Für die Netz-Erstellung wurde das Repository Point2Building ([Liu, 2024] basierend auf [Nash, 2020]) verwendet. Ziel dieser Vorgehensweise war es, eine automatisierte Prozesskette zu schaffen, die detaillierte 3D-Gebäudemodelle mit minimalem manuellem Eingriff liefert.

Für die Analyse der Höhendifferenzen wurden zunächst fünf exemplarische Gebäude mit Flachdächern aus dem Untersuchungsgebiet ausgewählt. Diese Gebäude weisen unterschiedliche Grundrisse und einheitliche Flachdächer auf, sodass ein repräsentativer Vergleich für ein Gebäude im LoD1 möglich war. Auf Basis der jeweiligen Höhe und der zuvor ermittelten Grundflächen (Punktwolke, Luftbild, CityGML, OSM) wurde das Gebäudevolumen berechnet und die jeweiligen Werte der Vergleichsdatsätze gegenübergestellt. Die Höhe der einzelnen Gebäude wurde anhand des 90ten Perzentils der Laserscanpunktdaten berechnet, das bedeutet 90 Prozent der Werte liegen unterhalb dieses Wertes. Diese statistische Methode ist besonders robust, da sie Ausreißer (z.B. Äste, Vögel, Messfehler) ausschließt und damit das Rauschen reduziert sowie dennoch einfach zu implementieren ist.

In CityGML ist die Höhe bereits als Attribut in der Tabelle hinterlegt und wurde für die abschließende Volumenberechnung zum Vergleich mit dem Laserscanansatz verwendet. Das Volumen ergab sich aus der Multiplikation der zuvor berechneten Fläche (in Quadratmetern) mit der Höhe.

#### Referenzdatenerstellung Grundflächen: Vergleich CityGML und Punktwolke

Die braunen Gebäudegrundrisse in Abbildung 22 stellen die Gebäude dar, die sich in beiden Datensätzen (CityGML und Punktwolke) überschneiden. Darüber hinaus werden Gebäude

(blau) deutlich, die in der Punktwolke erfasst sind, aber in der ausgewählten CityGML-Kachel nicht dargestellt werden. Angeschnittene Gebäude am Bildrand werden von der Analyse ausgeschlossen, da sie im CityGML-Datensatz der Kachel nicht enthalten sind. Blaue Gebäude aus den Laserscandaten im inneren Bildbereich werden hingegen in den Referenzdatensatz aufgenommen. Die Gebäudegrundrisse der Laserscan-Punktwolke wurden anschließend bereinigt (s. Methode), sodass im Folgenden nur die Datenquellen im Vergleich zu den Referenzdaten dargestellt werden. Die Übereinstimmung (IoU) der beiden Datensätze betrifft 0,84.

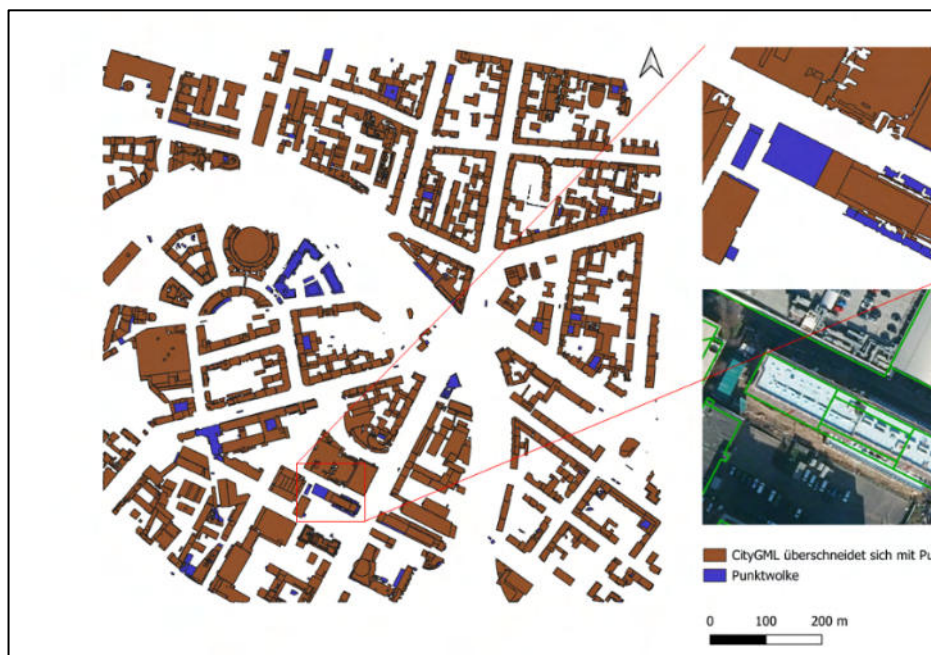


Abbildung 22: Vergleich der Gebäudegrundrisse aus dem CityGML und der Laserscan-Punktwolke

### Grundflächen: Vergleich Laserscan-Punktwolke und Referenzdaten (IoU)

Das Verhältnis der Lageüberlappung zur Gesamtfläche der Laserscan-Punktwolke und den Referenzdaten mittels der IoU beträgt 0,87 und wird durch die neuen Gebäude, die sich im Bau befinden oder abgerissen wurden, reduziert. Abbildung 23 zeigt die Grundrisse aus der Punktwolke (violett) sowie die Referenzdaten (grün) und deren Kongruenz. Der in der Nahaufnahme dargestellte Bereich enthält Gebäude aus den Referenzdaten, die von der Punktwolke nicht erfasst wurden (grün). Im konkreten Beispiel wurden die Strukturen möglicherweise aufgrund von Schatten aus der Punktwolkenanalyse nicht korrekt erfasst bzw. falsch klassifiziert. Die Genauigkeit der Punktwolke liegt dennoch bei über 85 Prozent und umfasst Gebäude mit runden, quadratischen und rechteckigen Formen. Es zeigen sich weiterhin Schwierigkeiten bei den Kanten der Gebäudegrundrisse: sie weisen teils unregelmäßige Formen auf, anstatt gerader Linien. Diese Konturen sind auf Ausreißer und Rauschen in der ursprünglichen.



Abbildung 23: Vergleich der Gebäudegrundrisse aus der Laserscan-Punktwolke und der Referenzdaten

### Grundflächen: Vergleich CityGML und Referenzdaten (IoU)

Das Verhältnis (IoU) zwischen CityGML und den Referenzdaten beträgt 0,96. Dieser Wert verdeutlicht die höhere räumliche Übereinstimmung der CityGML-Daten mit den Referenzdaten. Der vergrößerte Bereich in Abbildung 24 zeigt einen Neubau zwischen zwei Gebäuden, der durch das Luftbild bestätigt wird. Dies trifft auch auf den großen Neublock nördlich der Heisenbergstraße oder das Gebäude in der Franklinstraße an der Spree zu. Gebäude, die nicht in den CityGML-Daten dargestellt sind, sind demnach vor allem während des Jahres 2021 im Bau befindliche Gebäude oder fertiggestellte Gebäude (grün), deren Baufortschritt durch die Punktwolken erfasst wurde, aber vermutlich noch nicht zum 01.03.2021 amtlich im Kataster erfasst wurden.



Abbildung 24: Fehlende Gebäudeumrisse im CityGML im Vergleich zu den Referenzdaten

Dies zeigt die Schwachstelle der CityGML-Daten, die auf den ALKIS-Gebäudeumrissen zum Stichtag 01.03. und den Höhendaten aus dem Vorjahr basieren, und neue und abgerissene Gebäude, die noch nicht amtlich im Kataster erfasst bzw. gelöscht sind, nicht beinhaltet oder den veralteten Stand beinhaltet. Der Anteil der fehlenden Gebäudegrundrisse über 60 m<sup>2</sup> im Untersuchungsgebiet, die von CityGML nicht erfasst wurden, liegt bei etwa 2,5 Prozent und basiert auf der Korrelation zwischen der Gesamtfläche und den falsch klassifizierten Daten.

Dass die grünen Gebäude in Abbildung 24 nicht im CityGML dargestellt sind, kann aber auch auf fehlerhafte ALKIS-Bestandsdaten oder CityGML-Daten hinweisen. Am nördlichen Rand des Untersuchungsgebiets (roter Bereich in Abbildung 24) wird ein Gebäude in der Häuserreihe nicht im CityGML dargestellt, das aber in den ALKIS-Gebäudeflächen und auch in der Punktwolke und Luftbild dargestellt ist. Die umliegenden Häuser haben dem Luftbild nach dasselbe Baualter.

Aus einer Studie für den Senat [SenSWB, 2021], basierend auf den Luftbildern der Jahre 2020 und 2021 und dem Höhenmodell von 2020 sowie einer automatisierten Klassifikation hat sich jedoch auch gezeigt, dass diese Fehlerquelle auch länger existierende Gebäude betrifft, die in der Datengrundlage des CityGMLs, den ALKIS-Gebäudeumrissen, nicht vollständig erfasst sind. Für das Untersuchungsgebiet gibt es keine Beispiele, es handelt sich dabei zumeist um Nicht-Wohngebäude.

Die roten Gebäudeumrisse in Abbildung 25 zeigen ein weiteres Problem der CityGML-Daten und betreffen Gebäude, die im CityGML enthalten sind, aber tatsächlich nicht vorhanden sind; dieser Fehler liegt bei ungefähr 0,5 Prozent für die Grundrissflächen im Untersuchungsgebiet. Dies betrifft Gebäudeänderungen oder Gebäudeteile, die keine Höhe in der Laserscan-Punktwolke aufweisen.

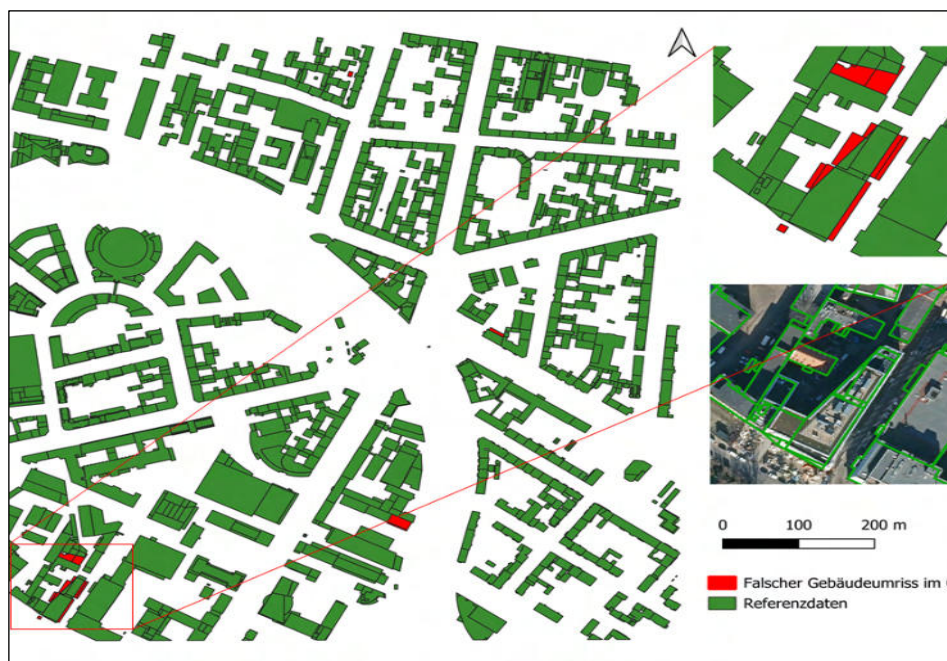


Abbildung 25: Fehler durch nicht aktuelle ALKIS Daten im CityGML im Vergleich zu den Referenzdaten

### Grundflächen: Vergleich OSM und Referenzdaten (IoU)

Die in Rosa dargestellten Flächen Abbildung 26 zeigen die sich überschneidenden Gebäudegrundrisse der OpenStreetMap-Daten (OSM) und der Referenzdaten. Die

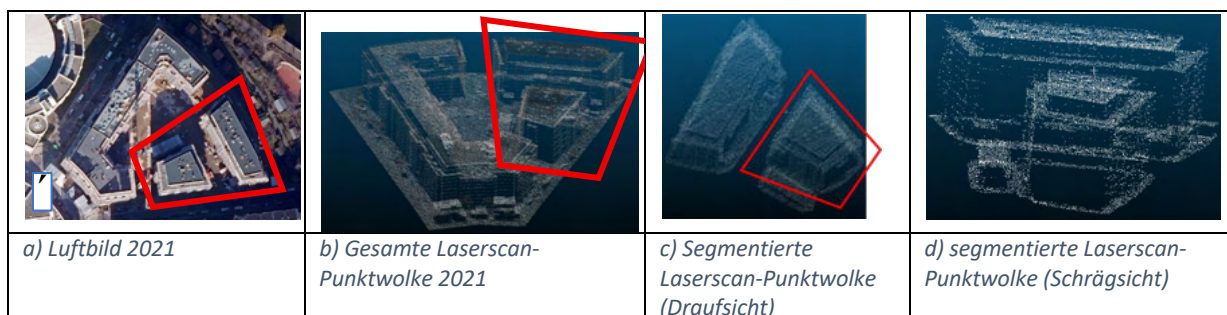
Übereinstimmung der Datensätze beträgt 0,95 (IoU). Es gibt Gebäudegrundflächen, die nicht in OSM auftauchen (siehe Nahaufnahme), die aber im Luftbild und der Punktwolke und CityGML vorhanden sind, ebenso Gebäudeumrisse, die nur in OSM dargestellt sind. Einer der Gründe könnte sein, dass das Gebäude Anfang 2021 abgerissen wurde und OSM noch nicht aktualisiert wurde. Alternativ wurde das Gebäude nach dem Bild- und Laserscanflug im Jahr 2021 gebaut, sodass die Änderung nicht in der Punktwolke und dem Luftbild erfasst wurde (Bsp. s. Meilensteinbericht). Mittels Luftbild-Fernerkundungsdaten der vergangenen Jahre wird in diesem Beispiel jedoch deutlich, dass bis 2019 ein Gebäude bestand, das bis Sommer 2020 abgerissen wurde und sich ein neues Gebäude (OSM-Umriss) erst ab 2022 im Bau befand und 2023 fertiggestellt wurde. Dies zeigt die Schwierigkeiten der Open Data (OSM), die auch keine einheitliche Kartierweise beinhalten.



Abbildung 26: Vergleich der Gebäudeumrisse aus OpenStreetMap und der Referenzdaten

### Höhen und Volumen

Anhand des Gebäudeblocks, der sich ab 2019 im Bau befand, aber nicht im CityGML enthalten ist (vgl. Abbildung 24), wurde die Erstellung von Gebäuden aus Laserscan-Punktwolken getestet (vgl. Abbildung 27). Es konnte gezeigt werden, dass die Erstellung von LoD1 Modellen aus der Punktwolke mit der Minkowski Engine bei freistehenden und dadurch segmentierbaren Gebäuden gut funktioniert.



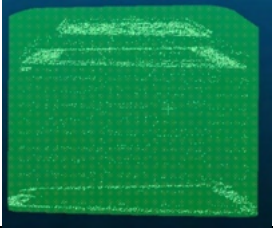
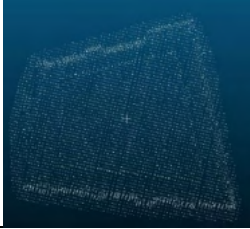
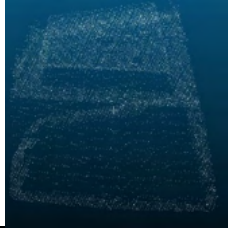

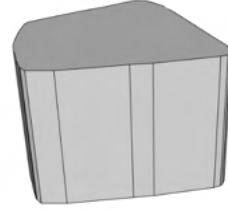
		
e) ausgewählte Punktwolke des rotgerahmten Gebäudes	f) Punktwolke des rotgerahmten Gebäudes (Draufsicht)	g) Punktwolke des rotgerahmten Gebäudes (Seitenansicht)
		
	h) Gebäudemodell (LoD1) des rotgerahmten Gebäudes (Draufsicht)	i) Gebäudemodell (LoD1) des rotgerahmten Gebäudes (Seitenansicht)

Abbildung 27: Ergebnisse der Gebäudeerstellung mittels Minkowski Engine und der Laserscan-Punktwolke

Anhand weiterer fünf Gebäude (Abbildung 29), die 2021 bereits fertig gestellt waren, wurden die Grundrissflächen, Höhen (90-Perzentil) und das resultierende Volumen verglichen (Tabelle 21). Es zeigte sich, dass sich bei diesen Gebäuden die Höhen nur im Zentimeterbereich unterscheiden, während die Grundrissflächen bis zu 50 m<sup>2</sup> Abweichung zeigen (Gebäude 10261632). Diese Unterschiede begründen sich in der Abgrenzung der Gebäude. Abbildung 30 zeigt die Grundrisse des Gebäudes. Die OSM-Daten geben die Fläche des Gebäudes deutlich größer an, während die Umrisse aus der Punktwolke und des Luftbilds ähnlich sind und das CityGML (ALKIS) zwei Gebäudeteile dafür ausweist. Das bedeutet, dass zusammenhängende Gebäude mit ähnlicher Topologie teils als Einzelgebäude und teils als ein Gebäudekomplex erfasst werden. Ein weiterer Aspekt zeigt sich in der Lagegenauigkeit der luftbildbasierten Gebäudeumrisse. Das Luftbild ist verkippt, d.h. nicht TrueOrtho, demnach liegt der Gebäudeumriss c) etwa 3 m nach Norden und 2 m nach Osten versetzt, was auch in anderen Fällen (siehe Abbildung 20) zu größeren Grundflächen führen kann.

Der Aspekt der Gebäudeabgrenzung von benachbarten Gebäuden ist eine der Hauptschwierigkeiten der laserscanbasierten Methode. Grundflächen von benachbarten Gebäuden werden teils gut erkannt, aber teils auch als ein Gebäudeumriss zusammengefasst oder kleinere Teilflächen (Dachaufbauten) segmentiert. Insbesondere bei Hinterhäusern, typisch für die Blockbebauung der Gründerzeit oder Häuserreihen, ergeben sich hier für einen gebäudescharfen Datensatz Schwierigkeiten (vgl. Abbildung 28).

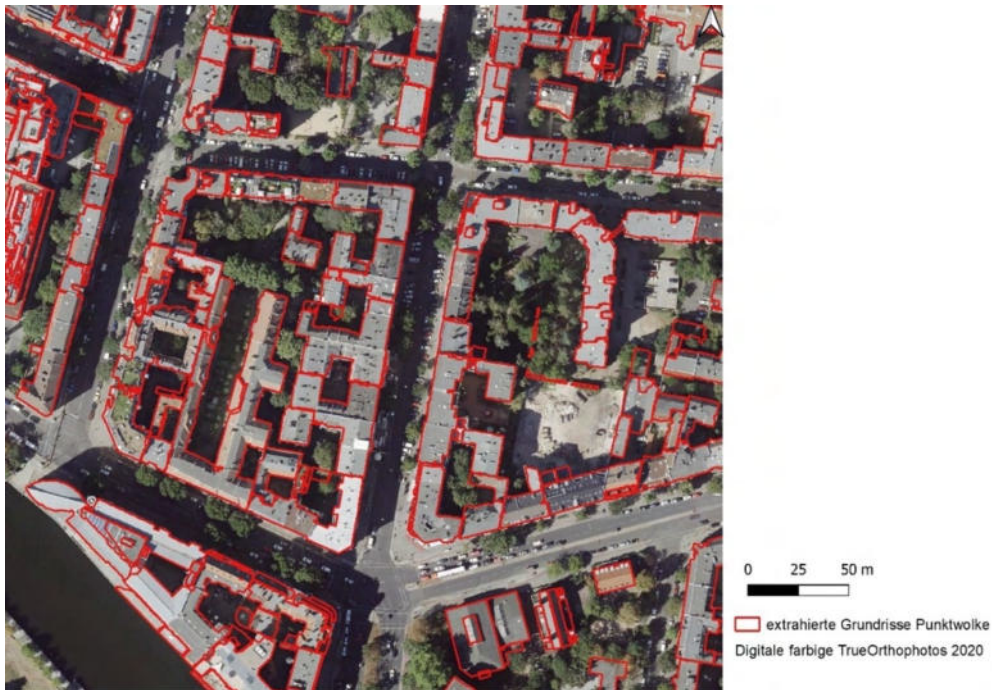


Abbildung 28: aus Punktwolke extrahierte Gebäudegrundrisse angrenzender Gebäude

Tabelle 21: Vergleich der Gebäude aus dem CityGML, Laserscan-Punktwolke, OSM und Luftbild

Gebäude ID	(1) CityGML LoD2			(2) Laserscan-Punktwolke			(3) OpenStreetMap			(4) Luftbild		
	Grundrissfläche [m <sup>2</sup> ]	Höhe [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Grundrissfläche [m <sup>2</sup> ]	Höhe [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Grundrissfläche [m <sup>2</sup> ]	Höhe [m] aus (2)	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Grundrissfläche [m <sup>2</sup> ]	Höhe [m] aus (2)	Volumen [m <sup>3</sup> ]
10261436	1836	13,39	24582	1847	13,55	24877	1834	13,55	24850	1933	13,55	26192
10262425	339	13,20	4474	346	13,43	4552	340	13,43	4566	341	13,43	4579
10261413	172	11,34	1950	175	11,75	2021	174	11,75	2044	246	11,75	2890
10261768	312	17,00	5304	345	16,69	5207	310	16,69	5173	392	16,69	6542
10261632	211	20,10	4241	267	20,26	4274	781	20,26	15823	269	20,26	5449

