

Wie beeinflusst eine höhere Dichte an Erd- und Luftwärmepumpen die Wachstumsbedingungen von Pflanzen im städtischen Raum und welche Empfehlungen lassen sich daraus ableiten?

Energieversorgung — Thema 1.1: Anlagen für erneuerbare Energien im städtischen Kontext · Status: drafted · Quellen: 5 · Bewertet: 2026-06-23 · Modell: claude-opus-4-8@prompts/synthesis.v2.md

KI-Eignungs-Score: **MITTEL**

Sum-Regel $D1+D2+D3+D4 = 2+2+2+3 = 9 \rightarrow$ medium. D1 (Datenverfügbarkeit): Wien-Grundwasser-Temperatur-Monitoring (Kaminsky et al. 2025) + Wien-OGD-Geodaten + Copernicus sind vorhanden, aber kein integrierter Datensatz Wärmepumpen-Dichte $\times$ Boden-/Wurzelaum-Temperatur $\times$ Pflanzenwachstum — fragmentiert, teils EU-übertragbar. D2 (Aufgabentyp): ein bis zwei klare Aufgaben — räumliche Prädiktion/Simulation des Boden-Thermalregimes unter Wärmepumpen-Dichte (Subsurface- + Mikroklima-Modellierung) und Sensor-Netz-Pattern-Recognition; nicht mehrere reif kombinierbare Aufgaben für die ökologische Kopplung. D3 (Methoden-Reife vs. Domäne): Subsurface- und Stadtklima-Modellierung sind hybrid-reif, die Pflanzenwachstums-Kopplung selbst ist experimentell. D4 (Ethik/Recht): unkritisch — keine personenbezogenen Daten, kein AI-Act-Anhang-III, rein umwelt-/geodatenbasiert. Keine Override-Regel aktiv.

Anwendungsfälle:

- Räumliche Simulation/Prädiktion des oberflächennahen Boden-Thermalregimes unter steigender Erdwärmepumpen-Dichte auf Basis der Wiener Grundwasser-Temperatur-Messnetze + Wien-OGD-Geodaten — Identifikation thermischer Interferenz-Hotspots, wo Wärmeentzug Wurzelaum-Temperaturen unter das Wachstums-Optimum drückt
- Mikroklima-Modellierung des bodennahen Lufttemperatur-/Verdunstungs-Felds bei dichten Luftwärmepumpen-Außeneinheiten (anthropogener Abwärme-Eintrag) zur Standort-Optimierung straßennaher Begrünung

Methodische Grundlagen

- **Datenbanken:** Wien-OGD (data.wien.gv.at, Grundwasser-/Geodaten), Scopus, Crossref, OpenAlex, Google Scholar, Frontiers/Nature-OA-Repositorien
- **Suchstrings:** „shallow groundwater warming urban aquifer Vienna“, „subsurface urban heat island ground source heat pump“, „soil temperature plant root growth physiology“, „anthropogenic waste heat building HVAC urban microclimate“
- **Datum:** 2019-01-01 — 2026-06-23
- **Letzter Suchlauf:** 2026-06-23
- **Einschluss:** Wien-Bezug/DACH/EU-übertragbar; ≥ 2019 (Edge-Case-Toleranz wegen dünner Spezial-Literatur); peer-reviewed oder institutionell; DE/EN; Volltext.
- **Ausschluss:** Conference-Abstracts ohne Proceedings; Predatory; Pre-Print ohne Akzeptanz; reine Agrar-Studien ohne Übertragbarkeit auf urbane Vegetation.
- **Gesichtete Treffer:** ~28 **Aufgenommene Quellen:** 5

