

WFK Forschungs-Brief-Bündel

Wien Forschungsfragen Klima — Forschungs-Brief-Bündel

3 Forschungsfragen · Generiert: 2026-06-18

Enthaltene Fragen

- WFK-2.1.4
- WFK-2.1.5
- WFK-2.2.1

Welchen Einfluss haben Anpassungen von Bestandsgebäuden (Energieeffizienz, Erneuerbare, Kreislauffähigkeit) auf Miet-, Betriebs-, Erhaltungs- und Verwertungskosten? Können Mehrwerte (Gemeinschaftsräume, begrünte Höfe) Mehrkosten rechtfertigen?

Bau & Gebäude — Thema 2.1: Dekarbonisierung des Gebäudebestands · Status: drafted · Quellen: 14 · Bewertet: 2026-05-09 · Modell: claude-opus-4-7@prompts/ai-rating.v1.md

KI-Eignungs-Score: **MITTEL**

Sum-Regel $D1+D2+D3+D4 = 2+2+2+2 = 8 \rightarrow$ medium. D1 (Datenverfügbarkeit): Wien-OGD, MA-50-Förderdaten und aggregierte Wiener-Netze-Smart-Meter-Daten liefern eine solide Eingangsbasis für Betriebskosten-Modelle; granulare Mietzins-/Erhaltungskosten-Daten der WGG- und MRG-Bestände bleiben fragmentiert bzw. proprietär (Bauträger, Hausverwaltungen) — daher Skala 2, nicht 3. D2 (Aufgabentyp): Klar passende Aufgaben sind LCC-/NPV-Simulation (Sanierungs-Szenarien), Prediction (Mietzins- und Energie-Preis-Pfade) und Pattern-Recognition (hedonic Pricing für Mehrwert-Komponenten); kombinierbar, aber nicht in der Tiefe wie bei rein technischen Effizienz-Fragen \rightarrow Skala 2. D3 (Methoden-Reife): Hedonic-Pricing-Modelle und LCC-Tools sind etabliert; ML-gestützte hedonic Pricing und kombinierte LCC×Mietrechts-Constraint-Solver bleiben hybrid (Forschung-zu-Praxis) \rightarrow Skala 2. D4 (Ethik/Recht): Aggregierte Bezirks-/Bestands-Ebene unkritisch, Haushalts-Ebene DPIA-pflichtig (Mietzins-/Einkommens-Daten); diskriminierungssensibel bei Sanierungs-Priorisierung — moderat handhabbar \rightarrow Skala 2. Keine Override-Regel aktiv (D1, D2, D4 \neq 0).

Anwendungsfälle:

- LCC-/NPV-Modellierung von Sanierungs-Paketen für Wiener Bestand: Prediction der Energie- und Wartungskosten-Pfade (auf aggregierten Wiener-Netze-Smart-Meter-Profilen) gekoppelt mit Förder-Architektur (MA 50) und WGG/MRG-Mietzins-Constraints — Unterstützung der Förder-Priorisierung, kein autonomer Allokations-Entscheid
- Hedonic-Pricing-Analyse zur Quantifizierung von Mehrwert-Komponenten (Hofbegrünung, Gemeinschaftsräume): Pattern-Recognition auf Wiener Immobilien-Inseraten + BeRTA-Förder-Standorten + MA-22-Mikroklima-Layern zur empirischen Schätzung der Wertsteigerung — Eingabe in Wirtschaftlichkeits-Berechnungen für Bauträger und MA 50
- Quartiers-Simulation kombinierter Sanierungs-+Begrünungs-Pakete: Agent-Based-Modell mit Klimafahrplan-Pfaden und Heizungstausch-Szenarien für Bestandsbezirke (Fernwärme-Verdichtung vs. Wärmepumpe vs. Hybrid) zur Abschätzung der Verteilungs-Wirkung auf Miet-, Betriebs- und Verwertungskosten

Methodische Grundlagen

- **Datenbanken:** Scopus, Google Scholar, IDEAS-RePEC, EEA-Library, IEA-Library, oeko.de, ioew.de, oegb.at, Wien-OGD
- **Suchstrings:** „building retrofit cost-benefit analysis methodology discount rate sensitivity“, „energy performance gap post-occupancy low-energy buildings“, „renoviction green gentrification retrofit equity Europe“, „Warmmiete Sanierung Mieter Förderung DACH“
- **Datum:** 2019-01-01 — 2026-05-13
- **Letzter Suchlauf:** 2026-05-13
- **Einschluss:** Wien-Bezug/DACH/EU-übertragbar; \geq 2019 (ausgenommen IPCC AR6); peer-reviewed oder institutionell (IEA/EEA/IPCC/Öko-Institut/IÖW/ÖGB+UBA); DE/EN; Volltext oder Presse-Anker zugänglich.

- **Ausschluss:** Conference-Abstracts ohne Proceedings; Non-EU außer als Benchmark; Predatory Journals; Institutional-Reports ohne nachvollziehbaren Methoden-Abschnitt.
- **Aufgenommene Quellen:** 13 (12 Vorgänger + 1 AT-LCC-Re-Anchor #229 Deep-27)

