Industrialisierung der Geothermie

Rolf Bracke

DGK 2025
Frankfurt / Main, 19.11.2025

Potentiale und Politische Ziele

Markthochlauf erfordert Kapazitäten und Kompetenz im Industriemaßstab

Potentiale

Oberflächengeothermie:	600 TWh / Jahr
Tiefengeothermie:	100-300 TWh / Jahr Hydrothermal + ??? TWh / Jahr Petrothermal
Thermische Speicher:	> 500 TWh / Jahr

Ausbauziele Bund:

Kurzfristziel (2030):	10 TWh/a („100 Projekteprogramm“)
Langfristziel (2045):	25% des Wärmebedarfs bzw. 100 TWh/a bzw. 24 GW installierte Leistung TGT

Ausbauziele Länder:

Bayern Kurzfristziel (2030):	Verdreifachung Wärmeleistung aus TGT (aktuell 2,8 TWh/a -> 8,4 TWh/a);
Langfristziel (2045):	25% Wärmebedarf Gebäudesektor bzw. 40 TWh/a
NRW Langfristziel (2045):	20% des Wärmebedarfs bzw. 24-33 TWh/a (MTG+TGT: 9-12 TWh/a + ONG: 20 TWh/a)

10 TWh/a MTG + TGT	100 Dubletten = 200 Tiefbohrungen à 2.000 - 4.000 m

400.000 - 800.000 Bohrmeter bis 2030 (nur Bund)
10.000.000 – 15.000.000 Bohrmeter bis 2045 (Bund + Länder); ohne Speicher und Petrothermal / EGS

Industrialisierungsoption

Orientierung an E&P Industrie

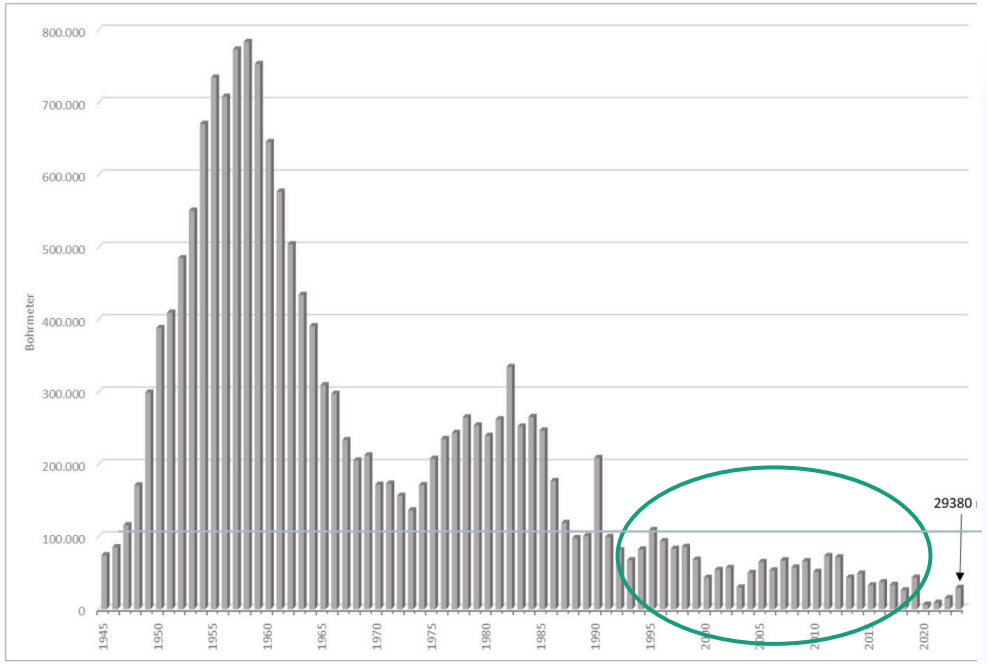
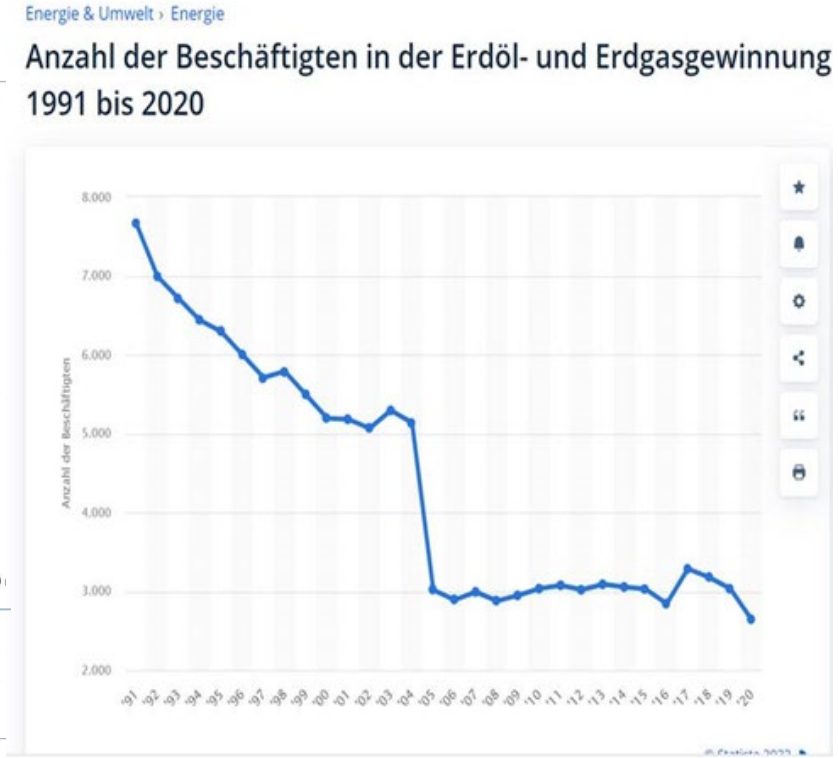