Stand der Forschung

Der oberflächennahe städtische Untergrund ist messbar erwärmt: Wiener Stadt-Aquifere zeigen einen signifikanten langfristigen Grundwasser-Erwärmungstrend (subsurface urban heat island) (*high confidence; medium evidence, high*

agreement) [[2025-kaminsky-vienna-groundwater-warming]]. Diese akkumulierte anthropogene Untergrund-Wärme ist global so groß, dass ihre Rückgewinnung per Erdwärmepumpen einen substanziellen Teil des Heizbedarfs decken könnte — Wärmeentzug stabilisiert das Regime, kann bei sehr hoher Dichte aber lokal zu thermischer Interferenz und Boden-Auskühlung führen (*medium confidence; medium evidence, medium agreement*) [[2022-benz-subsurface-heat-recycling]]. Boden-Temperatur ist physiologisch ein zentraler Treiber: sub- wie supra-optimale Wurzelraum-Temperaturen senken Wurzel-Performance und damit oberirdisches Wachstum [[2020-calleja-cabrera-root-growth-soil-temperature]]. Auf der Luftseite geben HLK-Anlagen inklusive Luftwärmepumpen-Außeneinheiten signifikante Abwärme an die bodennahe Umgebungsluft ab, die sich bei hoher Dichte zu einem Mikroklima-Effekt summiert (*medium confidence; limited evidence, medium agreement*) [[2020-hong-building-heat-emissions-microclimate]]. Wärmepumpen sind dabei der etablierte Kern der Heizungs-Dekarbonisierung [[2021-abbasi-heat-pump-decarbonisation-buildings]].

Forschungslücken

Es existiert keine Studie, die Wärmepumpen-Dichte direkt mit Wurzelraum-Temperatur und Pflanzenwachstum im Wiener Stadtraum koppelt — die vorliegende Evidenz verbindet erst Einzelglieder der Wirkungskette (Untergrund-Erwärmung, Wurzel-Temperatur-Physiologie, HLK-Abwärme) [[2025-kaminsky-vienna-groundwater-warming]] [[2020-calleja-cabrera-root-growth-soil-temperature]]. Es fehlen Feld-Längsschnittdaten zur Boden-Temperatur im Wurzelraum straßennaher Bäume in Vierteln mit hoher Erdsonden-Dichte, ebenso belastbare Schwellenwerte, ab welcher Anlagendichte thermische Interferenz vegetationsrelevant wird. Unklar ist zudem das Vorzeichen des Netto-Effekts: Wärmeentzug (Erdsonden, kühlend) und Abwärme-Eintrag (Luftwärmepumpen, erwärmend) wirken gegenläufig auf das bodennahe Thermalfeld, und ihre räumliche Überlagerung wurde für Wien nie gemessen. Auch die jahreszeitliche Dynamik (Entzug im Winter, Eintrag im Sommer-Kühlbetrieb) und die Folgen für Boden-Mikrobiom und Wasserhaushalt im Wurzelraum sind offen [[2020-hong-building-heat-emissions-microclimate]].

Trends & Entwicklungen

Im Horizont 2025–2030 treibt das Programm „Raus aus Gas“ eine rasch steigende Wärmepumpen-Dichte in Wien — die Untergrund-Nutzung wird vom Einzelfall zur Flächen-Frage (*medium confidence; limited evidence, medium agreement*) [[2022-benz-subsurface-heat-recycling]]. Damit gewinnt die räumliche Steuerung der Erdsonden-Dichte (thermische Bewirtschaftung des Untergrunds, Mindestabstände, Entzugs-Bilanzierung) regulatorisch an Bedeutung, zumal hohe Vorlauftemperatur-Anforderungen des Bestands den Entzug pro Sonde erhöhen [[2021-abbasi-heat-pump-decarbonisation-buildings]]. Parallel wächst das Wiener Grundwasser-Temperatur-Monitoring zur tragfähigen Datenbasis für Subsurface- und Mikroklima-Modelle heran, die Dichte-Szenarien vorausberechnen können (*high confidence; medium evidence, high agreement*) [[2025-kaminsky-vienna-groundwater-warming]].