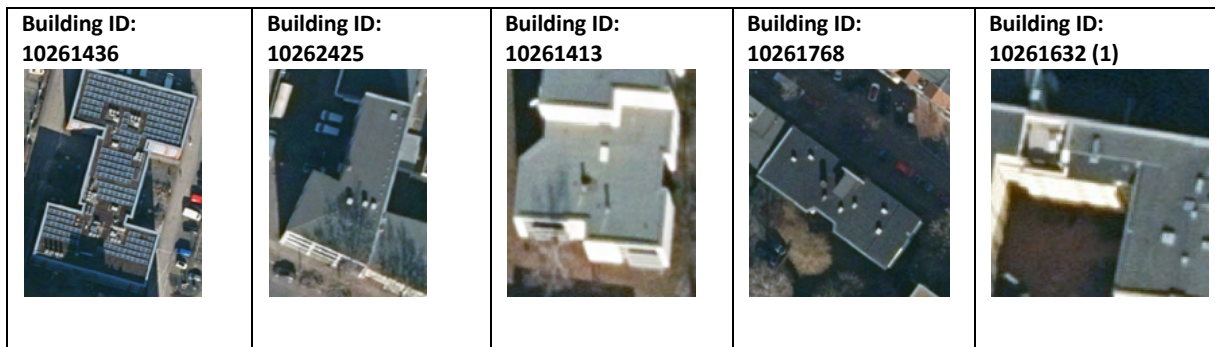


Abbildung 29: Beispielgebäude zum Vergleich der Grundrisse, Höhen und Volumen

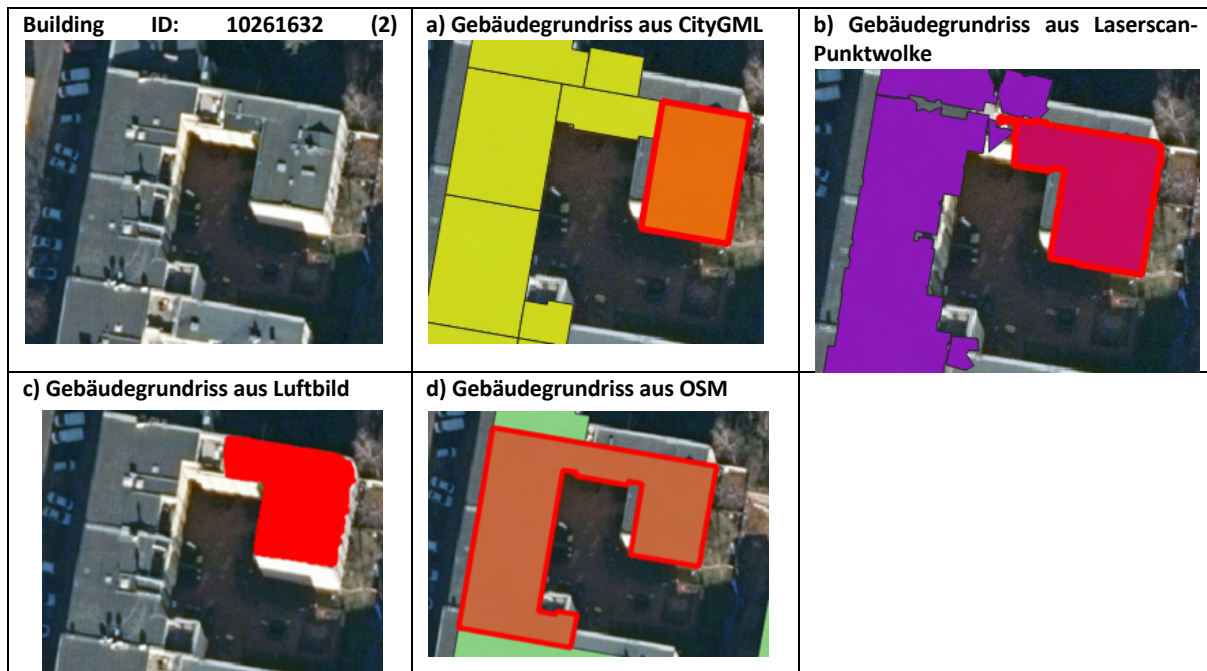


Abbildung 30: Vergleich der Grundrisse des Gebäudes 10261632

### Baudynamik in Berlin

Die Baudynamik spielt für das Vorhaben eine wichtige Rolle, da anhand der Neubauten und Gebäudeveränderungen Abschätzungen zum Sanierungsstand und damit dem Heizenergiebedarf getroffen werden können. Die Dynamik der Gebäudegrundrissänderungen wurde auf Jahresbasis anhand der OSM-Daten (Grundflächen) durchgeführt. Für die Analyse wurden ausschließlich Gebäude berücksichtigt, die im jeweiligen Jahr neu errichtet wurden und als Wohn- bzw. Nicht-Wohngebäude klassifiziert waren; die Kategorie „unbekannt“ wurde bewusst ausgeschlossen. Anschließend wurden die Ergebnisse im Vergleich zum dena-Bericht der Deutschen Energie-Agentur [dena, 2021] eingeordnet.

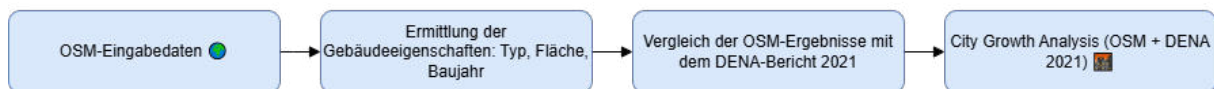


Abbildung 31: Workflow zur Analyse der Baudynamik

Der Aspekt der stetigen Veränderung des Gebäudebestands zeigte sich bereits beim Vergleich und der Bewertung der als Gebäude deklarierten Grundrisse der verschiedenen Datengrundlagen.

Anhand der Tabelle 22 zeigt sich für das gesamte Untersuchungsgebiet, dass CityGML mehr Gebäude aufweist als die Grundflächen der Referenzdaten, Punktwolke und OSM. Das lässt sich durch die Schwierigkeit der Gebäudesegmentierung erklären (siehe voriger Abschnitt).

Tabelle 22: Anzahl der Gebäudeumrisse der verschiedenen Datenquellen im Untersuchungsgebiet

Datengrundlage	Gebäudeanzahl (2021)
CityGML	792
Laserscan-Punktwolke	530
OpenStreetMap	553 darunter: 106 Nicht-Wohngebäude, 345 Wohngebäude und 102 unbekannt
Referenzdaten	630

Wird die unterschiedliche Erfassungsmethode außer Acht gelassen, können dennoch anhand einzelner Datensätze mit der gleichen Erhebungsmethode Aussagen zur Baudynamik getroffen werden.

Die in Schwarz dargestellten Werte in Tabelle 23 resultieren aus einer jährlichen Aufschlüsselung der OSM-Daten und zeigen eine Wachstumskurve, die zwischenjährlich schwankt. Die roten Zahlen stammen aus dem offiziellen dena-Bericht [dena, 2021]. Der Vergleich der beiden Datensätze in Abbildung 32 ergibt, dass die Wachstumsrate bis 2021 konsistent bleibt, wobei sich die Werte um lediglich 0,1 Prozent unterscheiden. Die absolute Gebäudeanzahl weist leichte Abweichungen auf; die unbekanntenen Klassen beeinflussen beide Resultate gleichermaßen, da keine eindeutige Zuordnung möglich ist. Des Weiteren liegt die Gebäudeanzahl aus OSM systematisch niedriger als bei den anderen Datensätzen. Die Gesamtanzahl wird durch Zählen der eindeutigen Gebäude-IDs in den Rohdaten ermittelt. Open-Data Quellen können die Genauigkeit der Ergebnisse beeinträchtigen, etwa wenn nicht eindeutig bestimmt werden kann, ob ein Gebäude zu einer Nachbareinheit gehört oder ob sich Gebäude im Innenraum anderer Strukturen befinden und dadurch in die Endzählung einfließen.

Trotz dieser Einschränkungen erweist sich OSM als wertvolles Open-Source-Datensatz, um die Anzahl von Gebäuden sowie deren wahrscheinliche räumliche Verteilung zu ermitteln. Für Großstädte bietet es eine robuste, kosteneffiziente Alternative, um die jährliche Baudynamik zu quantifizieren und das Wachstumspattern systematisch zu beschreiben.

Tabelle 23: Vergleich der Wachstumsraten von Gebäuden in Berlin (schwarz: OSM-Daten, rot: dena-Bericht [dena,2021])

Jahr	Neubau Wohngebäude		Neubau Nicht-Wohngebäude	
	Absolut	Wachstumsrate in Prozent	Absolut	Wachstumsrate in Prozent
2019	2.512	0,8	255	0,8
2020	1.242	0,4	169	0,5
2021	1.509 (1826)	0,5 (0,6)	202 (170)	0,7 (0,6)
2022	2.537	0,8	251	0,8
2023	1.860	0,6	177	0,6
2024	1.430	0,5	127	0,4

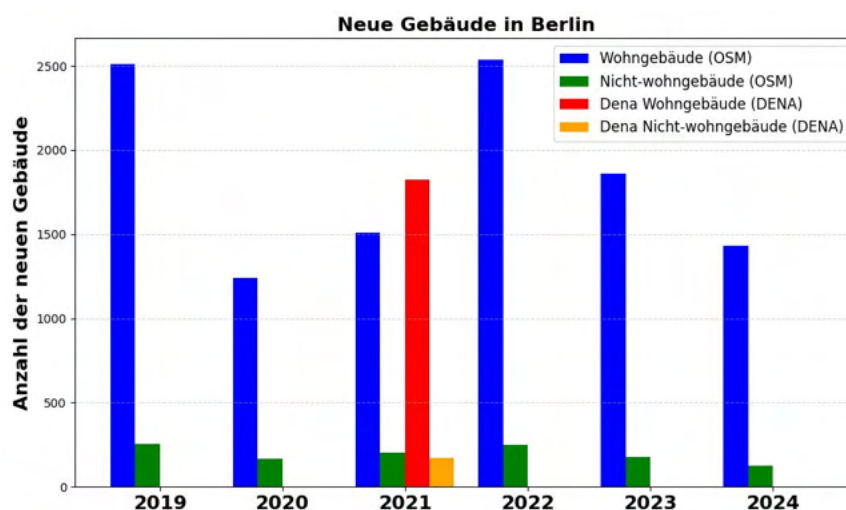


Abbildung 32: Baudynamik in Berlin anhand der OSM-Daten

## **Schlussfolgerung zur Qualifikation des 3D-Gebäudemodells und zur Automatisierung der Gebäudeerstellung mittels Fernerkundungsmethoden zur Verbesserung des 3D-Gebäudemodells**

Die Analyse hat gezeigt, dass die punktwolkenbasierte Methode im Vergleich der IoU die geringste geometrische Genauigkeit liefert. Zugleich beinhaltet die Analyse nach wie vor zahlreiche manuelle Arbeitsschritte und ist damit bei großflächigen Anwendungsgebieten wie Berlin kaum praktikabel. CityGML hingegen bietet eine höhere IoU und umfassende Attribut- und LoD-Informationen, die für viele Anwendungen unverzichtbar sind, weist jedoch ebenfalls verschiedene Fehlerquellen auf. Qualitätskontrollen zeigen, dass CityGML-Fehler aufweist, die vor allem neue, abgerissene oder veränderte Gebäude betreffen (Neubaufehler 2,5 Prozent und 0,5 Prozent für nichtexistierende Gebäude), jedoch auch Fehler in den zugrunde liegenden, unvollständigen ALKIS-Daten bestehen. Diese Fehlerquellen müssen durch regelmäßige Vergleiche von CityGML-Daten mit aktuellen Punktwolken mittels IoU-Metriken ausgeglichen werden und sind daher aktuell noch nicht automatisierbar zu korrigieren. Ein wichtiges Ziel des Vorhabens war die Automatisierbarkeit der Prozessierungskette: Die Segment-Anything-Methode kann mithilfe von Python-Skripten vollständig automatisiert werden. Auch die Minkowski-Engine demonstriert, dass 3D-Netze aus Laserscan-Punktwolken ohne manuellen Eingriff erstellt werden können. Der Hauptengpass bleibt jedoch die präzise Segmentierung von Gebäuden – insbesondere die Unterscheidung von Wand-, Dach- und Grundflächen, auch benachbarter Gebäude– sowie die Bereinigung von Ausreißern, die derzeit noch manuell erfolgen. Für die Vor- und Nachverarbeitung müssen LAS-Punktwolken in das Format XYZ konvertiert und anschließend als Netze (im OBJ-Format) erzeugt werden. Dieser Schritt ist daten- und rechenintensiv, sodass ein RAM-Monitoring und ggf. die Reduktion der CPU-Kerne bei Swap-Operationen notwendig sind. Bei den CityGML-Daten sind erfasste Gebäude, die keinen Energieverbrauch aufweisen, aus Endzählungen zu entfernen – ein Prozess, der automatisiert klassifiziert werden kann, wenn genügend Attribute vorliegen. Schließlich liefert OpenStreetMap (OSM) Community-Daten mit höherer Genauigkeit in den Grundflächen als der Punktwolkenansatz und stellt ergänzende Informationen bereit, weist aber auch Inkonsistenzen und fehlende Standards auf. In Summe erfordert die Skalierung auf ein ganzes Großstadtgebiet wie Berlin eine robuste, skalierbare Methodenkette – idealerweise cloud-basiert – die LAS-Konvertierung, automatisierte Segmentierung, Minkowski 3D-Netz-Erzeugung und regelmäßige Qualitätschecks zu einem automatisierten, datengetriebenen Prozess zusammenführt. Auf diese Weise lassen sich die Präzision der Punktwolken für veränderte Gebäude und die Attributtiefe von CityGML optimal kombinieren, um ein hochqualitatives, aktuelles Gebäudemodell für Berlin zu erhalten. Luftbilder, die als TrueOrtho-Mosaik erstellt werden, bieten ein größeres Potenzial die Lagegenauigkeit der Grundflächen zu überprüfen als Ortho-Luftbilder, bei denen Verkippungseffekte zu ungenauen Flächengrößen führen.

### **Ausblick**

In Zukunft wird die Verwendung der Datenprodukte des „Digitalen Zwilling Deutschland, DigiZ-DE“, des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie [BKG, 2025], für die Bestimmung energierelevanter Gebäudestrukturen einen Fortschritt bringen. Der Digitale Zwilling Deutschland befindet sich seit 2022 in der Entwicklung und soll bis Ende 2026 als bundeseinheitliche Analyse- und Simulationsplattform für raumbezogene Fragestellungen für Bundesbehörden zur Verfügung stehen. Die Plattform basiert auf hochauflösenden 3D-Grundlagenmodellen (DOM1, DGM1, DGM5) und nutzt moderne Fernerkundungsverfahren

wie luftgestütztes Laserscanning (ALS) zur deutschlandweiten Erfassung von Gelände-, Gebäude- und Vegetationsstrukturen. Die deutschlandweite Punktwolke des Airborne Laserscanning wird erstmals im Zeitraum 2024 bis 2025 mit einer deutlich verbesserten Punktdichte von 40 Pkt/m<sup>2</sup> und Höhengenaugigkeit von 10 cm erfasst und soll anschließend alle drei Jahre aktualisiert werden. Die Punktwolke soll zur Objekterkennung und Erkennung von Veränderungen bereits klassifiziert werden. Weiterhin werden gleichzeitig Luftbilder mit einer Bodenauflösung von 30 cm aufgenommen. Der „Digitale Zwilling Deutschland“ bietet damit das Potenzial die Methode zur Erstellung und Validierung der 3D-Gebäudemodelle (LoD2) deutlich zu verbessern und übertragbare Verbesserungsmethoden zu entwickeln. Die Bereitstellung der Datenprodukte für Forschung und Entwicklung sowie für Kommunen sollte die Verwendung als digitales Werkzeug für die gebäudescharfe Wärmeplanung deutlich verbessern.

### II.2.7. Übergeordnete Strukturierung der Datenquellen

Die vorgenannten Datenquellen und die eigenen Datenerhebungen resultierten in einer enormen Datenmenge, die für die weitere Verwendung im Software-Framework strukturiert verwaltet werden mussten, wozu Datenbanken verwendet wurden. Auf oberster Ebene lassen sich zwei strukturell verschiedene Systeme unterscheiden. Alle auf CityGML basierenden 3D-Geometrien wurden in einer Instanz der 3DCityDB als Urbaner Digitaler Zwilling gespeichert. Alle anderen Datensätze wurden in einer für EnergyMap Berlin entwickelten 2D-GIS-Datenbank verwaltet und sind stets mit einer zweidimensionalen Geometrie aus ALKIS verknüpft. Diese 3D- und 2D-Abbildungen wurden mittels eines geometrischen Mappings miteinander verbunden, sodass über jeweilige IDs Daten in beiden Datenstrukturen aufgefunden werden können. Die 3D-Geometrien wurden über die Verknüpfung mit den 2D-Abbildungen mit Gebäudeinformationen angereichert und dann für die Verwendung im Gebäudesimulationssystem exportiert.

Im Bereich der 2D-Geometrien wurde wiederum auf verschiedenen räumlichen Ebenen strukturiert. Diese Ebenen gehen von der Stadt, über die Berliner Bezirke, Postleitzahlengebiete und Blöcke hin zu den Gebäuden. Informationen, die auf einer dieser Ebenen verortet sind, werden an die räumlich kleineren Objekte vererbt, wozu die essenziellen Funktionen relationaler Datenbanksysteme verwendet werden. Konkret heißt das, dass jedes Gebäudeobjekt eine Information darüber hat, zu welchem Gebäudeblock, Postleitzahlengebiet, etc. es gehört. Über JOIN-Befehle kann damit auf die entsprechenden Daten dieser übergeordneten Objekte zugegriffen werden. Nicht immer ist die Zuordnung zwischen den Ebenen eindeutig, bspw. kann ein Gebäudeblock zu mehreren Postleitzahlen gehören. In solchen Fällen wurde die flächenmäßige Überschneidung der Geometrien analysiert und die Verknüpfung dort hergestellt, wo die Überschneidung am größten ist.

Neben den rein räumlich entstandenen Ebenen wurde für EnergyMap Berlin die Ebenen der Ensembles eingeführt, welche der Verwaltung von Gebäudegruppen bzw. Liegenschaften Rechnung trägt. Gebäudeensembles haben in EnergyMap Berlin vor allem die Aufgabe Informationen über die Gebäudeenergieverbräuche aufzunehmen, da in der Praxis Einzelgebäude oft über gemeinsame Übergabepunkte mit Energie versorgt werden und für diese Punkte Daten verfügbar sind.

Die hier skizzierten Datenstrukturen nutzen relationale Datenbanksysteme, um effizient Daten zu speichern und schnell abrufen zu können. Während die Datenquellen und -erhebungen zunächst die Berechnungen und Simulationen füttern, werden am Ende der

Software-Kette, die in EnergyMap Berlin ermittelten Werte für die Veröffentlichung in gleicherweise strukturiert. Dazu wurden Daten, die nicht dem Datenschutz unterliegen, in einer separaten Veröffentlichungsdatenbank gespeichert, welche in ihren Grundzügen der 2D-GIS-Datenbank entspricht.

## II.2.8. Datenschutz bei der Erhebung und Weitergabe von Daten

### **Allgemeine Herangehensweise und Zusammenfassung**

Senercon war für das Arbeitspaket Datenschutz verantwortlich und entwickelte zu Projektbeginn zunächst eine Strategie, sich dem Thema Datenschutz anzunähern. Da es im Projektkonsortium keine professionelle juristische Kompetenz gab, wurde der Kontakt zum Projektbeiratsmitglied Professor von Grafenstein gesucht, um eine adäquate Vorgehensweise festzulegen. Parallel wurden das Projekt und seine Zielsetzung den Berliner Datenschutzbeauftragten in der Senatsverwaltung vorgestellt. Wichtige Fragestellungen waren unter anderem, ob es sich bei den standortbezogenen prognostizierten Heizenergieverbrauchsdaten um personenbezogene Daten oder um Sachdaten handelt. Die Datenschutzbeauftragten waren der Auffassung, dass es sich um personenbezogene Daten handelt und dass deshalb in einigen Fällen eine Aggregation von Einzelgebäuden notwendig ist. Da es verschiedene Akteure im Projekt gab, die Daten erfassen, weiterleiten, weiterverarbeiten und veröffentlichen, wurden die jeweiligen Datenschutzbeauftragten dieser Akteure zu Rate gezogen. Im Einzelnen handelte es sich um den Datenschutzbeauftragten der UdKB, die Datenschutzbeauftragte von co2online und den Datenschutzbeauftragten des BezCW. Hierbei fanden zum Teil wöchentliche Abstimmungstermine statt, die zum Abschluss von Verträgen zur gemeinsamen Datenverantwortung einerseits zwischen der UdKB und dem BezCW und andererseits zwischen der UdKB und co2online führten.

Dabei war die UdKB die Hauptverantwortliche für die Erfassung, Bearbeitung und Veröffentlichung der Daten, die oben genannten Projektpartner fungierten als Datenlieferanten. Die UdKB hat als Stelle der öffentlichen Verwaltung und als Leiterin von Forschungsprojekten besondere Pflichten und Befugnisse, was die Verarbeitung von personenbezogenen Daten und die Erfüllung von Forschungszwecken und deren Veröffentlichung angeht. Darauf aufbauend wurde die Datenschutzstrategie für EnergyMap Berlin stufenweise entwickelt und in mehreren Terminen mit den Berliner Datenschutzbeauftragten präsentiert. Parallel dazu wurde das Datenschutzkonzept fortgeschrieben.

Schließlich erfolgte kurz vor der Veröffentlichung und Vorstellung der EnergyMap Berlin auf den Berliner Energietagen im Mai 2025 eine formelle, schriftliche Stellungnahme der Berliner Datenschutzbeauftragten zu Datenschutzstrategie von EnergyMap Berlin. Darin fand sich unter anderem der Hinweis, dass es sich bei den veröffentlichten Daten um personenbezogene Daten handelt, soweit sich die entsprechenden Gebäude im Einzeleigentum befinden. Jedoch liegt bei der Veröffentlichung der EnergyMap Berlin ein berechtigtes öffentliches Interesse vor, das die Interessen der Einzeleigentümer überwiegt.

### **Entwicklung des Datenschutzkonzepts**

Im Datenschutzkonzept von EnergyMap Berlin sind die Datenschutzstrategie sowie relevante gesetzlichen Grundlagen, die wichtigsten Akteure und deren Interessen sowie Beispiele

anderer Wärmekataster zusammengefasst. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte und Inhalte des Datenschutzkonzeptes Berlin zusammenfassend beschrieben.

### **Verortung von EnergyMap Berlin in der Klimaschutzstrategie Berlins**

Zunächst wurden die Klimaschutzstrategie des Landes Berlins sowie die Zuständig- und Verantwortlichkeiten seitens der verschiedenen Behörden und Akteure bei deren Umsetzung beschrieben, um das EnergyMap Berlin-Projekt darin zu verorten. Zudem konnte EnergyMap Berlin auf lokale Vorgängerprojekte und Internettools und -services aufbauen, bei denen auch schon datenschutzrelevante Fragestellungen behandelt wurden. Insgesamt hat Berlin hat demnach eine besondere Situation mit eigenen Energiegesetzen und verteilten Verantwortlichkeiten für den Klimaschutz und Themen der Digitalisierung in den Senatsverwaltungen. Im Rahmen der Erstellung des Datenschutzkonzeptes wurde zeitnah das Gespräch mit Berliner Datenschutzbehörden auf Bezirks- und Landesebene gesucht. Es fanden insgesamt drei Termine mit den Berliner Datenschutzbeauftragten für den Bereich Bauen, Energie und Umwelt statt, in deren Rahmen das Projekt sowie die vom Projekt verfolgte Datenschutzstrategie vorgestellt wurden, wobei auf verschiedene Problematiken hingewiesen und Lösungsansätze diskutiert wurden.

