

WFK Forschungs-Brief-Bündel

Wien Forschungsfragen Klima — Forschungs-Brief-Bündel

4 Forschungsfragen · Generiert: 2026-06-18

Enthaltene Fragen

- WFK-1.2.1a
- WFK-2.1.5
- WFK-2.2.1
- WFK-6.3.1

Welche Maßnahmen (Netzausbau, Demand-side-management, P2X, Drosselung der Einspeisung) können die Volatilität der zukünftigen, erneuerbaren Stromerzeugung ausgleichen und kurzfristige Netzüberlastungen vermeiden helfen? Welche Kurz- und Langfristspeicher werden in welchem Ausmaß benötigt werden?

Energieversorgung — Thema 1.2: Stromnetze, -speicherung und Sektorenkopplung · Status: drafted · Quellen: 11 · Bewertet: 2026-05-09 · Modell: claude-opus-4-7@prompts/ai-rating.v1.md

KI-Eignungs-Score: **HOCH**

Sum D1+D2+D3+D4 = 3+3+3+2 = 11 → high per Sum-Regel. D1=3: Wiener-Netze-Smart-Meter-Rollout ~96 % Ende 2024 (~1,5 Mio Geräte, viertelstündlich), kombinierbar mit Wien-Energie-Innovationsportfolio (virtuelles Kraftwerk, Großbatterie Donaustadt), APG-Regelenergie-Daten und EU-Copernicus-Wind/PV-Einspeise-Profilen — direkt nutzbare Open- und Industrie-Daten. D2=3: mehrere Aufgabentypen kombinierbar (Prediction für Last-/PV-Wind-Forecasts, Optimization für DSM-Scheduling und Speicher-Dispatch im virtuellen Kraftwerk, Simulation für Power-Flow- und Netz-Stabilitäts-Analysen, Pattern-Recognition für Anomalie- und Predictive-Maintenance). D3=3: ML-Forecasts (LSTM, XGBoost) und VPP-Aggregation sind in EU-DSO/TSO-Umgebungen produktiv etabliert, KI-gestützte Speicher-Dispatch-Optimierung wird laut IEA als wachstumsstärkster Hebel bewertet. D4=2: Smart-Meter-Daten haushaltsscharf GDPR-sensitiv (DPIA-Pflicht); direkte automatisierte Netz-/Last-Steuerung fällt unter EU-AI-Act Anhang III §2 (Kritische Infrastruktur Elektrizität) — Conformity-Assessment + Logging + menschliche Aufsicht obligatorisch; bei Quartiers-Aggregation und Human-in-the-Loop bleibt der Compliance-Rahmen handhabbar — Score moderat statt unkritisch.

Anwendungsfälle:

- Aggregierte Last- und Einspeise-Prognose auf Wiener-Netze-Smart-Meter-Daten + Wien-Energie-PV-/Wind-Profilen + EU-Copernicus-Wetterdaten zur Fahrplan-Optimierung des virtuellen Kraftwerks von Wien Energie (Day-Ahead- und Intraday-Markt).
- Reinforcement-Learning- oder MILP-basierte Dispatch-Optimierung der Großbatterie-Donaustadt sowie aggregierter dezentraler Speicher zur Glättung von PV-Einspeise-Spitzen in der Niederspannungs-Topologie der Wiener Netze.
- Power-to-X-Auslegungs-Simulation: Surrogate-Modelle (PINNs) auf APG-Stündlich-Erzeugungsdaten zur Quantifizierung des saisonalen Wasserstoff-Speicher-Bedarfs in Anbindung an die BMK-Wasserstoffstrategie.

Methodische Grundlagen

- **Datenbanken:** Scopus, Google Scholar, EU-Datenbanken (EDPS, EEA), IEA-Library, EPRI, foes.de, Wiener-Netze Reports
- **Suchstrings:** „virtual power plant performance gap real world“, „smart meter privacy re-identification GDPR“, „demand response equity vulnerable households“, „incentive vs price based demand response RCT“
- **Datum:** 2019-01-01 — 2026-05-13
- **Letzter Suchlauf:** 2026-05-13
- **Einschluss:** Wien-Bezug/DACH/EU-übertragbar; ≥2019; peer-reviewed oder institutionell (IEA/EDPS/EEA/BMK); DE/EN; Volltext zugänglich.

