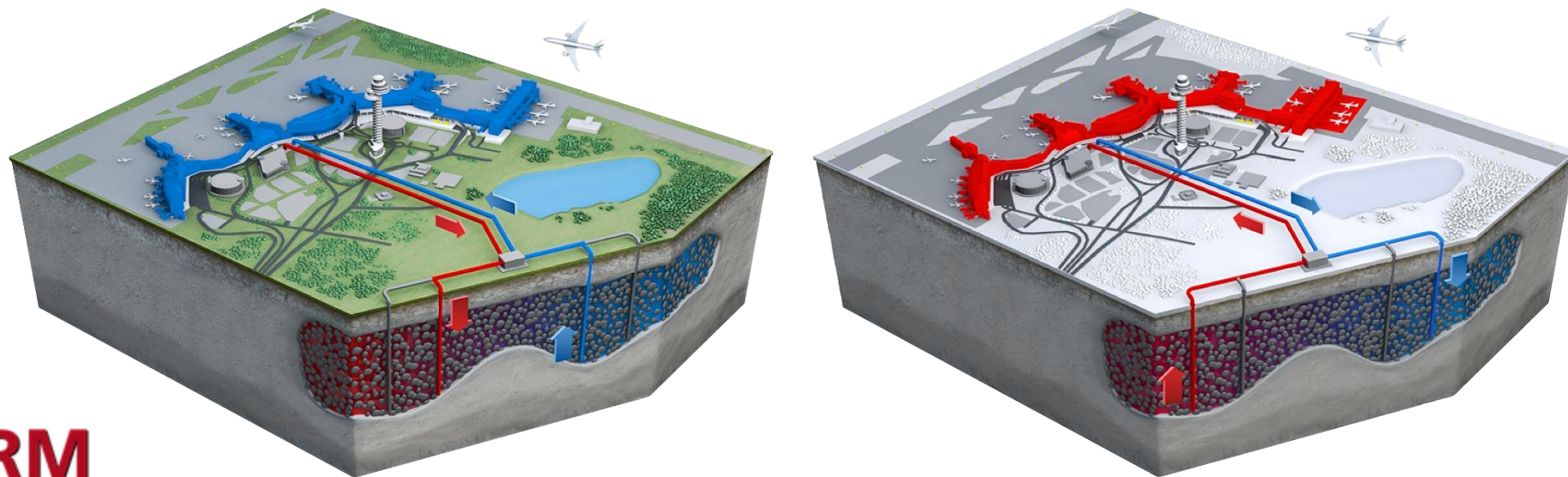


# Thermische Aquiferspeicher – Potentiale und Barrieren in Deutschland

**Ruben Stemmler, Kathrin Menberg, Matthias Herrmann, Florian Barth, Philipp Blum**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW), 76131 Karlsruhe

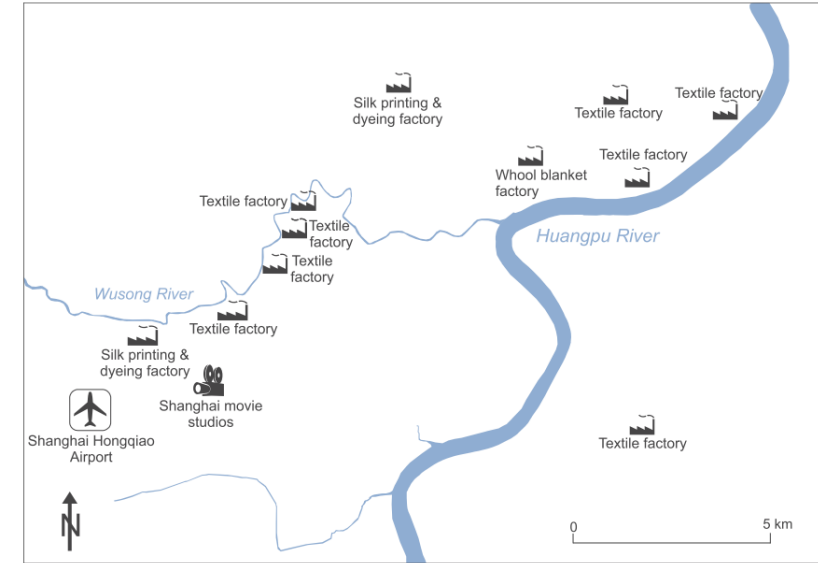
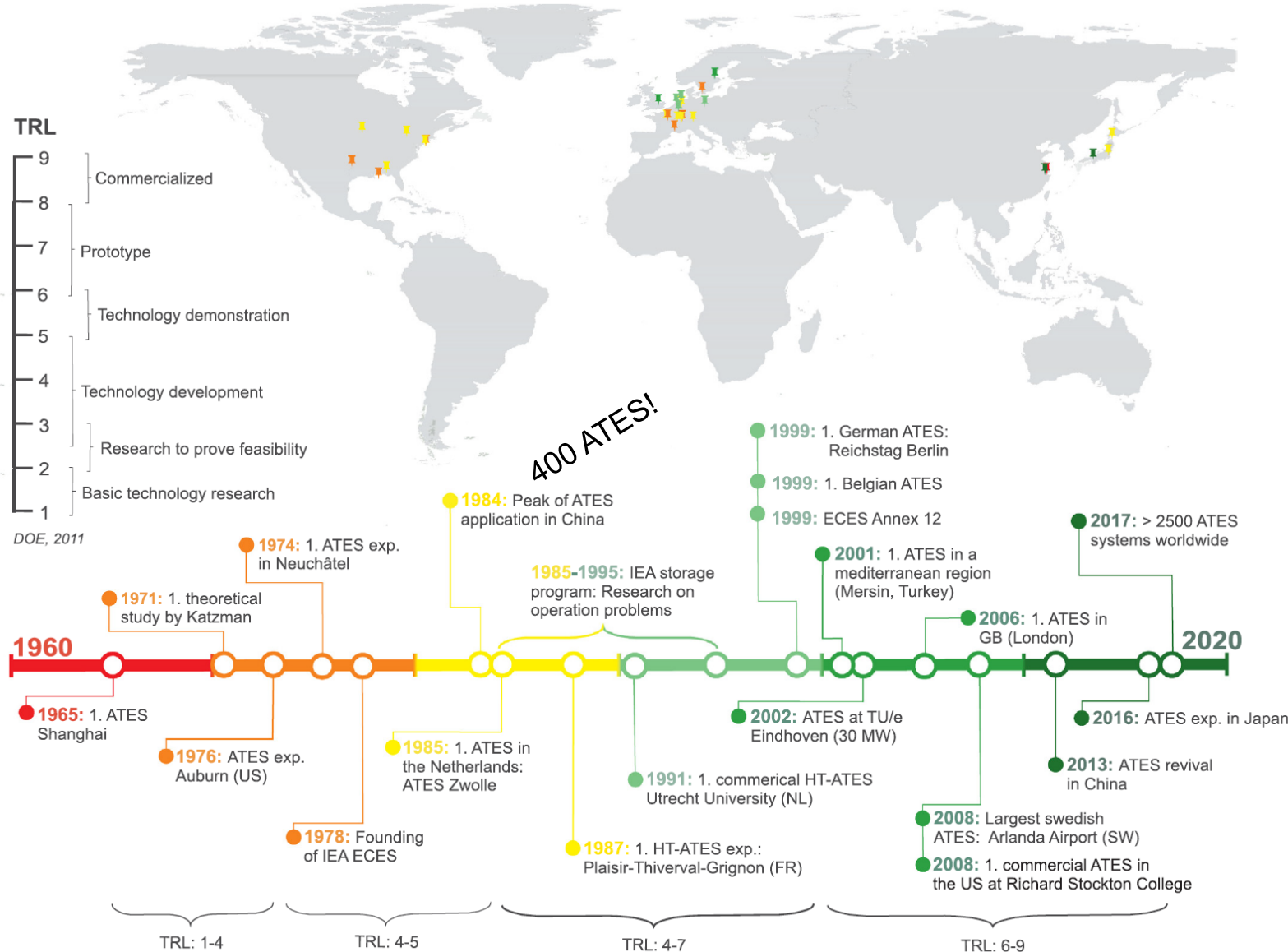


Flughafen Arlanda (Stockholm)

