



9. Juni 2005

Institut für Energetik und Umwelt
Institute for Energy and Environment

www.ie-leipzig.de

Forschung, Entwicklung,
Dienstleistung für
- Energie
- Wasser
- Umwelt

Durchbruch oder Stagnation

Quo vadis Geothermie ?



Martin Kaltschmitt, Markus Müller
Institut für Energetik und Umwelt (IE), Leipzig

Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Torgauer Str. 116, D-04347 Leipzig, info@ie-leipzig.de



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Gliederung

- ◆ Einleitung
- ◆ Geologische Bedingungen
- ◆ Technische Voraussetzungen
 - Erschließungstechnologien
 - Konversionstechnologien
- ◆ Übersicht über laufende Projekte
- ◆ Energiewirtschaftliche Einordnung
 - Ökonomische Kennzahlen
 - Ökologische Kennzahlen
 - Potenziale
- ◆ Schlussbetrachtung

2



Einleitung

- ◊ Weltweit und in Deutschland gewinnen regenerative Energien – auch aus Klimaschutzgründen – immer mehr an Bedeutung; dies gilt auch und insbesondere für eine geothermische Energiebereitstellung.
- ◊ Prinzipiell kann durch Geothermie Strom, Wärme und Kälte bereitgestellt werden.

Vorteile:

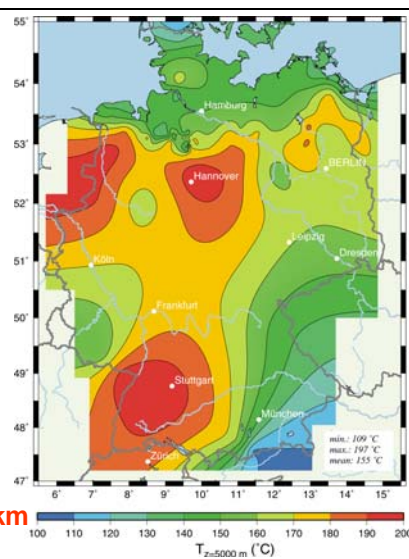
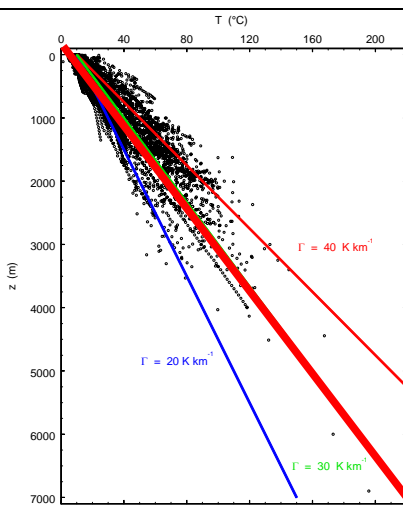
- ◊ Keine saisonalen und tageszeitlichen Schwankungen
- ◊ Nachfragegerechte Energiebereitstellung problemlos möglich
- ◊ Quasi – regenerativ
- ◊ Erzeugungspotenzial sehr hoch
- ◊ Grundsätzlich Standort-unabhängig

Nachteile:

- ◊ Technik von den lokalen (geologischen) Gegebenheiten abhängig
- ◊ Geringer (thermodynamisch bedingter) Stromwirkungsgrad
- ◊ Hohe Anfangsinvestitionen (die zudem bisher nicht versicherbaren Risiken unterliegen)
- ◊ Bisher keine Marktdurchdringung in Deutschland



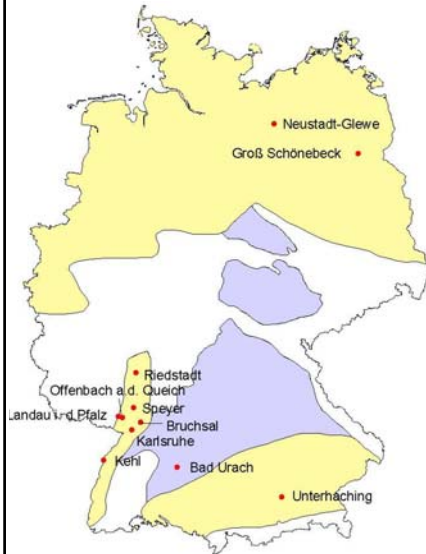
Geologische Bedingungen (1)