Stand der Forschung

Sanierung im Wiener Bestand ist primär ein Verteilungs- und Lebenszyklus-Kosten-Problem. Post-Occupancy-Forschung zeigt (76 Cases) einen Energy-Performance-Gap von +58 %, Range -86 % bis +483 % (*high confidence; robust evidence, high agreement*) [[2024-bai-yu-pan-energy-performance-gap-retrofit]] — die unterstellten Einspar-Pfade sollten gegen Realdaten kalibriert werden. WGG-Förderung dämpft umlagefähige Beiträge um 30–60 %, MRG-§18-Verfahren bleiben reale Investitions-Hemmer [[2025-stadt-wien-wohnbaufoerderung-sanierung]]. Eine AT-Lebenszykluskosten-Analyse über 30 Jahre (Mehrfamilienhaus, Barwert-Methode mit Restwerten) zeigt: umfassende Sanierung plus Wärmepumpe verursacht gegenüber dem instandgehaltenen Bestand keine Mehrkosten (Varianten-Konvergenz bei ca. -1,1 bis -1,2 Mio. € Barwert), bleibt aber diskontsatz-sensitiv (5 % Kalkulationszins belastet Tiefen-Sanierung); Förderung verschiebt die Amortisation um bis zu 10 Jahre, Wien zählt zu den höchstfördernden Bundesländern (17–28 vs. 27–29 Jahre ohne Landesförderung) (*medium confidence; medium evidence, high agreement*) [[2026-e7-global2000-sanierung-lebenszykluskosten-mfh]]. Die e7-Studie nutzt OIB-RL6-Energieausweis-Logik; die kanonischen LCC-Normen für den AT-Sanierungs-Kontext sind ÖNORM B 1801-2 (Objektfolgekosten), EN 16627 (Economic Performance of Buildings) und ISO 15686-5 (Service-Life-Planning Part 5: LCC) — eine ÖNORM-B-1801-2-konforme Förder-Priorisierung nach Lebenszykluskosten fehlt im aktuellen Wien-Förder-Werkzeug [[2017-lcc-construction-standards-onorm-en-iso]]. DACH-Peer-Befund: Warmmieten-Neutralität ist möglich, aber Förder-Stacking-abhängig — und Förder-Inanspruchnahme korreliert mit Einkommen (*medium confidence; medium evidence, high agreement*) [[2022-oeko-institut-ioew-warmmieten-neutralitaet]]. AT-spezifisch ist die Sanierungsrate von 1,8 % auf 0,9 % (2024) gefallen; 43,2 % der Haushalte als Mieter:innen haben keine Steuerungsmacht [[2024-oegb-thermische-sanierung-mieter]].

Forschungslücken

Methodische Hauptlücke ist die inkonsistente Mehrwert-Bewertung: Studien nutzen inkompatible Rahmen (TEEB, Ecosystem Services, hedonic Pricing) [[2024-eea-urban-adaptation-europe]]. Diskontsatz-Inkonsistenz in europäischen LCC-Studien (Privatinvestoren 6–12 % vs. Public-Authority 2–4 %) (*medium confidence; medium evidence, medium agreement*) [[2025-papangelopoulou-buildings-assessment-methods]] — eine Wiener Sensitivitäts-Analyse über diese Bandbreite fehlt publiziert. Mehrwert-Investitionen (Hofbegrünung, Gemeinschaftsräume) erzeugen im MRG-Altbestand Gentrifizierungs-Druck, den Wiener Planung nicht adressiert (*medium confidence; medium evidence, high agreement*) [[2024-friesenecker-thaler-clar-wien-green-gentrification]]. Eine Wien-Drewitz-Vergleichs-Studie (Drewitz: 90 % Mieter-Retention bei Tiefen-Retrofit + Public-Control + Förder-Stacking) fehlt für den WGG/MA-50-Bestand [[2024-castano-rosa-drewitz-energy-poverty-retrofit]]. Wien-spezifisch fehlen Längsschnittstudien (≥5 Jahre) in BeRTA-Förderfällen.

Trends & Entwicklungen

Im Zeithorizont 2025–2030 verschiebt der EPBD-Recast 2024 den Druck Richtung BACS-Pflicht (>290 kW ab 2024, >70 kW ab 2029) und Smart-Readiness-Indicator — beides generiert Betriebskosten-Daten für LCC-Modelle [[2024-hernandez-european-smart-buildings]]. Solarpflicht-Wien (Bauordnungs-Novelle 2023) und BeRTA-Ausweitung wirken als Wien-spezifische Beschleuniger [[2025-stadt-wien-wohnbaufoerderung-sanierung]]. Wiener Forschung quantifiziert sozialen Wohnbau als policy-hebelbare Variable gegen grüne Gentrifizierung: 4–5 % Risiko-Reduktion pro Prozentpunkt Sozialwohnbau (*medium confidence; medium evidence, high agreement*) [[2025-

friesenecker-social-housing]] — anschlussfähig an MA-50-Patenschaft und WGG-Bestand-Strategie. IPCC- und IEA-Synthesen konvergieren auf tiefe Sanierung mit Erneuerbaren-Integration als alternativlos [[2022-ipcc-ar6-wg3-buildings]] [[2025-iea-energy-and-ai]].

KI-Eignungs-Bewertung

Score medium (Rubric-Sum 8/12, D1=2 / D2=2 / D3=2 / D4=2). Einschlägige Aufgabentypen: **Simulation** (LCC-/NPV-Modelle unter WGG/MRG-Constraints), **Prediction** (Mietzins-, Energiepreis- und Wartungskosten-Pfade), **Pattern-Recognition** (hedonic Pricing für Mehrwert-Komponenten wie Hofbegrünung) [[2024-eea-urban-adaptation-europe]]. Datenseitig kombinierbar: Wien-OGD, MA-50-Förderdaten, aggregierte Wiener-Netze-Smart-Meter-Profile, EU-Vergleichsdatensätze [[2025-stadt-wien-wohnbaufoerderung-sanierung]] [[2025-iea-energy-and-ai]]. Methoden-Reife hybrid: LCC und hedonic Pricing in Praxis etabliert, ML-gestützte Erweiterungen (kombinierte LCC×Mietrechts-Constraint-Solver) noch in Forschung. Ethisch-rechtlich: aggregierte Quartiers-Ebene unkritisch, Haushalts-Ebene (Mietzins-/Einkommens-Daten) DPIA-pflichtig — Aggregation mitigiert, diskriminierungssensible Sanierungs-Priorisierung bleibt menschlich. KI bleibt **unterstützend** für Förder-Priorisierung und Wirtschaftlichkeits-Bewertung, nicht autonom-allokativ. Bei AI-gestützter Priorisierung von Sanierungs-Förderungen (MA 50) ist EU-AI-Act Anhang III §5(a) zu beachten — Conformity-Assessment + menschliche Aufsicht.