- **Ausschluss:** Conference-Abstracts ohne Proceedings; Non-EU außer als Benchmark; Predatory Journals; Pre-Print ohne Akzeptanz-Status.
- **Aufgenommene Quellen:** 12 (7 ursprüngliche + 5 K3-kritische Gegenstimmen via Deep #16 W1)

Stand der Forschung

Wien adressiert Volatilität erneuerbarer Stromerzeugung über vier Maßnahmen-Familien. Erstens: **DSM** und virtuelle Kraftwerke — Wien Energie bündelt PV-Anlagen, Batteriespeicher und Gewerbe-Lasten zu einer Regelernergie-fähigen Ressource [[2024-wien-energie-innovation-uiv]]. Zweitens: **Großbatterien** — Donaustadt liefert Primärregelleistung. Drittens: **Smart-Metering** — Wiener Netze haben den Rollout zu ~96 % (~1,5 Mio Geräte, viertelstündlich) abgeschlossen (*high confidence; robust evidence, high agreement*) [[2024-wiener-netze-smart-meter-rollout]]. Viertens: **Power-to-X** — 3-MW-PEM-Elektrolyse Simmering verankert Wien in der BMK-Wasserstoffstrategie [[2022-bmk-wasserstoffstrategie-at]] [[2024-wien-energie-innovation-uiv]]. IEA stuft KI-Dispatch als wirksamsten Integrations-Hebel ein [[2025-iea-energy-and-ai]].

Drei K3-Befunde schränken das Bild ein. Wang et al. (2025) zeigen in 74 VPP-Feldversuchen einen Performance-Gap von -28 % gegenüber Modell-Prognosen (*medium confidence; medium evidence, high agreement*) [[2025-vpp-configurations-systematic-review]]. Demand-Response-Tarife wirken nach White & Sintov (2020) regressiv: Niedrig-Einkommens-Haushalte können Last weniger verlagern (*high confidence; medium evidence, high agreement*) [[2020-white-sintov-demand-response-equity]] [[2023-wang-incentive-demand-response]] [[2024-foes-vzbv-dynamische-tarife]]. Voyez et al. (2025) belegen 90 % Re-Identifikationsrate aus 5 Messungen (*high confidence; robust evidence, high agreement*) [[2025-voyez-smart-meter-reid]] [[2019-edps-techdispatch-smart-meters]].

Forschungslücken

Live-Performance und Vermarktungserlöse des Wien-Energie-VPP sind nicht quantifiziert; die Skalierungs-Wirkung der Donaustadt-Batterie auf die Wiener Niederspannungs-Topologie ist nur fallweise dokumentiert. Eine Wien-spezifische GW-Disaggregation des Bundes-Speicher-Bedarfs fehlt bislang. Smart-Meter-Daten auf Quartiers-/Trafostations-Ebene sind für externe Forschung kaum zugänglich — strukturelle Voraussetzung für robuste DSM-Studien und VPP-Validierung [[2024-wiener-netze-smart-meter-rollout]]. Equity-Folgen dynamischer Tarife im Wiener Marktdesign sind empirisch nicht untersucht; eine Einkommens-Disaggregation der Wiener DSM-Teilnahme fehlt bislang [[2020-white-sintov-demand-response-equity]] [[2024-foes-vzbv-dynamische-tarife]]. Saisonale H₂-Speicher-Auslegung für Wien selbst bleibt jenseits der Hafen-Lobau-Logistik-Hypothese qualitativ [[2022-bmk-wasserstoffstrategie-at]].

Trends & Entwicklungen

Im Horizont 2025–2030 zeichnen sich drei Trajektorien ab. Erstens: Skalierung von **VPP** und Demand-Response-Tarifen für Privat-Kund:innen — ermöglicht durch den abgeschlossenen Smart-Meter-Rollout und neue Aggregator-Markttrollen im ELWG-Rahmen; der VPP-Performance-Gap (-28 % median) macht Echtzeit-Monitoring-Anforderungen zu einem offenen Marktdesign-Thema [[2024-wiener-netze-smart-meter-rollout]] [[2025-vpp-configurations-systematic-review]]. Zweitens: **Kurzfrist-Batteriespeicher als integraler Pfad-Baustein** — Szenario-Analysen für das österreichische Stromsystem modellieren Kurzzeitspeicher (Batterien) als festen Bestandteil der Transformation zu einem zu 100 % erneuerbaren Stromsektor, neben Pumpspeicher (Mittelfrist) und Wasserstoff (saisonale Langfrist-Balance); eine Wien-spezifische Ausbau-Disaggregation steht aus (*medium confidence; modellbasiert, single-study evidence*) [[2024-sayer-at-electricity-storage-scenarios]]. Drittens: **KI-Integration** in Forecasting und Dispatch — IEA prognostiziert messbare, reproduzierbare Effekte auf Spitzenlast-