# Erste ATES-Systeme in China



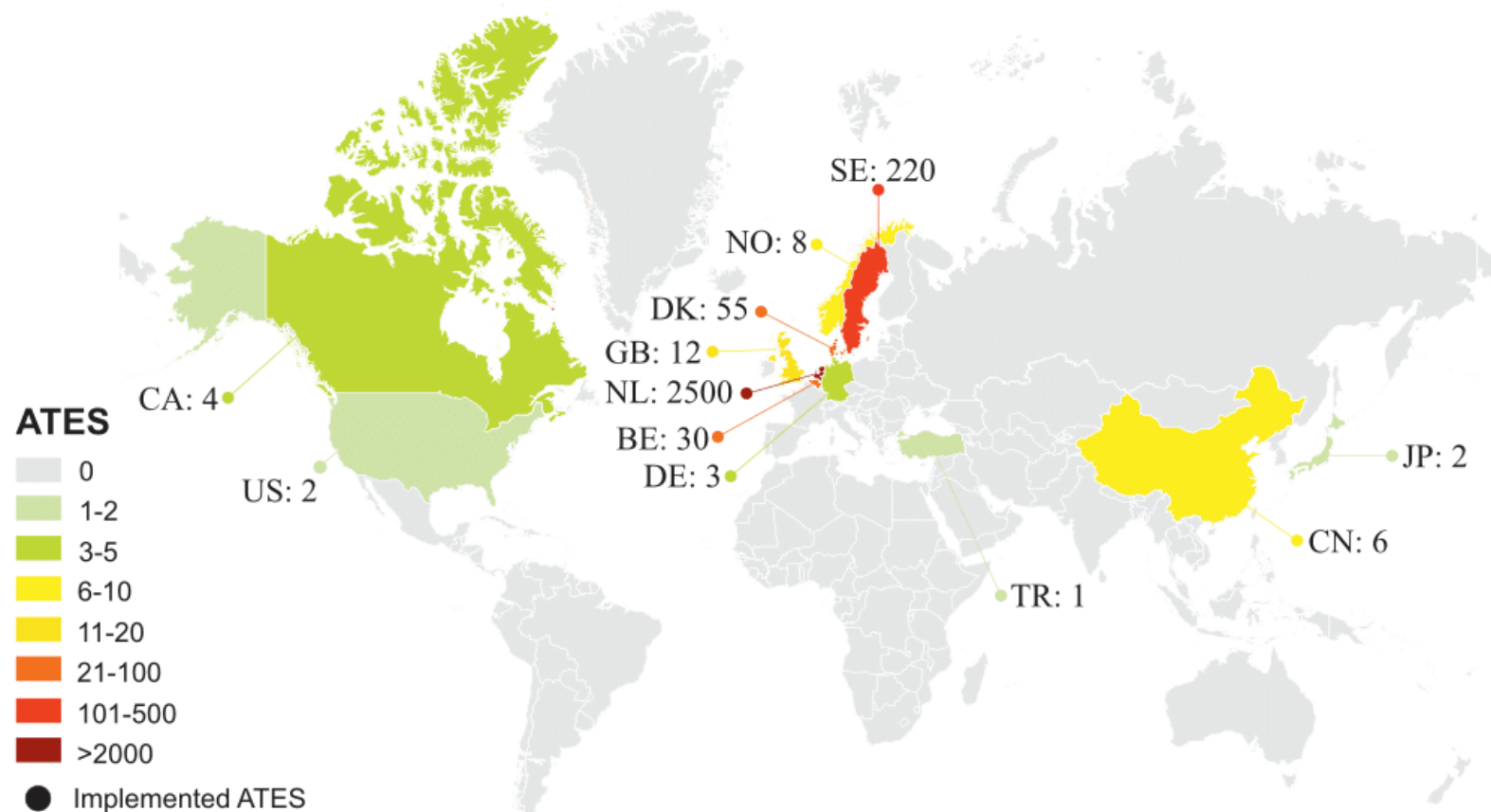
## Meilensteine der globalen ATES-Entwicklung