Abb. 1: Bohrmeter der Erdöl- und Erdgasbohrungen (ohne Speicherbohrungen) von 1945 bis 2023.
(aus: LBEG GeoBerichte 49, 2024)



Historie der Bohrleistung der Tiefbohr-Industrie

800.000 m entspricht Jahres-Bohrleistung der deutschen Tiefbohr-Industrie der 60er Jahre (Öl & Gas; ohne Bergbau & Speicher).

DE muss bis 2030 so viel bohren wie die deutsche KW-Industrie in den 90er Jahren gebohrt hat.

Personalbedarf bei 10 TWh/a (bis 2030):
20.000-30.000 Personen.

Industriehochlauf Geothermie

Problem: Struktur und Kleinteiligkeit der Versorgungslandschaft

- Ca. 900 Stadtwerke / kommunale Versorgungsunternehmen im Bereich Strom / Gas / Wärme in Deutschland
- Kernkompetenz Stadtwerke: Downstream, d.h. Erzeugung und Verteilung
  keine Kompetenz im Bereich Upstream / Subsurface und kein Bedarf an Portfoliobildung
- Status Quo: 42 Anlagen mit 405 MWth in Betrieb; Projektentwicklung lokal im Manufakturmaßstab
- Industrialisierung Geothermie auf 20-30+ GW bedeutet Kapazitätenbildung, Standardisierung, Modularisierung, Entwicklung von bankable Subsurface Modellen / SOP und Aufbau von personellen Kompetenzen

Grundvoraussetzung Industrialisierung

1. **Technologieentwicklung: Standardisierung, Modularisierung, Lieferketten für Subsurface & Surface**
2. **Projektentwicklung: Cluster- / Portfoliobildung von Stadtwerke-Verbünden bzw. Gründung von überregional tätigen Subsurface-Betreibergesellschaften im Industriemaßstab**