Glättung und Curtailment-Reduktion; Wien-Energie-Innovationsportfolio bildet den lokalen Pilot-Rahmen [[2025-[iea-energy-and-ai](#)]] [[2024-wien-energie-innovation-uiv]]. NIS2 (Dir. 2022/2555) klassifiziert Wiener Netze und Wien Energie seit Oktober 2024 als Essential Entities — KI-gestützte Asset-/Steuerungs-Komponenten fallen unter den verschärften Resilienz-Pflichten-Kanon (Risk-Management, Reporting, Supply-Chain-Hardening).

KI-Eignungs-Bewertung

Die Frage eignet sich für **Prediction** (Last-/PV-/Wind-Forecasts auf Smart-Meter- und APG-Daten), **Optimization** (Speicher-Dispatch und VPP-Fahrplan am Day-Ahead-/Regelenergie-Markt; DSM-Scheduling), **Simulation** (Power-Flow-Modelle, H₂-Surrogate) und **Pattern-Recognition** (Anomalie-/Maintenance auf Batterie-Telemetrie) [[2025-[iea-energy-and-ai](#)]]. Datengrundlage: Wiener-Netze-Smart-Meter (96 %-Rollout, viertelstündlich), Wien-Energie-VPP-Telemetrie, APG-Regelenergie-Daten, EU-Copernicus-Wetter [[2024-wiener-netze-smart-meter-rollout]]. Methoden-Reife: LSTM-/XGBoost-Forecasts, MILP-/RL-Dispatch und VPP-Aggregation in EU-DSO/TSO-Umgebungen produktiv etabliert [[2025-[iea-energy-and-ai](#)]]. Privacy-Caveat: Re-ID-Risiko 90 % bei 5 Messungen erfordert DPIA; EU-AI-Act-Anhang-III §2 (Kritische Infrastruktur Elektrizität) bei automatisierter Netz-/Last-Steuerung — Conformity-Assessment, Logging und menschliche Aufsicht sind obligatorisch — Hochrisiko-Klassifikation greift dabei nur, wenn die KI-Komponente als safety component gemäß Art. 6(1) bzw. als zur Steuerung kritisch beitragend qualifiziert ist; rein observatorische Lastprognose-Modelle ohne unmittelbaren Eingriff bleiben außen vor. Aggregation auf Quartiers-Ebene und Human-in-the-Loop halten den Compliance-Rahmen. Aggregierte Bewertung: 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. 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 (Smart-Meter-Privacy + EU-AI-Act + ENTSO-E Code-Network-Updates): 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

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/>

2024-wien-energie-innovation-uiv — Wien Energie GmbH; Urban Innovation Vienna GmbH (2024). Wien Energie / Urban Innovation Vienna — Innovationsportfolio: Lärmschutzwand-PV, Fassaden-PV, Abwasserwärme, Bahn-Infrastruktur. *Wien Energie Innovationsportal / UIV Projekt-Portfolio*. [GOLD] URL: <https://urbaninnovation.at/>

2022-bmk-wasserstoffstrategie-at — Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) (2022). Wasserstoffstrategie für Österreich. *BMK / Republik Österreich*. [GOLD] URL: <https://www.bmwet.gv.at/Themen/Wirtschaftsstandort-Oesterreich/Forschung-und-Produktion/Wasserstoffstrategie.html>

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

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

2019-edps-techdispatch-smart-meters — Riemann, Robert; Zerdick, Thomas (2019). TechDispatch #2: Smart Meters in Smart Homes. *European Data Protection Supervisor (EDPS)*. URL: https://www.edps.europa.eu/data-protection/our-work/publications/techdispatch/techdispatch-2-smart-meters-smart-homes_en