Methodische Einschränkungen

1. **Single-Screener-Recherche**. Single-Screener-Recherche durch Bernhard Götzendorfer mit KI-Assistenz (Claude Opus 4.7, 1M context). 2. **Suchsprache DE/EN**. Literatur in anderen EU-Sprachen möglicherweise unterrepräsentiert. Mitigation: EU-Layer-Quellen häufig EN-übersetzt; Wien-Kontext priorisiert DE. 3. **Stand der Recherche: 2026-05-13**. Updates in separaten Brief-Versionen dokumentiert (ADR-0002, ADR-0004). Bei zeitkritischen Themen (EPBD-Recast-Umsetzung, Warmmieten-Regulierung AT/DE): Halbjährliches Re-Screening empfohlen. 4. **Keine formale Critical Appraisal pro Quelle**. Keine Appraisal nach GRADE oder ROBINS-I; Qualität über Whitelist-Tier und Peer-Review-Status heuristisch eingeschätzt. IPCC-Calibrated-Language-Tags machen Confidence pro Key-Claim transparent.

Quellen

2025-stadt-wien-wohnbaufoerderung-sanierung — Stadt Wien, MA 50 Wohnbaufoerderung und Schlichtungsstelle fuer wohnrechtliche Angelegenheiten (2025). Wohnbaufoerderung der Stadt Wien — Sanierung, thermisch-energetische Massnahmen, Hofbegruenung (MA 50). *wien.gv.at* — *Wohnen und Wohnbau / Foerderungen*. [GOLD] URL: <https://www.wien.gv.at/wohnen/foerderung-fuer-wohnen-und-wohnbau>

2024-eea-urban-adaptation-europe — European Environment Agency (EEA) (2024). Urban adaptation in Europe: what works? — Implementing climate action in European cities (EEA Report 06/2024). *EEA Report 06/2024, Publications Office of the European Union*. [GOLD] DOI: 10.2800/263898

2024-hernandez-european-smart-buildings — Hernández, José L.; de Miguel, Ignacio; Vélez, Fredy; Vasallo, Ali (2024). Challenges and opportunities in European smart buildings energy management: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 199, 114472. [HYBRID] DOI: 10.1016/j.rser.2024.114472

2025-iea-energy-and-ai — International Energy Agency (2025). Energy and AI. *IEA, Paris*. [GOLD] URL: <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai>

2022-ipcc-ar6-wg3-buildings — Cabeza, Luisa F.; Bai, Quan; Bertoldi, Paolo (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the IPCC Sixth Assessment Report — Chapter 9: Buildings. *Cambridge University Press*. [GOLD] DOI: 10.1017/9781009157926.011

2025-papangelopoulou-buildings-assessment-methods — Papangelopoulou, Maria D.; Alexakis, Konstantinos; Askounis, Dimitrios (2025). Assessment Methods for Building Energy Retrofits with Emphasis on Financial Evaluation: A Systematic Literature Review. *Buildings*, Vol. 15, No. 14, Art. 2562 (MDPI). [GOLD] DOI: 10.3390/buildings15142562

2024-bai-yu-pan-energy-performance-gap-retrofit — Bai, Yuchen; Yu, Chao; Pan, Wei (2024). Systematic examination of energy performance gap in low-energy buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 202, Art. 114701 (Elsevier). [CLOSED] DOI: [10.1016/j.rser.2024.114701](https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114701)

2024-castano-rosa-drewitz-energy-poverty-retrofit — Busà, Alessandro (2024). Renovation without renovation: the green redevelopment of a municipal housing estate in Drewitz, Germany. *Housing Studies*, Vol. 40, No. 5 (Taylor & Francis). [HYBRID] DOI: [10.1080/02673037.2024.2342411](https://doi.org/10.1080/02673037.2024.2342411)

2022-oeko-institut-ioew-warmmieten-neutralitaet — Schumacher, Katja; Weiß, Julika (2022). Sozialverträgliche Wärmewende in Berlin — Herausforderungen und Lösungen für Haushalte mit geringem Einkommen. *Ecornet Berlin (Öko-Institut e.V. + Institut für ökologische Wirtschaftsforschung IÖW)*. URL: <https://www.oeko.de/presse/archiv-presse-meldungen/presse-detailseite/2022/studie-energetische-sanierungen-zentral-fuer-klimaschutz-und-bezahlbares-wohnen>

2024-oegb-thermische-sanierung-mieter — Österreichischer Gewerkschaftsbund (ÖGB) (2024). Thermische Sanierung in Österreich: Verpasste Chancen, verstecktes Potenzial. *Österreichischer Gewerkschaftsbund (ÖGB), Positionspapier Klimapolitik*. URL: <https://www.oegb.at/themen/klimapolitik/klima-und-arbeitsmarkt/thermische-sanierung-in-oesterreich-verpasste-chancen-versteckt>

2024-friesenecker-thaler-clar-wien-green-gentrification — Friesenecker, Michael; Thaler, Thomas; Clar, Christoph (2024). Green gentrification and changing planning policies in Vienna?. *Urban Research & Practice*, Vol. 17, No. 3, 393–415. [HYBRID] DOI: [10.1080/17535069.2023.2228275](https://doi.org/10.1080/17535069.2023.2228275)

2025-friesenecker-social-housing — Friesenecker, Michael; et al. (2025). Socially equitable climate risk management of urban heat. *npj Urban Sustainability (Nature Portfolio)*. [GOLD] DOI: [10.1038/s42949-025-00202-2](https://doi.org/10.1038/s42949-025-00202-2)

2026-e7-global2000-sanierung-lebenszykluskosten-mfh — Rammerstorfer, Johannes; Maier, Simon; Leutgöb, Klemens (2026). Studie zur Amortisierung einer umfangreichen Sanierung eines Mehrfamilienhauses — Fokus auf technische, organisatorische und kosteneffiziente Lösungen (Endbericht, im Auftrag von GLOBAL 2000). *e7 energy innovation & engineering GmbH (Wien), Endbericht Jänner 2026 im Auftrag von GLOBAL 2000*. [GOLD] URL: https://www.e-sieben.at/Downloadables/20260224_Bericht_Amortisierung_Sanierung_MFH_final_e7.pdf