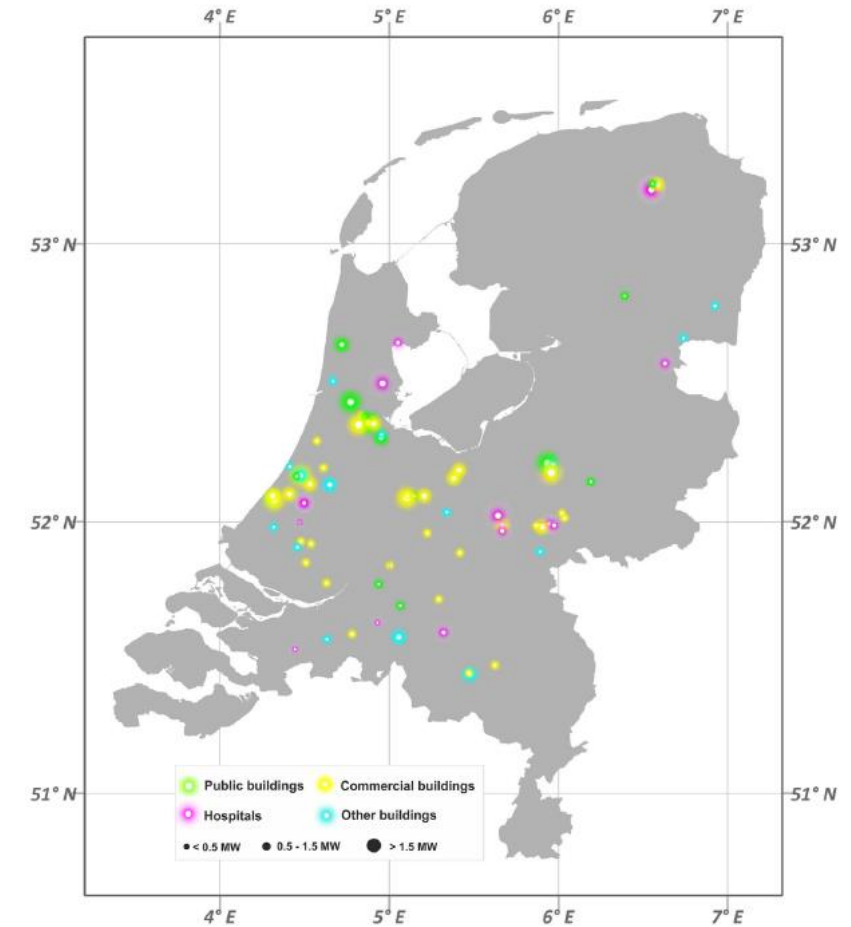
### Frühe ATES-Systeme in Shanghai

# > 2500 ATES in den Niederlanden

## Globale Verteilung von ATES



Fleuchaus et al. (2018) *RSER*

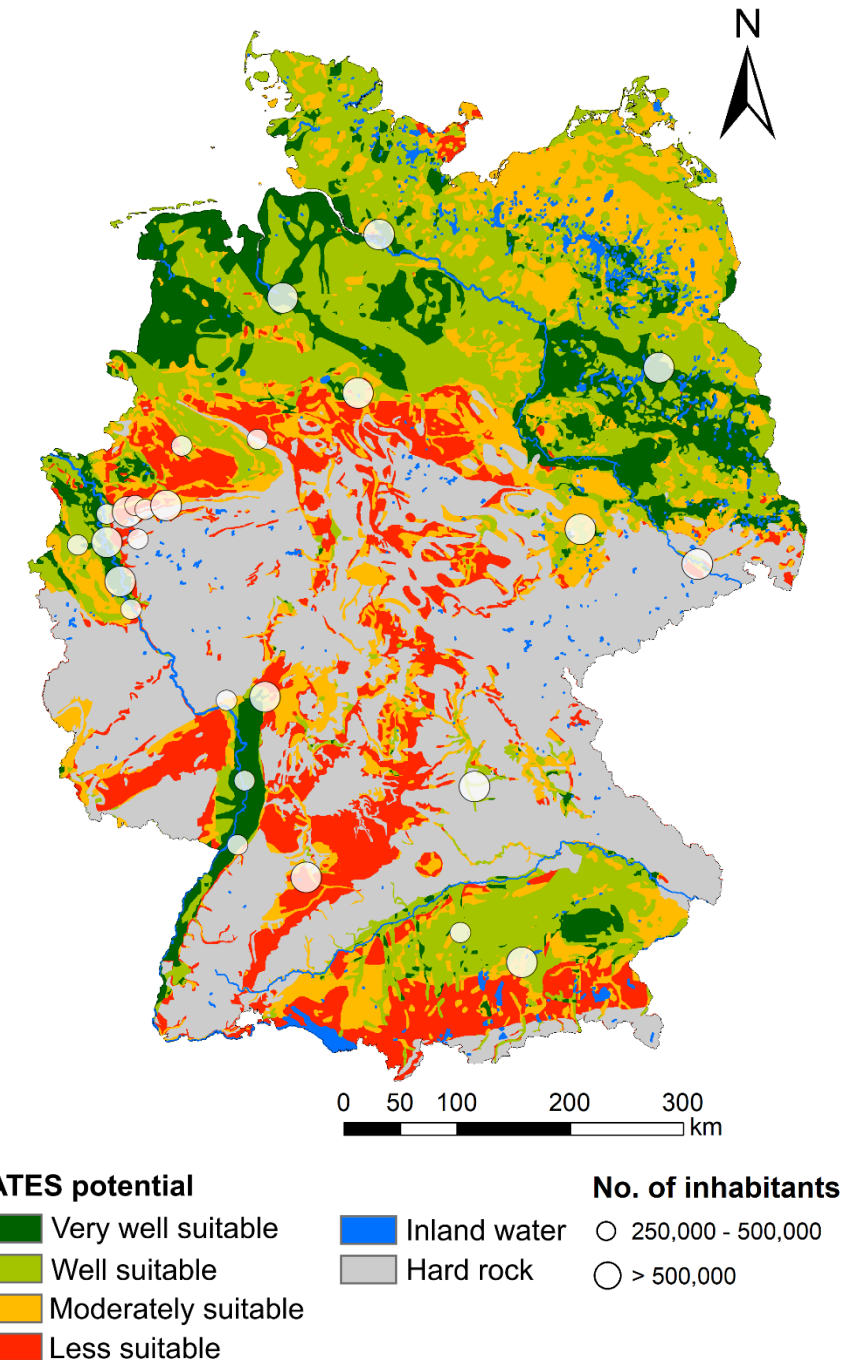


Fleuchaus et al. (2020) *RE*

# ATES-Potentialkarte



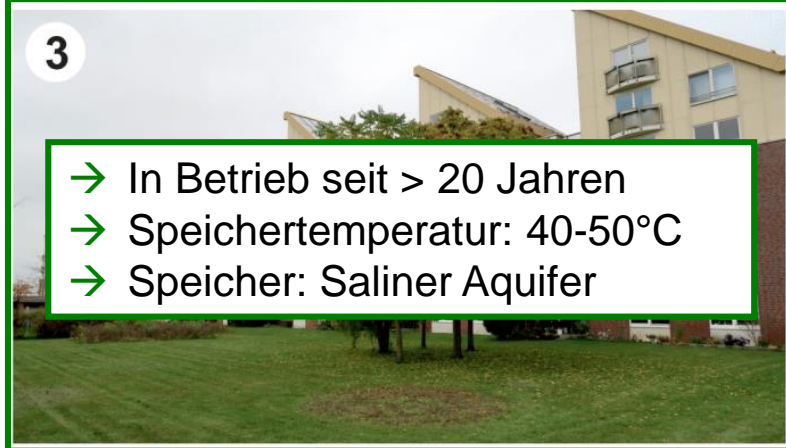

## Eignung in Deutschland

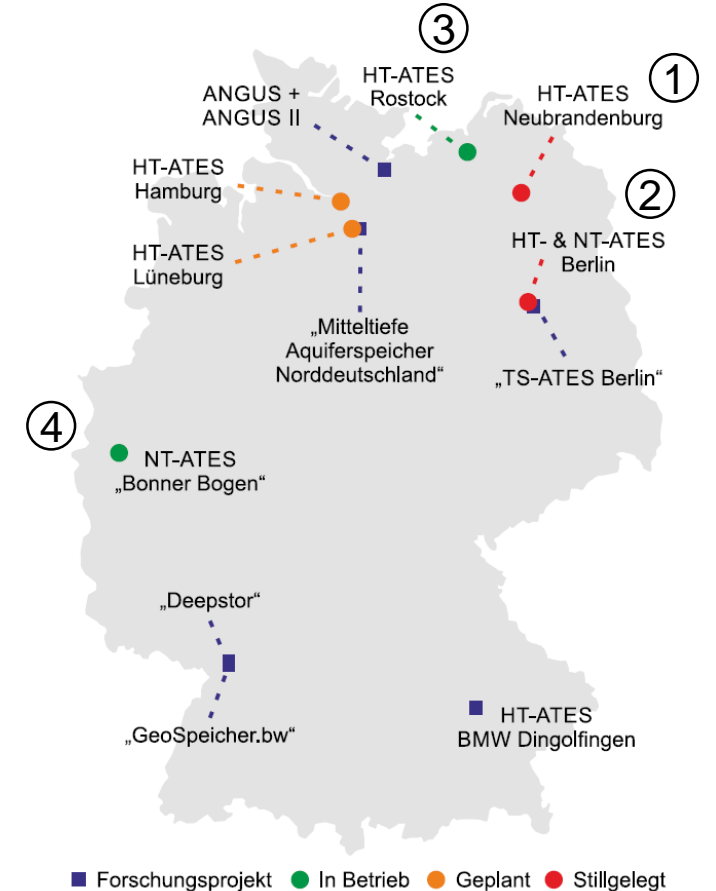
- ▶ Festgesteinsgebiete von ATES-Nutzung ausgeschlossen
- ▶ Übrige Bereiche Deutschlands:
  - 54 % (sehr) gut geeignet
  - Hauptsächlich drei geographische Regionen
- Insgesamt hohe ATES-Eignung in Deutschland
- ▶ Städte zeigen Möglichkeit der tatsächlichen Nutzung des Potentials auf



# Aktueller Status von ATEs in Deutschland

## Nur zwei Aquiferspeicher in Betrieb

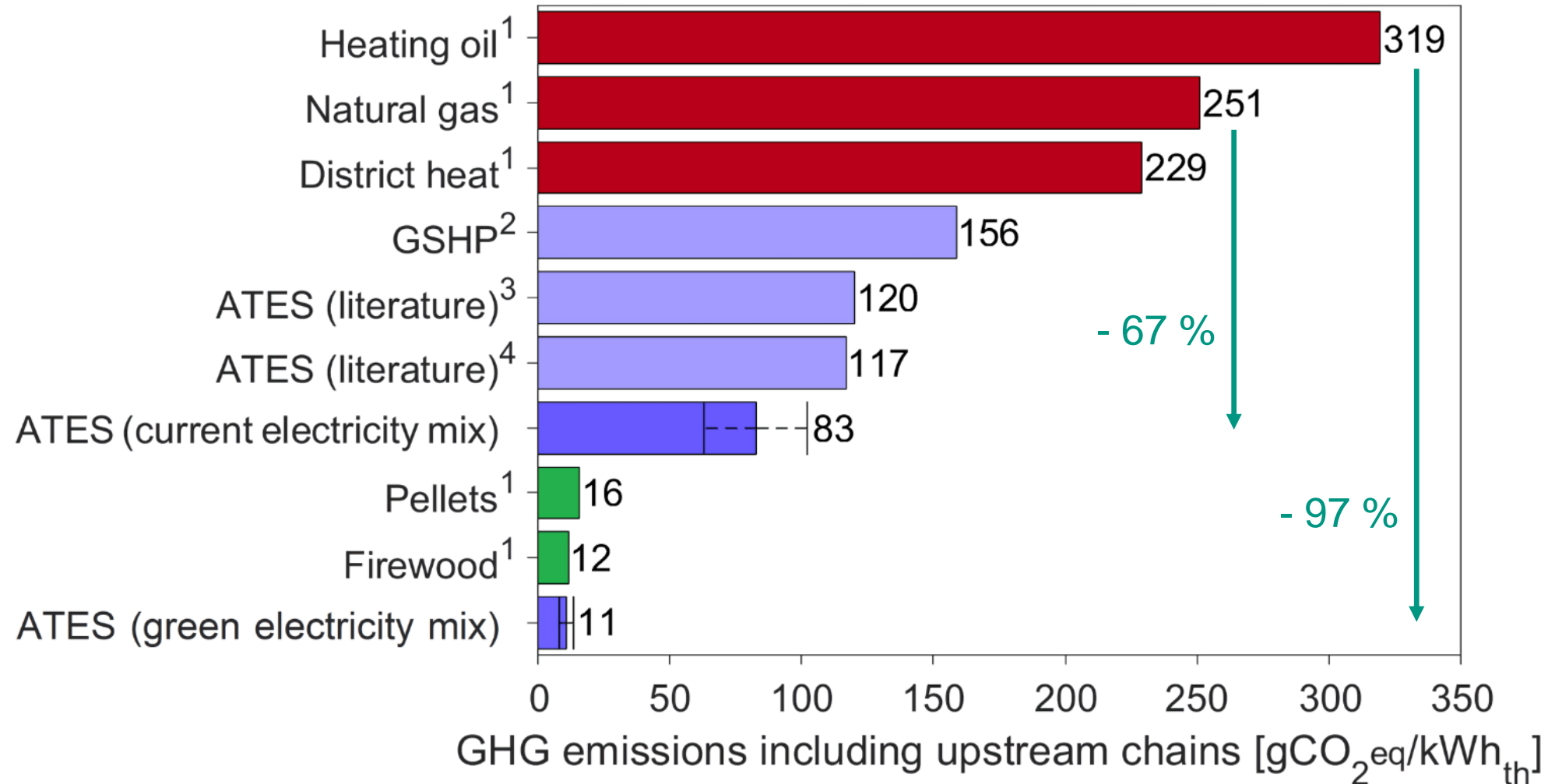
<p>1</p> 	<p>2</p> 
<p>3</p> <ul style="list-style-type: none"><li>→ In Betrieb seit &gt; 20 Jahren</li><li>→ Speichertemperatur: 40-50°C</li><li>→ Speicher: Saliner Aquifer</li></ul> 	<p>4</p> <ul style="list-style-type: none"><li>→ In Betrieb seit 2009</li><li>→ Versorgung von Hotel, Büros, Rechenzentrum</li><li>→ Speichertemperatur: 6-19°C</li></ul> 