Quellen: Jung et.al; GGA Institut



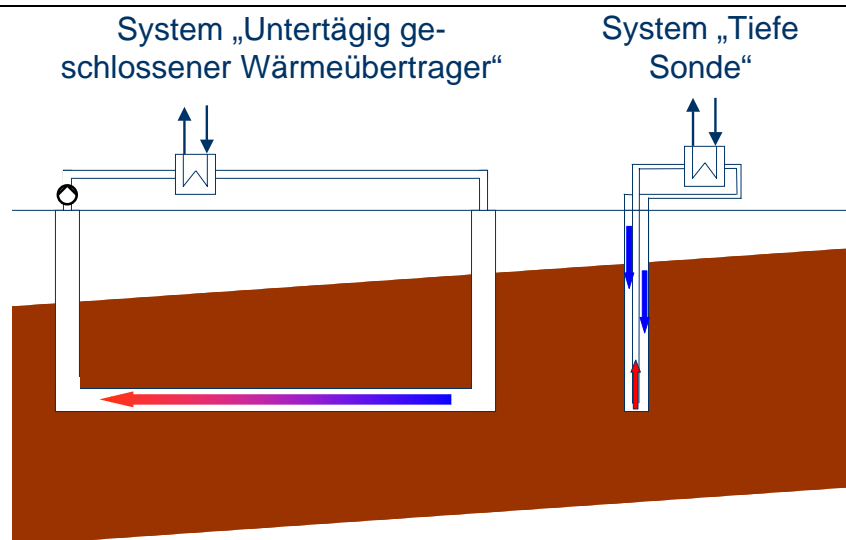
Geologische Bedingungen (2)



- ◊ Unterschiedliche geologische Gegebenheiten im Untergrund:
 - kristallines oder poröses & permeables Gebirge (Sedimente)
 - klüftiger oder ungestörter Untergrund
 - beliebige Kombinationen
- ◊ Unterschiedliche, Standort-angepasste Erschließungskonzepte:
 - geschlossene Systeme
 - offene Systeme
 - hydrothermale Systeme
 - HDR/HFR-Systeme
 - Kombinierte Systeme



Erschließung des Untergrunds mittels geschlossener Systeme

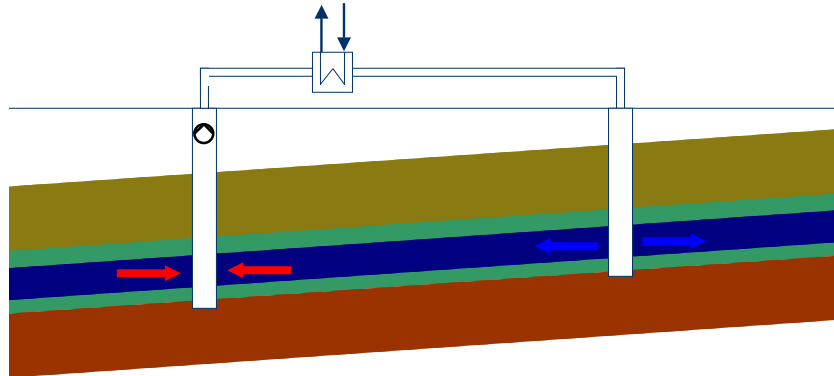




9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Erschließung klüftig-poröser Speicher mittels offener Systeme



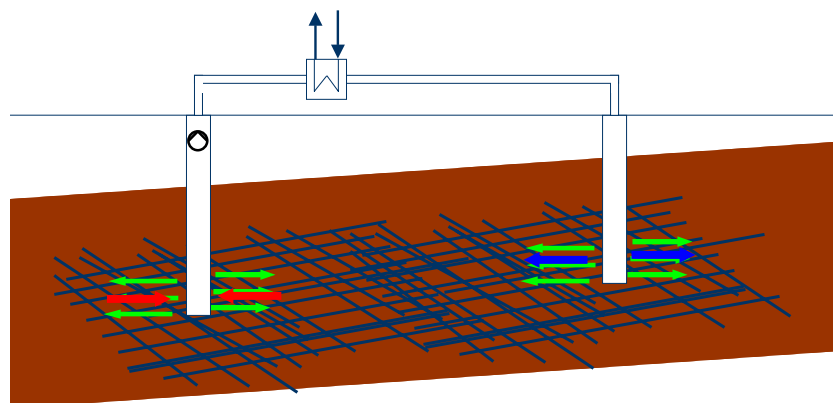
7



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Erschließung des kristallinen Untergrunds mittels offener Systeme





9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Erschließungstechnik - Seismik – Technik -