2017-lcc-construction-standards-onorm-en-iso — Austrian Standards International (ASI); European Committee for Standardization (CEN/TC 350); International Organization for Standardization (ISO/TC 59/SC 14) (2017). LCC-Construction-Standards-Stack: ÖNORM B 1801-2 (Objektfolgekosten) / EN 16627 (Economic Performance of Buildings) / ISO 15686-5 (Service Life Planning Part 5: Life-Cycle-Costing). *ASI Wien (ÖNORM B 1801-2:2011) / CEN Brussels (EN 16627:2015) / ISO Geneva (ISO 15686-5:2017)*. [CLOSED] URL: <https://www.iso.org/standard/61148.html>

Wiener Forschende

- **Lukas Kranzl** [Hochschule] — TU Wien
ORCID: [0000-0003-3350-7134](https://orcid.org/0000-0003-3350-7134)
Profil: <https://openalex.org/A5061975511>
- **Iná Maia** [Hochschule] — TU Wien
ORCID: [0000-0003-2310-1819](https://orcid.org/0000-0003-2310-1819)
Profil: <https://openalex.org/A5079067845>
- **Michael Friesenecker** [Hochschule] — BOKU University
ORCID: [0000-0002-9654-6213](https://orcid.org/0000-0002-9654-6213)
Profil: <https://openalex.org/A5002074069>

Patenschaft

Magistratsdirektion – Baudirektion, Programmleitung Raus aus Gas
Wiener Netze, Innovations- und Nachhaltigkeitsmanagement
Wiener Stadtwerke, Innovationsmanagement
MA 50 Wohnbauförderung, Referat Strategische Projekte und Internationales (Frage 4)
Wien Energie (Dekarbonisierung Fernwärme)

Welche KI-Anwendungen können zur Reduktion des Energieverbrauchs von Gebäuden beitragen?

Bau & Gebäude — Thema 2.1: Dekarbonisierung des Gebäudebestands · Status: drafted · Quellen: 9 · Bewertet: 2026-05-09 · Modell: claude-opus-4-7@prompts/ai-rating.v1.md

KI-Eignungs-Score: HOCH

Sum-Regel $D1+D2+D3+D4 = 3+3+3+2 = 11 \rightarrow$ high. D1 (Datenverfügbarkeit): Wiener-Netze-Smart-Meter-Rollout zu ~96% abgeschlossen (Stand Ende 2024, ca. 1,5 Mio Geräte), kombinierbar mit Wien-OGD (data.wien.gv.at), Copernicus und ab 2024 verpflichtenden BACS-Daten >290 kW (EPBD-Recast). D2 (Aufgabentyp): Mehrere Typen kombinierbar — Prediction (Last-/Bedarfs-Forecasting), Optimization (HVAC-Steuerung, Demand-Response), Pattern-Recognition (Fault-Detection), Simulation (Digital Twins). D3 (Methoden-Reife): Etabliert in EU-Pilotumgebungen — Reinforcement-Learning-HVAC erreicht in Feldversuchen 24-55% Einsparung gegenüber PI/PID, AIT-Pilot mAltenance abgeschlossen 2023. D4 (Ethik/Recht): Moderat — kein AI-Act-Anhang-III-Hochrisiko, aber Smart-Meter-Daten sind GDPR-sensibel (DPIA-Pflicht auf Haushaltsebene, Aggregation reduziert Risiko). Keine Override-Regel aktiv.

Anwendungsfälle:

- Prädiktive HVAC-Steuerung in städtischen Gebäuden (z.B. WIGEV-Spitäler, MA-34-Verwaltungsbauten) per Reinforcement-Learning auf Basis von Wiener-Netze-Smart-Meter-Daten + Wetter-Forecasts — Zielgröße 20-30% Heiz-/Kühl-Energie-Einsparung gegenüber regelbasierten Reglern
- KI-gestützte Fault-Detection-and-Diagnosis (FDD) in HVAC-Anlagen des Wiener Gebäudeportfolios analog zum AIT-mAltenance-Ansatz — Reduktion von Drift-Verlusten bei nicht-optimal eingestellten Anlagen
- Aggregierte Last- und PV-Einspeise-Prognose für Wien-Energie-Fernwärme/-Stromnetz per Zeitreihen-NN, kombiniert mit Demand-Response-Programmen für Spitzenlast-Reduktion (Schnittstelle Programm 'Raus aus Gas')

Methodische Grundlagen

- **Datenbanken:** Wien-OGD (data.wien.gv.at), Scopus, Google Scholar, Crossref, IEA-Library, IPCC-Reports, EEA-Datenbank, arXiv
- **Suchstrings:** „smart HVAC reinforcement learning building energy reduction“, „MPC vs RL building control field deployment“, „smart meter data re-identification privacy Vienna“, „energy performance gap real world AI buildings“
- **Datum:** 2020-01-01 — 2026-05-12
- **Letzter Suchlauf:** 2026-05-12
- **Einschluss:** Wien-Bezug/DACH/EU-übertragbar; ≥ 2020 ; peer-reviewed oder institutionell (IEA/IPCC/AIT/EEA); DE/EN; Volltext zugänglich.
- **Ausschluss:** Conference-Abstracts ohne Proceedings; Non-EU außer als Benchmark; Predatory Journals; Pre-Print ohne Akzeptanz-Status.
- **Gesichtete Treffer:** ~32
- **Aufgenommene Quellen:** 10 (6 ursprüngliche + 4 K3-kritische Gegenstimmen)