 2022© Fraunhofer IEG

Strategische Grundlagen & Pilotierung in Clusterregionen

Klären, wo und wie schnell Geothermie skaliert werden soll
Definition einer technologischen, wirtschaftlichen und politischen Zielarchitektur

Kernaufgaben

1. Zielpfad: Definition eines Ausbaupfads in Cluster-Regionen (6 – 8 Regionen):
   z. B. 0,5 GW → 5 GW → 15 GW → 25 GW (national oder äquivalente regionale Ziele).
2. Explorationsprogramm Cluster-Regionen
   2D/3D-Seismik, Explorationsbohrungen, Reservoirtests, thermische Leistungsmessung.
3. Pilot-Bohrungen mit Nachweis Förderraten, Reinjizierbarkeiten und Temperaturstabilität.
4. Standardisierung erster „Plant Modules“
   z. B.: 5 MW, 10 MW, 20 MW Wärme | 1–5 MW Strom (ORC).
5. Netz- und Infrastrukturplanung Wärme- / Stromnetzanschlüsse, Netzerweiterung, Saisonale Wärmespeicher.
6. Investitions- & Risikomodelle
   Betreibermodelle Subsurface, Versicherungspakete, Explorationsabsicherung, Contracting-Modelle.

Deliverables

- 4–5 funktionsfähige Cluster-Pilotprojekte (außerhalb Bayern)
- Technische Standardpakete (Anlagentypen, Kostenstruktur, Bauzeitmodelle)
- Verifizierte Geodaten & Reservoirmodelle
- Investitionsleitfaden

2022© Fraunhofer IEG

Industrialisierung der Lieferkette (bis 2030)

Geothermie aus dem Projektmodus in den serienfähigen Produktionsmodus überführen

Kernaufgaben

1. Bohrkapazität skalieren, Bohrrig-Flotten aufbauen, Training & Zertifizierung von Bohrteams.
2. Standardisierung von Komponenten, Materialien, Anlagenlayouts und Serienfertigung für Standardmodule (Bohrdesign, Förderpumpen, Pumpstationen, Übergabestationen, Groß-WP, ORC-Module).
   Qualifizierung der Lieferanten (Audits, Prüfpläne, Zertifizierungen)
3. Prozessanalyse der (manuellen) Schritte → Ersatz / Ergänzung durch Automatisierung,
   Validierung durch Pilotanlagen, Einführung von Standards (Arbeitsanweisungen, SOPs, Taktzeitmodelle)
4. Industrietaugliche Zulieferketten ausbauen (Qualität, Kapazität, Skalierbarkeit),
   Frühe Einbeziehung von Produktion, Qualität und Lieferanten in das Anlagendesign
5. Beschleunigte Genehmigungsprozesse (GeoBG), „Go-to/Fast-Track"-Cluster mit festen Fristen
   und standardisierten Umweltprüfpfaden.
6. Finanzierungsarchitektur skalieren: Contracting, Green-Bonds-Modelle,
   PPP-Strukturen für Reservoir-Bewirtschaftung und Netzausbau.
7. Einheitliche Sicherheits- & Monitoring-Standards
   Seismik-Monitoring, Traffic-Light-Systeme, Umweltstandards.

Deliverables

- Industrieller Lieferketten-Fahrplan
- Skalierbare Bohrkapazität (Multiplikation um Faktor 3–10)
- Erste Serienmodule „ready to build"

 2022© Fraunhofer IEG

Großflächiger Rollout (2030-2045)

Rapid Deployment: Jährlich mehrere hundert MW bis mehrere GW zubauen
Wärme- und Stromnetze systematisch anbinden