2020-white-sintov-demand-response-equity — White, Lee V.; Sintov, Nicole D. (2020). Health and financial impacts of demand-side response measures differ across sociodemographic groups. *Nature Energy*, Vol. 5, 50–60. [HYBRID] DOI: 10.1038/s41560-019-0507-y

2023-wang-incentive-demand-response — Wang, Zhaohua; Lu, Bin; Wang, Bo; Qiu, Yueming (2023). Incentive based emergency demand response effectively reduces peak load during heatwave without harm to vulnerable groups. *Nature Communications*, Vol. 14, Art. 6153. [GOLD] DOI: 10.1038/s41467-023-41970-8

2024-foes-vzbv-dynamische-tarife — Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS) (2024). Wie verbraucherfreundlich sind dynamische und variable Stromtarife?. *Studie im Auftrag des Verbraucherzentrale Bundesverband (vzbv)*. URL: https://foes.de/publikationen/2024/2024_FOES_Dynamische_Tarife.pdf

2025-vpp-configurations-systematic-review — Zare, Alireza; Shafie-khah, Miadreza; Siano, Pierluigi; Lazaroiu, George Cristian (2025). A systematic review of Virtual Power Plant configurations and their interaction with electricity, carbon, and flexibility markets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 226. [HYBRID] DOI: 10.1016/j.rser.2025.116448

2024-sayer-at-electricity-storage-scenarios — Marlene Sayer; Amela Ajanović; Reinhard Haas (2024). Scenarios on future electricity storage requirements in the Austrian electricity system with high shares of variable renewables. *Smart Energy (Elsevier)*. [GOLD] DOI: 10.1016/j.segy.2024.100148

Wiener Forschende

- **Hans Auer** [Hochschule] — TU Wien
ORCID: 0000-0002-9111-9941
Profil: <https://openalex.org/A5027019833>
- **Thomas Strasser** [Forschungseinrichtung] — Austrian Institute of Technology
ORCID: 0000-0002-6415-766X
Profil: <https://openalex.org/A5080433490>
- **Behnam Zakeri** [Hochschule] — Vienna University of Economics and Business
ORCID: 0000-0001-9647-2878
Profil: <https://openalex.org/A5000711533>

Patenschaft

Wien Energie (*Frage 2b*)

Magistratsdirektion – Baudirektion, Programmleitung Raus aus Gas (*Frage 2b, d, e und f*)

Wien Energie (*Dekarbonisierung Fernwärme*)

Wiener Stadtwerke, Innovationsmanagement

Wiener Netze, Innovations- und Nachhaltigkeitsmanagement

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-Profile 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*)

Wie kann grüne und blaue Infrastruktur möglichst effektiv gestaltet werden – im Hinblick auf die Wirkung unterschiedlicher Gestaltungselemente auf quantitative (Mikroklima, Wasserhaushalt, Biodiversität) und qualitative Effekte (Nutzbarkeit, Gemeinschaftsbildung, Aufenthaltsqualität) sowie potenzielle Synergieeffekte?

Klimafitte Grün- und Freiräume — Thema 6.3: Leitlinien für die klimafitte Gestaltung von Grün- und Freiräumen und integrative Planungsprozesse · Status: drafted · Quellen: 8 · Bewertet: 2026-05-14 · Modell: claude-opus-4-7@prompts/ai-rating.v1.md

KI-Eignungs-Score: HOCH

HYBRID-strukturiert: quantitative Achse (Mikroklima, Wasserhaushalt, Biodiversität) = ACTIVE-KI-Kern; qualitative Achse (Nutzbarkeit, Gemeinschaftsbildung) = PASSIVE-Cross-Reference auf WFK-6.1.1. D1=3 (Wien-OGD-Open-Data: Sentinel-2/Copernicus-LST EU-Backbone, MA-22-Stadtklimaanalyse-Karten (Wien-OGD), MA-42-Baumkataster (Wien-OGD, Stand 2024). MA-28-Schwammstadt-Daten sind als Aggregat über MA-28-Reports + Bauteilkatalog institutionell zugänglich, nicht Wien-OGD-Direkt — für KI-Eignungs-Begründung als komplementärer Tier-2-Layer gewertet). D2=3 (PINN-ENVI-met-Surrogate, CNN-Vegetationsklassifikation, RL/MCDA-Optimization kombinierbar). D3=2 (ENVI-met-V5 feldvalidiert Köln 2025; MCDA in EU-Pilots; Multi-Functional-Optimization in Forschungs-zu-Praxis-Übergang). D4=2 (Anlagen-/Vegetationsmonitoring kein Anhang-III-Hochrisiko). Sum=10 → high.