Stand der Forschung

KI-gestützte HVAC-Steuerungen sind Bestandteil moderner Building-Management-Systeme [[2022-ipcc-ar6-wg3-buildings]]. Die IEA quantifiziert das Skalierungspotenzial: KI-Interventionen könnten weltweit ~300 TWh Strom

einsparen, im Gewerbe-Segment bis zu 40 % ohne Anlagentausch (*medium confidence; medium evidence, medium agreement*) [[2025-iea-energy-and-ai]]. RL-Reviews zeigen 24–26 % HVAC-Einsparung in Simulationsstudien gegenüber PI-Reglern (*medium confidence; limited evidence, medium agreement*) sowie 40–55 % als aggregierte Pilot-Range in heterogenen Feldversuchen gegenüber PID-Reglern (keine Längsschnitt-Studien) (*medium confidence; limited evidence, medium agreement*) [[2024-alsayed-rl-hvac-review]]. Allerdings zeigt Mulayim et al. (2025) im kontrollierten Field Deployment, dass MPC unter ΔT -korrigierter Efficiency-Metrik gegenüber PID-Baseline (12,7 %) RL (7,3 %) übertrifft (Eq. 16); qualitativ wird MPC's Superiorität auch unter Comfort-Normalisierung explizit bestätigt — die Simulations-Literaturbandbreite ist ohne Real-World-Kalibrierung überoptimistisch [[2025-mulayim-rl-vs-mpc]]. In Österreich validierte das AIT-Projekt mAIntenance (2021-2023) einen Zwei-Ebenen-Ansatz aus Zeitreihen-Forecasting und ML-basierter Anomalie-Erkennung [[2023-ait-maintenance-hvac]]. Im EU-Kontext verschiebt der EPBD-Recast 2024 mit verpflichtenden BACS ab >290 kW den Rahmen Richtung KI-fähiger Gebäude [[2024-hernandez-european-smart-buildings]].

Forschungslücken

Die wichtigste Lücke ist methodisch: KI-/IoT-Studien messen Einsparungen, übersetzen sie aber selten in CO₂-Äquivalente oder Lebenszyklus-Bezug [[2022-ipcc-ar6-wg3-buildings]]. Für Wien fehlen Längsschnittstudien (≥ 3 Jahre) zur realen Einsparungsperformance KI-gesteuerter HVAC-Anlagen; AT-spezifische Feld-Pilots sind nicht publiziert [[2024-alsayed-rl-hvac-review]] [[2023-ait-maintenance-hvac]]. RL-Methoden leiden zudem unter mangelnder Generalisierung und fehlenden Sicherheitsgarantien für Live-Deployment.

Trends & Entwicklungen

Im Zeithorizont 2024-2030 wandert RL-basierte HVAC-Optimierung von Forschungspilots in produktive Smart-City-Anwendungen [[2024-alsayed-rl-hvac-review]]. EU-weit erzwingt der EPBD-Recast bis 2029 die Ausweitung auf Anlagen >70 kW [[2024-hernandez-european-smart-buildings]]. In Wien entstand mit dem nahezu abgeschlossenen Smart-Meter-Rollout (~1,5 Mio Geräte, 96 % Quote Ende 2024, viertelstündliche Daten via Opt-in) eine flächendeckende Datenbasis (*high confidence; robust evidence, high agreement*) [[2024-wiener-netze-smart-meter-rollout]]. Das Öko-Institut (2020) dokumentiert für DACH-Smart-Home-Nutzer einen Rebound-Effekt von +19 % Strommehrverbrauch bei Komfort-/Sicherheits-Nutzung — Netto-Einsparungsberechnungen müssen diesen Effekt einkalkulieren [[2020-oeko-institut-smart-home-rebound]].

KI-Eignungs-Bewertung

Die Frage ist mit hoher KI-Eignung zu bewerten (Score **high**, Rubric-Sum 11/12, D1=3 / D2=3 / D3=3 / D4=2). Einschlägige Aufgabentypen: **Prediction** (Last-/Bedarfs-Forecasting auf Smart-Meter-Daten), **Optimization** (HVAC-Steuerung via RL/MPC, Demand-Response), **Pattern-Recognition** (Fault-Detection analog AIT mAIntenance) und **Simulation** (Digital Twins) [[2025-iea-energy-and-ai]] [[2024-alsayed-rl-hvac-review]]. RL ist für HVAC feldreif, MPC bleibt jedoch vorzuziehen bei Real-Time-Sicherheits-Constraints; Mulayim (2025) zeigt eine ΔT -korrigierte Efficiency-Differenz MPC vs. RL von 12,7 % zu 7,3 % gegenüber PID-Baseline [[2025-mulayim-rl-vs-mpc]]. Datenseitig stehen Wiener-Netze-Smart-Meter, Wien-OGD und ab 2024 verpflichtende BACS-Daten bereit [[2024-wiener-netze-smart-meter-rollout]]. Privacy-Caveat: Voyez et al. (2025) zeigen 90 % Re-Identifikationsrate aus nur 5 Smart-Meter-Messungen (*high confidence; robust evidence, high agreement*) — die DSGVO/DPIA-Anforderung auf Haushaltsebene ist real, Aggregation auf Gebäude- oder Quartiersebene bleibt der praxistaugliche Mitigationsweg [[2025-voyez-smart-meter-reid]].

Methodische Einschränkungen

1. **Single-Screener-Recherche.** Single-Screener-Recherche durch Bernhard Götzendorfer mit KI-Assistenz (Claude Opus 4.7, 1M context). 2. **Suchsprache DE/EN.** Recherche in DE und EN. Literatur in anderen EU-Sprachen möglicherweise unterrepräsentiert. Mitigation: EU-Layer-Quellen sind häufig EN-übersetzt verfügbar; Wien-Kontext priorisiert DE. 3. **Stand der Recherche: 2026-05-12.** Updates erfolgen in separaten Brief-Versionen (ADR-0002, ADR-0004); bei zeitkritischen Themen (EU-Regulatorik): halbjährliches Re-Screening. 4. **Keine formale Critical Appraisal pro Quelle.** Kein GRADE/ROBINS-I; Qualität heuristisch über Whitelist-Tier-Zuordnung + Peer-Review-Status. IPCC-Calibrated-Language-Tags markieren Confidence pro Key-Claim.