### **Gesetzliche Grundlagen und datenschutzrechtliche Zuständigkeiten**

Sowohl bei der Bereitstellung und Auswertung der Daten als auch bei der Darstellung der Ergebnisse in der Kartendarstellung von EnergyMap Berlin ergeben sich datenschutzrechtliche Fragestellungen, die zu untersuchen und zu beantworten Ziel des Datenschutzkonzeptes war. Für das Projekt wurden Daten auf verschiedene Weise erhoben bzw. von verschiedenen Datenlieferanten zur Verfügung gestellt. Dabei galt es, die rechtlichen Bestimmungen bei der Datenlieferung einzuhalten.

Da sich das Projekt sowohl mit Klimaschutz und Energiethemen als auch mit Fragestellungen der Digitalisierung beschäftigt, sind viele verschiedene Gesetze für das Projekt relevant, die im Einzelnen untersucht wurden.

Für das Datenschutzkonzept wurden zahlreiche gesetzliche Regelungen untersucht, wobei folgende gesetzliche Regelungen die höchste Relevanz haben:

- Bundesdatenschutzgesetz (BDSG, 1978) und DSGVO [DSGVO, 2016],
- Berliner Datenschutzgesetz, [BIDSG, 2018],

Berliner Energiewende und Klimaschutzgesetz [EWGBl, 2016],

- Umweltinformationsgesetz [UIG, 2014],
- Berliner Hochschulgesetz [BerlHG, 2011].

Grundsätzlich war datenschutzrechtlich zu klären, ob es sich bei den gespendeten Daten und den später veröffentlichten Prognosedaten um personenbezogene Daten handelt oder nicht. Dazu gab es zunächst verschiedene Auffassungen: Gemäß einem Gerichtsurteil des Landesgerichts Berlin (Landesgericht Berlin, 26. Zivilkammer, Urteil vom 26.01.2021, Aktenzeichen 26 O 177/21) stellen Standortdaten keine personenbezogenen Daten dar, so dass bei den Datenspenden die **DSGVO** nicht berücksichtigt werden muss. Nach Rückfragen mit dem Berliner Datenschutzbeauftragten wurde jedoch klar, dass Standortdaten verknüpft mit Heizenergieverbrauchsdaten gemäß Artikel 6, Abs. 1 lit. e DSGVO von der Behörde potenziell als personenbezogene Daten angesehen werden, insbesondere wenn sie sich auf kleinere Gebäude bzw. auf Gebäude von Einzeleigentümern beziehen. Da jedoch keine

Realdaten der Gebäude veröffentlicht werden, sondern prognostizierte Heizenergieverbräuche, die auf einer großen Grundgesamtheit von Daten beruhen, ging das EnergyMap Berlin-Projektkonsortium davon aus, dass bei der Veröffentlichung der Daten auf der Karte von EnergyMap Berlin kein Personenbezug mehr besteht.

Gemäß § 17 Abs. 1 und 3 Nr. 2 **Berliner Datenschutzgesetz (BlnDSG)** ist die Verarbeitung personenbezogener Daten „auch ohne Einwilligung für die Erfüllung einer Aufgabe zu im öffentlichen Interesse liegenden wissenschaftlichen oder historischen Forschungszwecken oder für statistische Zwecke zulässig, wenn das öffentliche Interesse an der Durchführung des Vorhabens die schutzwürdigen Belange der betroffenen Person erheblich überwiegt und der Zweck nicht auf andere Weise erreicht werden kann“. Bezogen auf EnergyMap Berlin bedeutet dies, dass das Projektkonsortium bei der Verarbeitung und Veröffentlichung der Gebäudedaten keine Einwilligung der Gebäudeeigentümer- und Bewohner benötigt, da das Forschungsprojekt mit der Zielsetzung Klimaschutz im öffentlichen Interesse liegt.

Das **Berliner Energiewende und Klimaschutzgesetz** liefert die gesetzliche Grundlage dafür, dass Energieversorger, Schornsteinfeger und die gewerbliche Wohnungswirtschaft in ihrer Funktion als Gewerbebetriebe Daten für ein Wärmekataster zur Verfügung stellen (§21 Abs. 1 und 2 Berliner Energiewende- und Klimaschutzgesetz). Absatz 3 regelt die Veröffentlichung der Daten, die somit eine Weitergabe der Daten, deren Erfassung u.a. auf Bezirksebene vorgesehen ist, an das Projekt EnergyMap Berlin zulässt.

Als rechtliche Basis zur Veröffentlichung der gebäudescharfen Daten kann auch das **Umweltinformationsgesetz** dienen. Laut Umweltinformationsgesetz, § 10 Unterrichtung der Öffentlichkeit, Absatz 2 (4) gehören „Daten oder Zusammenfassungen von Daten aus der Überwachung von Tätigkeiten, die sich auf die Umwelt auswirken oder wahrscheinlich auswirken“; zu den Umweltinformationen, die durch die informationspflichtigen Behörden verbreitet werden müssen. Die UdKB als Hochschule und Stelle der öffentlichen Verwaltung hat die Datenverantwortung im Projekt, die Projektpartner co2online und Bezirksamt Charlottenburg-Wilmersdorf sind Datenlieferanten. Hierbei ist die UdKB als Stelle der öffentlichen Verwaltung laut § 2 (1) und § 2 (3) Umweltinformationsgesetz berechtigt, Umweltdaten zu veröffentlichen.

Zusätzlich ist die UdKB gemäß §4 und §6 **Berliner Hochschulgesetz** verpflichtet, Forschungsergebnisse öffentlich zugänglich und für die Gesellschaft nutzbar zu machen und auch berechtigt, personenbezogene Daten zu verarbeiten. Selbst wenn das Konsortium davon ausgeht, dass die prognostizierten Gebäudedaten keine personenbezogenen Daten sind, kann im Falle einer anderen Auslegung auf diese gesetzlichen Regelungen zurückgegriffen werden.

#### **Datenschutzrechtliche Absicherung durch Verträge zur gemeinsamen Datenverantwortung**

Obwohl gemäß der Einschätzung des Projektpartners BezCW nur Sachdaten zu Gebäuden an das Projekt weitergegeben werden, wurde sicherheitshalber zusätzlich eine Vereinbarung zur gemeinsamen Datenverantwortung mit der UdKB geschlossen, die die Daten als Trainingsdaten in ihr KI-Prognosemodell integriert, mit dem Ziel, gebäudescharfe Prognosedaten zum Heizenergieverbrauch der Gebäude auf der Karte von EnergyMap Berlin zu veröffentlichen.

Des Weiteren wurden vom Projektpartner co2online Daten über eine Crowdsourcing-Kampagne gesammelt, indem über zwei bereits existierende Online-Ratgeber zur Überprüfung des Heizenergieverbrauchs bzw. der Modernisierungspotentiale von

Wohngebäuden Gebäude- und Standortdaten abgefragt werden. Ratgebernautzer werden im Anschluss an die Beratung gefragt, ob sie die eingegebenen Daten dem Projekt EnergyMap Berlin spenden wollen. Dabei wurde eine Datenschutzinformation mit Lesebestätigung durch Anklicken einer Checkbox in die Anfrage zur Datennutzung integriert. Zusätzlich wurde auch in diesem Fall eine Vereinbarung zur gemeinsamen Datenverantwortung zwischen co2online und der UdKB geschlossen.

### **Stellungnahme der Berliner Datenschutzbeauftragten**

Am 17. April 2025 erhielt das Projektkonsortium die Stellungnahme der Berliner Beauftragten für Datenschutz und Informationsfreiheit zum EnergyMap Berlin-Projekt. Daraufhin wurde das bisherige Datenschutzkonzept aktualisiert und um ein eigenes Kapitel 10 bezüglich der Stellungnahme der Berliner Datenschutzbeauftragten erweitert.

Die Berliner Datenschutzbeauftragten haben das Datenschutzkonzept des EnergyMap Berlin-Projekts geprüft und bestätigt, dass die geplante Veröffentlichung von gebäudescharfen Heizenergieprognosen grundsätzlich zulässig ist – unter bestimmten Voraussetzungen und mit ergänzenden Transparenzmaßnahmen. Die Datenschutzbeauftragten stellen fest, dass Heizenergieprognosen personenbezogene Daten darstellen können, wenn die betreffenden Gebäude natürlichen Personen gehören. Für juristische Personen besteht kein Personenbezug.

Als Rechtsgrundlage für die Datenverarbeitung von EnergyMap Berlin gilt § 17 Berliner Datenschutzgesetz [BIDSG, 2018], da es sich um wissenschaftliche Forschung handelt und das Projekt im öffentlichen Interesse liegt, insbesondere zur Erreichung der Berliner Klimaneutralität bis 2045. Auf dieser Grundlage ist die Verarbeitung personenbezogener Daten zulässig, wenn das öffentliche Interesse die privaten Interessen deutlich überwiegt und der Zweck nicht anders erreichbar ist. Beides trifft nach Einschätzung der Behörde zu.

Die Behörde bewertet die Veröffentlichung der Heizenergieprognosedaten gemäß Art. 6 Abs. 1 lit. e DSGVO i.V.m. § 17 Abs. 1, 3 Nr. 2 BlnDSG als zulässig, da die Daten der Darstellung wissenschaftlicher Forschungsergebnisse zu einem zeitgeschichtlichen Ereignis dienen, der Erreichung der Klimaneutralität Berlins. Der Begriff „Zeitgeschichte“ ist weit auszulegen und umfasst Vorhaben von allgemeinem öffentlichem Interesse. Die Eingriffstiefe ist gering, da keine realen Verbräuche veröffentlicht werden und somit keine Rückschlüsse auf persönliche Lebensumstände möglich sind. Das öffentliche Interesse überwiegt daher „in aller Regel“ die schutzwürdigen Interessen der Betroffenen.

Bezüglich der Transparenzpflichten und Informationsbereitstellung verlangt die Behörde die öffentliche Bereitstellung aller relevanten Datenschutzinformationen (Art. 14 DSGVO) auf der EnergyMap Berlin-Webseite. Eine individuelle Information aller Eigentümer ist *nicht* erforderlich, da dies einen unverhältnismäßigen Aufwand darstellen würde (Art. 14 Abs. 5 lit. b DSGVO). Jedoch haben Betroffene natürliche Personen gemäß Art. 21 Abs. 6 DSGVO ein Widerspruchsrecht, sofern sie Gründe aus ihrer besonderen Situation vorbringen. Die Datenschutzbeauftragten empfehlen daher, eine einfache Möglichkeit zum Widerspruch auf der Website einzurichten und nach einem Widerspruch die Prognosen für das betreffende Gebäude nicht mehr anzuzeigen. Eine Löschung der Gebäudedaten aus dem Trainingsdatensatz des KI-Prognosemodells ist nicht erforderlich, da dies erheblichen Aufwand verursachen würde und die Prognosen selbst keine Rückschlüsse auf reale Verbräuche ermöglichen.

Um Widersprüche zu vermeiden, empfiehlt die Behörde optional die Aggregation personenbezogener Gebäude zu Gruppen von mindestens 3, idealerweise 5 Gebäuden, um den Personenbezug auszuschließen. Dies widerspricht jedoch dem Projektziel der gebäudescharfen Veröffentlichung, weshalb EnergyMap Berlin diese Empfehlung nicht übernehmen will.

### **Datenschutzleitfaden**

Zusätzlich zum projektspezifischen Datenschutzkonzept wurde ein Datenschutzleitfaden (Datenschutz-Guideline) für künftige Projekte zur Erstellung von Wärmekatastern oder ähnlichen Erhebungen von gebäudescharfen prognostizierten oder realen Verbrauchsdaten erstellt. Dieser Leitfaden umfasst Empfehlungen zur Vorgehensweise bei der Bewertung der datenschutzrechtlichen Relevanz von Projekten mit ähnlichen Zielen sowie relevante gesetzliche Regelungen auf Bundesebene. Sowohl das Datenschutzkonzept als auch die Datenschutz-Guideline wurden auf der Projektwebsite von EnergyMap Berlin veröffentlicht (siehe <https://energymap-berlin.de/info/>).

## **II.3. Entwicklung eines KI-gestützten Prognosemodells**

Vor dem Hintergrund ambitionierter Klimaziele und der zunehmenden Bedeutung datenbasierter Planungsinstrumente gewinnt die präzise Ermittlung des gebäudescharfen Heizwärmebedarfs in urbanen Räumen stark an Bedeutung. Klassische thermische Gebäudesimulationen bieten zwar eine hohe Genauigkeit, sind jedoch mit erheblichem Rechenaufwand verbunden. Um eine flächendeckende, performante und dennoch belastbare Bewertung energetischer Maßnahmen in Städten wie Berlin zu ermöglichen, wurde im Projekt EnergyMap Berlin ein mehrstufiges Verfahren zur Entwicklung eines KI-gestützten schnellen Prognosemodells für Heizwärmebedarfe entwickelt. Zunächst wurden für den Berliner Gebäudebestand Bedarfssimulationen für den Heizwärmebedarf durchgeführt. Diese wurden mit einer Kalibrierungsmethode kalibriert, um sich Verbrauchsdaten anzunähern. In einem dritten Schritt wurden Surrogate-Modelle entwickelt, die die aufwändigen Simulationen ablösen und durch den Input einiger weniger Informationen durch die Nutzer:innen eine sehr schnelle Heizwärmeprognose abgeben.

### **II.3.1. Gebäudescharfe Simulationen der Heizwärmebedarfe**

Um Simulationen mit der Software SimStadt für die meisten Gebäude Berlins auf Gebäudeebene durchzuführen, wurden für den Berliner Gebäudebestand zunächst mehrere gebäudespezifische Datensätze wie Kubatur, Alter und Nutzungsart zusammengestellt. Diese Attribute dienen als Schlüssel, um weitere Informationen aus großen statistischen Bibliotheken für jedes einzelne Gebäude in den gebäudespezifischen Simulationen zu verknüpfen: Die 3D-Gebäudemodelle im CityGML-Format und die Nutzungsart des Gebäudes, die anhand der ALKIS-Funktionsnummern identifiziert werden kann, wurden zusammengeführt. Diese Informationen werden vom Land Berlin über sein Geoportal bereitgestellt. Einige der 3D-Gebäudemodelle enthalten unbeheizte Gebäudeteile wie Tiefgaragen oder Zufahrten. Diese wurden mit speziell entwickelten Filtern aus den Gebäudedatensätzen entfernt, um nur Daten zu behalten, die für den Heizenergieverbrauch relevant sind. Neben der Nutzungsart wurde jedes einzelne Gebäudemodell mit Informationen zum Alter des Gebäudes angereichert. Zu diesem Zweck wurden die Gebäudedaten aus der Baualterskarte 1992/93, dem Holzmodell Berlins und der Denkmalkarte verwendet sowie teilweise einzeln recherchiert. Für alle Gebäude, deren

Baualter nicht durch diese Karten abgedeckt war, wurde zur Vereinfachung das mittlere Baualter des Blocks aus den Zensusdaten verwendet. In vielen anderen Städten Deutschlands gibt es gebäudespezifische Informationen zu den Baualtern, sodass die Anwendung des Workflows auf andere Gebiete möglicherweise sogar die zeitaufwändige Auswertung von Baualterkarten und -daten überflüssig machen könnte.

Des Weiteren wurden statistische Gebäudedaten aus IWU-Gebäudetyopogien verwendet, um die Energieeffizienz bestimmenden Parameter der Hüllflächen (typologie- und baualtersabhängige U-Werte- der Baukonstruktionen) zu festzulegen. Eine statistische Erhebung wurde für Wohngebäude durchgeführt und 2021 veröffentlicht und 2015 aktualisiert [Loga 2015]. Hier wurden die Wohngebäude in fünf verschiedene Wohngebäudetypen und bis zu neun verschiedene Baualtersklassen pro Wohngebäudetyp unterteilt. Eine zweite statistische Erhebung für Nichtwohngebäude wurde 2021 abgeschlossen und veröffentlicht [Hörner, 2022]. Die Nichtwohngebäude wurden in elf verschiedene Nutzungsarten unterteilt, von denen jede drei verschiedene Baualtersklassen enthält. Die Datenerhebungen für Wohn- und Nichtwohngebäude beziehen sich auf Gebäude in ganz Deutschland und, obwohl nur statistische Daten bereitgestellt werden, sind die Daten derzeit die beste Quelle für physikalische Parameter, da sie Nichtwohngebäude in 33 Kategorien klassifizieren und die Daten aus bis zu 800 Gebäuden pro Kategorie abgeleitet wurden.

Die fünf Wohngebäudetypen:

- Einfamilienhaus
- Reihenhaushaus
- Mehrfamilienhaus
- Großes Mehrfamilienhaus
- Hochhaus

Die elf Nichtwohngebäudetypen:

- Büro-, Verwaltungs-, oder Amtsgebäude
- Gebäude für Forschung und Hochschullehre
- Gebäude für Gesundheit und Pflege
- Schule, Kindertagesstätte und sonstiges Betreuungsgebäude
- Gebäude für Kultur und Freizeit
- Sportgebäude
- Beherbergungs-, oder Unterbringungsgebäude, Gastronomie- oder Verpflegungsgebäude
- Produktions-, Werkstatt-, Lager- oder Betriebsgebäude
- Handelsgebäude
- Technikgebäude (Ver- und Entsorgung)
- Verkehrsgebäude

Die Datenerfassung und Kategorisierung wurde für Wohn- und Nichtwohngebäude unterschiedlich durchgeführt. Für Wohngebäude wurde im Simulationswerkzeug SimStadt eine Bibliothek mit folgenden Sanierungskategorien erstellt: 1) unsaniert, sogenannte "original", 2) verbessert, sogenannte "medium", 3) erheblich verbessert, sogenannte "advanced". Es wurden weiterhin Sanierungsszenarien definiert, bei denen ein Gebäude

entweder nur ein saniertes Dach, sanierte Fenster oder Wände hatte. Bei diesen letzten drei Sanierungskategorien „Wall“, „Roof“, „Window“ wurde vereinfacht angenommen, dass alle anderen Teile des Gebäudes sich noch im ursprünglichen bzw. unsanierten baulichen Zustand befinden (siehe Abbildung 33).

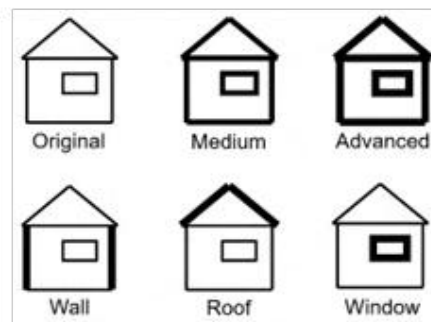


Abbildung 33: Mit SimStadt analysierte Sanierungskategorien

Diese Sanierungsbezeichnungen für Wohngebäude wurden dann auch für die Nichtwohngebäude in den Simulationsanalysen mit SimStadt verwendet. Die vom IWU für die Nichtwohngebäude erhobenen Daten wurden in ihrer statistischen Erhebung jedoch anders sortiert: Für jede Gebäudekategorie wurden der Mittelwert und die Standardabweichungen bestimmt. Zur Vereinfachung wurde die Sanierungskategorie „verbessert“ für den Mittelwert verwendet. Darüber hinaus wurde die Abweichung, die einen schlechteren Sanierungszustand anzeigt, für die Kategorie „Original“-Sanierung verwendet. Die Abweichung, die einen besseren Sanierungszustand anzeigt, wurde für die Kategorie „erheblich verbessert“ verwendet. Im Beispiel eines Wärmedurchgangskoeffizienten wäre dies der niedrigere Wert. Die Standardabweichung des Mittelwerts, die die Werte der einzelnen Gebäudeteile verbessert, wird als erheblich verbesserte Sanierung angenommen. Für Parameter wie die durchschnittliche Geschosshöhe wurde der Mittelwert verwendet, da davon ausgegangen wird, dass eine Sanierung die Geschosshöhe in den meisten Fällen nicht verändert.

Neben der SimStadt-Bibliothek für die bauphysikalischen Parameter wurde eine Nutzungsbibliothek mit 24 verschiedenen Gebäudenutzungsarten erstellt. Diese 24 Nutzungsarten setzen sich aus 22 verschiedenen Nichtwohngebäude-Nutzungsprofilen und nur zwei Wohngebäude-Nutzungsprofilen zusammen. Die Profile für Wohngebäude sind sehr ähnlich, es wird nur zwischen Mehrfamilienhäusern und kleineren Häusern, z.B. Einfamilienhäusern und Reihenhäusern unterschieden. Für jedes Nutzungsprofil wurden Daten aus Nutzungsprofilen nach DIN 18599 als Grundlage verwendet. Die internen Gewinne sowie die Belegungsbedingungen wurden aus den DIN 18599-Profilen abgeleitet. Es konnten keine Annahmen zur Zonierung von Nichtwohngebäuden getroffen werden, da das Innere der Gebäude i.d.R. unbekannt ist. Alle Gebäude werden daher als Einzonenmodelle behandelt. Die Zuordnung der Gebäude zu einem Nutzungsprofil in der Bibliothek erfolgt über die ALKIS-Gebäudefunktionsnummer jedes Gebäudes.