Kernaufgaben

1. Clusterweise Serienbohrungen
   5–20 Anlagen parallel pro Cluster → deutlicher Lerneffekt & Kostendegression.
2. Standardisierte Bau- und Montageprozesse (Surface)
   Taktbasierte Bauplanung → z.B. 4–6 Monate pro Modul statt >12 Monate.
3. Netzbau beschleunigen
   Paralleler Ausbau von Fernwärme, Nahwärme, saisonalen Wärmespeichern.
4. Digitalisierung & Monitoring
   Predictive Maintenance, Echtzeit-Reservoirüberwachung.
   Effizienzoptimierung der Pump- und Wärmetauschersysteme.
5. Skalierungsfinanzierung stabilisieren
   Langfristige Wärmeabnahmeverträge und garantierte Einspeisepreise, Investitionsbeihilfen nur in frühen Phasen.

Deliverables

- 30–60+ Serienanlagen in Betrieb
- Voll einsatzfähige industrielle Bohr- & Anlagenkapazität
- Wärmenetzkapazitäten für mehrere Millionen Haushalte
- Kostenreduktion um 20–30% pro MW durch Skaleneffekte

 2022© Fraunhofer IEG

Reife & Optimierung

Kosten minimieren, Zuverlässigkeit maximieren, Reservekapazitäten schaffen

Kernaufgaben

1. Learning Curve / OPEX-Reduktion
   Pumpeneffizienz steigern
   Wartungsintervalle verlängern
   Standardersatzteile & Ersatzteilpools aufbauen
2. Clusterausweitung
   Neue Regionen erschließen, basierend auf Daten aus Phase 1–3.
3. Netzintegration & Flexibilisierung
   Power-to-Heat-Kopplungen, saisonale Speicher, Lastmanagement.
4. Weiterentwicklung von Technologien
   EGS-Verbesserungen (ONG / MTG / TGT)
   Closed-loop-Prototypen im Realbetrieb
   Tiefe Bohrungen >5 km (Hochtemperaturstrom)
5. Nachhaltigkeits- & Umweltaudits
   Monitoring der Reinjektion, Resistivity, Mikro-Seismik
   Multi-year Reservoir Stability Checks

Deliverables

- Stabiler industrieller Markt
- Vollständig skalierte Zulieferkette
- Übliche Realisierungszeit pro Anlage < 48 Monate (Exploration bis Inbetriebnahme)
- Belastbare, transparente Sicherheits- und Umweltstandards

 2022© Fraunhofer IEG

Querschnittsthemen über alle Industrialisierung-Phasen

1. **Governance & Regulierung**
   Einheitliche Genehmigungspraxis
   Standardisierte Bohr- und Umweltverfahren
   Flächendeckende Datenbereitstellung für Kommunale Energieplanung
2. **Workforce Development**
   Bohrtechnik, Geologie, Anlagenbau, Netzintegration
   Ausbildungsprogramme und Umschulung
3. **Öffentliche Akzeptanz & Kommunikation**
   Bürgerdialog, Transparenz über Seismikdaten
3. **Finanzierung**
   Risikoabsicherungsfonds (Exploration)
   Standardisiertes Konzept für Lenders' & Investors' Due Diligence
   (Datengrundlagen, Modellierungsworkflows, Unsicherheitsbehandlung, Reporting-Anforderungen, Deliverables)
   Langfristige Wärmeverträge
4. **Forschung & Innovation**
   Reservoircharakterisierung
   EGS / Innovative Bohrdesigns
   Reduzierung des Bohr-CAPEX
   Hochtemperatur-Wärmepumpen
   ESP-Wettbewerbermarkt

Vielen Dank & Glückauf!

 2022© Fraunhofer IEG

Fraunhofer IEG

Fraunhofer
IEG

Fraunhofer IEG
Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geotechnologien

Ansprechpartner
Prof. Dr. Rolf Bracke
Institutsleiter

Korrespondenzadresse
Am Hochschulcampus 1 IEG | 44801 Bochum
T +49 234 33858.183 I E rolf.bracke@ieg.fraunhofer.de

Website: www.ieg.fraunhofer.de