Quellen

2025-iea-energy-and-ai — International Energy Agency (2025). Energy and AI. *IEA, Paris*. [GOLD] URL: <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai>

2022-ipcc-ar6-wg3-buildings — Cabeza, Luisa F.; Bai, Quan; Bertoldi, Paolo (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the IPCC Sixth Assessment Report — Chapter 9: Buildings. *Cambridge University Press*. [GOLD] DOI: [10.1017/9781009157926.011](https://doi.org/10.1017/9781009157926.011)

2024-hernandez-european-smart-buildings — Hernández, José L.; de Miguel, Ignacio; Vélez, Fredy; Vasallo, Ali (2024). Challenges and opportunities in European smart buildings energy management: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 199, 114472*. [HYBRID] DOI: [10.1016/j.rser.2024.114472](https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114472)

2024-alsayed-rl-hvac-review — Al Sayed, Khalil; Boodi, Abhinandana; Sadeghian Broujeny, Roozbeh; Beddiar, Karim (2024). Reinforcement learning for HVAC control in intelligent buildings: A technical and conceptual review. *Journal of Building Engineering, Vol. 95, 110085*. [HYBRID] DOI: [10.1016/j.jobee.2024.110085](https://doi.org/10.1016/j.jobee.2024.110085)

2023-ait-maintenance-hvac — AIT Austrian Institute of Technology; PKE Facility Management (2023). mAIntenance — AI supported maintenance and energy management. *AIT Research Project (Stadt der Zukunft / City of Tomorrow)*. [GOLD] URL: <https://www.ait.ac.at/en/research-topics/efficient-buildings-and-hvac-technologies/projects/ai-supported-maintenance-and-energy-management>

2024-wiener-netze-smart-meter-rollout — ORF Wien Redaktion (2024). Smart Meter-Rollout der Wiener Netze: 1,5 Millionen installierte Geräte zum Jahresende 2024. *wien.ORF.at (Berichterstattung zu Wiener Netze)*. [GOLD] URL: <https://wien.orf.at/stories/3283588/>

2025-mulayim-rl-vs-mpc — Mulayim, M.; Sangoğul, V.; et al. (2025). MPC outperforms RL in real-world HVAC control under comfort normalization. *Applied Energy (accepted); arXiv:2510.01475*. [GREEN] URL: <https://arxiv.org/abs/2510.01475>

2025-voyez-smart-meter-reid — Voyez, Antonin; Allard, Tristan; Avoine, Gildas; Cauchois, Pierre; Fromont, Elisa; Simonin, Matthieu (2025). The privacy cost of fine-grained electrical consumption data. *Scientific Reports (Nature Portfolio), Vol. 15*. [GOLD] DOI: [10.1038/s41598-024-78285-7](https://doi.org/10.1038/s41598-024-78285-7)

2020-oeko-institut-smart-home-rebound — Öko-Institut e.V. (Studie für VZ NRW) (2020). Smart Home – Energieverbrauch und Einsparpotenzial der intelligenten Haustechnik. *Öko-Institut e.V. (im Auftrag der Verbraucherzentrale NRW)*. [GOLD] URL: https://www.verbraucherzentrale.nrw/sites/default/files/2020-04/VZNRW_Smarthome_Stromverbrauch.pdf

Wiener Forschende

- **Martin Kozek** [Hochschule] — TU Wien
ORCID: [0000-0003-0402-3309](https://orcid.org/0000-0003-0402-3309)
Profil: <https://openalex.org/A5020112103>
- **Iva Kovačić** [Hochschule] — TU Wien
ORCID: [0000-0002-0303-3284](https://orcid.org/0000-0002-0303-3284)
Profil: <https://openalex.org/A5060873447>
- **Ardeshir Mahdavi** [Hochschule] — TU Wien

ORCID: 0000-0002-8765-0801

Profil: <https://openalex.org/A5041588177>

Patenschaft

Magistratsdirektion – Baudirektion, Programmleitung Raus aus Gas

Wiener Netze, Innovations- und Nachhaltigkeitsmanagement

Wiener Stadtwerke, Innovationsmanagement

MA 50 Wohnbauförderung, Referat Strategische Projekte und Internationales (*Frage 4*)

Wien Energie (*Dekarbonisierung Fernwärme*)

Wie wirkt sich der Klimawandel auf den Kühlbedarf im Stadtgebiet aus?

Bau & Gebäude — Thema 2.2: Gebäudekühlung in der Bestandsstadt · Status: drafted · Quellen: 7 · Bewertet: 2026-05-09 · Modell: claude-opus-4-7@prompts/ai-rating.v1.md

KI-Eignungs-Score: HOCH

Sum-Regel $D1+D2+D3+D4 = 3+3+3+2 = 11 \rightarrow$ high. D1 (Datenverfügbarkeit): Wien-OGD-Stadtklimaanalyse, Copernicus-LST, ZAMG-Klima-Reanalyse, Wiener-Netze-Smart-Meter-Profilen und EU-Cooling-Degree-Days sind direkt nutzbar — Skala 3. D2 (Aufgabentyp): Mehrere Aufgabentypen kombinierbar — Prediction (Cooling-Degree-Days, sommerliche Spitzenlast), Simulation (Gebäude-Last-Surrogate + Stadt-Klima-Mikroklima-Modelle), Optimization (Fernkälte-Ausbau, reversible Wärmepumpen-Einsatzplanung) und Pattern-Recognition (Hitzeinsel-Kartierung aus Sentinel-2 + Luftbildern). D3 (Methoden-Reife): Etabliert — Building-Energy-Simulation (EnergyPlus, IDA-ICE), CV auf Land-Surface-Temperature und Smart-Meter-Lastprognose werden EU-weit in Smart-City-Pilots produktiv eingesetzt; das MA-22-Energieflussmodell ist die lokale Vorlage. D4 (Ethik/Recht): Aggregierte Last- und Klimadaten unkritisch; Verteilungs-Mapping der 'kalten Kluft' auf Haushalts-Ebene DPIA-pflichtig — Aggregation auf Gebäude-/Bezirks-Ebene mitigiert das Risiko und bleibt im Standard-Compliance-Rahmen \rightarrow Skala 2 (moderat). Keine Override-Regel aktiv (D1, D2, D4 \neq 0).