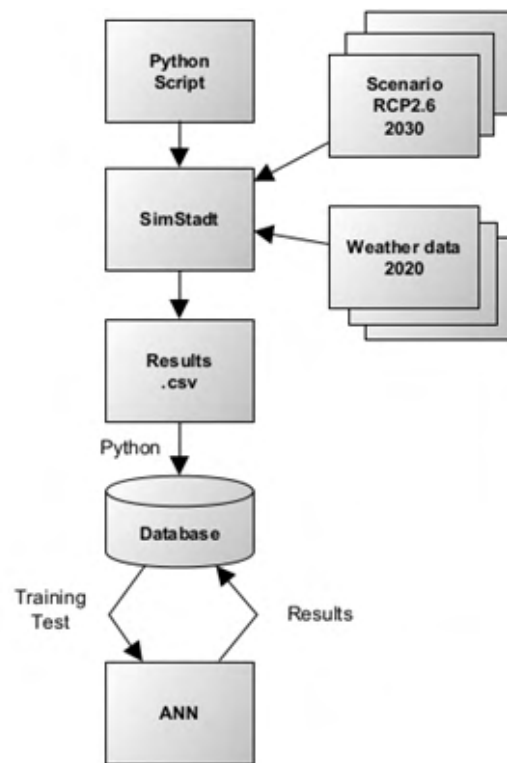


Abbildung 34: Auf Basis von SimStadt automatisch erzeugte Simulationsvarianten für den Berliner Gebäudebestand

Die Gebäudesimulationen wurden mit Wetterdaten der Jahre 2010 bis 2024 durchgeführt. Vergangene Jahre wurden simuliert, da diese mit realen Verbrauchswerten verglichen werden können. Zusätzlich wurden Wetterdaten für die nächsten acht Jahrzehnte, d.h. 2030, 2040 usw. bis 2100, über Meteonorm [Meteonorm, 2026] generiert. Die drei RCP-Klimawandelszenarien pro Jahrzehnt wurden für die Simulationen verwendet. Um diese Simulationen zu starten, wurde ein Python-Skript erstellt, das automatisch sechs Sanierungsszenarien und insgesamt 37 Wetterszenarien für über 400.000 Gebäude Berlins mit SimStadt simuliert (insgesamt ca. 15 Mio. Simulationsvarianten). Nach der Simulation wurden die Daten automatisch in einer PostGIS-Datenbank verarbeitet und gespeichert (vgl. Abbildung 34).

Die Simulationen können für andere Städte und Gemeinden in Deutschland wiederholt werden. Die erstellten Bibliotheken können verwendet werden, nur die 3D-Gebäudemodelle müssten mit den eingangs erwähnten Informationen angereichert und die Klimadaten für die spezifischen Standorte in der Simulation verwendet werden.

## II.3.2. Annahmen zur Berechnung der Wärmebedarfe für die Warmwasserbereitung

Zur Berechnung des Wärmebedarfs zur Warmwasserbereitung inkl. der Verteilverluste wurde für EnergyMap Berlin in Anlehnung an die DIN 18599 nutzflächenspezifische Werte definiert, welche insgesamt 23 verschiedene Gebäudekategorien berücksichtigen (vgl. Tabelle 24).

Tabelle 24: Annahmen zum nutzflächenspezifischen Warmwasserbedarf verschiedener Gebäudekategorien in EnergyMap Berlin

Gebäudekategorie	Spezifischer Wärmebedarf WW in kWh/m <sup>2</sup> a
Einfamilien-/ Reihenhaus	8,2
(Grosses) Mehrfamilienhaus	11,2
Buero-, Verwaltungs- oder Amtsgebäude	6,2
Polizei	6,7
Verkehrsgebäude	0,0
Laborgebäude	7,2
Seminargebäude	5
Krankenhaus	40,8
Pflegeheim	33,6
Arztpraxen	7,7
Schule, Kindertagesstätte und sonstige Betreuungsgebäude	22,4
Freizeit mit Abendnutzung	6,8
Freizeit mit Tagesnutzung	8,2
Schwimmbad	114,7
Sporthalle	22
Beherbergungs- oder Unterbringungsgebäude	86
Gastronomie- oder Verpflegungsgebäude	79
Handelsgebäude	10
Produktions- und Technikgebäude	21,8
Produktions-, Werkstatt-, Lager- oder Betriebsgebäude	17,4
Feuerwehr	6,4
Technikgebäude (Ver- und Entsorgung)	0,0
Gebäude für Forschung und Hochschullehre	6,1

### II.3.3. Kalibrierung der Gebäudewärmebedarfe

Die Kalibrierung der mit SimStadt simulierten Gebäudewärmebedarfe (Heizwärmebedarf plus Wärmebedarfe zur Warmwasserbereitung) mit erhobenen Block-Endenergieverbräuchen der Stadt Berlin wurde in zwei Schritten vorgenommen:

#### Schritt 1: Umrechnung der gebäudescharfen Heizwärmebedarfe auf Endenergiebedarfe

Für einen Vergleich des berechneten Gesamtwärmebedarfs (Gebäudeheizung, Abschnitt II.3.1) und Warmwasserbereitung (Abschnitt II.3.2) mit den Block-Endenergieverbräuchen wird dieser zunächst mit einem angenommenen Anlagennutzungsgrad auf den Gebäudeendenergiebedarf umgerechnet.

Aufgrund mangelnder gebäudescharfer Daten zur Anlagentechnik wurde für EnergyMap Berlin je Gebäudeblock ein Anlagennutzungsgrad ermittelt, der die energetische Effizienz der Wärmeversorgung abbildet. Gebäudeblöcke, die ausschließlich mit Fernwärme versorgt werden, erhalten einen Nutzungsgrad von 100 Prozent. Blöcke, die ausschließlich über eine Gasversorgung verfügen, meist mit älteren Heizkesseln, wurden mit einem Nutzungsgrad von 93 Prozent angesetzt. Für Blöcke mit einer Kombination aus Fernwärme- und Gasversorgung wurde das jeweilige Verhältnis der beiden Energieträger berücksichtigt. Daraus ergibt sich ein gestaffelter Anlagennutzungsgrad zwischen 93 Prozent und 100 Prozent, abhängig vom Anteil der effizienteren Fernwärme.

Bei 4.615 Gebäudeblöcken lagen keine konkreten Blockverbrauchsdaten vor, häufig aus Datenschutzgründen. Für diese wurde ein pauschaler Anlagennutzungsgrad von 95 Prozent angenommen. Dieser Wert entspricht dem durchschnittlich berechneten Nutzungsgrad aus dem Verhältnis des gesamten Fernwärme- und Gasverbrauchs in Berlin und bietet somit eine realistische Näherung für diese Fälle. In Tabelle 25 finden sich die blockbezogenen Anlagennutzungsgrade und die Anzahl der Blöcke, die diese Annahme jeweils betrifft.

Tabelle 25: Angenommene Block-Anlagennutzungsgrade zur Berechnung der Endenergiebedarfe

Block-Anlagen-nutzungsgrad in Prozent	Anzahl der Blöcke	Versorgungsart(en)
100	1124	Reine Fernwärmeversorgung
99	306	Versorgungsmix
98	254	Versorgungsmix
97	252	Versorgungsmix
96	179	Versorgungsmix
95	4615	Blöcke ohne Angaben, Versorgungsmix
94	93	Versorgungsmix
93	9097	Reine Gasversorgung

#### Schritt 2: Einführung einer Kalibrierungsfunktion zur Berücksichtigung der Rebound-Effekte bei der Gebäudenutzung

In der Literatur wurde der Rebound-Effekt bzgl. des Heizenergieverbrauchs unterschiedlich energieeffizienter Gebäude ausführlich beschrieben und untersucht [Haas, 2000] [Guerra Santin, 2013] [Aydin, 2017]: bei Gebäuden mit niedriger Energieeffizienz, also hohen spezifischen Heizenergiebedarfen, liegen die theoretisch berechneten Bedarfe meist sehr viel höher als die tatsächlichen Verbräuche, da i.d.R. aus ökonomischen Gründen nur selten eine

Vollbeheizung dieser Gebäude über deren Nutzflächen und während des ganzen Tages erfolgt. Umgekehrt treten bei sehr energieeffizienten Gebäuden (Niedrigstenergie- oder Passivhaus-Gebäude) teilweise höhere Verbräuche als berechnete Bedarfe auf, da diese Gebäude in der Heizperiode auf ein nicht optimales Nutzer:innenverhalten sehr viel sensibler reagieren (z.B. Betrieb von Gebäudebereichen mit freier Fensterlüftung anstatt mit kontrollierter Lüftung mit Wärmerückgewinnung).

Für die Berücksichtigung solcher Reboundeffekte wurde für EnergyMap Berlin eine Korrekturfunktion verwendet, welche aus den statistischen Untersuchungen des IWU von gemessenen Heizenergieverbräuchen an mehr als 2800 Wohngebäuden [Loga, 2019, Seite 248 ff.] entnommen wurde. Diese nichtlineare Funktion (siehe Abbildung 35) ermittelt einen Korrekturfaktor KR, welcher für Gebäude mit einem berechneten spezifischen jährlichen Heizenergiebedarf  $q_{sim}$  kleiner 80 kWh/m<sup>2</sup>a den in Schritt 1 ermittelten gebäudescharfen Gesamtheizenergiebedarf vergrößert ( $KR > 1$ ) bzw. bei größeren spezifischen Heizenergiebedarfen reduziert ( $KR < 1$ ).

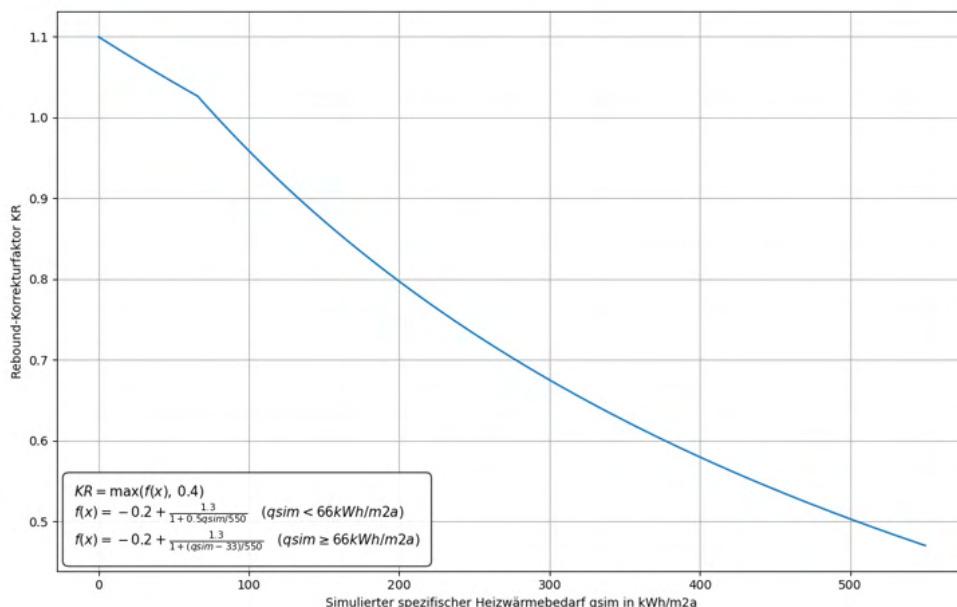


Abbildung 35: In EnergyMap Berlin verwendete Kalibrierungsfunktion zur Berücksichtigung der Rebound-Effekte bei der Gebäudenutzung nach [Loga, 2019]

Diese Kalibrierungsfunktion, welche ausschließlich auf der statistischen Auswertung von Energieverbräuchen von Wohngebäuden abgeleitet wurde, wird in EnergyMap Berlin auf alle vorgerechneten Referenzvarianten (vgl. Abschnitt II.4.4) als auch zur Korrektur der mit dem KI-Prognosemodell berechneten Bedarfswerte genutzt (vgl. Abschnitt II.3.4.). Darüber hinaus wird sie im Rechenkern von EnergyMap Berlin mangels Literaturwerte nicht nur für die Wohngebäude, sondern ebenfalls zur Korrektur der berechneten Gesamtheizenergiebedarfe der Nichtwohngebäude verwendet, was methodisch noch eine Schwäche darstellt.

### Vergleich von Blockenergieverbräuchen mit Blockenergiebedarfen für ein einzelnes Stadtquartier

Anhand eines Stadtquartiers in Berlin Pankow (vgl. Abbildung 36), wurde zur Validierung ein blockweiser Vergleich zwischen den im Energieatlas Berlin angeführten klimabereinigten Endenergieverbräuchen der Jahre 2020 bis 2023 und den von für EnergyMap Berlin

berechneten klimabereinigten Endenergiebedarfen des wahrscheinlichen Istzustands durchgeführt.



Abbildung 36: Stadtquartier in Berlin Pankow, welches zum blockweisen Vergleich „Verbrauch versus Bedarfsberechnung“ herangezogen wurde. Links: 3D-Stadtteilmodell (Quelle: Apple-Karten): rechts: gebäudescharfe Energieeffizienzklassifizierung für den klimabereinigten Ist-Zustand in EnergyMap Berlin.

Bei dem Stadtquartier handelt es sich um ein ehemaliges Sanierungsgebiet (1994 – 2011), welches aus 13 Blöcken und insgesamt 492 Gebäuden besteht. Der Gebäudebestand umfasst überwiegend Wohngebäude der Berliner Gründerzeit (vor 1918), einige wenige Neubauten nach 1990 und wenige Nichtwohngebäude (Schulen, Gewerbehöfe, Supermärkte). Es wird von ca. 14.500 Einwohner (Zensus 2022) bewohnt. Seit seiner Sanierung wird das Stadtquartier nahezu vollständig über Erdgas beheizt, weshalb es sich besonders gut für einen Vergleich zwischen den Verbrauchs- und den Bedarfswerten eignet.

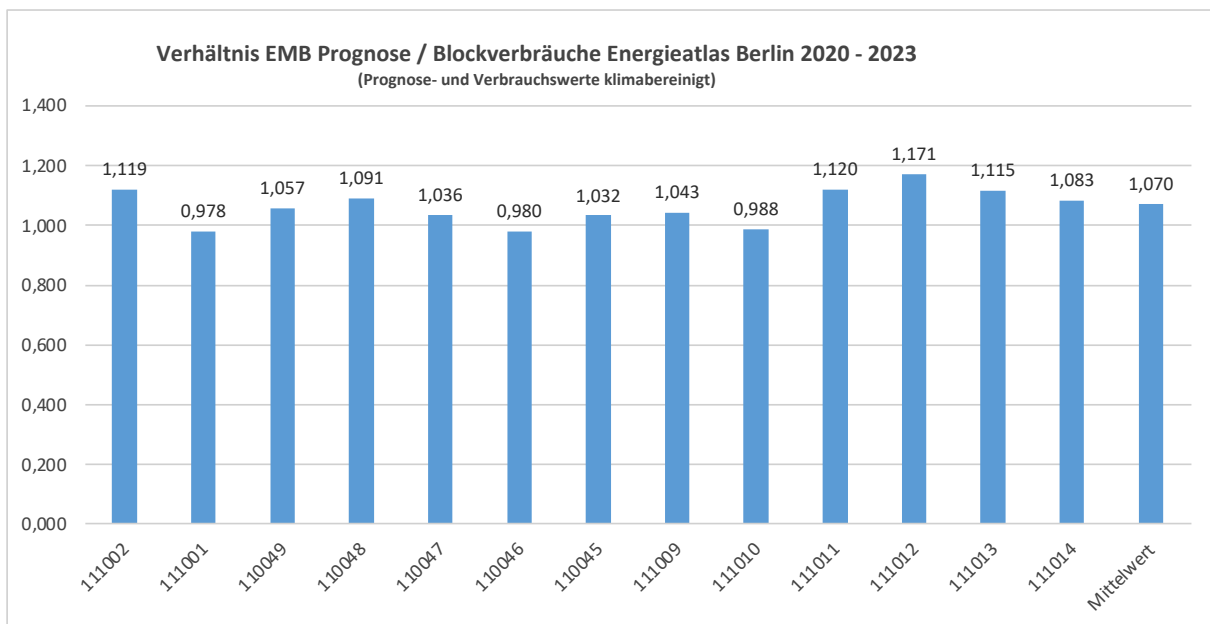


Abbildung 37: Verhältnis berechnete EnergyMap Berlin-Endenergie-Blockbedarfe zu Endenergie-Blockverbräuchen der Jahre 2020 bis 2023 für ein nahezu nur über Erdgas beheiztes Stadtquartier

Für den Vergleich wurde für jeden Block zunächst die einzelnen Jahreswerte (2020, 2021, 2022, 2023) des Erdgasverbrauchs jeweils klimabereinigt und danach der Mittelwert über vier Jahre gebildet. Diese Mittelwerte wurden dann mit über die gleichen Blöcke aggregierten berechnen klimabereinigten Blockwerten aus EnergyMap Berlin verglichen. In Abbildung 37 wurde hierfür blockweise das Verhältnis „Berechnung zu Verbrauch“ dargestellt. Hierbei beträgt die minimale Abweichung (Block 111010) minus 1,2 Prozent, die maximale Abweichung (Block 111012) plus 17 Prozent und die mittlere Abweichung für das gesamte Stadtquartier plus 7 Prozent. EnergyMap Berlin berechnet also für dieses Stadtquartier etwas zu hohe Bedarfswerte, das Berechnungsmodell ist somit gut in der Lage die derzeitige Situation des Heizenergiebedarfs auch in der räumlichen Verteilung abzubilden.

### Vergleich von Blockenergieverbräuchen mit Blockenergiebedarfen für die Gesamtstadt

Das Land Berlin besteht aus ca. 11.400 Blöcken mit insgesamt ungefähr 369.000 Gebäuden, davon ca. 338.000 Wohngebäude und ca. 31.000 Nichtwohngebäude. Für einen stadtweiten Vergleich muss berücksichtigt werden, dass die Sanierungszustände für die einzelnen Gebäude über das Gebäudealter und den Gebäudetyp plausibel geschätzt wurden und hierbei auch Gebäudemerkmale wie z.B. das Vorliegen von Denkmalschutz mit eingeflossen sind, präzise gebäudescharfe Angaben zum tatsächlichen Sanierungszustand liegen jedoch nicht vor. Auch ist die Qualität der im Energieatlas Berlin hinterlegten Blockverbräuche kritisch zu betrachten: sie berücksichtigen lediglich die Erdgas- und Fernwärme-Verbräuche, Heizölverbräuche oder Stromverbräuche für Wärmepumpenheizungen werden in den Blockverbräuchen bisher nicht erfasst. Mit den beiden Energieträgern Erdgas und Fernwärme wurden im Jahr 2023 ca. 87 Prozent aller Berliner Wohnungen beheizt (siehe "Wie heizt Berlin" – Studie zum Heizungsmarkt (bdew)).

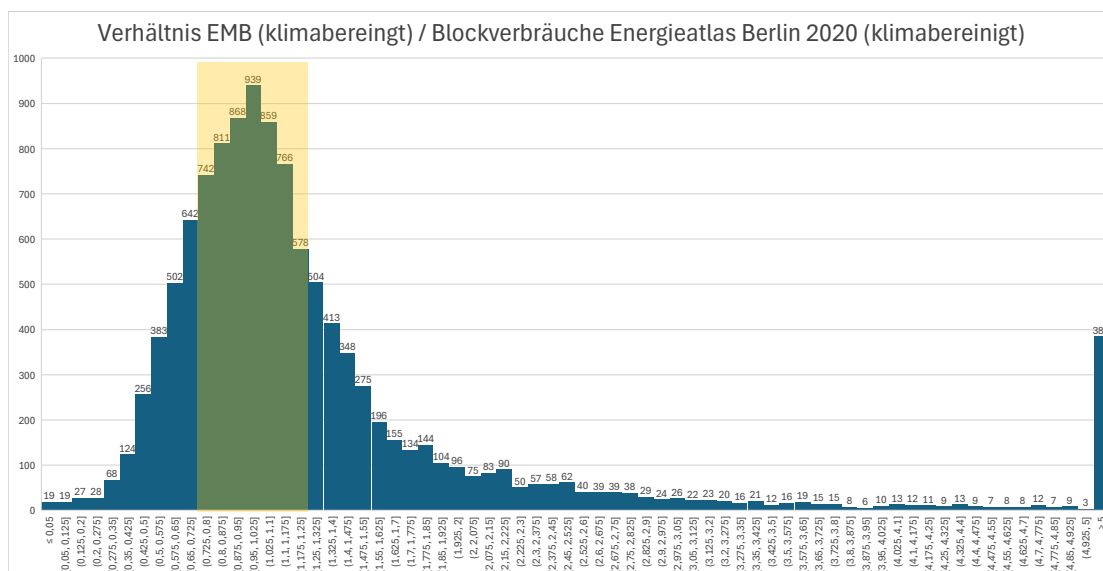


Abbildung 38: Häufigkeitsverteilung für das Verhältnis berechnete EnergyMap Berlin-Blockbedarfe zu Blockverbräuchen

Vergleicht man die Summe aller Block-Heizwärmebedarfe auf der Ebene des gesamten Landes Berlin überschätzt EnergyMap Berlin die im Energieatlas Berlin dargestellten Blockverbräuche um ca. 8 Prozent. Dies ist plausibel, da ja auch nicht alle Berliner Gebäude mit Erdgas oder Fernwärme versorgt werden, aber EnergyMap Berlin für alle beheizten Gebäude einen Heizwärmebedarf berechnet. EnergyMap Berlin bildet für 939 Blöcke das Verhältnis

„Berechnung zu Verbrauch“ sehr präzise ab (Intervall 0,95 – 1,025), für insgesamt 5.563 Blöcke befriedigend (Intervall 0,725 - 1,25) und 384 Blöcke (ca. 3 Prozent aller Blöcke) zeigen mit einer Abweichung > 500 Prozent eine extrem große Überschätzung (siehe Abbildung 38).

#### II.3.4. Prognosemodelle für Heizwärmebedarfe

Während physikalische Gebäudesimulationen eine hohe physikalische Genauigkeit aufweisen, sind sie zugleich äußerst rechenintensiv, insbesondere wenn sie auf ganze Stadträume - wie im Fall von Berlin - angewandt werden und dabei zahlreiche Szenarien wie z. B. verschiedene Wetterjahre und Sanierungsgrade abbilden sollen. Vor diesem Hintergrund verfolgt das Projekt EnergyMap Berlin das Ziel, performante, auf künstlicher Intelligenz (KI) basierende Prognosemodelle als Surrogate sogenannte Ersatzmodelle für klassische Gebäudesimulationen zu entwickeln. Diese Modelle sollen in der Lage sein, Heizwärmebedarfe einzelner Gebäude oder ganzer Stadtgebiete mit hoher Genauigkeit vorherzusagen, während sie gleichzeitig signifikant schneller als vollständige Simulationen Ergebnisse liefern können. Dies ermöglicht unter anderem eine explorative Bewertung einer Vielzahl von Entwicklungspfaden städtebaulicher und energetischer Art.

