

Donnerstag, 26. Februar 2026, 15.20 Uhr

Ortenauhalle Kongress 1

Tiefe Geothermie

Thursday, 26 February 2026, 3.20 pm

Ortenauhalle Congress 1

Deep geothermal energy



BMFTR Projekt KI-Bohrer - KI-Steuerung zur Schallreduktion bei innerstädtischen Geothermie Bohrungen in Kooperation mit der Herrenknecht Vertical GmbH

BMFTR Project KI-Bohrer – AI guided noise reduction for urban geothermal drilling in cooperation with Herrenknecht Vertical GmbH

Martin Spitznagel, Daniel Ladwig, Jan Vaillant, Klaus Dorer, Janis Keuper
Institute for Machine Learning and Analytics, Hochschule Offenburg

Die Nutzung geothermischer Energie in urbanen Räumen gewinnt zunehmend an Bedeutung und gilt als wesentlicher Baustein zur Erreichung internationaler Klimaziele. Der Einsatz entsprechender Technologien in Städten ist jedoch mit Herausforderungen verbunden – insbesondere durch die erhebliche Lärmbelastung, die beim Bohren entsteht. Bisherige Ansätze zur Lärmreduktion sind meist manuell gesteuert und erweisen sich häufig als unzureichend, um die strengen gesetzlichen Grenzwerte im städtischen Umfeld einzuhalten. In dicht besiedelten Gebieten führen die für die Energiegewinnung notwendigen anfänglichen Tiefbohrungen oft zu starken Beeinträchtigungen der Anwohner. Vor allem die nächtlichen Lärmgrenzwerte von etwa 35 dB stellen angesichts eines durchgängigen 24/7-Betriebs eine erhebliche Hürde dar. Klassische Maßnahmen wie zeitliche Verschiebungen oder der Einsatz physischer Barrieren bieten nur begrenzte Wirkung.

Das vorgestellte Projekt setzt deshalb auf ein KI-gestütztes Assistenzsystem, das über die Möglichkeiten herkömmlicher Verfahren hinausgeht. Anstatt den Lärm lediglich nachträglich zu dämpfen, wird er direkt an der Quelle aktiv reduziert. Hierzu werden Deep Reinforcement Learning (DRL) und generative neuronale Netze kombiniert, um dem Bohrpersonal in Echtzeit optimierte Bohrparameter vorzuschlagen. So lassen sich Lärmmissionen wirksam verringern, ohne die Effizienz des Bohrprozesses zu beeinträchtigen.

Die Grundlage bildet eine Simulationsumgebung, in der ein DRL-Agent trainiert wird, Vorschläge für eine lärmreduzierte Bohrung zu machen. Diese Umgebung stützt sich auf zwei zentrale, datengestützte Modelle:

Drill-LSTM, Der digitale Zwilling der Bohranlage: Um das Maschinenverhalten realitätsgerecht abzubilden, wurde ein Sequenz-zu-Sequenz Long-Short-Term-Memory (LSTM) Netzwerk trainiert. Dieses Modell dient als digitaler Zwilling der Bohranlage und prognostiziert zukünftige Maschinenzustände auf Basis definierter Aktionsmerkmale. Der zugrundeliegende Datensatz umfasst etwa 700 Merkmale, die über einen Monat im 60-Sekunden-Takt gesammelt wurden. Das Drill-LSTM ermöglicht es dem DRL-Agenten, die Konsequenzen verschiedener Steuerungsmaßnahmen präzise vorherzusehen und bildet somit die Grundlage für eine fundierte Entscheidungsfindung.

Sound-GAN, Echtzeit-Prognose der Schallausbreitung: Um die Lärmauswirkungen eines jeden Maschinenzustands zu bewerten, nutzt das System ein generatives KI-Modell zur Simulation der Schallausbreitung. Klassische, physikbasierte Simulationen sind für eine Echtzeit-Anwendung zu langsam. Unter Echtzeit wird hier eine Reaktionszeit von höchstens einer Sekunde pro Inferenz verstanden. Wie der Leistungsvergleich in Tabelle 1 zeigt, ist die Leistung generativer Modelle signifikant höher. Das generative Modell erreicht eine 400.000-fache Beschleunigung gegenüber der Standardsimulation bei einem mittleren absoluten Fehler von 1.9956 dB. Diese enorme Geschwindigkeit ist der zentrale technologische Schlüssel, der den Einsatz von KI zur dynamischen Lärmoptimierung ermöglicht.

Model - Condition	Mean Runtime (ms)	Mean Absolute Error (MAE) in dB
UNet	1.32	2.2011
GAN	1.32	1.9956
Diffusion	3911.36	2.1781
Simulation for complex Machine Setup	540000.00	-

Tabelle 1: Leistungsvergleich in Millisekunden für die Verarbeitung eines Standortes durch Generative Modelle (Unet, GAN, Diffusion) im Vergleich zur Simulationsmethode mit einer komplexen Schallquelle.