Anwendungsfälle:

- Stundengenauere Kühlbedarfs-Prognose für den Wiener Bestand: Building-Energy-Simulation (EnergyPlus / IDA-ICE) auf MA-22-Stadtklimaanalyse-Daten + Copernicus-LST + ZAMG-Klimaszenarien, gekoppelt mit aggregierten Wiener-Netze-Smart-Meter-Profilen — Eingabe in MA-20-Pfadrechnung und Wien-Energie-Fernkälte-Ausbauplanung
- Hitzeinsel-+Kühlbedarfs-Overlay-Mapping: Pattern-Recognition auf Sentinel-2-LST und Stadt-Wien-OGD-Luftbildern zur Identifikation der Bestandsbezirke mit höchstem Kühlbedarfs-Anstieg (10., 15., 20.) und Priorisierung passiver Maßnahmen ('Raus aus dem Asphalt', Verschattungs-Programme)
- Optimierung des reversiblen Wärmepumpen-Einsatzes in Wiener Quartieren: kombinierte Heiz-Kühl-Lastflussplanung mit Niedertemperatur-Quellen (Donau, Donaukanal, Grundwasser) gemäß MA-22-Energieflussmodell, Demand-Response gegen sommerliche PV-Erzeugungsspitzen

Methodische Grundlagen

- **Datenbanken:** Scopus, Google Scholar, EEA, IEA-Library, PubMed/PMC, Nature-Portfolio, klimawandelanpassung.at
- **Suchstrings:** „cooling degree days projection uncertainty multi-model urban“, „Wien Energie Fernkälte Hitzetage 2024“, „cooling energy inequality AC access low income“, „building simulation performance gap cooling real-world“
- **Datum:** 2019-01-01 — 2026-05-13
- **Letzter Suchlauf:** 2026-05-13
- **Einschluss:** Wien-Bezug/DACH/EU-übertragbar; \geq 2019 (Deroubaix 2021); peer-reviewed oder institutionell (EEA/IEA/Wien Energie/MA-22); DE/EN; Volltext zugänglich.
- **Ausschluss:** Conference-Abstracts ohne Proceedings; Non-EU außer als Benchmark; Predatory Journals; Pre-Print ohne Akzeptanz-Status.
- **Aufgenommene Quellen:** 12 (6 ursprüngliche + 3 K3-neue Peer-Review + 3 K3-Reuse aus WFK-6.1.1)

Stand der Forschung

Der Klimawandel verschiebt die Heiz-Kühl-Bilanz Richtung Kühlung: Deroubaix et al. (2021, Nature Communications) zeigen für mid-latitude Städte eine Multi-Modell-Spannweite der Cooling-Degree-Days-Projektion von **-20 % bis +400 %** über 13 Klimamodelle — der Trend zu höherem Kühlbedarf ist robust, die Quantifizierung modellabhängig stark streuend [[2021-deroubaix-cooling-energy-demand-uncertainty]]. Wien-Energie-Echtdateen belegen das lokal: +60 % Fernkälte-Nachfrage an Hitzetagen (~35 °C), 53 Tropennächte in der Innenstadt 2024 (*Betreiber-Angabe; medium evidence*) [[2025-wien-energie-hitzetage-cooling-surge]]. Es ist fachlich zu erwarten, dass passive Maßnahmen — Verschattung, Bauteilaktivierung, Nachtlüftung — den Kühlbedarf substanziell senken können; eine belastbare Wien-spezifische Quantifizierung dieses Effekts liegt im aktuellen Quellenkorpus nicht vor (*low confidence; limited evidence*). Falchetta et al. (2024) belegen regressiven AC-Zugang (Italien 39 % gesamt, 10 % unter Armutsgrenze) (*high confidence; robust evidence, high agreement*) [[2024-falchetta-cooling-inequality-global]]. Li et al. (2024) zeigen Cooling-Kapazität aus Grünräumen als strukturell ungleich verteilt [[2024-li-cooling-inequity]].

Forschungslücken

Bestehende Sanierungs-Pakete (THEWOSAN, BeRTA) optimieren primär Heiz-Performance; eine integrierte ganzjährige Heiz-Kühl-Bilanz fehlt für den Wiener Bestand. Gebäudegenaue Last-Profile für aktive Wohn-Kühlung sind nicht öffentlich verfügbar. CDD-Punkt-Projektionen sollten als Bandbreite kommuniziert werden (Deroubaix 2021: -20 % bis +400 % über 13 Klimamodelle) [[2021-deroubaix-cooling-energy-demand-uncertainty]]. Die „kalte Kluft“ hat globale Quantifizierungs-Anker (Falchetta 2024 Italien 39 %/10 %; Li 2024 500 Städte), aber Wien-Spezifika (Fernkälte-Distrikte 1./3./9./10. vs. low-income-Bezirke 6./7./16./17., privater Mietbestand ohne AC-Förderung) ist empirisch unbelegt; Friesenecker et al. (2025) zeigen, dass klimaadaptive Aufwertung ohne Equity-Steuerung Verdrängungsrisiko trägt [[2025-friesenecker-social-housing]].

Trends & Entwicklungen

Im Zeithorizont 2025–2040 verschiebt sich das Wiener Adaptations-Portfolio Richtung integrierter Heiz-Kühl-Systeme: Fernkälte (Wien Energie: 7 → 8 Cooling-Centers, €90 Mio. Investment) und reversible Wärmepumpen mit Niedertemperatur-Quellen — Donau, Donaukanal, U-Bahn-Tunnel-Abwärme — werden zur tragenden Säule [[2025-wien-energie-hitzetage-cooling-surge]]. Tree-Cooling-Wirksamkeit ist klima- und morphologie-spezifisch: temperate Städte wie Wien erzielen moderate, nicht maximale Cooling-Effekte; „Raus aus dem Asphalt“ muss tree-trait-differenziert geplant werden (*high confidence; robust evidence, high agreement*) [[2024-krayenhoff-pedestrian-cooling-mapping]].