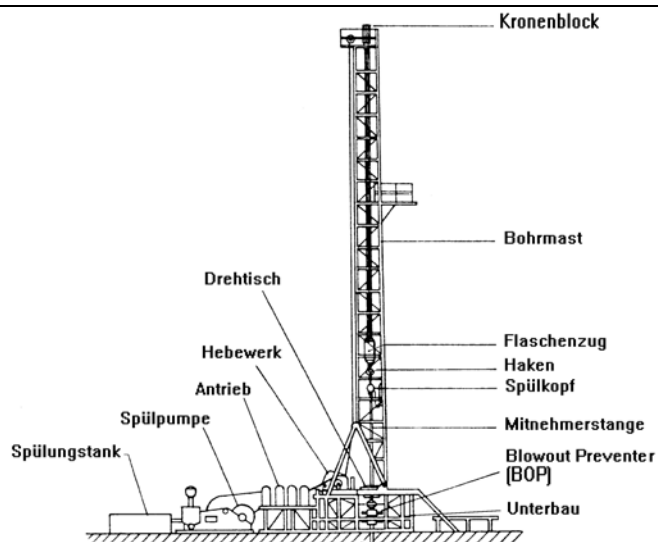
9



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Erschließungstechnik - Tiefbohranlage -



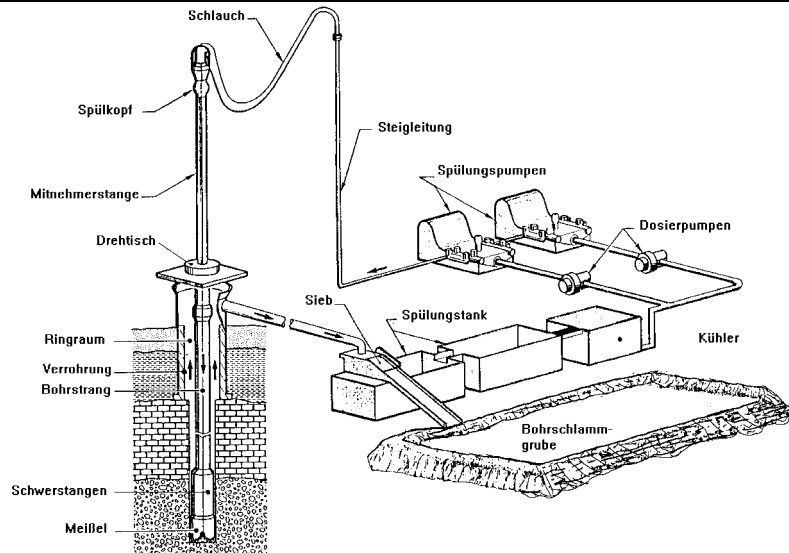
10



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Erschließungstechnik - Spülungskreislauf -



11



www.ie-leipzig.de

Erschließungstechnik - Bohrtechnik -

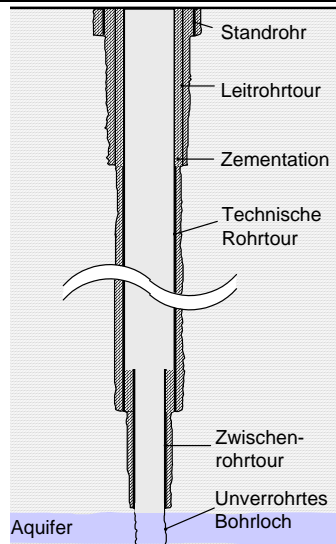




9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Erschließungstechnik - Komplettierung -



13



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Erschließungstechnik - Stimulation -





9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Konversionstechnologien

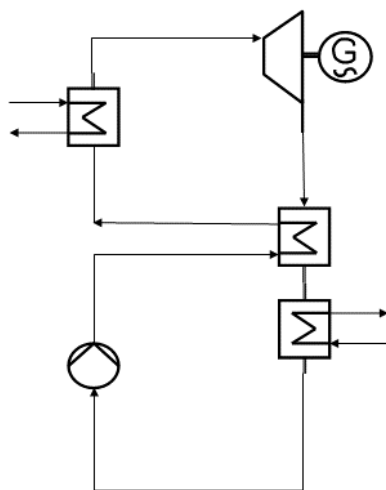
- ◊ Stromerzeugung mit direkten Verfahren:
 - ◉ Direkte Dampfnutzung (z. B. Lardarello, Neuseeland, Island)
 - ◉ Single Flash-Verfahren
 - ◉ Double (Multi)-Flash-Verfahren
- ◊ Stromerzeugung mit binären Verfahren:
 - ◉ Organic Rankine Cycle (ORC)
 - ◉ Kalina-Cycle
- ◊ Unter deutschen geologischen Bedingungen sind nur Binärverfahren einsetzbar. ORC und Kalina-Cycle werden bei den derzeit laufenden Projekten gleichwertig eingesetzt.