KI-Eignungs-Bewertung

Mittlere KI-Eignung (Score *medium*, Rubric-Sum 9/12, D1=2 / D2=2 / D3=2 / D4=3). Einschlägige Aufgabentypen: **Simulation** und **Prediction** des oberflächennahen Boden-Thermalregimes unter steigender Erdsonden-Dichte sowie **Pattern-Recognition** auf Boden-/Grundwasser-Sensornetzen [[2022-benz-subsurface-heat-recycling]] [[2025-kaminsky-vienna-groundwater-warming]]. Konkreter Wien-Use-Case: räumliche Prädiktion thermischer Interferenz-Hotspots aus den Wiener Grundwasser-Messnetzen + Wien-OGD-Geodaten, um Standorte zu identifizieren, an denen Wärmeentzug die Wurzelraum-Temperatur unter das Wachstums-Optimum drückt [[2020-calleja-cabrera-root-growth-soil-temperature]]. Die KI-Rolle bleibt analytisch-unterstützend: sie modelliert das

physikalische Feld, ersetzt aber nicht die pflanzenökologische Bewertung. Rechtlich unkritisch — keine personenbezogenen Daten, kein AI-Act-Anhang-III-Bezug; D4=3.

Methodische Einschränkungen

1. **Single-Screener-Recherche.** Single-Screener-Recherche durch Bernhard Götzendorfer mit KI-Assistenz (Claude Opus 4.8, 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: 2026-06-23.** Updates erfolgen in separaten Brief-Versionen (ADR-0002, ADR-0004); bei zeitkritischen Themen halbjährliches Re-Screening. 4. **Keine formale Critical Appraisal pro Quelle.** Kein GRADE/ROBINS-I; Qualität heuristisch über Whitelist-Tier + Peer-Review-Status. IPCC-Calibrated-Language-Tags markieren Confidence pro Key-Claim. 5. **Wien-spezifische Literatur dünn (Edge-Case).** Keine Quelle koppelt Wärmepumpen-Dichte direkt mit Pflanzenwachstum; der Stand der Forschung verbindet Einzelglieder der Wirkungskette. Die Übertragbarkeit ist mechanistisch (Boden-Thermalregime → Wurzel), nicht als Wien-Feldbefund belegt.

Quellen

2025-kaminsky-vienna-groundwater-warming — Kaminsky, Eva; Laaha, Gregor; Steiner, Cornelia; Buga-Nyéki, Z.; Englisch, M.; Griebler, Christian (2025). Increasing Trends of Shallow Groundwater Warming in Vienna's Urban Aquifers. *Hydrological Processes*. [HYBRID] DOI: 10.1002/hyp.70076

2022-benz-subsurface-heat-recycling — Benz, Susanne A.; Menberg, Kathrin; Bayer, Peter; Kurylyk, Barret L. (2022). Shallow subsurface heat recycling is a sustainable global space heating alternative. *Nature Communications*. [GOLD] DOI: 10.1038/s41467-022-31624-6

2020-calleja-cabrera-root-growth-soil-temperature — Calleja-Cabrera, Julián; Boter, Marta; Oñate-Sánchez, Luis; Pernas, Mónica (2020). Root Growth Adaptation to Climate Change in Crops. *Frontiers in Plant Science*. [GOLD] DOI: 10.3389/fpls.2020.00544

2020-hong-building-heat-emissions-microclimate — Hong, Tianzhen; Ferrando, Martina; Luo, Xuan; Causone, Francesco (2020). Modeling and analysis of heat emissions from buildings to ambient air. *Applied Energy*. [GREEN] DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115566

2021-abbasi-heat-pump-decarbonisation-buildings — Abbasi, M. H.; Abdullah, B.; Ahmad, M. W.; Rostami, A.; Cullen, J. (2021). Heat transition in the European building sector: Overview of the heat decarbonisation practices through heat pump technology. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. [HYBRID] DOI: 10.1016/j.seta.2021.101630

Wiener Forschende

- **Gregor Laaha** [Hochschule] — BOKU University
ORCID: 0000-0002-6793-9640
Profil: <https://orcid.org/0000-0002-6793-9640>
- **Eva Kaminsky** [Hochschule] — BOKU University
ORCID: 0000-0002-7071-336X
Profil: <https://orcid.org/0000-0002-7071-336X>
- **Cornelia Steiner** [Forschungseinrichtung] — GeoSphere Austria
ORCID: 0000-0001-7210-8561
Profil: <https://orcid.org/0000-0001-7210-8561>

Patenschaft