##### **Datengrundlage und Simulationsoutput**

Als Ausgangsbasis für das Training und die Validierung der Prognosemodelle dient der umfangreiche Datensatz (ca. 15 Mio. Simulationsvarianten) aus gebäudescharfen thermischen Simulationen, wie in Kapitel II.3.1 beschrieben, für das gesamte Berliner Stadtgebiet. Jede simulierte Gebäudeeinheit ist durch eine Vielzahl von Eingangsparametern definiert, wie die im Folgenden aufgelistet sind:

- Baujahr
- Sanierungsvariante
- ALKIS-Schlüssel
- Gebäudetyp
- Grundfläche
- Außenwandfläche gesamt
- Geteilte Wandfläche gesamt
- Dachfläche gesamt
- Bruttovolumen
- Beheiztes Volumen
- Verhältnis Hüllfläche zu Volumen
- Beheizte Fläche
- Jährlicher Heizwärmebedarf
- Klimajahr
- Klimaszenario
- U-Wert der Fenster in Außenwänden
- Fensterflächenanteil an den Außenwänden
- U-Wert der Außenwände
- U-Wert der erdberührten Bauteile
- U-Wert des Steildachs
- U-Wert der Dachfenster
- Fensterflächenanteil am Steildach
- U-Wert der obersten Geschossdecke

Die resultierenden Outputgrößen umfassen den jährlichen Heizwärmebedarf ohne Warmwasserbereitung (in kWh/a) sowie daraus abgeleitete spezifische Bedarfe (z.B. in kWh/m<sup>2</sup>a). Die simulierten Daten wurden in einer relationalen Datenbank gespeichert und bilden die Grundlage für das Training der KI-Modelle.

### **Konzeption und Aufbau der Prognosemodelle**

Das Ziel des KI-gestützten Ansatzes bestand darin, ein Modell zu entwickeln, das auf Grundlage einer Reihe von Gebäudemerkmale (Features) den zu erwartenden Heizwärmebedarf (Output) prognostizieren kann. Als Modellarchitektur wurde ein vollständig verbundenes neuronales Netz (Feedforward Neural Network, FNN) verwendet, implementiert mit Hilfe von TensorFlow/Keras. Diese Wahl erlaubt ein hohes Maß an Flexibilität bei der Modellgestaltung und ist insbesondere gut geeignet, um nichtlineare Zusammenhänge zwischen Eingabeparametern und Zielwerten zu modellieren.

Die Modellierung umfasst im Wesentlichen zwei Hauptphasen: das Training (Python-Skript `main_train.py`) und das Testen bzw. Evaluieren (Python-Skript `main_test.py`) der Modelle. In der Trainingsphase wird das neuronale Netz auf einen repräsentativen Teil des Datensatzes trainiert. Dabei werden die optimalen Gewichtungen und Bias-Werte der einzelnen Neuronen durch Minimierung eines Fehlermaßes (zumeist Mean Squared Error, MSE) mittels Backpropagation erlernt. Die Testphase hingegen validiert die generalisierende Fähigkeit des trainierten Modells auf bislang ungesehenen Daten.

### **Vorverarbeitung und Feature Engineering**

Eine wesentliche Rolle für den Erfolg datengetriebener Methoden spielt die Datenvorverarbeitung. Im konkreten Anwendungsfall wurde ein umfangreiches Preprocessing durchgeführt, das unter anderem folgende Schritte umfasste:

- Bereinigung der Datensätze von fehlerhaften, unplausiblen oder irrelevanten Einträgen,
- Entfernung von NaN-Werten sowie unnötigen Spalten (z. B. konstanten oder redundanten Features),
- Trennung in Trainings- und Testdatensätze entlang definierter Gebäudekategorien (z. B. nach beheizter Fläche, Nutzungstyp),
- Kodierung kategorialer Variablen via One-Hot-Encoding (z. B. Gebäudetyp, Baualtersklasse),
- Standardisierung numerischer Merkmale durch z-Transformation auf Basis von Mittelwert und Standardabweichung der Trainingsdaten,
- Sicherstellung konsistenter Feature-Reihenfolge und -struktur zwischen Trainings- und Testdaten.

### **Modellstruktur und Trainingsstrategie**

Die konkrete Netzarchitektur wurde in der Modul Umgebung parametrierbar gestaltet, sodass verschiedene Kombinationen aus Layer-Anzahl, Neuronenzahl je Layer, Aktivierungsfunktionen (z. B. ReLU), Optimierern (z. B. Adam) und Regularisierungsmethoden (z. B. Dropout, L2) getestet werden konnten. Die Hyperparameter wurden in iterativen Runs mit manuellem Tuning sowie teilautomatisierter Optimierung variiert. Das Modelltraining erfolgte jeweils auf 8 Subgruppen des Gesamtbestands, unterteilt nach Gebäudenutzung und

Größe (4 Modelle für Wohngebäude und 4 Modelle für Nichtwohngebäude, unterteilt in vier unterschiedliche Größenklassen), um eine stärkere Spezialisierung der Modelle auf unterschiedliche Gebäudetypen bzw. -größe zu ermöglichen. Abbildung 39 zeigt den Verlauf des Trainingsprozesse der 8 neuronalen Netzwerkmodelle.

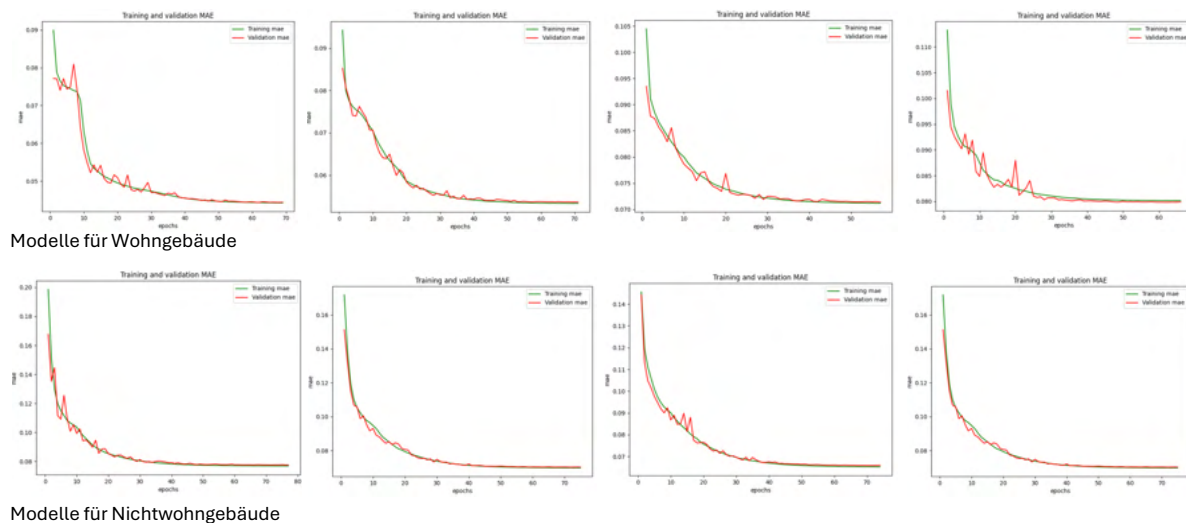


Abbildung 39: Trainingsverlauf der 8 neuronalen Netzwerkmodelle (dargestellt ist die Minimierung des mittleren absoluten Fehlers MAE)

## Evaluierung und Modellgüte

Nach erfolgreichem Training wurden die neuronalen Netzwerkmodelle auf unabhängigen Testdatensätzen evaluiert. Dazu wurde der standardisierte Output des Netzes mittels gespeicherter Mittelwert-/Standardabweichungspaare zurücktransformiert, sodass tatsächliche Prognosewerte des Heizwärmebedarfs (in kWh/a) vorlagen. Zur Beurteilung der Modellgüte wurden verschiedene Metriken herangezogen, u. a.:

- Mean Absolute Error (MAE),
- Mean Absolute Percentage Error (MAPE),
- spezifischer absoluter Fehler (kWh/m<sup>2</sup>a),
- Histogramme der Fehlerverteilungen,
- Scatterplots von Soll- vs. Ist-Werten (mit Farb-Codierung optionaler Einflussgrößen).

Zusätzlich wurden die Fehlerkennwerte aggregiert nach Gebäudetypen (z. B. Wohngebäude vs. Nichtwohngebäude) und Flächenklassen analysiert. Dies ermöglichte eine gezielte Identifikation systematischer Abweichungen und eine mögliche Nachjustierung der Trainingsgruppen oder Features. Insbesondere zeigte sich, dass bei Nichtwohngebäuden aufgrund stärker heterogener Nutzungsmuster größere Fehlerbereiche auftraten als bei Wohngebäuden.

Die acht neuronalen Netzwerkmodelle sind in der folgenden Tabelle aufgelistet. Sie unterscheiden sich nach der Größe der beheizten Fläche und ob es sich um Wohn- oder Nichtwohngebäude handelt:

Tabelle 26: Die acht neuronalen Netzwerkmodelle des KI-Prognosemodells von EnergyMap Berlin

Name des Modells	Beheizte Fläche in m <sup>2</sup>	
WG-1	> 30	≤ 300
WG-2	> 300	< 1500
WG-3	≥ 1500	≤ 3000
WG-4	> 3000	
NWG-1	> 30	≤ 1000
NWG-2	> 1000	< 5000
NWG-3	≥ 5000	≤ 20000
NWG-4	> 20000	

Die nachfolgenden Balkendiagramme verdeutlichen diese Zusammenhänge visuell und erlauben einen schnellen Vergleich der Modellgüte entlang der Gebäudetypen und -größenklassen. Hellorange Balken sind Trainingsergebnisse und Dunkelorange sind Testergebnisse von Wohngebäuden. Dementsprechend sind hellblaue Balken sind Trainingsergebnisse und Dunkelblaue sind Testergebnisse von Nichtwohngebäuden.

- Abbildung 40: Anzahl verschiedener Gebäude für das Training und Testen pro Modell
- Abbildung 41: Absoluter Fehler in Prozent pro Modell
- Abbildung 42: Spezifischer absoluter Fehler [kWh/(m<sup>2</sup>·a)] pro Modell

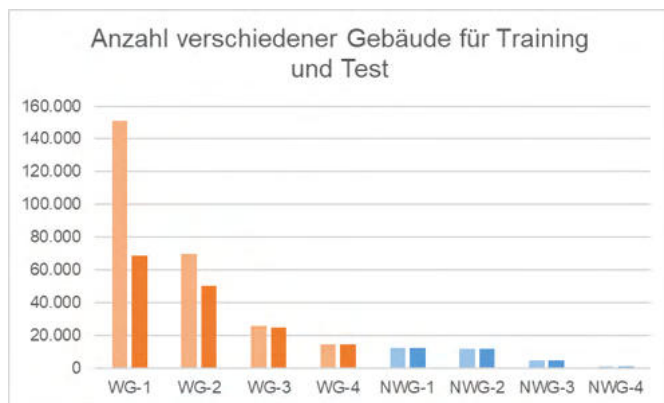


Abbildung 40: Anzahl der Trainingsdaten pro Gebäudekategorie der unterschiedlich großen Wohn- und Nichtwohngebäude

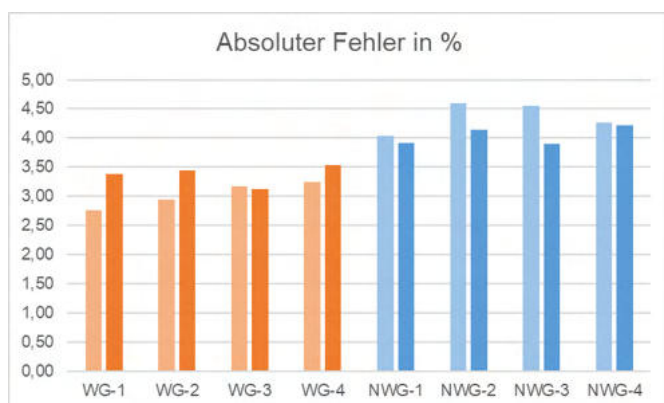


Abbildung 41: Prognosegüte in Prozent des absoluten Heizwärmebedarfs (kWh/a) pro Gebäudekategorie der unterschiedlich großen Wohn- und Nichtwohngebäude

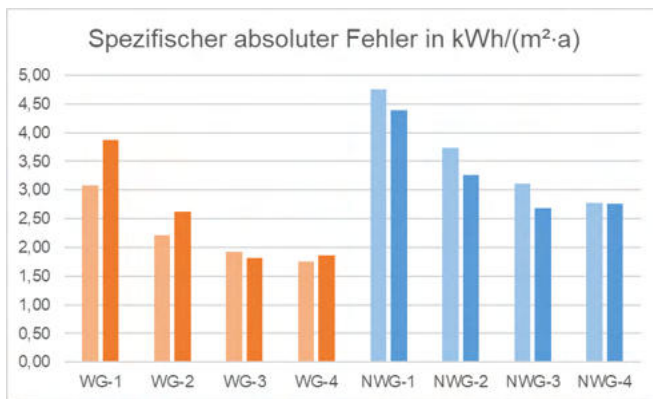


Abbildung 42: Prognosegüte in Prozent des spezifischen Heizwärmebedarfs (kWh/m<sup>2</sup>a) pro Gebäudekategorie der unterschiedlich großen Wohn- und Nichtwohngebäude

Die Ergebnisse zeigen eine gute Modellgüte über nahezu alle Klassen hinweg, wobei die Fehlerkennwerte erwartungsgemäß mit zunehmender Gebäudegröße tendenziell sinken. So erreicht das Modell WG-4 (Wohngebäude mit mehr als 3.000 m<sup>2</sup>) den niedrigsten spezifischen absoluten Fehler von 1,86 kWh/(m<sup>2</sup>·a) bei einem absoluten Fehler von 3,54 Prozent. Die hohe Anzahl von Trainingsdaten und relativ homogene Strukturen größerer Wohngebäude wirken hier offenbar stabilisierend.

Für kleinere Wohngebäude (WG-1, ≤ 300 m<sup>2</sup>) fällt der spezifische Fehler mit 3,88 kWh/(m<sup>2</sup>·a) höher aus, was auf die größere Varianz innerhalb dieser Gebäudeklasse zurückzuführen sein dürfte. Dennoch bleibt auch hier der absolute Fehler mit 3,38 Prozent im moderaten Bereich.

Deutlich höhere Fehlerwerte treten bei Nichtwohngebäuden auf. Das Modell NWG-1 (≤ 1.000 m<sup>2</sup>) erreicht einen spezifischen Fehler von 4,39 kWh/(m<sup>2</sup>·a) bei einem absoluten Fehler von 3,91 Prozent. Dieser Trend setzt sich auch bei größeren Klassen fort, wenngleich sich mit zunehmender beheizter Fläche die Fehlerkennwerte leicht verbessern – NWG-4 (> 20.000 m<sup>2</sup>) weist einen spezifischen Fehler von 2,76 kWh/(m<sup>2</sup>·a) bei 4,22 Prozent absolutem Fehler auf. Die im Vergleich zu Wohngebäuden höhere Heterogenität der Nutzung sowie komplexere Energieprofile erschweren hier offenbar die Modellierung.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die entwickelten Modelle insbesondere für Wohngebäude eine hohe Vorhersagequalität erreichen. Für Nichtwohngebäude bestehen größere Herausforderungen, deren Ursachen vorrangig in der Nutzungskomplexität und kleineren verfügbaren Trainingsmengen liegen. Dennoch liefern auch diese Modelle tragfähige Prognosen, die im Rahmen von strategischen Planungsprozessen wertvolle Dienste leisten können.

### Leistungsvorteile und Anwendungsmöglichkeiten

Der bedeutendste Vorteil des KI-Ansatzes gegenüber physikalisch basierten Simulationen liegt in der drastisch reduzierten Rechenzeit. Während eine einzelne thermische Simulation mehrere Minuten in Anspruch nehmen kann, liefern die trainierten Modelle Vorhersagen im Millisekundenbereich. Damit wird die Erstellung ganzer Szenarienräume (z. B. Variationen von Sanierungsmaßnahmen, Temperaturverläufen, baulichen Nachverdichtungen) in sehr kurzer Zeit möglich - ein entscheidender Vorteil für Entscheidungsunterstützungssysteme in Stadtentwicklungsprozessen.

Darüber hinaus eröffnen sich durch die Modelle vielfältige Anwendungsmöglichkeiten:

- flächendeckende Bedarfsanalysen im Rahmen von Wärmeplanung,
- Echtzeit-Evaluierung von Sanierungsoptionen in digitalen Zwillingen,
- Integration in interaktive Webapplikationen zur Unterstützung von Energieberatern oder Planungsämtern,
- Einsatz in sektorübergreifenden Optimierungsansätzen (z. B. mit Geothermie-, Kältebedarfs- oder Strom- und Mobilitätsdaten).

## II.4. Digitales Wärmekataster EnergyMap Berlin

Für die Publikation von Daten aus dem Forschungsvorhaben wird ein separater Webserver von der UdKB betrieben, welcher allein dem Zweck dient, die zur Veröffentlichung vorgesehenen Daten und Dienste bereitzustellen. Dadurch ist auf Hardware-Ebene eine Hürde vorhanden, sodass keine versehentlichen Zugriffe auf ggf. nicht veröffentlichungsfähige Daten geschehen können.

Der Webserver stellt die Webseite <https://energymap-berlin.de> sowie die EnergyMap Berlin als Webapp unter <https://energymap-berlin.de/map> bereit. Technische Systeme des Backends, die Publikationsdatenbank und ein Geoserver werden ebenfalls von diesem Server bereitgestellt. Abbildung 43 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** gibt einen Überblick über die Server-Dienste des Publikationsserver (weiße Box) in Zusammenhang mit den Systemen des Forschungsserver (gelbe Box) und der Client-Geräte der Endnutzer:innen (rosa Box).

### II.4.1. Webseite und Web-Applikation EnergyMap Berlin

Die Webseite (<https://energymap-berlin.de>) des Projektes ist als erste Anlaufstelle für das Forschungsvorhaben gedacht. Hier finden Interessierte Information zum Projekt, Neuigkeiten zu Veranstaltungen und den Zugriffslink für die Webapplikation. Daneben werden FAQs beantwortet und Kontaktmöglichkeiten gegeben.

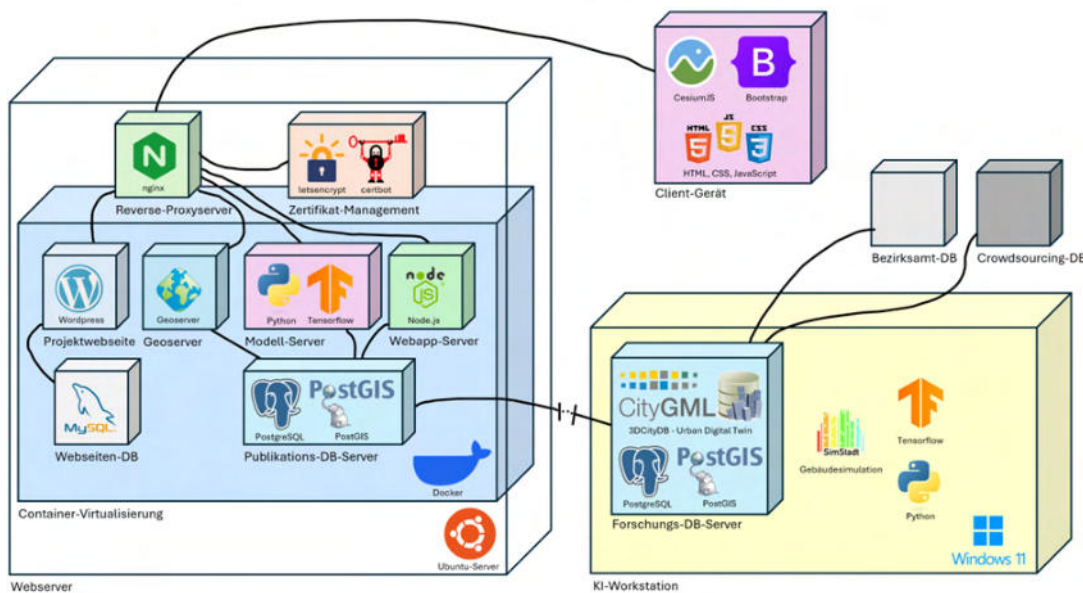


Abbildung 43: Überblick der technisch notwendigen Server-Systeme für die EnergyMap Berlin

Die technische Umsetzung der Webseite wird von der UdKB auf dem für die Publikation vorgesehenen Webserver durchgeführt. Systeme wie sie für das Zertifikat-Management und andere Dienste benötigt werden, wurden bereits für die Projektwebseite implementiert und genutzt, um im späteren Projektverlauf auch für die Webapplikation von EnergyMap Berlin verwendet zu werden. So wurden bspw. alle Systeme wie Wordpress und eine dazugehörige Datenbank im Docker-System als Container eingerichtet. Der Webserver verfügt über einen Reverse-Proxyserver, der erlaubt Anfragen von außen auf verschiedene interne Systeme umzuleiten.

## II.4.2. Veröffentlichungsdatenbank

Die Publikationsdatenbank ist ebenfalls als Docker-Container ausgeführt. Sie kann nicht direkt über das Internet angesprochen werden, sondern nur über Abfragen von innerhalb des Netzwerks. Dies schützt die Datenbank vor vielen Gefahren für Daten und Sicherheit. Das Datenbanksystem ist identisch zu dem der Forschungsdatenbank, d.h. es wurde hier auf PostgreSQL mit PostGIS-Erweiterung aufgebaut. Um Daten in die Publikationsdatenbank zu übertragen, wird die Forschungsdatenbank nur temporär als Foreign-Data-Server eingebunden. Die Daten wurden vor der Übertragung bereits auf dem Forschungsserver vorbereitet. Sobald die Daten übertragen sind, kann die Forschungsdatenbank getrennt werden, potenziellen Zugriffe auf evtl. schutzbedürftige Daten werden somit verhindert.

Im Wesentlichen beherbergt die Veröffentlichungsdatenbank zwei Datensätze, zum einen die Daten, die für Kartendarstellungen und detaillierte Ergebnisse und Gebäudeinformationen verwendet werden. Zum anderen wird ein Datensatz vorgehalten, welcher realistische Vorschläge für Standardwerte der Gebäudeparameter enthält und im Rahmen der Anbindung des KI-Prognosemodells verwendet wird.

Der Datensatz mit vorberechneten Ergebniswerten wird für die Verwendung in der EnergyMap Berlin-Webapplikation als Karte bereitgestellt. Die Karte bzw. die Karten werden mittels dem Open Source Werkzeug Geoserver (<https://geoserver.org>) bereitgestellt. Der Geoserver wird, wie andere Serverdienste des Forschungsvorhabens, als Docker-Container auf dem Webserver betrieben. Innerhalb des Geoservers sind entsprechende Verbindungen zur Veröffentlichungsdatenbank hinterlegt. Daneben sind hier Kartenstile definiert, die ermöglichen, dass Karten in verschiedenen Farbschemata mit entsprechenden Legenden angezeigt werden können. Dies ist hilfreich, um bspw. Karten anzuzeigen, die die Gebäudealtersklasse, die Energieeffizienzklassen oder die Gebäudetypen darstellen. Um die Performance der Webapp zu erhöhen, werden innerhalb des Geoservers Karten vorbereitet und als sogenannte gecachte Kacheln auf Anfrage der Client-Geräte gesendet.