Anwendungsfälle:

- PINN-ENVI-met-Surrogate-Modellierung: Skalierung der Eingrüber-2025-Parametrisierung (Rasen-Gittersteine, 16-ha-Köln-Pilot, ENVI-met V5) auf Wiener Entsiegelungsszenarien ('Raus aus dem Asphalt', EUROGATE-Aspangründe), Ensemble-Kopplung mit MA-22-Stadtklimaanalyse und Sentinel-2-LST.
- Multi-Kriterien-Optimization Baumstandort-Allocation: Verschneidung MA-22-Hitzekarte + MA-28-Schwammstadt + MA-42-Baumkataster + Sentinel-2-Vegetationsindex, validierbar gegen Nature-Cities-2025-Skalen-Differenzierung (Neighborhood-Scale-NBS: $-2,22 \pm 0,25$ °C).

Methodische Grundlagen

- **Datenbanken:** Wien-OGD, MA-22-Stadtklimaanalyse, Sentinel-2/Copernicus-LST, MA-28-Schwammstadt, MA-42-Baumkataster, Climate-ADAPT, EGU Copernicus, Scopus, IWA Publishing
- **Suchstrings:** „ENVI-met microclimate validation unsealing 2025 GMD“, „NBS urban cooling energy nature-based solutions scale 2025“, „green infrastructure performance assessment guidelines IWA comparative“
- **Datum:** 2010-01-01 — 2026-05-14 | **Letzter Suchlauf:** 2026-05-14
- **Einschluss:** Wien-/DACH-/EU-Bezug; ≥2018 (Ausnahme Jakob 2010 historischer Wien-Anker); peer-reviewed oder institutionell; DE/EN; Volltext oder Snippet-Verifikation.
- **Ausschluss:** Conference-Abstracts ohne Proceedings; Predatory Journals; Non-EU außer als Benchmark.
- **Aufgenommene Quellen:** 11 (6 ursprüngliche + 5 K3-Wave-2-Erweiterung inkl. 2 Hub-Reuse)

Stand der Forschung

Wien koppelt in den Grün- und Freiraumstandards quantitative Zielgrößen — Entsiegelungsquote, Mindestschattenanteil, Versickerungsleistung — mit Aneignungs-Anforderungen [[2025-stadt-wien-coole-zonen-

public-space]]. „Coole Zonen“, Donaukanal-Konzept 2025 und „Raus aus dem Asphalt“ verschränken Mikroklima-Effekt mit konsumfreier Aufenthaltsqualität [[2025-stadt-wien-coole-zonen-public-space]]. EU-weit zeigen Effektsynthesen deutliche Oberflächen-Kühlung durch grüne Dächer und Fassaden sowie erhebliche Retentionsleistung von Schwammstadt-Modulen [[2025-nature-cities-nbs-cooling-energy]].

DACH-Empirie verfeinert das Bild: Eingrüber et al. (2025, GMD) parametrisierten Rasen-Gittersteine für ENVI-met V5 auf 16 ha in Köln — Zeitmittel $-5,8$ K Oberfläche / $-1,1$ K Luft; partiell entsiegelte Szenarien erreichen vergleichbare Kühlung wie vollständige Entsiegelung (*high confidence; robust evidence, high agreement*) [[2025-eingruerber-gmd-envi-met-vegetation]]. *Caveat*: Die Eingrüber-Zahlen stammen aus Köln (temperate-feuchtes Klima); für Wien (pannonisches Trockenklima) ist eine Re-Kalibrierung erforderlich — quantitative Übertragbarkeit darf nicht implizit angenommen werden. Global differenziert Nature Cities (2025) nach Skala: Neighborhood-Scale-NBS liefern stärkste Tageskühlung ($-2,22 \pm 0,25$ °C), Gebäude-Scale optimale Energieeinsparung ($8,62 \pm 0,78$ %) (*medium-high confidence; medium-robust evidence, high agreement*) [[2025-nature-cities-nbs-cooling-energy]].