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Konversionstechnologien - ORC-Technik -



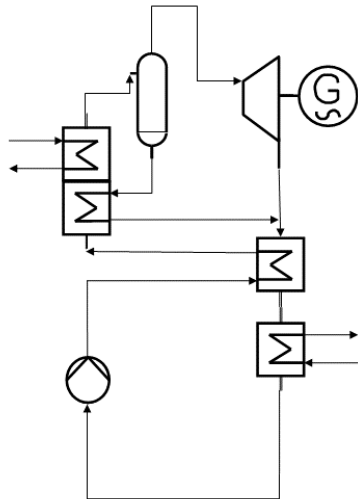
- ◊ Konventioneller DKP (Vergleichsprozess Clausius Rankine)
- ◊ Organische Arbeitsmedien (Alkane, Perfluorierte KW, Toluol, Siloxane ...)
- ◊ Arbeitsmedium teilweise am Turbinenausgang noch überhitzt → interne Rekuperation
- ◊ Sonderturbinenbau notwendig
- ◊ Gutes Teillastverhalten
- ◊ Erfahrungen im Bereich Abwärme, Biomasse und Geothermie (Neustadt-Glewe, Altheim)
- ◊ Zukünftig auch Mischungen mit Temperaturgleitung (zeotrop) vorstellbar, dadurch nichtisothermer Phasenwechsel möglich.
- ◊ Relativ günstig



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Konversionstechnologien - Kalina-Technik -



- ◇ Verbesserung des DKP
- ◇ Kreislaufmedium Arbeitsmittel-Lösungsmittelpaar (meist Ammoniak-Wasser)
- ◇ Phasenwechsel nichtisotherm → bessere Wirkungsgrade möglich
- ◇ Verschiedene, patentrechtlich geschützte Kreisläufe vorhanden
- ◇ Ammoniak-Dampf hat wasserähnliche Eigenschaften hinsichtlich Molekulargewicht
- ◇ Gutes Teillastverhalten durch variable Mischungsverhältnisse
- ◇ Demo-Erfahrungen im Bereich Geothermie (Husavik, Island)
- ◇ Thermische Zersetzung problematisch
- ◇ Relativ teuer



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Regionale Verteilung von Projekten zur geothermischen Energieerzeugung





9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Übersicht „Wärme“-Projekte

Name	Geoth. Leistung MW	Art der Nutzung	Temperatur °C	Förderrate l/s	Teufe m	(Geplante) Inbetriebnahme
Aachen	0.82	H, B	68			
Aachen (SuperC)	0.48	H, K	85		2544	2006
Arendsee		H, B	75.5		1337	2001
Bad Birnbach	1.4	H, B	70	16	2400	1999
Bad Buchau	1.13	H, B	48	30		
Bad Ems	0.16	H, B	43		1	
Bad Endorf	1	H, B	50-65	4	2500	1997
Bad Füssing	1	H	56	60	2000	1999
Bad Urach	1	H, B	58	10		1999
Bad Waldsee	0.44	H, B	30	7		
Biberach	1.17	H, B	49	40		
Erding	8	B, H, W	66	24	1550	1998
Griesbach	0.2	H, B	60	5		
Krumbach	6	B, H, W	55	83	2550	2000
Markt Schwaben		H	80		2550	2002
Meppen	1.5	H, B	60	17	1500	2000
München-Riem	12	H	90	50	3275	
Neuanm	12.5	H	80	83	1700	2000
Prenzlau	0.12	H	65	1.7	2786	1994
Pullach i. Isartal		H				2005
Simbach-Braunau	5.4	H, B	80	73.9	1848	2002
Staffelstein	0.3	H, B	54	4	825	1999
Straubing	4.1	H, B, W	38	40	825	1998
Unterschleißheim	20.6	H, B	79	90	1961	2005
Wären (Munzt)	1.6	H	62	17	1566	
Weiden	0.2	H, B, W	26	2	800	1999
Wiesbaden	1.76	H, B	69	13		

- ◆ Tiefe Einzelsonden und Dubletten im Einsatz
- ◆ Viele weitere Projekte (auch balneologische Nutzung) in Entwicklung
- ◆ Die meisten Projekte sind im süd-deutschen Molassebecken
 - Genesys im Nord-deutschen Becken
 - Prometheus in Bochum



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Übersicht „Strom“ bzw. „KWK“-Projekte

	Geoth. Leistung in MW	Elektr. Leistung in MW	Temperatur in °C	Förder-rate in m³/h	Bohr-tiefe in m	Art der Nutzung	Strom-erz.	Lager-stätte	Gepl. Inbetr. Jahr
Nordd. Becken									
Neustadt-Glewe	6,5	0,21	97	118,8	2 250	B, H	O	A	2003
Rheingraben									
Bruchsal	4	ca. 0,5	120	72	2 000	H	O	A	2006
Karlsruhe	28	4,2	>150	270	3 100	H	K	A	2007
Kehl		5	130	100	2 500	H	K	A	2007
Landau		2,5	150	250	3 000	H	O/K	A	2006
Offenbach	25-30	4,8	150	360	2 500	H	K	A	2006
Riedstadt	21,5	3	>140	250	2 300	H	K	A	2007
Speyer	24-50	5,4	150	>120	2 900	H	O	A	?
HDR - D									
Bad Urach	6-10	ca. 1,0	170	48	4 500	H	O	HDR	Proj. ruht
Molassebecken									
Isar Süd	30	2					K	A	?
Unterhaching	>30	3,9	122	< 540	3 350	H	K	A	2007
HDR - F									
Soultz	30	6	200	240	5 084	H	O	HDR	2005?