Darüber hinaus stellt der Geoserver-Karten entsprechend der gewählten Filtereinstellungen individuell für Anwender:innen bereit. Dazu wird die CQL-Sprache, welche für die verwendeten WMS-Karten definiert werden können, verwendet.

## II.4.3. Webinterface zur gebäudescharfen Prognose der Heizenergiebedarfe

Abbildung 44 zeigt einen Screenshot des Webinterfaces, welches innerhalb des Forschungsvorhabens für die Darstellung der Ergebnisdaten an der UdK Berlin entwickelt wurde. Die Webapp ist eine im Webbrowser von Anwender:innen laufende Webapplikation, die Zugriff auf die Veröffentlichungsdatenbank und die serverseitig bereitgestellten Karten ermöglicht. Anwender:innen können mittels der Webapp auch die Ergebnisdaten herunterladen.

Die Webapp erlaubt die Auswahl einzelner Gebäude oder von Gebäudegruppen. Dafür stehen Auswahlwerkzeuge zur Verfügung, die über das Zeichnen eines Polygons, einer Linie mit beliebig vielen Stützpunkten und definierbarem Abstand zur Linie oder eines Kreises mit definierbarem Radius präzise Gebäudeauswahlen ermöglichen.

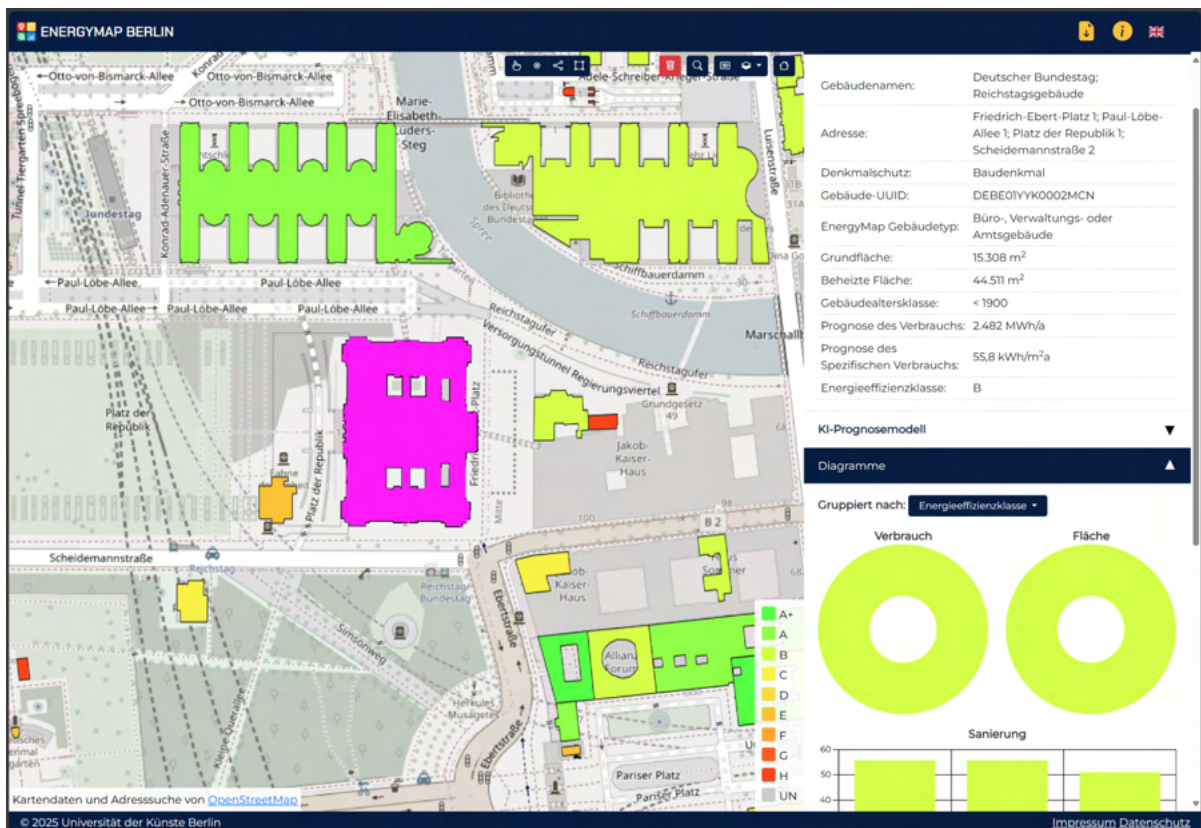


Abbildung 44: Webapp für Darstellung und Bezug von Ergebnisdaten des Forschungsvorhabens (<https://energmappberlin.de/map>)

Ausgewählte Gebäude oder Gruppen werden im rechten Teil der Webapp mit detaillierten Ergebnissen und Gebäudeinformationen versehen, dabei werden die jeweiligen Werte aggregiert (z.B. insgesamt beheizte Fläche und jährlicher Heizenergiebedarf aller ausgewählten Gebäude) für die ausgewählte Gruppe dargestellt. Diagramme zeigen die Aufteilung von Nutzflächen und prognostizierten Energieverbräuchen auf auswählbare Kategorien. Ebenso können Sanierungsszenarien für ausgewählte Gebäude betrachtet werden.

Anwender:innen können daneben ganz Berlin entsprechend frei einstellbarer Filter und Szenarien betrachten. So wird ermöglicht, dass Filter auf das angenommene Baujahr, die berechnete Energieeffizienzklasse oder den Gebäudetyp angewendet werden können. Auf diese Weise lassen sich für Anwender:innen interessante Stadtgebiete qualitativ und individuell betrachten. Gesetzte Filter können auch für die Gebäudeauswahl hilfreich sein. Abbildung 45 zeigt ein Beispiel, bei welchem alle Nichtwohngebäude der Kategorie SKB (Schule, Kindertagesstätte, sonstige Betreuungsgebäude) auf der Karte angezeigt werden, welche nach 1990 erbaut wurden.

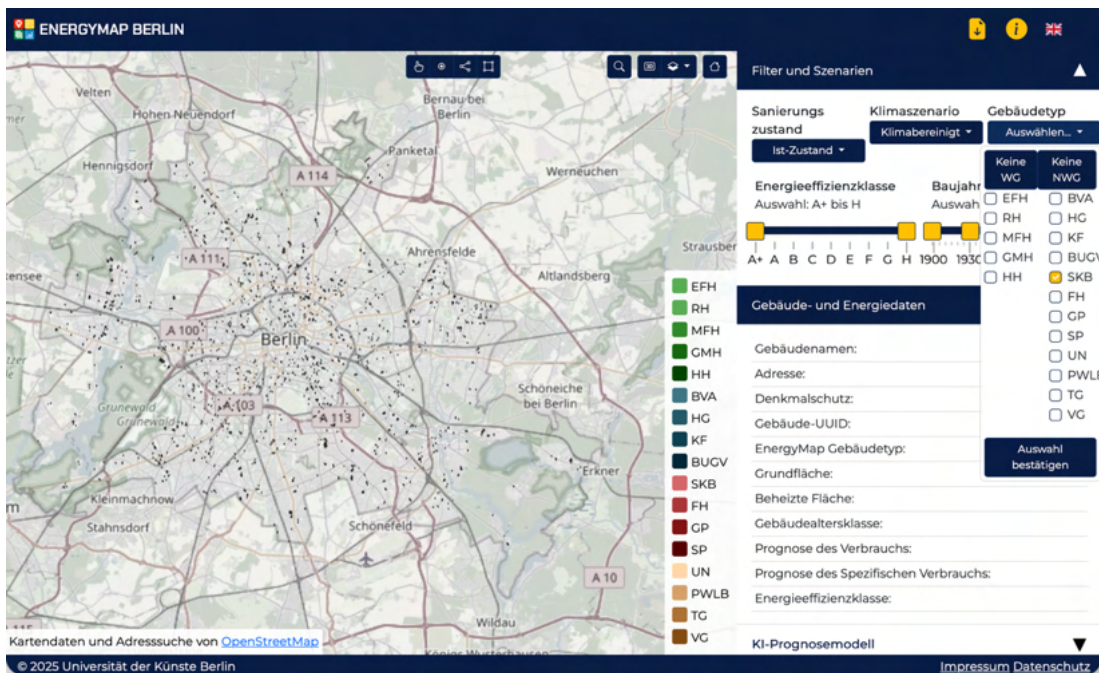


Abbildung 45: Filterfunktionen der Webapp von EnergyMap Berlin

Die Webapp lässt darüber hinaus zu, dass der Grunddatensatz der Karte verändert wird. Dazu können drei verschiedene Annahmen für den Sanierungszustand des Gebäudebestands gewählt werden („Ist-Zustand“, „verbessert“ und „erheblich verbessert“). Auch das zugrundeliegende Klimaszenario kann verändert werden, hier stehen die Szenarien „Klimabereinigt“, „RCP 2.6“ und „RCP 8.5“ zur Verfügung, die letzteren beziehen sich dabei auf Referenzszenarien aus dem 5. Sachstandsberichts des Weltklimarats IPCC. Insgesamt kann die Karte somit auf neuen verschiedene Basisdatensätze eingestellt werden.

Eine 3D-Darstellung des Gebäudebestands kann ebenfalls eingeblendet werden, siehe Abbildung 46.

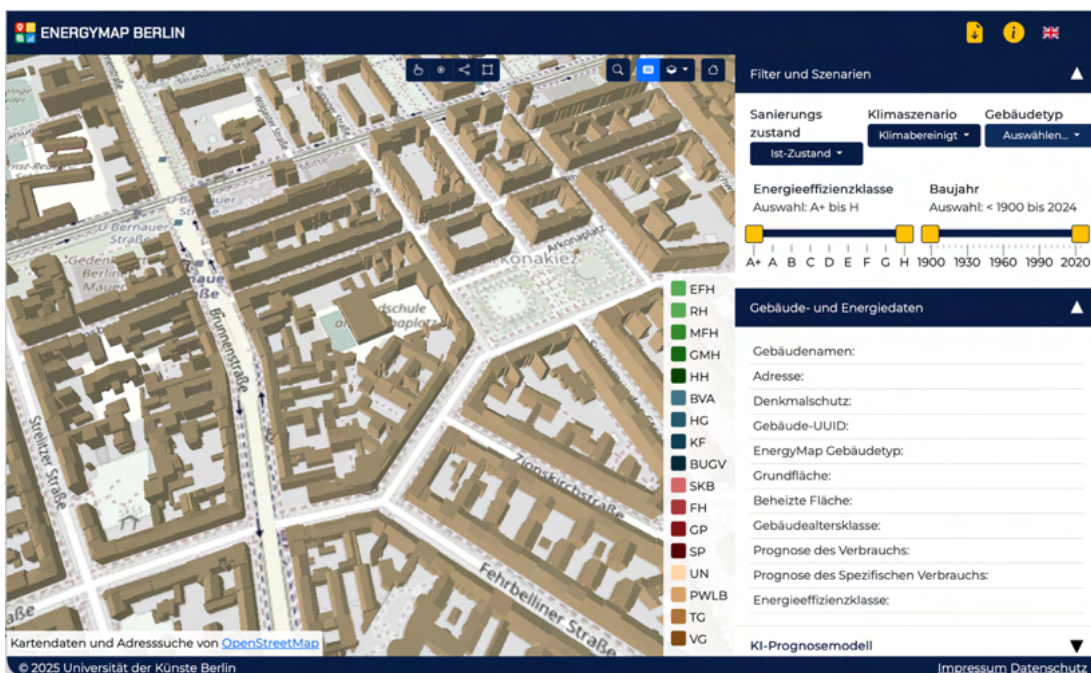


Abbildung 46: EnergyMap Berlin mit aktivierter 3D-Gebäudedarstellung

Schließlich ermöglicht die Webapp für einzelne Gebäude eine direkte Anbindung an das im Forschungsvorhaben entwickelte und trainierte KI-Prognosemodell, siehe Abbildung 47.

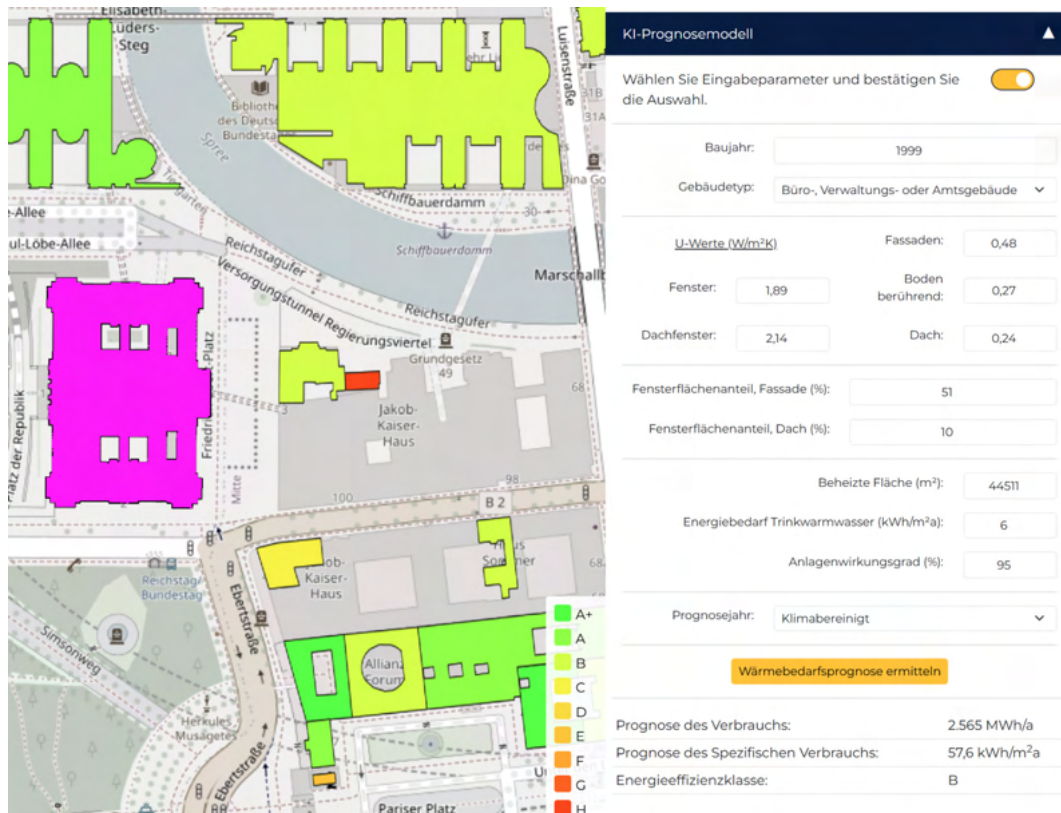


Abbildung 47: Webinterface für das KI-Prognosemodell

Mittels der Einstellmöglichkeiten können Anwender:innen Verbrauchsprognosen für genauere, ihnen vorliegende Gebäudeinformationen erhalten oder Varianten durchspielen. Dazu können das Baujahr, der Gebäudetyp, U-Werte, Fensterflächenanteile, Nutzfläche, Trinkwarmwasserbedarf und Anlagenwirkungsgrad spezifiziert und eine Klimarandbedingung gewählt werden. Die Ergebnisse der Prognose werden auch parallel zu den vorberechneten Ergebnissen dargestellt.

Bei der Entwicklung der Webapp war die Bestrebung möglichst intuitive Werkzeuge und Darstellungen zu entwickeln. Da die Bedienbarkeit aber auch von individuellen Erfahrungen und Kenntnissen abhängt, bietet die Webapp direkt zum Start ein detailliertes Erklärvideo, welches durch die gesamte Bedingung der Webapp leitet.

#### II.4.4. Anwendungsbeispiel Referenzszenarien

Es wurden insgesamt neun vorab berechnete Referenzszenarien in EnergyMap Berlin definiert, die über die Webapp auswählbar sind:

Tabelle 27: Referenzszenarien von EnergyMap Berlin

Sanierungszustand	Klimabereinigt	2040 RCP 2.6	2040 RCP 8.5
IST-Zustand	angezeigt	wählbar	wählbar
Verbessert	wählbar	wählbar	wählbar
Erheblich verbessert	wählbar	wählbar	wählbar

### **Klimabereinigt, IST-Zustand**

Dies ist das standardmäßig angezeigte Szenario in der Webapp. In diesem Szenario wird eine klimabereinigte, also eine nicht auf ein bestimmtes Jahr bezogene, Prognose des Heizwärmebedarfs für einen hypothetischen Sanierungszustand gegeben. Dieser hypothetische Sanierungszustand ist eine Annahme auf Basis typischer energetischer Verbesserungen für Altbauten bis einschließlich 1983, wobei bei Ein- und Zweifamilienhäusern eine konventionelle energetische Sanierung unterstellt wird (Annahme: dieser Gebäudetyp befindet sich überwiegend im Wohneigentum, was zu einer früheren Sanierungsaktivität führt) und bei Mehrfamilienhäusern lediglich der Austausch der Fenster erfolgt ist (Annahme: dieser Gebäudetyp ist in Berlin mehrheitlich vermietet oder im Besitz von Wohnungseigentümergeinschaften, was zu einer verzögerten Sanierungsaktivität führt). Wohngebäude ab Baujahr 1984 gelten als unsaniert, erfüllen jedoch aufgrund der damals gültigen Bauvorschriften bereits höhere energetische Standards. Für Nichtwohngebäude wurden Mittelwerte je Gebäudegruppe angesetzt.

### **Verbessert und erheblich verbessert**

Weiterhin lässt sich wählen zwischen einem verbessern und erheblich verbessern Sanierungszustand. Bei dieser Auswahl wird die Prognose des Heizwärmebedarfs für einen verbesserten, d.h. „konventionell“ energetisch sanierten oder für einen erheblich verbesserten, d.h. „gut“ energetisch sanierten Zustand angezeigt.

### **2040 RCP 2.6 und RCP 8.6**

Zudem gibt es bei den Referenzszenarien noch die Auswahl zwischen dem optimistischen RCP 2.6 und dem pessimistischen RCP 8.5 Szenario für das Jahr 2040. RCP steht für "Representative Concentration Pathway" – also eine Art repräsentativer Verlauf für den Anstieg von Treibhausgasen in der Atmosphäre. RCP 2.6 ist sehr schwer zu erreichen, weil es schnelle politische Maßnahmen, Technologie-Umstellungen und globales Handeln braucht. Wohingegen RCP 8.5 manchmal auch als das "*business-as-usual*" Szenario beschrieben wird - also so, als würde es weitergehen wie bisher, ohne eine ambitionierte Klimaschutzpolitik.

#### **II.4.5. Anwendungsbeispiel Nutzerinteraktion**

Am Beispiel eines Gründerzeitaltbaus (Baujahr 1905) aus dem Berliner Bezirk Pankow sollen die Möglichkeiten zur Nutzerinteraktion beim dem KI-Prognosemodell für den Heizwärmebedarf demonstriert werden (vgl. Abbildung 48). Für dieses Gebäude liegen jährliche Heizkostenabrechnungen der Jahre 2010 bis 2022 vor.

Die Datenbank von EnergyMap Berlin enthält für das betrachtete Gebäude ein Datensatz mit statistisch wahrscheinlichen Gebäude- und Anlagenparametern (vgl. Tabelle 28 mittlere Spalte), dem ein mit SimStadt vorberechneter klimabereinigter jährliche Heizwärmebedarf inkl. Warmwasserbereitung zugewiesen ist. Auf Grund des Nutzerwissens über das Gebäude (ausgebautes Dachgeschoss, genaue beheizte Fläche und Wärmebedarf zur Warmwasserbereitung aus der Heizkostenabrechnung, Wissen um den Typ „Gasbrennwertkessel“ der Heizungsanlage) wurde vier Eingabeparameter des Prognosemodells durch Nutzerinteraktion angepasst (Tabelle 28, rechte Spalte, Parameter fett hervorgehoben.)



Abbildung 48: Berliner Altbau mit ausgebautem Dachgeschoss, für welchen zusätzliche Gebäudeinformationen und langjährige Energieverbrauchsmessungen vorliegen

Tabelle 28: Parametersatz für das Altbaugebäude aus Abbildung 51. Links: statistisch wahrscheinlicher Parametersatz aus der EnergyMap Berlin-Datenbank, rechts: veränderter Parametersatz auf Grund zusätzlichen Nutzerwissens

Parameter	statistisch Parametersatz	wahrscheinlicher	durch zusätzliches Nutzerwissen veränderter Parametersatz
Baujahr	1905		1905
Gebäudetyp	GMH		GMH
U-Wert Fassade W/m <sup>2</sup> K	1,67		1,67
Fensterflächenanteil Fassade in Prozent	31		31
U-Wert Fassadenfenster W/m <sup>2</sup> K	1,3		1,3
<b>U-Wert Dach W/m<sup>2</sup>K</b>	1,66		<b>0,25</b>
Fensterflächenanteil Dach in Prozent	10		10
U-Wert-Dachfenster W/m <sup>2</sup> K	1,3		1,3
U-Wert Bodenplatte W/m <sup>2</sup> K	1,12		1,12
<b>Beheizte Fläche m<sup>2</sup></b>	1713		<b>1855</b>
<b>Spezifischer WW-Bedarf kWh/m<sup>2</sup>a</b>	11		<b>32</b>
<b>Nutzungsgrad Heizungsanlage</b>	93		<b>96</b>

Abbildung 49 zeigt einen Vergleich zwischen den gemessenen jährlichen Endenergieverbräuchen (Erdgas) aus den Heizkostenabrechnungen und den vom Prognosemodell berechneten Endenergiebedarfswerten. Durch das durch Nutzerinteraktion zusätzlich eingebrachte Nutzerwissen verringert sich der klimabereinigte jährliche Bedarfswert zunächst um ca. 6 Prozent von 244 MWh/a auf 230 MWh/a. Das Prognosemodell zeigt für alle Jahre etwas höhere Bedarfswerte, mit einem Maximalwert von plus 36 Prozent im Jahr 2012 einem Minimalwert von plus 2 Prozent im Jahr 2016 und im Durchschnitt der Jahre 2010 bis 2022 von plus 15 Prozent.