ATES-Projekte in Deutschland:  
Stillgelegt, in Betrieb, geplant

# Bedeutende CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch ATES

CO<sub>2</sub>-Emissionen von konventionellen und erneuerbaren Heizsystemen



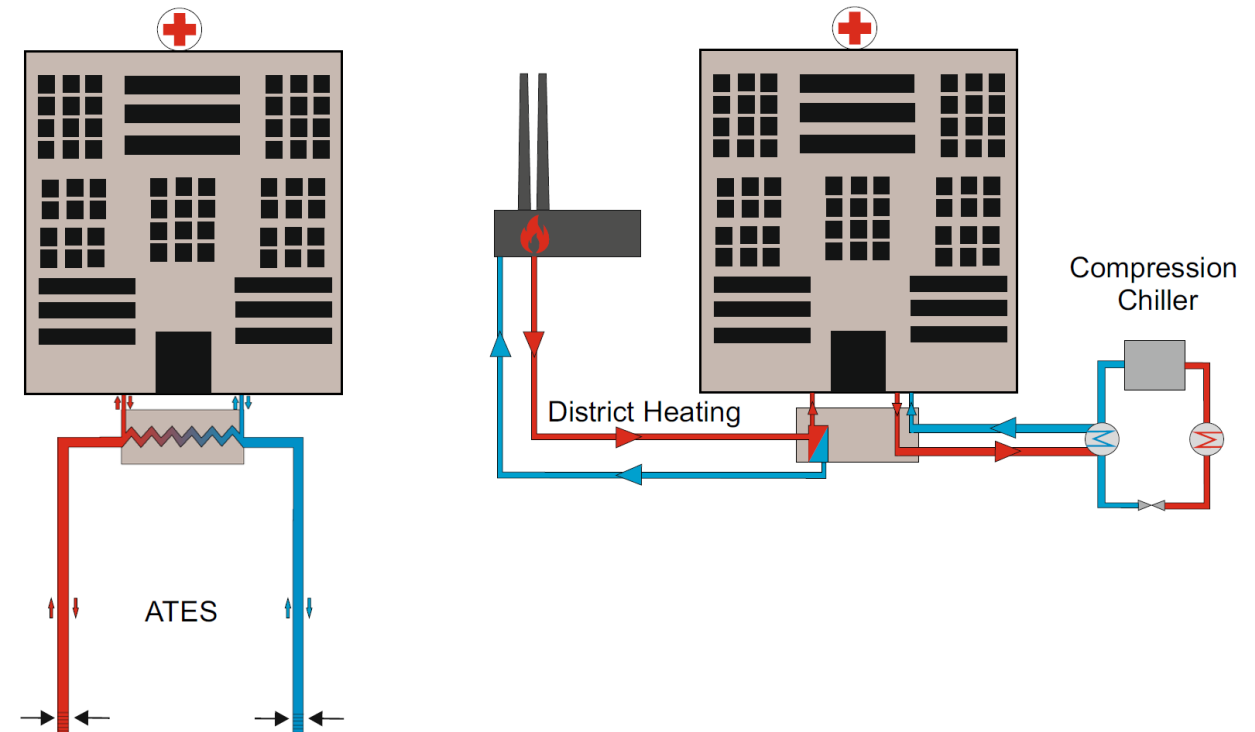
Stemmle et al. (2021)  
RSER

# Wirtschaftlichkeit von Aquiferspeichern

Wirtschaftliche Analyse eines Aquiferspeichers (Krankenhaus)



Krankenhaus in Karlsruhe  
(Gebäude M)

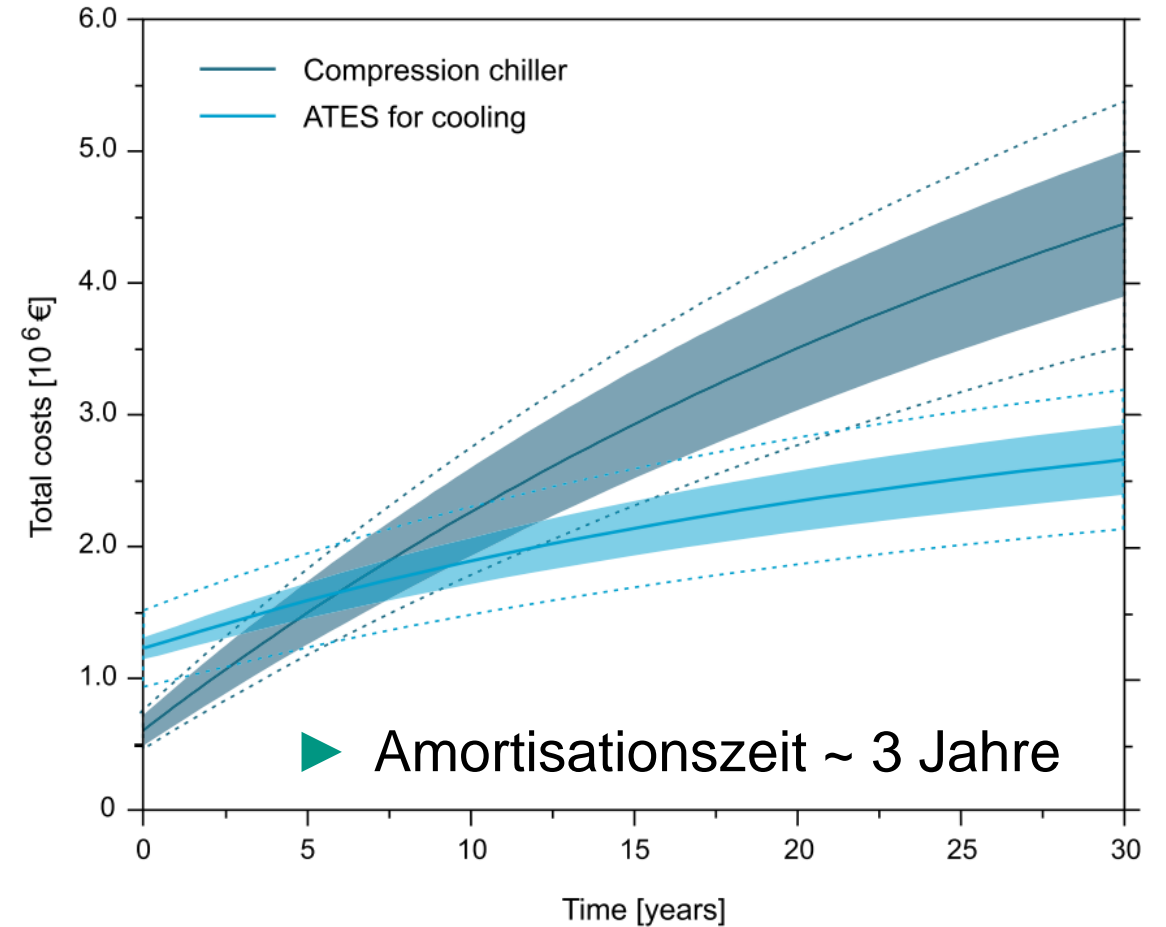


# Kühlen ist entscheidend!

Wirtschaftliche Analyse eines Aquiferspeichers (Krankenhaus)