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Geothermische Stromerzeugung - Entwicklungstendenzen (Molasse) -

- ◆ Bayrisches Molassebecken
 - 44 Erlaubnisfelder im Bereich der tiefen Geothermie
 - 5 Anlagen in Betrieb (ausschließlich Wärme)
 - 39 Projekte derzeit in der Realisierung (verteilt auf 22 Rechtsinhaber)
 - Rund 75 % der Projekte streben eine Stromerzeugung (KWK) an
 - ➔ Maximal sind ca. 150 MW_{el} in dieser Region in den nächsten Jahren zu erwarten.
- ◆ Baden-Württembergisches Molassebecken
 - 8 Gewinnungen im Betrieb, ein Erlaubnisfeld, keine derzeit bekannten Stromerzeugungs-Aktivitäten!



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Geothermische Stromerzeugung - Entwicklungstendenzen (Rheintal) -

- ◆ Rheinland-Pfalz
 - 18 Tiefen-Geothermiefelder (verteilt auf ca. 10 Rechtsinhaber)
 - alle Projekte streben Stromerzeugung (KWK) an
 - ➔ maximal ca. 100 MW_{el} in den nächsten Jahren
- ◆ Baden-Württemberg
 - 26 Tiefen-Geothermiefelder
 - 25 Projekte streben Stromerzeugung (KWK) an
 - ➔ maximal ca. 125 MW_{el} in den nächsten Jahren
- ◆ Hessen
 - Ein bekanntes Geothermie-Projekt mit bis zu 3 MW ist als Pilotprojekt geplant.



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Geothermische Stromerzeugung - Entwicklungstend. (Nordd. Becken) -

- ◆ Ungünstigere geologische Bedingungen im Vergleich zum Rheintalgraben und dem Molassebecken
- ◆ F&E-Aktivitäten laufen (z. B. Groß Schönebeck durch das GeoForschungsZentrum Potsdam)
- ◆ Kommerzielle Stromerzeugungs-Projekte sind bisher kaum bekannt geworden bzw. befinden sich in einem sehr frühen Stadium; dies ist nicht zuletzt auch den vergleichsweise ungünstigeren geologischen Bedingungen im Vergleich zum Oberrheintalgraben geschuldet.



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Geothermische Stromerzeugung - Entwicklungstend. (Fazit) -

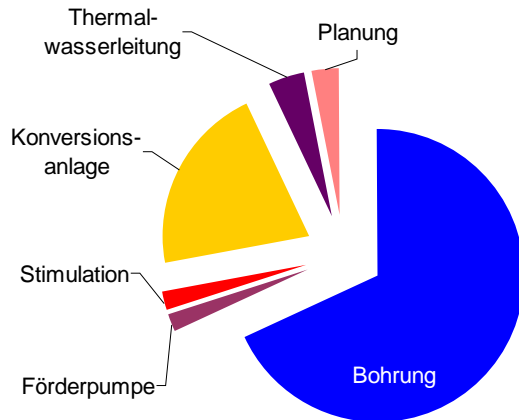
- ◆ Im Oberrheingraben und im Großraum München werden derzeit Geothermie-Projekte zur Strom- und Wärmeerzeugung entwickelt; besonders vielversprechende Gebiete sind hier bergrechtlich nahezu komplett vergeben.
- ◆ Bei Realisierung aller geplanten Projekte sind bis zu 400 MW an elektrischer Leistung zu erwarten.
- ◆ Von den derzeit in der Entwicklung befindlichen Projekten ist mit einer Stromeinspeisung frühestens im nächsten (eher übernächsten) Jahr zu rechnen.
- ◆ Engpässe, die eine verstärkte Projektentwicklung behindern:
 - nur eingeschränkt verfügbare Bohrgeräte (1960 ca. 800 km Bohrleistung, 2002 lediglich ca. 56 km)
 - knapp verfügbares (Risiko-)Kapital,
 - kaum vorhandene Risikoabdeckung (relativiert sich durch Erfolg in Nachbarprojekten)



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Energiewirtschaftliche Einordnung - Kostenverteilung -