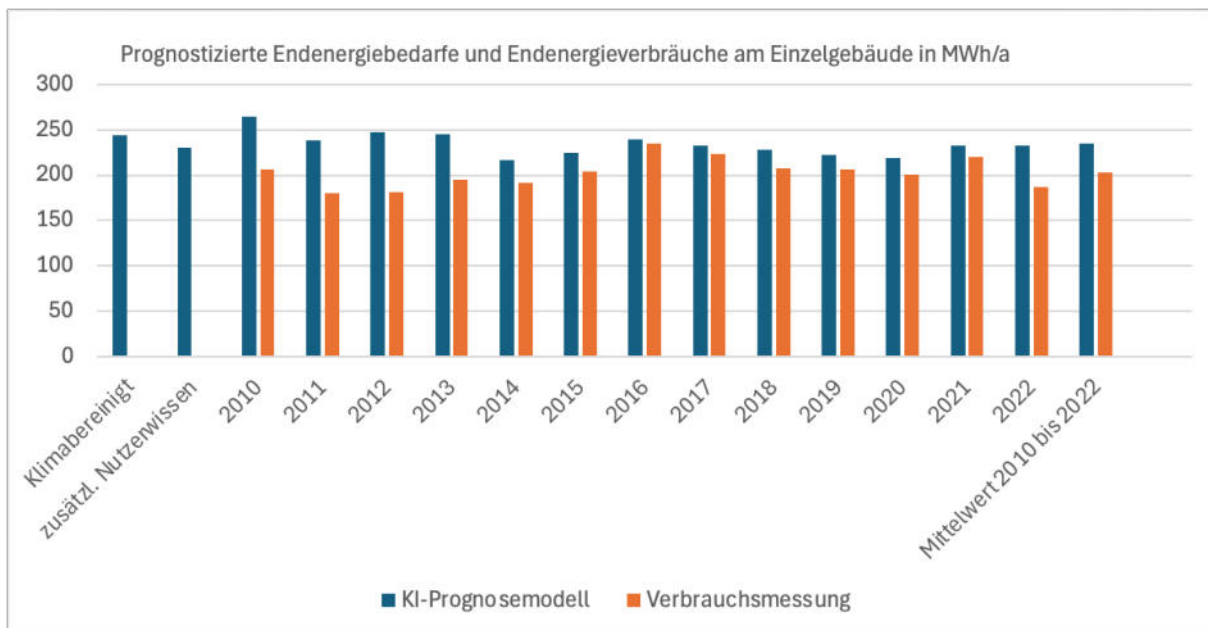


Abbildung 49: Prognostizierte Energiebedarfe und Verbrauchsdaten für den Gründerzeitaltbau der Jahre 2010 bis 2022

#### II.4.6. Verlinkungen zu Geoportalen

In der WebApp von EnergyMap Berlin wurde in Kooperation mit der Berliner Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe eine gegenseitige Verlinkung mit dem Energieatlas Berlin (<https://energieatlas.berlin.de>) realisiert. Wird von der Nutzer:in ein Einzelgebäude oder eine Gebäudegruppe in der Karte von EnergyMap Berlin selektiert, führt der Link zum Energieatlas Berlin genau an den gleichen Ort dessen Karte, wo die Zusatzinformationen zu lokalen Möglichkeiten der Energieversorgung angezeigt werden können (vgl. Abbildung 50).

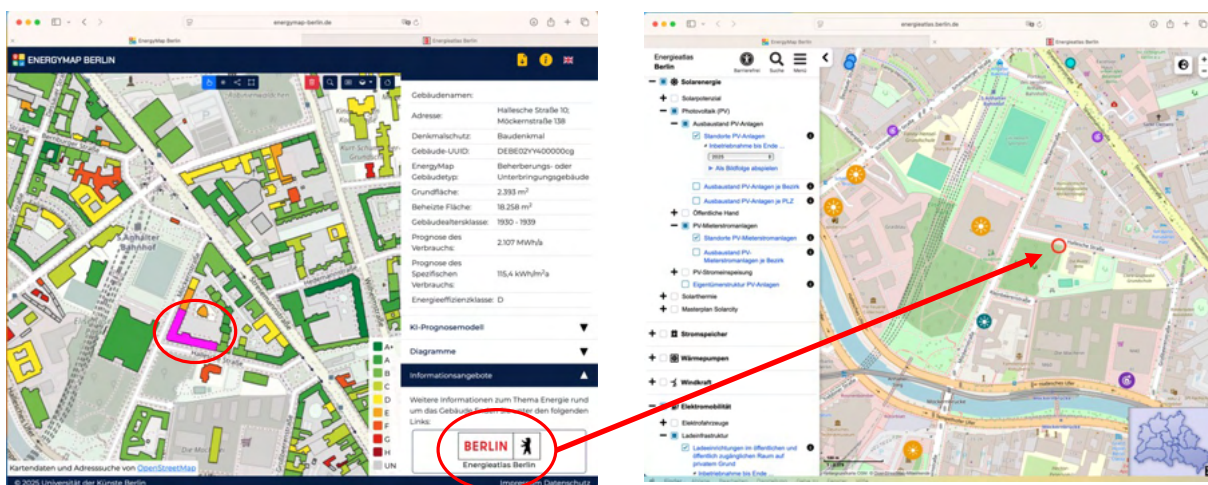


Abbildung 50: Verlinkung von EnergyMap Berlin mit dem mit dem Energieatlas Berlin: Nach Auswahl eines Gebäudes in der WebApp von EnergyMap Berlin (links) führt die Verlinkung zum gleichen Gebäude auf der Karte des Energieatlas Berlin (rechts). Dort können dann Zusatzinformationen zu verschiedenen Themen der Energieversorgung (PV, Solarthermie, Ladepunkte, BHKW, ...) in der Gebäudeumgebung angezeigt werden.

Umgekehrt kann durch die Nutzer:in innerhalb des Energieatlas Berlin ein Kartenlayer aktiviert werden, welcher für die drei Standardszenare „wahrscheinlicher IST-Zustand“, „verbesserter Gebäudezustand“ und „erheblich verbesserter Gebäudezustand“ die in EnergyMap Berlin berechneten gebäudescharfen Prognosewerte anzeigt (vgl. Abbildung 51). Ist im Energieatlas

Berlin auf diesem Layer ein Einzelgebäude selektiert, kann die Nutzer:in durch einen weiteren Link zu dem gleichen Gebäude in der WebApp von EnergyMap Berlin wechseln und dort z.B. mit dem KI-Prognosemodell durch Anpassung der Eingabeparameter eine vertiefende gebäudescharfe energetische Bedarfsanalyse vornehmen.

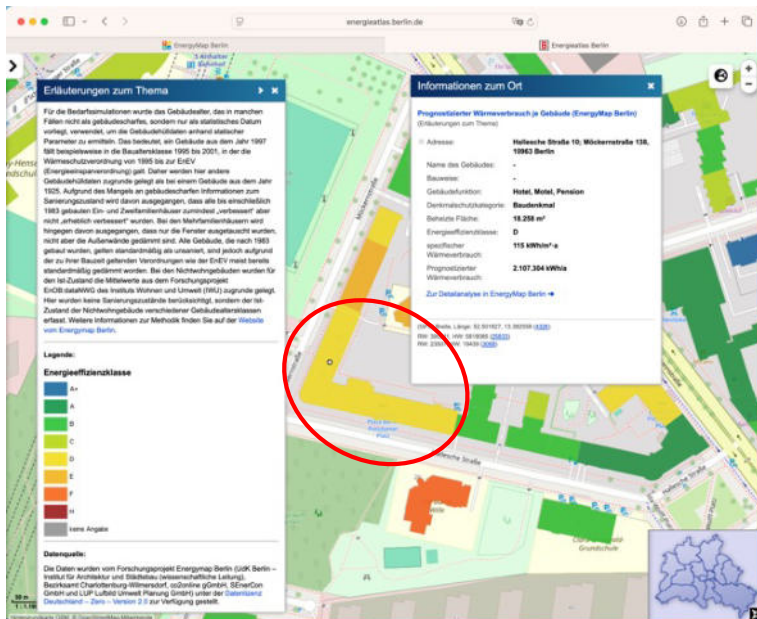


Abbildung 51: Kartendarstellung des Energieatlas Berlin mit den in EnergyMap Berlin berechneten gebäudescharfen jährlichen Endenergiebedarfen für Heizen und Warmwasserbereitung

## II.5. Übertragbarkeit auf andere Kommunen

Im Rahmen des Forschungsvorhaben sollte die prinzipielle Übertragbarkeit der für EnergyMap Berlin entwickelten Methode zur Prognose der gebäudescharfen Heizwärmebedarfe auf Kommunen in anderen Bundesländern untersucht werden. Dies wurde exemplarisch anhand der Kommune Michendorf in Brandenburg durchgeführt. Die amtsfreie Gemeinde Michendorf liegt im Osten des Landkreises Potsdam-Mittelmark südlich von Potsdam (vgl. Abbildung 52). Michendorf gliedert sich in den innerhalb des Berliner Autobahnringes gelegene Gemeindeteil mit den Ortsteilen Wilhelmschorst, Michendorf und Langerwisch sowie den südlich gelegenen, kleineren Ortsteilen Wildenbruch, Fredsdorf und Stücken. Die Gemeinde hatte am 31.12.2024 13.708 Einwohner.

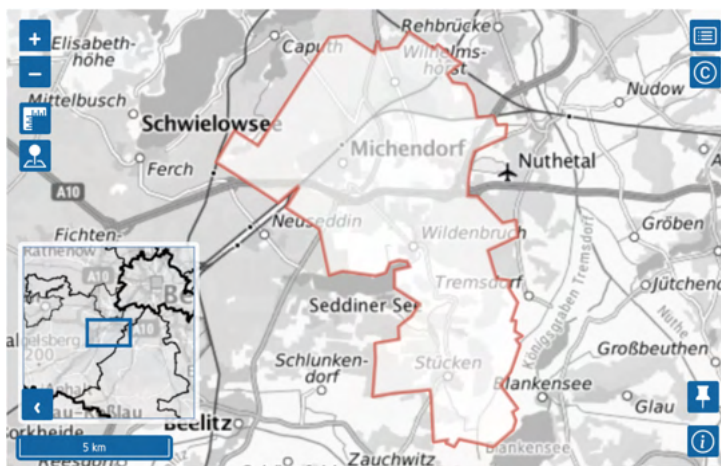


Abbildung 52: Gemeinde Michendorf mit ihren Gemeindegrenzen (Quelle: energieportal-brandenburg.de)

Der Gebäudebestand von Michendorf umfasste am 31.12.2024 insgesamt 4.832 Gebäude, und setzte sich aus 4.611 Wohngebäuden, 142 Nichtwohngebäuden und 79 Industriegebäuden zusammen. Von diesen Gebäuden befanden sich 30 Prozent im unsanierten, 52 Prozent im teilsanierten und 8 Prozent im vollsanierten Zustand. Bei 10 Prozent der Gebäude handelt es sich um Neubauten (Quelle: energieportal-brandenburg.de).

Zur Überprüfbarkeit der Übertragbarkeit der EnergyMap-Methode wurden folgende Einzelschritte vollzogen:

- Zusammenstellung der Datengrundlage
- Durchführung der Bedarfssimulationen mit SimStadt
- Vergleich der prognostizierten gebäudescharfen Heizwärmebedarfe mit Verbrauchsdaten

### Zusammenstellung der Datengrundlage

Wie im Land Berlin liegen auch in Brandenburg flächendeckend LoD2-CityGML-Modelle ([https://data.geobasis-bb.de/geobasis/daten/3d\\_gebaeude/lod2\\_gml/](https://data.geobasis-bb.de/geobasis/daten/3d_gebaeude/lod2_gml/)) und ALKIS-Informationen aus dem amtlichem Liegenschaftskataster (<https://geoportal.brandenburg.de>) vor, welche im ersten Schritt gebäudescharf für den Gebäudebestand der Gemeinde Michendorf zusammengeführt wurden. Im Vergleich zu Berlin sind in Michendorf Gebäudealter in digitaler Form lediglich in Form von Zensus-Daten mit einer anteiligen Verteilung der Baualtersklassen mit einer Auflösung von 100 m x 100 m vorhanden, weshalb jedem Einzelgebäude von Michendorf die Baualtersklasse mit dem höchsten Anteil im zugehörigen statistischen ZENSUS-Raster zugewiesen wurde. Die Gebäudenutzung wurde gebäudescharf den ALKIS-Gebäudeinformationen entnommen. Abbildung 53 zeigt exemplarisch für das Zentrum von Michendorf die so erhaltene gebäudescharfe Zuweisung der Baualtersklassen sowie der Gebäudenutzung.

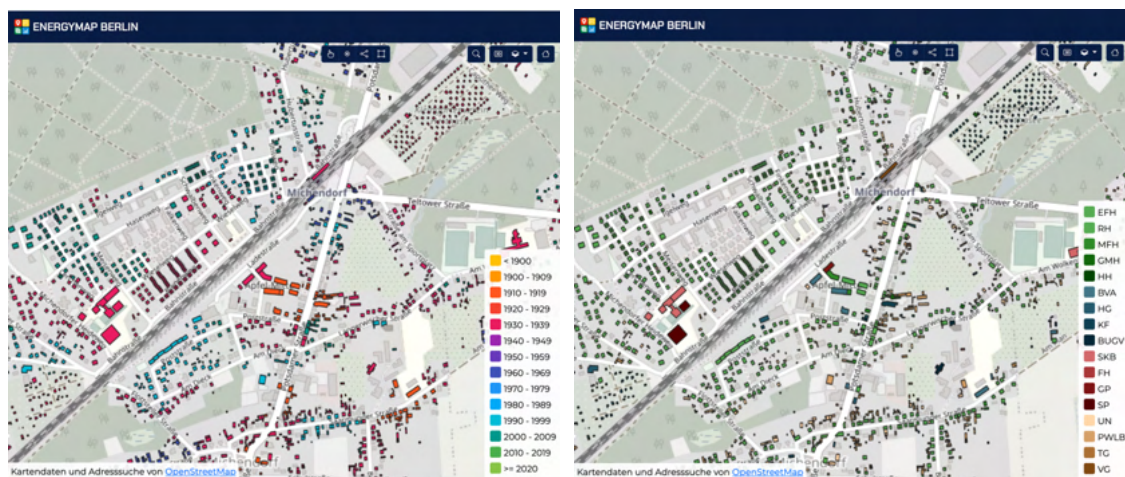


Abbildung 53: genutzte Baualtersklassen und Gebäudenutzungen für die Fallstudie Michendorf (Ausschnitt für das Zentrum der Gemeinde)

Nachdem auf gleiche Weise für den Gebäudebestand von Berlin auch für Michendorf die LoD2-CityGML-Modelle und ALKIS-Informationen gebäudescharf algorithmisch zusammengeführt wurden, ergab sich nach Abzug unbeheizter und nicht eindeutig definierter Gebäudeobjekte ein Datensatz von insgesamt 4.222 Gebäuden (ca. 600 Gebäude weniger als im energieportal-brandenburg.de verzeichnet). Bei 3.431 dieser Gebäude handelt es sich um Wohngebäude, bei dem Rest um Nichtwohngebäude.

## Durchführung der Bedarfssimulationen mit SimStadt

Ausgehend von der beschriebenen Datengrundlage wurden für den gesamten Gebäudebestand von Michendorf analog wie für Berlin mit SimStadt Simulationen zur gebäudescharfen Bestimmung des Heizwärmebedarfs für den statistisch wahrscheinlichen Ist-Zustand sowie einen verbesserten und erheblich verbesserten energetisch sanierten Zustand durchgeführt, und zwar jeweils für die Varianten „klimabereinigt“ und „RCP 2.6“ sowie „RCP 8.5“ (Klimawandelszenarien).

## Vergleich der prognostizierten gebäudescharfen Heizwärmebedarfe mit Verbrauchsdaten

Für den Gebäudebestand von Michendorf liegen keine gebäudescharfen Verbrauchswerte vor. Das energieportal-brandenburg.de liefert für die einzelnen Kommunen in der höchsten Auflösung aggregierte Endenergie-Verbrauchswerte auf Flur-Ebene für das Jahr 2022, wobei diese nach den Endenergiearten Wärme aus Verteilnetzen, Feste Biomasse, Gas, Kohle Öl, Strom aufgeschlüsselt sind. Für einen Vergleich von Verbrauchswerten mit den Prognosewerten von EnergyMap Berlin wurde wie folgt verfahren:

- Witterungsbereinigung (Faktor 1,13) der auf die Flure bezogenen Endenergieverbräuche des Jahres 2022 in Michendorf (Jahresmitteltemperatur Michendorf (Sept. bis Mai): 7,99 °C
- Aggregation der von EnergyMap Berlin berechneten witterungsbereinigten gebäudescharfen Endenergie-Prognosewerte für die gleichen Flurstücke

In Tabelle 29 werden exemplarisch für die sieben bebauten Flure des Michendorfer Ortsteils Wilhelmshorst die witterungsbereinigten Endenergieverbräuche und die über EnergyMap Berlin berechneten witterungsbereinigten Endenergiebedarfswerte gegenübergestellt:

*Tabelle 29: Prognostizierte Endenergiebedarfe durch EnergyMap Berlin und Endenergieverbräuche (Verbrauchswerte aus energieportal-brandenburg.de in MWh/a) für die Flure des Ortsteils Wilhelmshorst der Kommune Michendorf*

Flur	Gebäudeanzahl 2022	Endenergieverbrauch 2022 in MWh/a*	Endenergieverbrauch 2022 witterungsbereinigt MWh/a	Endenergiebedarf EMB witterungsbereinigt MWh/a	Verhältnis Bedarf zu Verbrauch
Flur 001	248	1.551	1.753	1.625	0,927
Flur 002	165	2.507	2.833	1.735	0,612
Flur 003	237	3.683	4.161	3.528	0,848
Flur 004	132	2.246	2.538	2.603	1,025
Flur 005	248	3.532	3.992	3.673	0,920
Flur 006	64	794	897	924	1,030
Flur 009	77	1.187	1.341	2.067	1,541
<b>Summe OT Wilhelmshorst</b>	<b>1.171</b>	<b>15.500</b>	<b>17.515</b>	<b>16.155</b>	<b>0,922</b>

Der Vergleich zeigt das auf Ebene der einzelnen Flure der Verbrauch einmal um fast 40 Prozent unterschätzt und einmal über 50 Prozent überschätzt wird. Bei fünf der sieben Flure liegt jedoch die Bedarfsberechnung max. 15 Prozent neben den Verbräuchen, auf der Ortsteilebene, auf der sich die Schwankungen durch die Mittelwertbildung ausgleichen, liegt der Bedarfswert von EnergyMap Berlin ca. 8 Prozent unter dem Verbrauchswert.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass

- die für EnergyMap Berlin entwickelte Methodik (Workflow der Datenaufbereitung, Energieprognosemodell, Darstellung der Ergebnisse der Energieanalyse in der WebApp) sich auf Kommunen anderer Bundesländer übertragen lässt (3D CityGML-Modelle als auch ALKIS-Gebäudeinformationen sind deutschlandweit vorhanden),

- das Prognosemodell von EnergyMap Berlin auf Grund der unterschiedlicher lokaler Klimaverhältnisse für die Nutzung anderer Kommunen angepasst werden muss und
- die Verfügbarkeit digitaler Gebäudedaten (z.B. Zusatzinformationen wie Denkmalschutz oder Gebäudealter) und Energieverbrauchsdaten (unterschiedlich räumlich fein aufgelöste Messdaten, z.B. block- oder flurstückscharf für Validierungszwecke) heute noch je nach Kommune sehr unterschiedlich ausfallen kann, was eine Herausforderung für die Qualitätssicherung der Energieprognosen darstellt.

## II.6. Veröffentlichung und Ausblick

### II.6.1. Testphase und Veröffentlichung der Webapp

Nachdem alle Komponenten des Softwareframeworks von EnergyMap Berlin im März 2025 einzeln und im Zusammenspiel einen erfolgreichen internen Test an der UdKB durchlaufen hatten, wurde der April 2025 für eine projektinterne Testphase genutzt, in welcher alle Projektpartner die Webapp einem intensiven Test unterzogen und Feedback an die Entwickler:innen an der UdKB gaben. Dies bezog sich zum einen auf Anpassungen in der Farbgebung der GUI und der farblichen Darstellung von Energieeffizienzklassen, zum anderen auf die optimale Verlinkung zu weiterführenden externen Informationsplattformen wie zum Berliner Energieatlas oder zur externen Energieberatung (HeizCheck, StromCheck, Fördermittelcheck).

Am 28.5.2025 wurde auf den Berliner Energietagen die Veranstaltung „Ein digitales Werkzeug zur gebäudescharfen Wärmeplanung für die Öffentlichkeit“ durchgeführt, bei der das gebäudescharfe Wärmekataster von EnergyMap Berlin der Fachöffentlichkeit vorgestellt wurde. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts wurden vom Projektkoordinator Prof. Nytsch-Geusen (UdKB) präsentiert, thematisch ergänzende Vorträge wurden von Expert:innen der Berliner Senatsverwaltungen für Wirtschaft, Energie und Betriebe (SenWEB) sowie für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt (SenMVKU) gehalten. Eine anschließende Podiumsdiskussion diente dem Austausch zwischen dem Projekt und Stakeholdern der Berliner Wohnungswirtschaft, Energiewirtschaft, Politik, Architektur und dem Mieterschutz (siehe Abbildung 54).

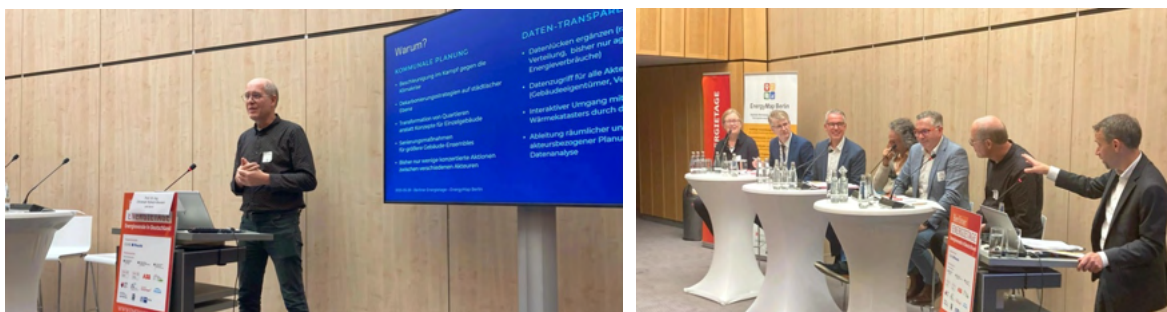


Abbildung 54: Präsentation zur Veröffentlichung von EnergyMap Berlin durch den Projektkoordinator Prof. Nytsch-Geusen (links) und anschließende Podiumsdiskussion mit Fachvertreter:innen (rechts) auf den Berliner Energietagen 2025

Weiterhin wurde während der dreitägigen Energietage auf einem Infostand interessierten Fachbesuchern die Gelegenheit geboten, mittels der Webapp das Wärmekataster von EnergyMap Berlin selbst auszuprobieren und interaktiv mittels des KI-basierten Prognosemodells Energieschnellanalysen an Gebäuden ihrer Wahl des Berliner Gebäudebestands vorzunehmen (Abbildung 55).