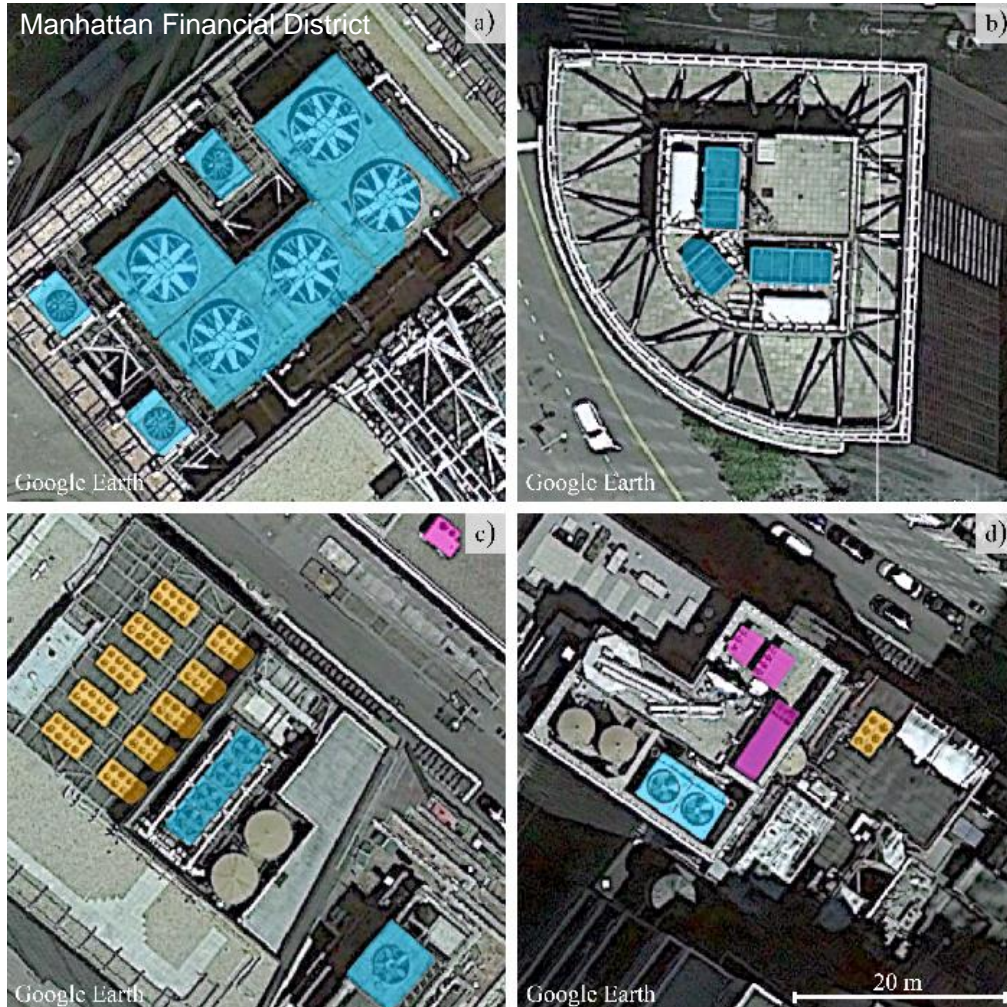
Krankenhaus in Karlsruhe  
(Gebäude M)





# Ermittlung des **Kühlbedarfs** aus Luftbildern

## Optische Erkennung konventioneller Kühlanlagen



### Rückkühler (Kompressionskühler etc.)



### Dachklimageräte



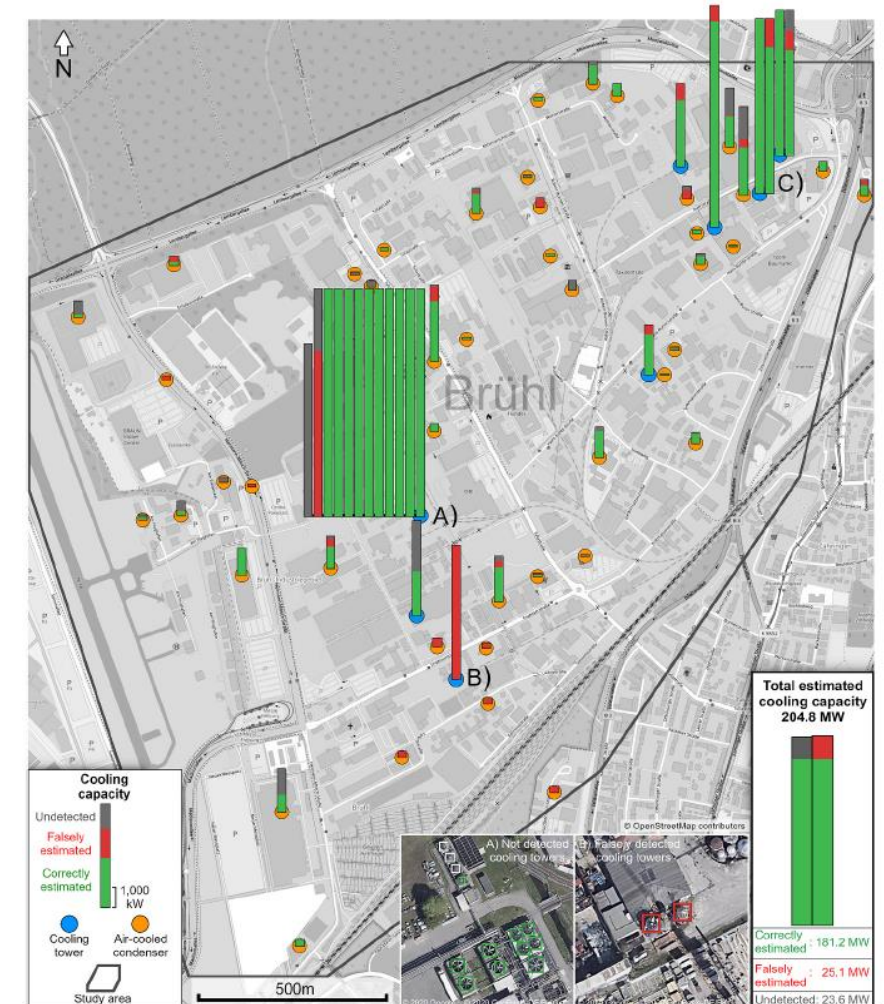
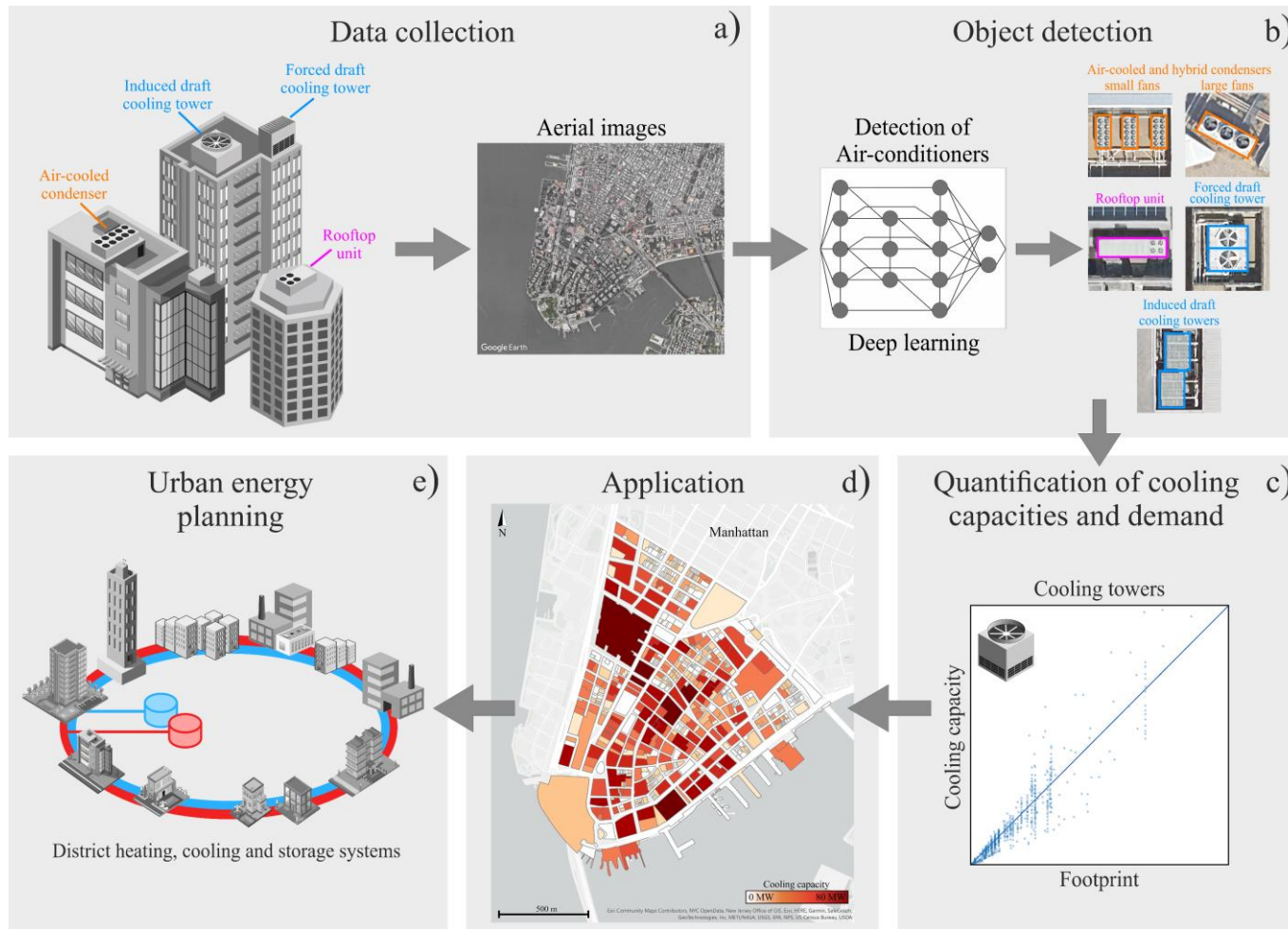
### Zellenkühltürme