KI-Eignungs-Bewertung

Die Frage eignet sich für **Prediction** (CDD-Trajektorien, sommerliche Spitzenlast-Pfade), **Simulation** (Building-Energy-Surrogate gekoppelt mit Stadtklima-Mesomodell), **Optimization** (Fernkälte-Ausbau-Sequenz, reversible Wärmepumpen-Dispatch gegen PV-Erzeugungsspitzen) und **Pattern-Recognition** (Hitzeinsel-Kartierung aus Sentinel-2-LST + Luftbild-Klassifikation) [[2025-iea-energy-and-ai]]. Datengrundlage: MA-22-Stadtklimaanalyse, Copernicus-LST, ZAMG-Klimaszenarien und aggregierte Wiener-Netze-Smart-Meter-Profile direkt verfügbar. Methoden-Reife: EnergyPlus/IDA-ICE und CV-Pipelines auf LST werden EU-weit in Smart-City-Pilots produktiv eingesetzt. Privacy-Caveat: Equity-Mapping auf Haushalts-Ebene wäre DPIA-pflichtig — Bezirks-/Gebäude-Aggregation hält den Standard-Compliance-Rahmen. Caveat zur Methodengrenze: Multi-Modell-Cooling-Projektionen variieren -20 % bis +400 % (Deroubaix 2021) (*medium confidence; medium evidence, high agreement*) — Ensemble-Mean-Outputs sollten als Bandbreite berichtet werden. Aggregiert: D1=3, D2=3, D3=3, D4=2, Sum=11 → **high**.

Methodische Einschränkungen

1. **Single-Screener-Recherche.** Single-Screener-Recherche durch Bernhard Götzendorfer mit KI-Assistenz (Claude Opus 4.7, 1M context). 2. **Suchsprache DE/EN.** Literatur in anderen EU-Sprachen möglicherweise unterrepräsentiert. EU-Layer-Quellen häufig EN-übersetzt; Wien-Kontext priorisiert DE. 3. **Stand der Recherche: 2026-05-13.** Bei zeitkritischen Themen (Fernkälte-Ausbau, Cooling-Equity-Policy, Klimamodell-Updates): Halbjährliches Re-Screening empfohlen. 4. **Keine formale Critical Appraisal pro Quelle.** Qualität über Whitelist-Tier und Peer-Review-Status heuristisch eingeschätzt; IPCC-Calibrated-Language-Tags machen Confidence pro Key-Claim transparent. Deroubaix 2021 (-20 % bis +400 %) belegt, dass Punkt-Projektionen als alleinige Planungs-Grundlage unzureichend sind.

Quellen

2025-iea-energy-and-ai — International Energy Agency (2025). Energy and AI. *IEA, Paris*. [GOLD] URL: <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai>

2021-deroubaix-cooling-energy-demand-uncertainty — Deroubaix, A.; Labuhn, I.; Camredon, M.; Gaubert, B.; Monerie, P.-A.; Popp, M.; Ramarohetra, J.; Ruprich-Robert, Y.; Silvers, L. G.; Siour, G. (2021). Large uncertainties in trends of energy demand for heating and cooling under climate change. *Nature Communications, Vol. 12*. [GOLD] DOI: [10.1038/s41467-021-25504-8](https://doi.org/10.1038/s41467-021-25504-8)

2025-wien-energie-hitzetage-cooling-surge — Wien Energie (2025). Vienna Energy: Up to 60 Percent More District Cooling Demand in Heat. *VOL.AT / APA-Coverage Wien Energie Pressekonferenz, 28.06.2025*. URL: <https://www.vol.at/vienna-energy-up-to-60-percent-more-district-cooling-demand-in-heat/9513140>

2024-falchetta-cooling-inequality-global — Falchetta, G.; De Cian, E.; Pavanello, F.; Sue Wing, I. (2024). Inequalities in global residential cooling energy use to 2050. *Nature Communications, Vol. 15*. [GOLD] DOI: [10.1038/s41467-024-52028-8](https://doi.org/10.1038/s41467-024-52028-8)

2024-krayenhoff-pedestrian-cooling-mapping — Li, Haiwei; Zhao, Yongling; Wang, Chenghao; Ürge-Vorsatz, Diana; Carmeliet, Jan; Bardhan, Ronita (2024). Cooling efficacy of trees across cities is determined by background climate, urban morphology, and tree trait. *Communications Earth & Environment, Vol. 5*. [GOLD] DOI: [10.1038/s43247-024-01908-4](https://doi.org/10.1038/s43247-024-01908-4)

2024-li-cooling-inequity — Li, Yunzhu; Svenning, Jens-Christian; Zhou, Weiqi; Zhu, Kai; Abrams, Jesse F.; Lenton, Timothy M.; Ripple, William J.; Yu, Zhiyong; Teng, Shi-Ning; Dunn, Robert R.; Xu, Chi (2024). Green spaces provide substantial but unequal urban cooling globally. *Nature Communications, Vol. 15, No. 1*. [GOLD] DOI: [10.1038/s41467-024-51355-0](https://doi.org/10.1038/s41467-024-51355-0)

2025-friesenecker-social-housing — Friesenecker, Michael; et al. (2025). Socially equitable climate risk management of urban heat. *npj Urban Sustainability (Nature Portfolio)*. [GOLD] DOI: [10.1038/s42949-025-00202-2](https://doi.org/10.1038/s42949-025-00202-2)

Wiener Forschende

- **Azra Korjenić** [Hochschule] — TU Wien
ORCID: [0000-0002-2904-9532](https://orcid.org/0000-0002-2904-9532)
Profil: <https://openalex.org/A5033351375>
- **Kristina Orehounig** [Hochschule] — TU Wien
ORCID: [0000-0001-6491-7641](https://orcid.org/0000-0001-6491-7641)
Profil: <https://openalex.org/A5008566976>
- **Lukas Kranzl** [Hochschule] — TU Wien
ORCID: [0000-0003-3350-7134](https://orcid.org/0000-0003-3350-7134)
Profil: <https://openalex.org/A5061975511>

Patenschaft

Magistratsdirektion – Baudirektion, Programmleitung Raus aus Gas

Wien Energie

MA 20 Energieplanung, Referat Erneuerbare Energie & Innovative Energielösungen (*Insb. Frage 2b*)

Wien Energie (*Dekarbonisierung Gebäudekühlung*)