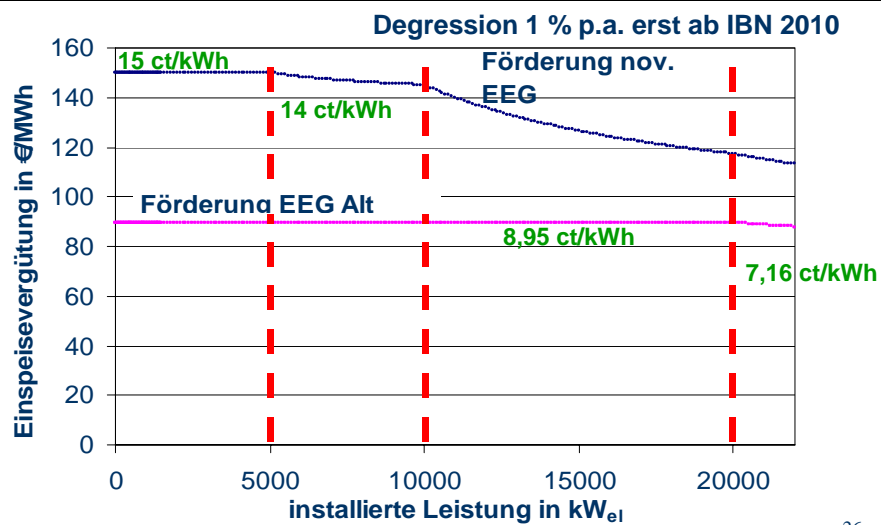
- ◇ Kosten variieren stark je nach Geologie, unter- und überirdiger Infrastruktur
- ◇ Wärmenetze für KWK müssen oft zusätzlich installiert werden (zwischen 175 und 380 k€/MW; für industrielle Großverbraucher mit hohen Volllaststunden deutlich geringer)
- ◇ Gesamtinvestitionen für Geothermie-Heizkraftwerke im Bereich von 8 bis max. 30 Mio. €



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Energiewirtschaftliche Einordnung - Vergütung laut EEG -



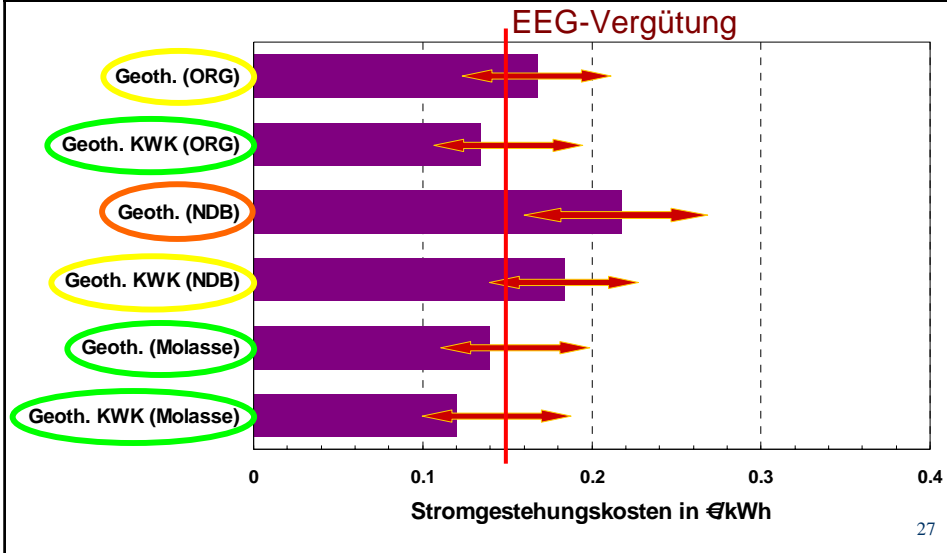
26



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Energiewirtschaftliche Einordnung - Geoth. Stromgestehungskosten -