- [1] Daikin. Catalog 223-5. Air-Cooled Split System. Condensing Units. Model RCS 06G through 20F.  
[2] Trane, s.a. Kältemaschinen.  
[3] Daikin. Catalog 258-1. Rebel Applied. Rooftop Systems. Heating and Cooling. Models DP5A/DF5A.  
[4] Baltimore Aircoil. Series 3000 Cooling Tower. <https://baltimoreaircoil.com/products/cooling-towers/series-3000-cooling-tower> (retrieved 08.11.2022)

# Abschätzung des **Kühlbedarfs** mit maschinellem Lernen

Workflow zum Erkennen von Abwärmequellen für Energieplanung



# Begrenzt verfügbarer Platz in urbanen Gebieten

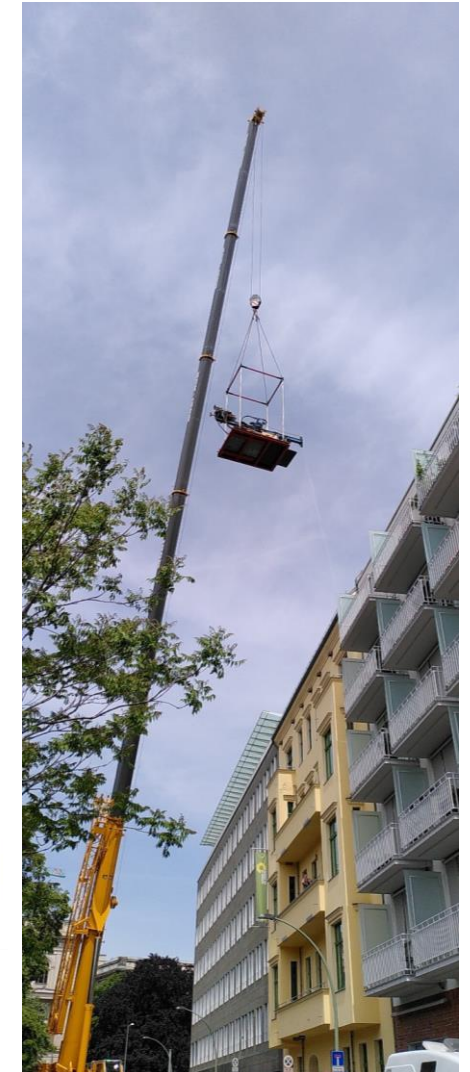