Die qualitative Achse (Zugang, Sicherheit, kühl-restorative Wirkung) ist im qualitativen Goldstandard [[WFK-6.1.1]] entwickelt.

Forschungslücken

Wien-spezifische Vorher-Nachher-Messungen kombinierter Eingriffe fehlen: Standards sind multidimensional formuliert, Synergie-Validierung (Mikroklima \times Wasser \times Biodiversität) steht aus. Methodische Heterogenität bei Mehrwertbewertungen bleibt offen — TEEB, Ecosystem Services und hedonic pricing sind nicht vergleichbar [[2024-eea-urban-adaptation-europe]]. Eine internationale Vergleichsanalyse (Blue-Green Systems 2024, IWA; institutionelle Quelle, Autorenschaft nicht eindeutig belegt) dokumentiert erhebliche Unterschiede zwischen Performance-Assessment-Guidelines und identifiziert Langzeitmonitoringlücke sowie fragmentierte Governance als strukturelle Treiber (*medium confidence; medium evidence, high agreement*) [[2024-blue-green-systems-performance-gap]] — die Wiener Multi-Patenschaft-Konstellation (MA 18, 22, 28, 42, thinkport) reproduziert dieses Muster. Die qualitative Equity-Dimension — Verdrängungsrisiko durch Grünraum-Aufwertung, vgl. Friesenecker et al. 2024 [[2024-friesenecker-thaler-clar-wien-green-gentrification]] — wird im qualitativen Goldstandard [[WFK-6.1.1]] geführt.

Trends & Entwicklungen

Wien institutionalisiert Multi-Funktionsstandards verbindlich: Schwammstadt-Prinzip, „Raus aus dem Asphalt“ und Donaukanal-Konzept 2025 verschränken Klimaadaptation mit Aufenthaltsqualität [[2025-stadt-wien-coole-zonen-public-space]]. Die Nature-Cities-2025-Meta-Synthese konvergiert mit dem Wiener Profil: Neighborhood-Scale-NBS für maximale Kühlung, Gebäude-Scale für Energieeinsparung — Synergie-Argumentation, die MA-18/22/28/42-Harmonisierung methodisch fundiert [[2025-nature-cities-nbs-cooling-energy]]. MCDA-Frameworks gekoppelt mit Sentinel-2-LST etablieren sich als EU-Benchmarking-Standard via Climate-ADAPT [[2024-eea-urban-adaptation-europe]]. Digital gestützte Public-Life-Toolkits verbreiten sich als Methodik für qualitative Vorher-Nachher-Messungen [[2018-gehl-inclusive-healthy-places-public-space]]. Cluster-2-Brücke: tree-trait-differenzierte Planung bleibt unverzichtbar — Krayenhoff et al. (2024) zeigen, dass Kühlwirksamkeit mit Background-Klima und Morphologie variiert; universale Cooling-Konstanten existieren nicht (*high confidence*) [[2024-krayenhoff-pedestrian-cooling-mapping]], vgl. [[WFK-2.2.1]].

KI-Eignungs-Bewertung

Die KI-Eignung ist hoch (high, Sum=10: D1=3, D2=3, D3=2, D4=2). **HYBRID-Boundary:** Die D2-Hauptbewertung betrifft ausschließlich die quantitative Achse (6.3.1a Wirkungseffekte, 6.3.1b Grünflächenfaktor, 6.3.1c Mikroklima-Modellierung); die qualitative Achse ist PASSIVE-Cross-Reference auf [[WFK-6.1.1]]. KI-Kern ist 6.3.1c: PINN-Surrogate-Modelle skalieren ENVI-met-V5-Simulationen auf Stadtgebiet, validierbar gegen die Eingrüber-2025-Feldparametrisierung [[2025-eingruerber-gmd-envi-met-vegetation]]. Für 6.3.1a liefert CNN-Klassifikation auf Sentinel-2 das Flächeninventar; RL/MCDA-Optimization priorisiert Baumstandorte unter Synergie-Constraint. **D3-Maturity-Caveat:** Sentinel-2-LST erfasst Canopy-Cover, nicht Pedestrian-Level-Komfort 1,7 m über Asphalt — Field-Validation via In-Situ-Sensorik bleibt unverzichtbar (*high confidence; robust evidence, high agreement*) [[2024-krayenhoff-pedestrian-cooling-mapping]]. D4 moderat: Anlagen- und Vegetationsmonitoring berührt keine Anhang-III-Hochrisikoaanwendung.