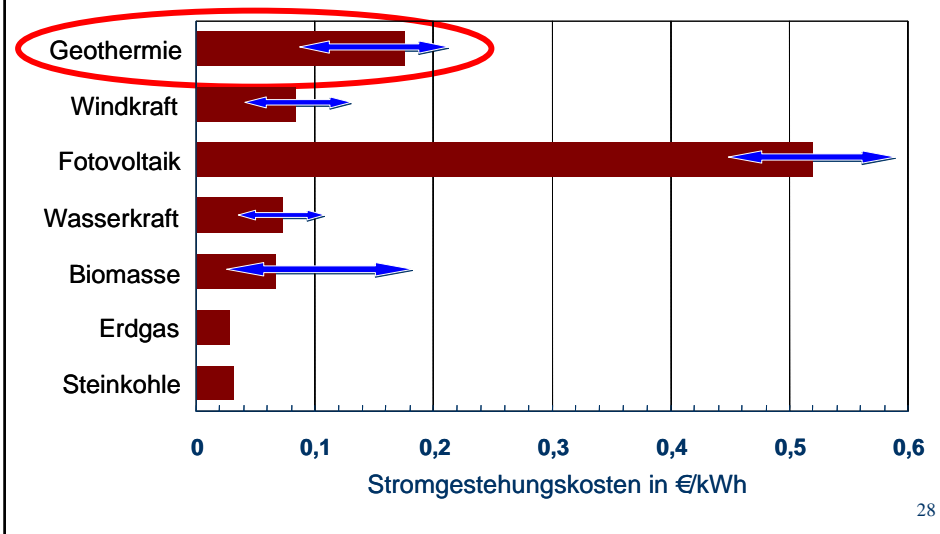
27



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Energiewirtschaftliche Einordnung - Vergleich Stromgestehungskosten -



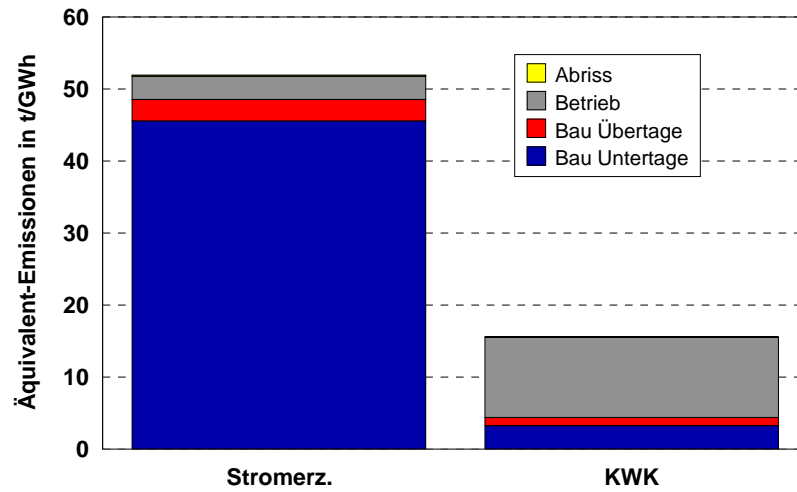
28



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Energiewirtschaftliche Einordnung - Geoth. Klimagasemissionen -



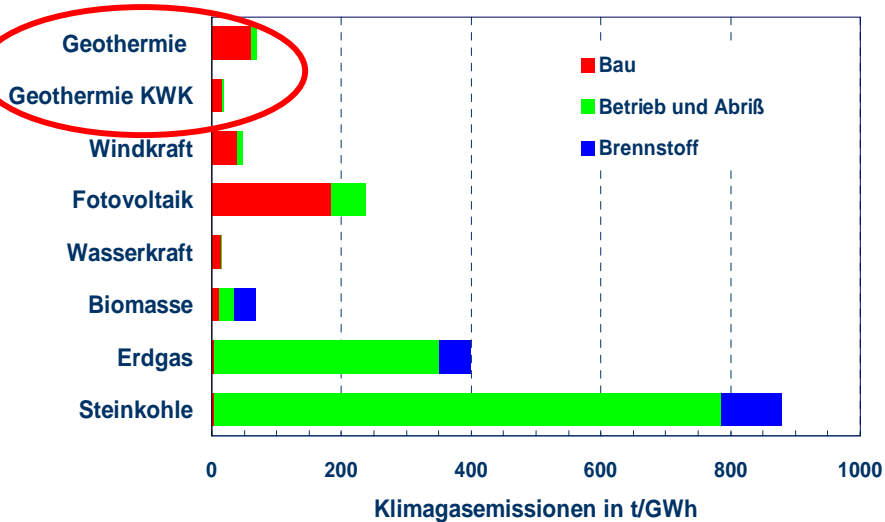
29



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Energiewirtschaftliche Einordnung - Vergleich Klimagasemissionen -