## Nutzung des öffentlichen Raums



### possible well positions

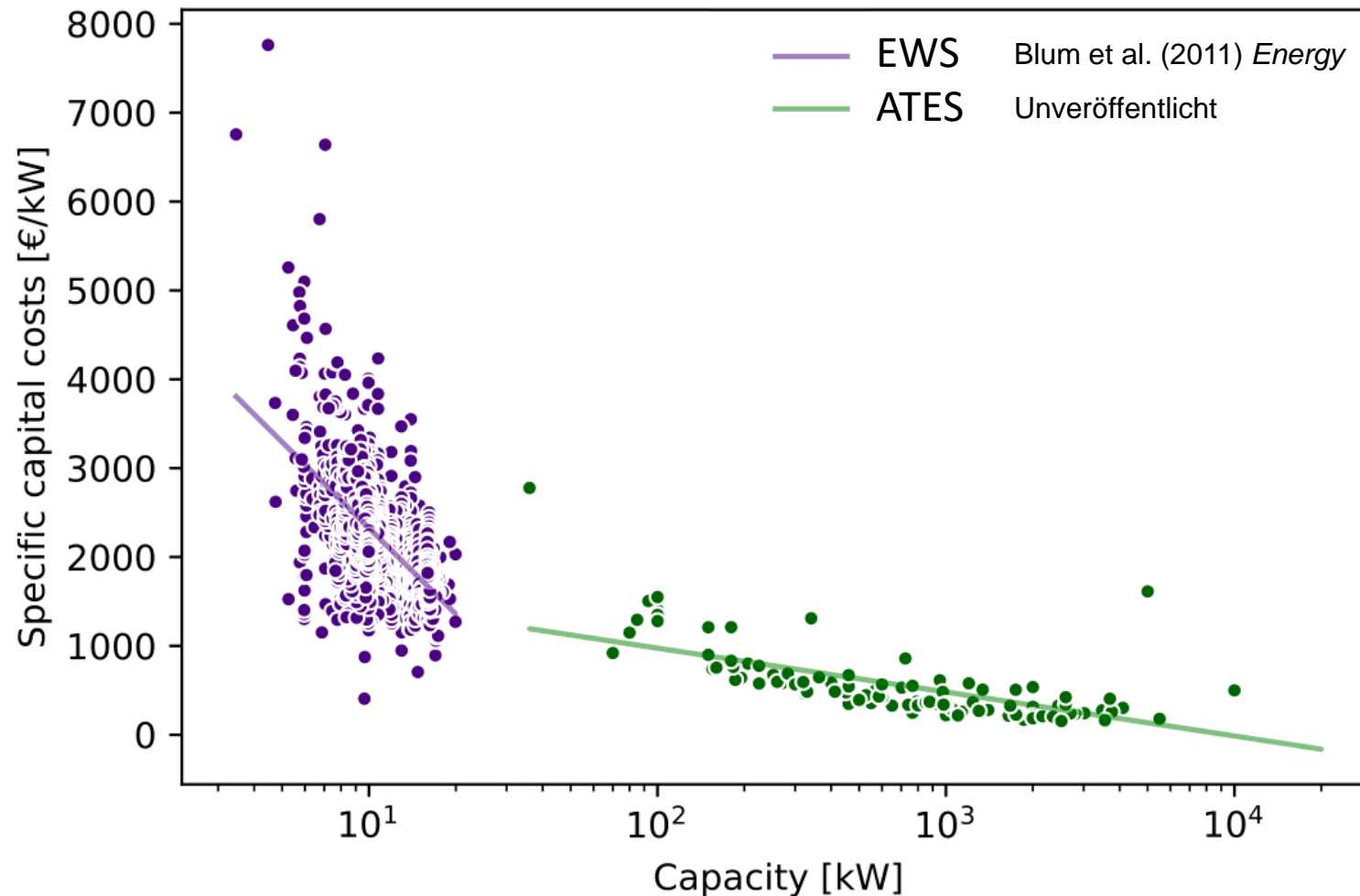
- private space
- public space

□ Head office "The Greens" party



# Je größer, desto besser → Think **BIG!**

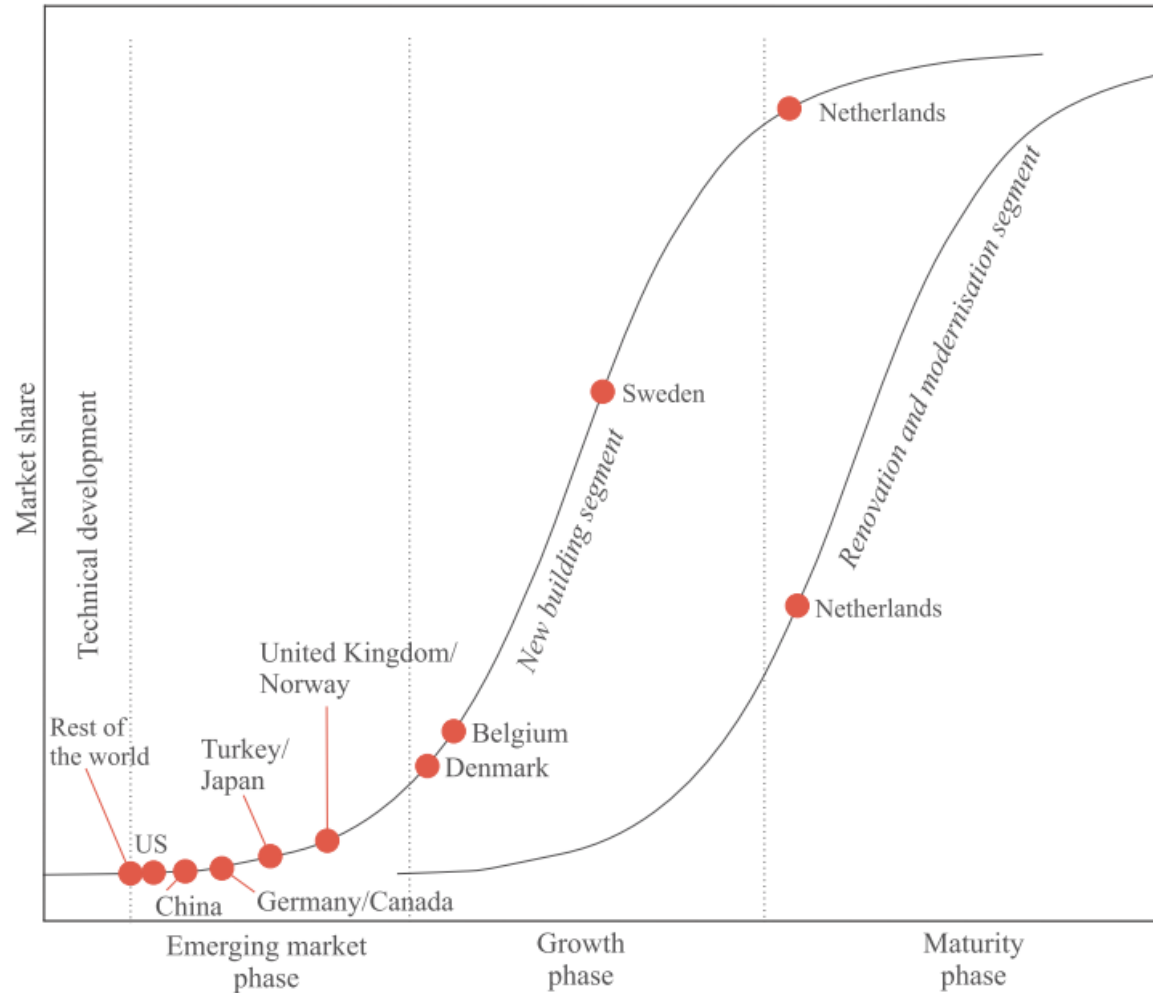
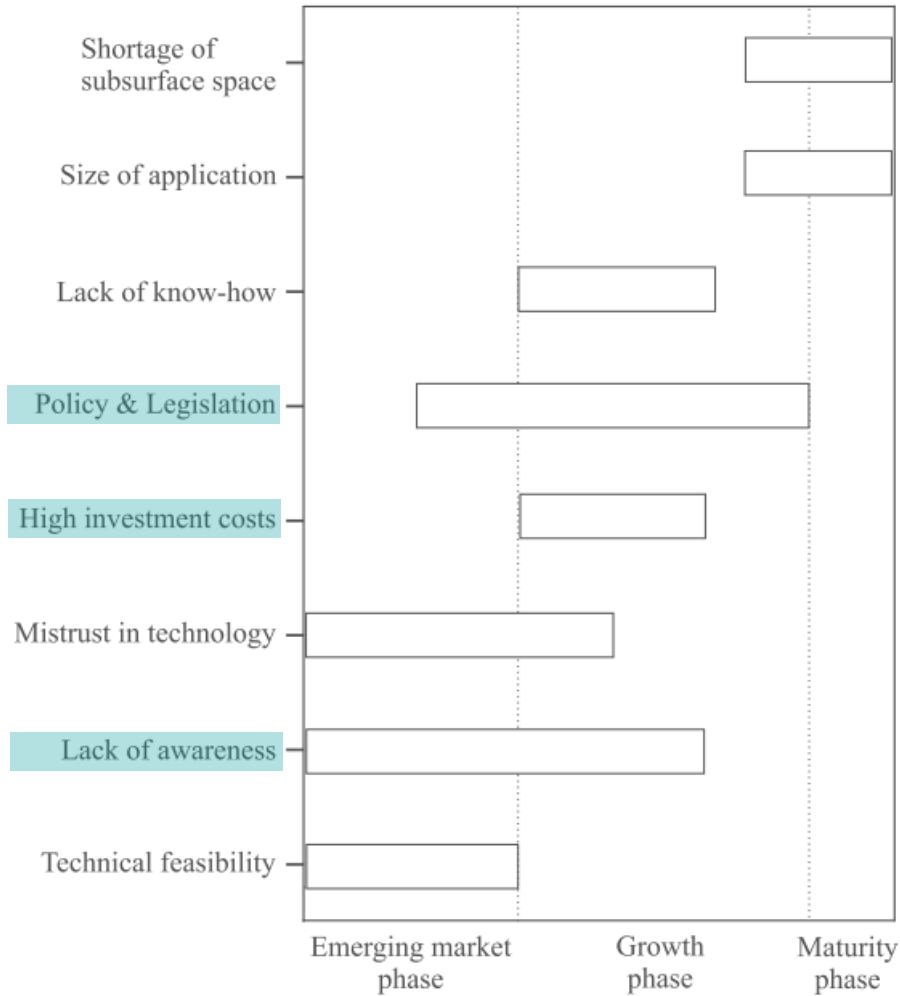
Spezifische Investitionskosten von EWS und ATES



- ▶ ATES-Systeme sind kosteneffizienter als Erdwärmesondensysteme (EWS)!

# Weltweit vor allem *emerging markets*

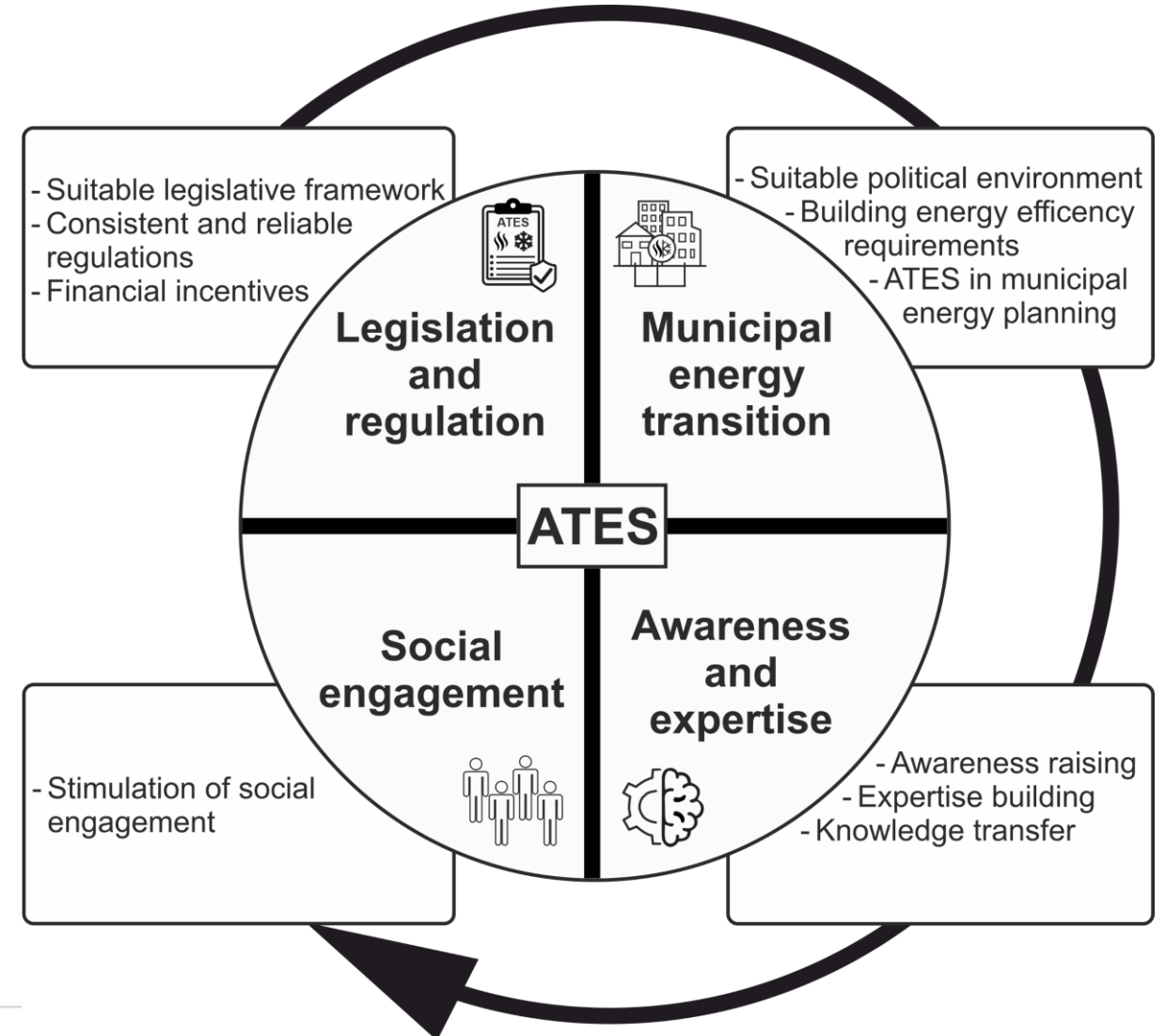
## Marktbarrieren und Marktentwicklungsstand