Abbildung 55: Infostand zu EnergyMap Berlin, an welchem Fachbesucher:innen das digitale gebäudescharfe Wärmekataster selbst testen konnten.

Eine Auswertung der Besucherstatistik hat ergeben, dass seit Veröffentlichung von EnergyMap Berlin im Mai 2025 bis zum Mitte März 2026 täglich im Mittel 21 bis 35 Personen auf die Webseite des digitalen Wärmekatasters <https://energymap-berlin.de/map> zugegriffen haben.

## II.6.2. Fortführung und Ausblick

**co2online** wird auch nach Projektende – soweit keine datenschutzrechtlichen Fragen dies unmöglich machen sollten – die Generierung von Datenspenden über den Heiz- und den ModernisierungsCheck fortsetzen und die Daten zum Trainieren der KI der UdKB zur Verfügung stellen. Weiter verweist co2online im Rahmen seiner Zusammenarbeit mit kommunalen Akteuren (auch im Kontext der kommunalen Wärmeplanung) regelmäßig auf die EnergyMap Berlin. Eine direkte Weiter- oder Nachnutzung von EnergyMap Berlin in Folgeprojekten plant co2online aktuell nicht, schließt dies aber für die Zukunft nicht generell aus.

**Senercon** plant keine Weiternutzung bzw. Nachnutzung der EnergyMap, schließt dies aber in Folgeprojekten nicht aus, beispielsweise im Rahmen eines EU-Projektes zum Thema District Cooling in Zusammenarbeit mit der UdKB und BezCW.

Die **UdKB** wird im neu gestarteten Forschungsverbundprojekt „CO2OL\_ISLANDS - Cooling and CO2 Optimization for Urban Landscapes with Intuitive Software for Local Administrations Integrating Network Design and Subsurface Systems“ (Laufzeit 2026 bis 2030) zusammen mit dem Projektpartner **BezCW**, der Technischen Universität und zwei Berliner Energieversorgern das Softwareframework von EnergyMap Berlin weiterentwickeln, die Datenbasis des digitalen Wärmekatasters jährlich aktualisieren und EnergyMap Berlin auf weitere Anwendungsbereiche erweitern (Wärmeversorgung von Stadtquartieren über oberflächennahe Geothermie). Weiterhin wird die UdKB im Anfang 2026 gestarteten Forschungsprojekt „FACaiDE Entwicklung einer Analyseverfahren zur automatisierten

Ermittlung der Energieeffizienz von Gebäudefassaden“ die Datenbasis von EnergyMap Berlin als Ausgangspunkt für die 3D-Gebäudemodellierung nutzen.

Das **BezCW** setzt aktuell die EnergyMap Berlin bereits in den Umsetzungsplanungen zur gesamtstädtischen Wärmeplanung ein, insbesondere bei der Entwicklung neuer EE-Nahwärmenetze in den sog. Prüfgebieten der Wärmeplanung. In den damit verbundenen Beteiligungsverfahren ist die öffentliche Verfügbarkeit einer Gebäude auflösenden Datenquelle ein Pluspunkt, der Verfahrenstransparenz und Vertrauensbildung unterstützt. Beide Bereiche werden in den kommenden Jahren Haupteinsatzgebiete der EnergyMap bleiben. Für die weitere Entwicklung spielt nach Einschätzung des Projektkonsortiums insbesondere die Präsenz der Anwendung im öffentlichen Energieatlas Berlin und der damit verbundenen verwaltungsinternen Energiedatenbank eine wichtige Rolle. Wärmeplanungen sind in wachsendem Maße Bestandteil umfassenderer Energie- und Stadtentwicklungsplanungen, die auf eine Vielzahl von Datenquellen zugreifen müssen. Integrative Arbeitsumgebungen organisieren solche Zugriffsmöglichkeiten benutzerfreundlich und bilden einen Gegenpol zu den in der Verwaltung immer noch anzutreffenden, gegeneinander abgeschotteten Datensilos. Insbesondere für Berlin wird in den kommenden Jahren der Verschnitt der verschiedenen Energiedaten, darunter der EnergyMap, mit Sozialdaten und den Datenbeständen der sozialen Stadtentwicklung eine wichtige Aufgabe sein. Äußere Impulsgeber dafür sind z.B. die kommenden Investitionszyklen einer nachhaltigen Wärmeversorgung, die sozialverträglich gestaltet werden müssen. Für die Weiterentwicklung der EnergyMap kann auch eine Rolle spielen, dass das Bezirksamt Charlottenburg-Wilmersdorf als Bestandteil der einheitlichen Berliner Verwaltung in nächster Zeit die Möglichkeit erhalten wird, verwaltungsinterne Daten des Senatswärmekatasters nicht nur selbst zu nutzen, sondern diese auch an Dritte, darunter Forschungseinrichtungen, zur Verfügung zu stellen, soweit dies durch die gesetzliche Zweckbestimmung der Wärmeplanung nach § 21 EWG Bln gedeckt ist. Das Verfahren, dass nicht allein eine zentrale Senatsbehörde solche Datenbereitstellungen entscheiden kann, trägt einerseits zu einem breiteren Nutzungsspektrum vorhandener Daten bei. Allerdings wird es nach dem Stand diesbezüglicher Gespräche zwischen der SenMVKU und dem BezCW nicht möglich sein, auf diesem Wege auch die geplanten jährlichen Aktualisierungen der EnergyMap durch die Bereitstellung gebäudescharfer Wärmeverbrauchsdaten aus dem Senatswärmekataster zu unterstützen, die dort von den Versorgern leitungsgebundener Energieträger (Gas, Fernwärme) vorliegen. Denn die Zugriffsmöglichkeiten des BezCW werden sich bei den gebäudescharfen Daten auf solche beschränken, die mehrfach gemittelt und über Blockverbräuche abgeglichen sind. Für die "Rohdaten" gebäudescharfer Wärmeverbräuche, die EnergyMap für seine Aktualisierungen bräuchte, macht die SenMVKU neuerlich Vorbehalte des Datenschutzes geltend, die eine Weitergabe dieser Daten ausschließen würden. Es wäre zu wünschen, dass diese Vorbehalte in Zukunft auch in eingehenden schriftlichen Darstellungen vorliegen, die die konstruktive Suche nach datenschutzkonformen Wegen zu einer hohen Qualität und Aktualität aller im Kontext der Wärmewende genutzten Anwendungen, darunter der EnergyMap Berlin, unterstützen.

Das aus dem Projekt EnergyMap Berlin ausgegründete Spin-Off **Enpageo** (<https://enpageo.de/>) wird sich langfristig am Weiterbetrieb des digitalen Wärmekatasters beteiligen.

**LUP** plant eine weiterführende Analyse der Baudynamik des Berliner Gebäudebestands, sobald sich eine verbesserter Referenzdatenlage ergeben hat.

### III. Literaturverzeichnis

- [Agugiaro, 2016] Agugiaro, G. (2016). Energy planning tools and CityGML-based 3D virtual city models: experiences from Trento (Italy). *Appl Geomat* 8, 41–56. <https://doi.org/10.1007/s12518-015-0163-2>
- [Aust, 1994] Aust, B. (1994). Analoge Gebäudealterskarte des Innenstadtbereichs Stand (1992/1993). Herausgeber: Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz
- [Aydin, 2017] Aydin, E.; Brounen, D.; Kok, N. (2017): Energy efficiency and household behavior: the rebound effect in the residential sector, *The RAND Journal of Economics*
- [Becker, 2018] Becker, D.; Noll, F.; Ludwig, D.; Schröder, I. (2018). *DynamiKa - Dynamisierung von Wärmekatastern. Schlussbericht*, IZES gGmbH und IP SYSCON GmbH, Saarbrücken und Hannover, Förderung durch Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (FKZ 03ET1397A-B).
- [Becker, 2022] Becker, D. et al. (2022). *Dynamisierung von Wärmekatastern durch Kollaboration. Schlussbericht*. IZES gGmbH, Förderung durch Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (FKZ 03ET1620A/B).
- [BerlHG, 2011] Berliner Hochschulgesetz (BerlHG) in der Fassung vom 26. Juni 2011
- [BezCW, 2025] Bezirksamt Charlottenburg-Wilmersdorf (2025). Stellungnahme zum Berliner Wärmeplan 2026 (Entwurf) als TÖB gem. §13 Abs. 4 WPG, Anhang: Wohngebäude mit den höchsten mittleren spezifischen Heizwärmebedarfen in Charlottenburg-Wilmersdorf, [https://www.berlin.de/ba-charlottenburg-wilmersdorf/verwaltung/aemter/umwelt-und-naturschutz/klimaschutz/energetische-quartierskonzepte/gebiete\\_c-w\\_hoechster\\_waermebedarf.pdf?ts=1765448137](https://www.berlin.de/ba-charlottenburg-wilmersdorf/verwaltung/aemter/umwelt-und-naturschutz/klimaschutz/energetische-quartierskonzepte/gebiete_c-w_hoechster_waermebedarf.pdf?ts=1765448137)
- [BDSG, 2018] Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) vom 1. Januar 1978, zuletzt geändert am 14. Mai 2024
- [Biljecki, 2016] Biljecki, F., Ledoux, H., Stoter, J. (2016). An improved LOD specification for 3D building models. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol 59. p25-27. ISSN 0198-9715.
- [BKG, 2025] Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2025): Digitaler Zwilling Deutschland (DigiZ-DE). <https://share.bkg.bund.de/spaces/DDP/pages/48300189/Digitaler+Zwilling+Deutschland+DigiZ-DE> (Zugriff: 19.02.2026)
- [BlnDSG, 2018] Berliner Datenschutzgesetz (BlnDSG) vom 13. Juni 2018, zuletzt geändert am 27.9.21
- [Chen, 2022] Chen, Z. (2022). Reconstructing compact building models from point clouds using deep implicit fields. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 58-73.
- [Choy, 2019] Choy, C. (2019). 4D Spatio-Temporal ConvNets: Minkowski Convolutional Neural Networks. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 3072-3084). Retrieved from <https://github.com/NVIDIA/MinkowskiEngine>
- [CityGML 2.0, 2025] CityGML Schema Version 2.0: <https://schemas.opengis.net/citygml/2.0/>
- [Coenradie, 2021] Coenradie, B.; Pauligk, A; Fienitz, M. 2021: Versiegelungskartierung Berlin – Anwendung und Weiterentwicklung des hybriden Auswertungsverfahrens für das Jahr 2021 sowie Kartierung von Veränderungen. Abschlussbericht. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen (Hrsg.). Download: [/umweltatlas/\\_assets/literatur/ab\\_versiegelung\\_2021.pdf](/umweltatlas/_assets/literatur/ab_versiegelung_2021.pdf) (Zugriff am 17.10.2022)
- [Coors, 2015] Coors, V. (2015). CityGML Quality Interoperability Experiment des OGC. *DGPF Tagungsband 24*.
- [Coors, 2020] Coors, V. et al. (2020). *EnEff:Stadt - SimStadt 2.0: Schlussbericht*. Hochschule für Technik und Wirtschaft Stuttgart, Förderung durch Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (FKZ 03ET1459)
- [DENA, 2021] Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.) (2021): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität, Gutachterberichte. <https://www.dena.de/PUBLIKATION507> (Zugriff: 19.02.2026)
- [Dochev, 2020] Dochev, I. et al. (2020). *Verbundprojekt GEWISS: GEografisches WärmeInformations- und SimulationsSystem. Schlussbericht*, Förderung durch Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (FKZ 03ET1247A, 03ET1247B).

- [DSGVO, 2016] Datenschutz-Grundverordnung vom 25. Mai 2016
- [Energieatlas Berlin, 2026] Webpräsenz Energieatlas Berlin (2026): <https://energieatlas.berlin.de>
- [EWG Bln, 2016] Berliner Klimaschutz- und Energiewendegesetz vom 22. März 2016, novelliert am 10. September 2021
- [Geofabrik, 2024] Geofabrik GmbH (2024): OpenStreetMap Berlin 2021. Zuletzt abgerufen am 03.03.2026 auf <https://download.geofabrik.de/europe/germany/berlin.html> unter Open Database License: <https://opendatacommons.org/licenses/odbl/1-0/>
- [Guerra Santin, 2013] Guerra Santin, O. (2013): Occupant behaviour in energy efficient dwellings: evidence of a rebound effect, *Journal of Housing and the Built Environment*.
- [Haas, 2000] Haas, R.; Biermayr, P. (2000): The rebound effect for space heating: Empirical evidence from Austria, *Energy Policy*.
- [Heat Roadmap Europa, 2021] Heat Roadmap Europa (2021). Pan-European Thermal Atlas. Flensburg, Halmstad and Aalborg Universities: <https://heatroadmap.eu/peta4/>
- [HeizCheck, 2026] Webpräsenz HeizCheck (2026): [www.co2online.de/service/energiesparchecks/heizcheck/](http://www.co2online.de/service/energiesparchecks/heizcheck/)
- [Hirschl, 2015] Hirschl, B. et al. (2015). Entwurf für ein Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm (BEK). Endbericht, erstellt im Auftrag von der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt
- [HOTMAPS, 2020] Hotmaps. 2016-2020. Hotmaps - The open source mapping and planning tool for heating and cooling: <https://www.hotmaps.eu/map/>
- [Hörner, 2022] Hörner, M. et al. (2022). ENOB:dataNWG. Forschungsdatenbank NichtWohnGebäude. Repräsentative Primärdatenerhebung zur statistisch validen Erfassung und Auswertung der Struktur und der energetischen Qualität des Nichtwohngebäudebestands in Deutschland. Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt), Förderung durch Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (FKZ 03 ET1315 A, B und C).
- [Kong, 2024] Kong, G. (2024). 3D Building Modelling from ALS Point Clouds by Delaunay Triangulation and Graph Theories. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume X-4-2024*, 6.
- [LG Berlin, 2021] Landesgericht Berlin, 26. Zivilkammer, Urteil vom 26.01.2021, Aktenzeichen 26 O 177/21
- [Lickleder, 2021] Lickleder, T. et al. (2021). MEMap - Aggregationsplattform zur gebäudeübergreifenden Optimierung der Energieeffizienz Teilvorhaben: Modellierung, Optimierung und Simulation Energiesysteme. Schlussbericht Teil I + II. Technische Universität München (TUM), Förderung durch Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (FKZ 03ET1413B)
- [Liu, 2024] Liu, Y., Obukhov, A., Wegner, J. D., Schindler, K. (2024): Point2Building: Reconstructing buildings from airborne LiDAR point clouds, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 215. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2024.07.012>. Implementierung im Github Repository: <https://github.com/prs-eth/point2building>
- [Loga, 2015] Loga, T.; Stein, B.; Diefenbach, N.; Born, R. (2015). Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. Zweite erweiterte Auflage. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- [Loga, 2019] Loga, T. (2019). Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen. BBSR-Online-Publikation Nr. 04/2019
- [LondonEnergyMap, 2026] Webpräsenz London Energy Map(2021): <https://map.communityenergy.london/projects/>
- [Meteonorm, 2026] Webpräsenz Meteonorm 8, Wetterdatenprozessor: <https://mn8.meteonorm.com>
- [ModernisierungCheck, 2026] Webpräsenz ModernisierungCheck (2026): [www.co2online.de/service/energiesparchecks/modernisierungcheck/](http://www.co2online.de/service/energiesparchecks/modernisierungcheck/)

- [Nash, 2020] Nash, C., Ganin, Y., Eslami, S. M. Ali und Battaglia, P. W. (2020): PolyGen: An Autoregressive Generative Model of 3D Meshes, ICML.
- [Nouvel, 2015] Nouvel, R.; Brassel, K. H.; Bruse, M.; Duminil, E.; Coors, V.; Eicker, U.; Robinson, D. (2015). SIMSTADT, a new workflow-driven urban energy simulation platform for CityGML city models. In: Proceedings of the CISBAT International Conference 2015, Lausanne.
- [SenWEB, 2015] Flächendeckender LoD2 (Level of Detail 2) Gebäudedatenbestand des Landes Berlins im CityGML Format: <http://www.businesslocationcenter.de/berlin3d-downloadportal/>
- [Schürmann, 2019] Schürmann et al. (2019). Verbundvorhaben: EnEff:Stadt: Transformation im ländlichen Raum – TRAIL, Bauhaus Universität Weimar. Förderung durch Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (FKZ 03ET1433A - G)
- [SenSBW, 2023] Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen Berlin (2023). Gebäudeeignung für ein zentrales oder dezentrales Wärmeversorgungssystem - WMS-Service: <https://daten.berlin.de/datensaetze/gebaudeeignung-fur-ein-zentrales-oder-dezentrales-waermeversorgungssystem-wms-c7481d91>
- [Sulzer, 2025] Sulzer, R. (2024). A Survey and Benchmark of Automatic Surface Reconstruction from Point Clouds. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Mar. 2025, pp. 2000-2019, vol. 47
- [Tobolewski, 2025] Stellungnahme der Berliner Beauftragten für Datenschutz und Informationsfreiheit zum Projekt EnergyMap Berlin vom 17. April 2025, Bearbeiter Herr Tobolewski, Berlin 2025
- [UIG, 2014] Umweltinformationsgesetz (UIG) in der Fassung vom 27. Oktober 2014, zuletzt geändert am 25. Februar 2021
- [Wilke, 2020] Wilke et al. (2020). DATES-Projektbericht Digitales Analyse-Tool für energetische Sanierungsfahrpläne. Schlussbericht e.on, BIM, TU Berlin, UdK Berlin.
- [Yao, 2018] Yao, Z. (2018). 3DCityDB - a 3D geodatabase solution for the management, analysis, and visualization of semantic 3D city models based on CityGML. Springer Nature, Volume 3, article 5.
- [Zhao, 2023] Zhao, Z., Fan, C., Liu, L. (2023). Geo SAM: A QGIS plugin using Segment Anything Model (SAM) to accelerate geospatial image segmentation (1.1.0). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8191039>, zuletzt abgerufen am 18.02.2025

## IV. Anhang

### Verzeichnis der Meilensteinberichte

#### AP 1 Anforderungsanalyse & Spezifikation Gesamtsystem

- Report Meilenstein 1.1: Softwareframework und Schnittstellen (Stand: 09.02.2023). Autoren: A. Küster-Inderfurth, S. Segbers, W. Kaul-Gothe, C. Nytsch-Geusen (UdKB); L. Hermann (co2online); M. Otto (SEnerCon); J. Zander (BezCW); K. Wagner (LUP)
- Report Meilenstein 1.2: Umsetzungsplan zur Implementierung und Mitigationsstrategien (09.02.2023). Autoren: A. Küster-Inderfurth, S. Segbers, W. Kaul-Gothe, C. Nytsch-Geusen (UdKB); L. Hermann (co2online); M. Otto (SEnerCon); J. Zander (BezCW); K. Wagner (LUP)

#### AP 2 Datenschutz

- Report Meilenstein 2.1: Klärung juristischer Fragen zum Datenschutz und Datenschutzkonzept (Stand 22.05.2025). Autoren: C. Julius (SEnerCon); A. Küster-Inderfurth, S. Segbers (UdKB)
- Report Meilenstein 2.2 Datenschutz Guideline (Stand 21.05.2025). Autoren: C. Julius (SEnerCon); A. Küster-Inderfurth (UdKB)

#### AP 3 Implementierung des softwaretechnischen Systems

- Report Meilenstein 3.1: Implementierung Datenbank und Schnittstelle mit Open eQuarter und Datenanbindung (Stand 04.09.2023). Autoren: A. Küster-Inderfurth, S. Segbers, W. Kaul-Gothe, C. Nytsch-Geusen (UdKB)
- Report Meilenstein 3.2: Implementierung Rechenkern und 2D/3D-Webinterface (Stand 10.07.2024). Autoren: A. Küster-Inderfurth, S. Segbers (UdKB);
- Report Meilenstein 3.3: Integration in das Gesamtsystem (Stand 03.07.2024). Autoren: A. Küster-Inderfurth, S. Segbers (UdKB)

#### AP 4 Erprobung des Wärmekatasters an einem Testgebiet

- Report Meilenstein 4.1: Die gebäudescharfen Parametersätze für das Testgebiet sind erstellt und die Verbrauchsdaten vollständig in die Datenbank eingespielt (Stand 09.07.24). Autoren: A. Küster-Inderfurth, S. Segbers (UdKB)
- Report Meilenstein 4.2: Validierung des Simulationsrechenkerns (Stand 03.07.2024). Autoren: A. Küster-Inderfurth, S. Segbers, C. Nytsch-Geusen (UdKB)
- Report Meilenstein 4.3: Validierung des 3D-Gebäudegeometrien (Stand 30.09.2025) Autoren: K. Wagner, S. Valencia (LUP)

#### AP 5 Evaluierung des Forschungsansatzes an einem Berliner Stadtquartier

- Report Meilenstein 5.1: "Energiesparkonto Mierendorff-Insel" ist online, Feedback aus Usertests ist eingearbeitet, Öffentlichkeitskampagnen sind durchgeführt (1.9.2025). Autoren: J. Zander (BezCW)
- Report Meilenstein 5.2: Berechnung des Quartiers und Verbesserung der Prognosegüte des Simulationsrechenkerns (Stand 03.07.2024). Autoren: A. Küster-Inderfurth, S. Segbers, C. Nytsch-Geusen (UdKB)

#### AP 6 Ausdehnung des Forschungsansatzes auf das Land Berlin

- Report Meilenstein 6.1: Report zu Kooperationsvereinbarungen (Stand 01.07.2024). Autoren: L. Hermann, J. Eimermacher (co2online); A. Küster-Inderfurth, C. Nytsch-Geusen (UdKB)
- Report Meilenstein 6.2: Auftakt der Dialog- und Motivationskampagne in Berlin (Stand 14.11.2023). Autoren: L. Hermann, J. Eimermacher (co2online); M. Otto (SEnerCon); A. Küster-Inderfurth, S. Segbers, W. Kaul-Gothe, C. Nytsch-Geusen (UdKB); J. Zander (BezCW); K. Wagner (LUP)