30

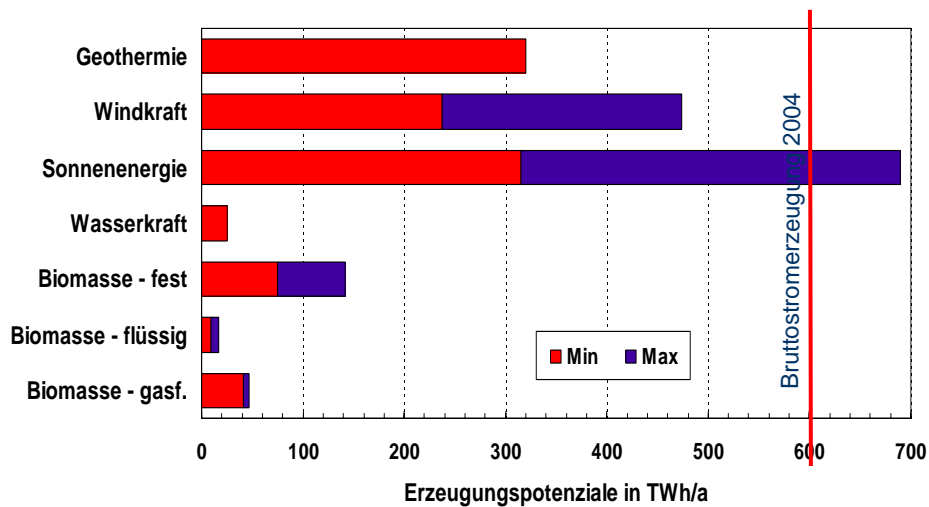


Energiewirtschaftliche Einordnung - Geoth. Potenziale -

Erzeugerpotenzial	320 TWh/a
Nachfragepotenzial „Grundlaststrom“ (ausschl.)	288 TWh/a
Nachfragepotenzial „Gesamtwärmebedarf“ (KWK)	66 TWh/a
Nachfragepotenzial „Verteilungsnetze“ (KWK)	10 TWh/a



Energiewirtschaftliche Einordnung - Vergleich Erzeugungspotenziale -

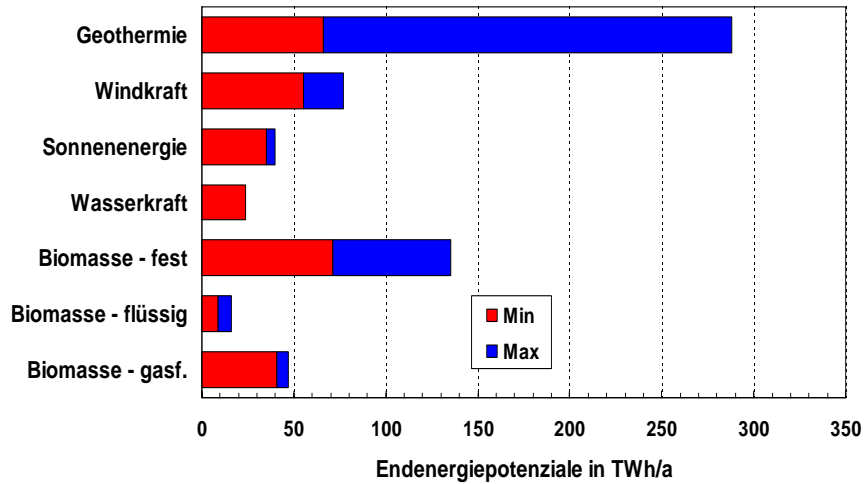




9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Energiewirtschaftliche Einordnung - Vergleich Endenergiepotenziale -



33



9. Juni 2005

www.ie-leipzig.de

Energiewirtschaftliche Einordnung - Nutzung regenerativer Energien (2004) -

	Strom		Wärme		Verkehr		Primär- energie	
	TWh	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%
Wasserkraft	21,0	37,6					75,6	12,5
Windkraft	25,0	44,8					90,0	14,9
Solarenergie	0,5	0,9	9,0	3,4			10,8	1,8
Biomasse	9,4	16,7	250	93,1	42,0	100,0	420,0	69,3
Umgeb.wär., Erdwärme	0,0005	0,001	9,4	3,5			9,4	1,6
Summe	55,9	100,0	268,4	100,0	42,0	100,0	605,8	100,0



Schlussbetrachtung

- ◆ Die geothermische Stromerzeugung hat jüngst eine beachtliche (Weiter-) Entwicklung erfahren; dies gilt insbesondere für
 - Aufsuchung von vielversprechenden Horizonten,
 - Erschließung und Stimulation des Untergrunds,
 - Stromerzeugung im Niedertemperaturbereich.
- ◆ Infolge des energiewirtschaftlichen Rahmens werden derzeit viele Projekte entwickelt (meist KWK); ein einstelliger Prozentanteil an der Stromversorgung ist aber kurzfristig nicht zu erwarten.
- ◆ Aus energiewirtschaftlicher Sicht gilt
 - hohe technische Potenziale,
 - geringe Umwelteffekte,
 - (noch) vergleichsweise hoch Energiegestehungskosten.
- ◆ Durch verstärkte F&E-Anstrengungen müssen deshalb die noch bestehenden Unsicherheiten – und vor allem die Kosten – reduziert werden, damit die Geothermie zukünftig mehr zur Energienachfragedeckung in Deutschland beitragen kann.



**Vielen herzlichen
Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**