Der trainierte DRL-Agent gibt seine Handlungsempfehlungen nicht direkt an die Maschine, sondern als Assistenzsystem an den menschlichen Maschinenführer. Die Prognosen und Empfehlungen werden in einer ständig aktualisierten Benutzeroberfläche präsentiert. Diese ist in drei Bereiche gegliedert: Status (wichtigste Indikatoren wie Lärmpegel und Bohrrate), Analyse (historische und prognostizierte Trends) und Empfehlung. Ein zentrales Feature ist die Visualisierung der prognostizierten Entwicklung – sowohl mit als auch ohne Annahme der Empfehlung. Dies unterstützt den Maschinenbediener dabei, die Vorschläge der KI nachzuvollziehen und fundierte Entscheidungen zu treffen.

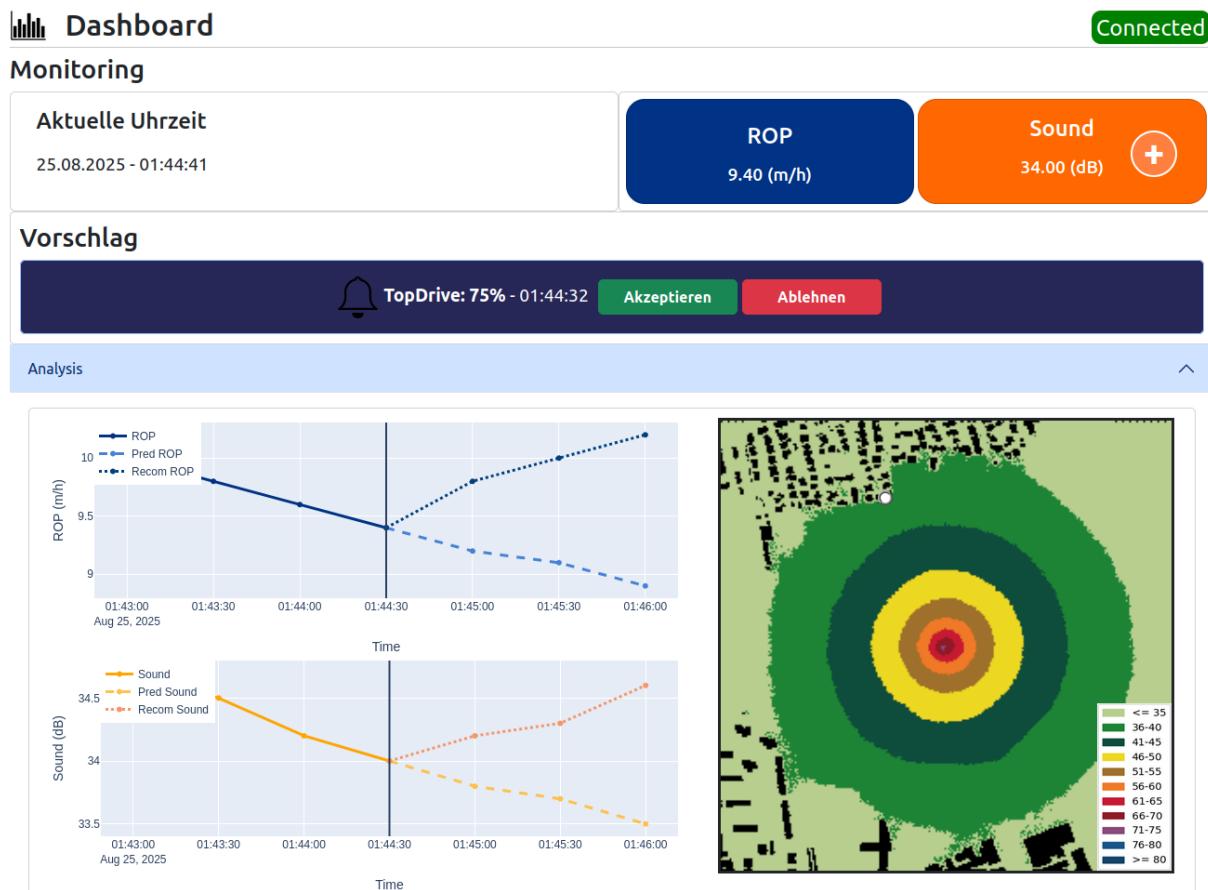


Abbildung 2: Demo der Benutzeroberfläche des Assistenzsystems

Die Leistung der Einzelmodelle sowie des Gesamtsystems wird anhand von realen Maschinendaten von vergangenen und laufenden Bohroperationen validiert. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass die generative KI eine schnelle und präzise Vorhersage der Schallausbreitung erlaubt. Dies schafft die Voraussetzung, ein DRL-Modell zu trainieren, das effiziente Vorschläge – im Sinne von Geschwindigkeit und Lärm – zur Verbesserung des Bohrprozesses in urbanen Gebieten liefern kann. Die so verringerten Schallemissionen von Geothermiebohrungen können die Akzeptanz von Geothermieprojekten in Städten entscheidend erhöhen und tragen somit direkt zur wirtschaftlichen Tragfähigkeit und zur Beschleunigung der Wärmewende bei.

References

1. Spitznagel, M., & Keuper, J. (2024). Urban Sound Propagation: a Benchmark for 1-Step Generative Modeling of Complex Physical Systems. <https://arxiv.org/abs/2403.10904>
2. Spitznagel, M., Vaillant, J., & Keuper, J. (2025). PhysicsGen: Can Generative Models Learn from Images to Predict Complex Physical Relations? Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 11125–11134.
3. <https://www.ki-bohrer.de/>