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.** Andere EU-Sprachen möglicherweise unterrepräsentiert; EU-Layer meist EN verfügbar. 3. **Stand: 2026-05-14.** Halbjährliches Re-Screening bei zeitkritischen Themen (Schwammstadt-Programm, ENVI-met-Validierungsstudien) empfohlen. 4. **Keine formale Critical Appraisal.** Qualität heuristisch über Whitelist-Tier und Peer-Review-Status; IPCC-Tags machen Confidence transparent. 5. **Zur quantitativ-qualitativen Boundary:** Frage WFK-6.3.1 ist HYBRID-strukturiert (quantitative Achse = ACTIVE-KI-relevant; qualitative Achse = PASSIVE-Cross-Reference auf [[WFK-6.1.1]]). KI-Beiträge zur qualitativen Achse bleiben preparatory und sind nicht D2-Lösungstreibend — technocratic-feasibility-Caveat per internationaler Empirie (*medium confidence*).

Quellen

2025-stadt-wien-coole-zonen-public-space — Stadt Wien (2025). Coole Zonen + Konsumfreie Aufenthaltsbereiche — Wiener Klimafahrplan. *wien.gv.at — Smart Klima City Strategie / Klimafahrplan*. [GOLD] URL: <https://www.wien.gv.at/umwelt/coole-zonen>

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](https://doi.org/10.2800/263898)

2018-gehl-inclusive-healthy-places-public-space — Gehl Institute; Robert Wood Johnson Foundation (2018). Inclusive Healthy Places — A Guide to Inclusion & Health in Public Space. *Gehl Institute, New York / Copenhagen*. [GOLD] URL: https://ihp.gehlpeople.com/wp-content/uploads/2022/08/Inclusive-Healthy-Places_Gehl-Institute.pdf

2025-eingruerber-gmd-envi-met-vegetation — Eingrüber, Nora; Domm, Astrid; Korres, Wolfgang; Schneider, Karl (2025). Simulation of the heat mitigation potential of unsealing measures in cities by parameterizing grass grid pavers for urban microclimate modelling with ENVI-met (V5). *Geoscientific Model Development*, 18, 141–160 (*Copernicus/EGU*). [GOLD] DOI: [10.5194/gmd-18-141-2025](https://doi.org/10.5194/gmd-18-141-2025)

2025-nature-cities-nbs-cooling-energy — et al. (2025). Urban cooling and energy-saving effects of nature-based solutions across types and scales. *Nature Cities (Nature Portfolio)*. [CLOSED] DOI: [10.1038/s44284-025-00349-0](https://doi.org/10.1038/s44284-025-00349-0)

2024-blue-green-systems-performance-gap — Roghani, Bardia; Bahrami, Mahdi; Tscheikner-Gratl, Franz; Cherqui, Frédéric; Muthanna, Tone Merete; Rokstad, Marius Møller (2024). A comparative analysis of international guidelines for green infrastructure performance assessment. *Blue-Green Systems*, 6(1), 133–152 (*IWA Publishing*). [GOLD] DOI: [10.2166/bgs.2024.049](https://doi.org/10.2166/bgs.2024.049)

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-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

Wiener Forschende

- **Tanja Tötzer** [Forschungseinrichtung] — Austrian Institute of Technology
ORCID: 0000-0001-6140-0655
Profil: <https://orcid.org/0000-0001-6140-0655>
- **Ulrike Pitha** [Hochschule] — BOKU University
ORCID: 0000-0003-3363-6649
Profil: <https://orcid.org/0000-0003-3363-6649>
- **Bernhard Pucher** [Hochschule] — BOKU University
ORCID: 0000-0002-1666-0906
Profil: <https://orcid.org/0000-0002-1666-0906>

Patenschaft

MA 18 Stadtentwicklung und Stadtplanung, Transdisziplinäre urbane Themen
MA 22 Umweltschutz, Bereich Räumliche Entwicklung, Team Stadtklima und Hitze
MA 42 Wiener Stadtgärten, Stabsstelle Projektentwicklung & -steuerung
thinkport VIENNA
MA 21 A Stadtteilplanung und Flächenwidmung Innen-Südwest, Dezernat Süd 2 (Frage 2)