# Entscheidungsträger sind gefragt

## Abbau der Marktbarrieren

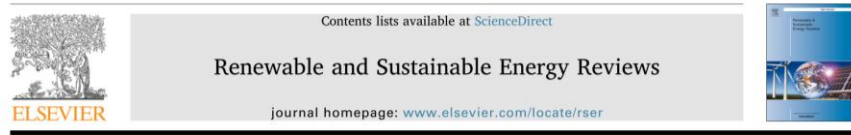
- ▶ **Legislativ-regulatorische Anpassungen**
  - Genehmigungsrechtliche Anforderungen
  - Gezielte Förderung
- ▶ **Rolle von ATEs in der kommunalen Energiewende**
  - Kommunale Wärmeplanung
- ▶ **Steigerung des Bewusstseins und der Expertise**
  - Demonstrationsanlagen
- ▶ **Bürgerbeteiligung**



# Zusammenfassung

- ▶ > 50% von Deutschland sind gut oder sehr gut geeignet.
- ▶ Bedeutende CO<sub>2</sub>- und Kosteneinsparungen mit ATES-Systemen.
- ▶ Kühlen ist entscheidend. 
- ▶ Je größer, desto besser → Think BIG!
- ▶ Marktbarrieren sind vielfach nicht-technischer Natur.
- ▶ Legislativ-regulatorische Anpassungen erforderlich.

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Worldwide application of aquifer thermal energy storage – A review

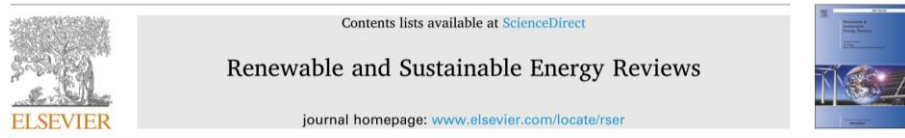
Paul Fleuchaus<sup>a,\*</sup>, Bas Godschalk<sup>b</sup>, Ingrid Stober<sup>a</sup>, Philipp Blum<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Institute of Applied Geosciences (AGW), Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe, Germany  
<sup>b</sup> IF Technology BV, Velperweg 37, 6824 BE Arnhem, The Netherlands

RESEARCH Open Access

Potential of low-temperature aquifer thermal energy storage (LT-ATES) in Germany

Ruben Stemmlé<sup>a,\*</sup>, Vanessa Hammer, Philipp Blum and Kathrin Menberg



Environmental impacts of aquifer thermal energy storage (ATES)

Ruben Stemmlé<sup>a,\*</sup>, Philipp Blum<sup>a</sup>, Simon Schüppler<sup>b</sup>, Paul Fleuchaus<sup>a</sup>, Melissa Limoges<sup>c</sup>, Peter Bayer<sup>d</sup>, Kathrin Menberg<sup>a</sup>

Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie (2021) 26:123–134  
<https://doi.org/10.1007/s00767-021-00478-y>

ÜBERSICHTSBEITRAG

Aquiferspeicher in Deutschland

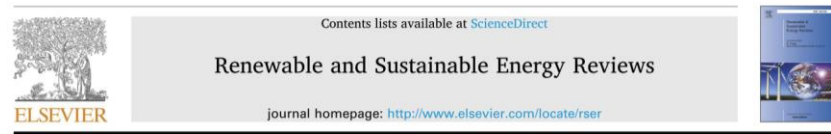
Paul Fleuchaus<sup>1</sup> · Simon Schüppler<sup>2</sup> · Ruben Stemmlé<sup>1</sup> · Kathrin Menberg<sup>1</sup> · Philipp Blum<sup>1</sup>

Ruben Stemmlé, Karlsruher Institut für Technologie  
Email: [ruben.stemmlé@kit.edu](mailto:ruben.stemmlé@kit.edu)  
Telefon: +49 721 608-43337

RESEARCH Open Access

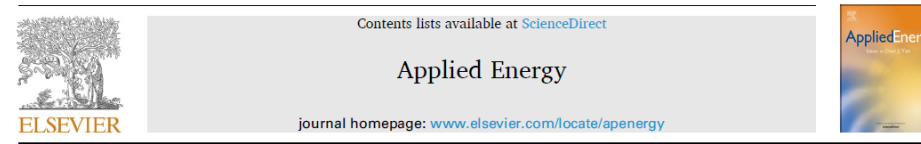
Techno-economic and environmental analysis of an Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) in Germany

Simon Schüppler<sup>1,\*</sup>, Paul Fleuchaus<sup>2</sup> and Philipp Blum<sup>2</sup>



Risk analysis of High-Temperature Aquifer Thermal Energy Storage (HT-ATES)

Paul Fleuchaus<sup>a,\*</sup>, Simon Schüppler<sup>b</sup>, Martin Bloemendal<sup>c,d</sup>, Luca Guglielmetti<sup>e</sup>, Oliver Opel<sup>f</sup>, Philipp Blum<sup>a</sup>



Estimating cooling capacities from aerial images using convolutional neural networks

Florian Barth<sup>a,\*</sup>, Simon Schüppler<sup>b</sup>, Kathrin Menberg<sup>a</sup>, Philipp Blum<sup>a</sup>

RESEARCH Open Access

City-scale heating and cooling with aquifer thermal energy storage (ATES)

Ruben Stemmlé<sup>1,\*</sup>, Haegyeong Lee<sup>1</sup>, Philipp Blum<sup>1</sup> and Kathrin Menberg<sup>1</sup>



Deutsche Bundesstiftung Umwelt



Baden-Württemberg

UMWELTMINISTERIUM



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND KUNST



Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz



Bundesministerium für Bildung und Forschung



# Quellenverzeichnis

- Barth, F., Schüppler, S., Menberg, K., Blum, P., 2023. Estimating cooling capacities from aerial images using convolutional neural networks. *Applied Energy* 349, 121561. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121561>.
- Barth, F., Schüppler, S., Menberg, K., Blum, P., 2023. Quantifying the cooling demand of urban areas using aerial images. *Building Simulation Conference Proceedings* 18, 869-876. <https://doi.org/10.26868/25222708.2023.1259>.
- Blum, P., Campillo, G., Kölbel, T., 2011. Techno-economic and spatial analysis of vertical ground source heat pump systems in Germany. *Energy* 36, 3002-3011. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.02.044>.
- Bettgenhäuser, K., Boermans, T., 2011. *Umweltwirkung von Heizungssystemen in Deutschland*, 91 pp.
- Bonamente, E., Aquino, A., 2017. Life-Cycle Assessment of an Innovative Ground-Source Heat Pump System with Upstream Thermal Storage. *Energies* 10, 1854. <https://doi.org/10.3390/en10111854>.
- Fleuchaus, P., Godschalk, B., Stober, I., Blum, P., 2018. Worldwide application of aquifer thermal energy storage – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 94, 861–876. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.057>.
- Fleuchaus, P., Schüppler, S., Godschalk, B., Bakema, G., Blum, P., 2020. Performance analysis of Aquifer Thermal Energy Storage (ATES). *Renewable Energy* 146, 1536–1548. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.030>.
- Fleuchaus, P., Schüppler, S., Stemmler, R., Menberg, K., Blum, P., 2021. Aquiferspeicher in Deutschland. *Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie* 26, 123–134. <https://doi.org/10.1007/s00767-021-00478-y>.
- Mouloupoulos, A., 2014. Life Cycle Assessment of an Aquifer Thermal Energy Storage system: Exploring the environmental performance of shallow subsurface space development. Master Thesis. Utrecht, 89 pp.
- Schüppler, S., Fleuchaus, P., Blum, P., 2019. Techno-economic and environmental analysis of an Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) in Germany. *Geotherm Energy* 7, 669. <https://doi.org/10.1186/s40517-019-0127-6>.
- Stemmler, R., Blum, P., Schüppler, S., Fleuchaus, P., Limoges, M., Bayer, P., Menberg, K., 2021. Environmental impacts of aquifer thermal energy storage (ATES). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 151, 111560. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111560>.
- Stemmler, R., Hammer, V., Blum, P., Menberg, K., 2022. Potential of low-temperature aquifer thermal energy storage (LT-ATES) in Germany. *Geotherm Energy* 10, 24. <https://doi.org/10.1186/s40517-022-00234-2>.
- Tomasetta, C., 2013. Life Cycle Assessment of Underground Thermal Energy Storage Systems: Aquifer Thermal Energy Storage versus Borehole Thermal Energy Storage. *Tesi di Laurea*. Venedig, 79 pp.