



# **Nutzung mitteltiefer Geothermie zwischen 400 und 600 m: Potential und technischer Entwicklungsbedarf**

**Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Horst Kruse,  
Dipl.-Ing. Hans Rüssmann,  
cand. mach. Chenguang Sha.**

**Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen  
GmbH**

An-Institut der Fachhochschule Hannover (FHH)



# **1. Hot Spot Hannover 2008**

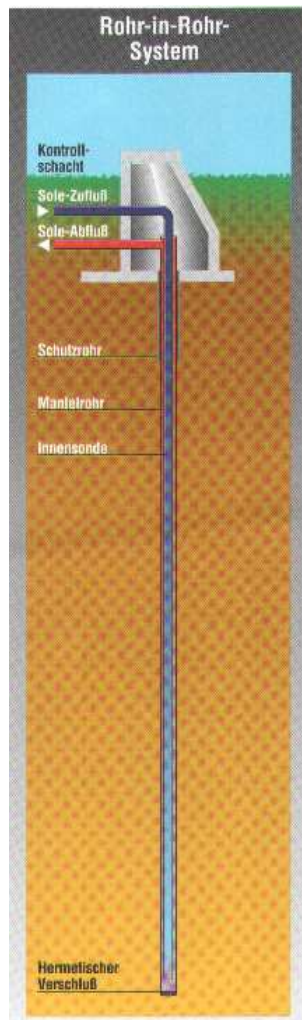
## **Innovative Erdsondentechnik : Das CO<sub>2</sub> - Erdwärmerohr**

**Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Horst Kruse,**

Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH

**Dipl.-Ing. Meik Schubert**

Brugg Rohrsysteme GmbH

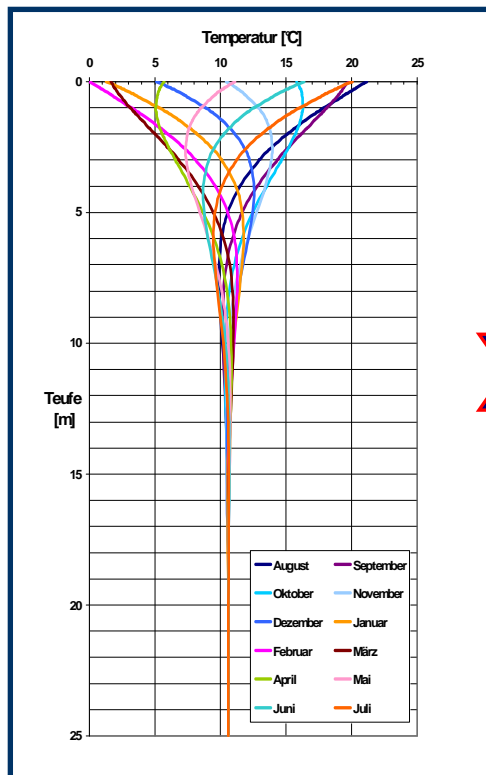


## Die Ausgangssituation: Sole

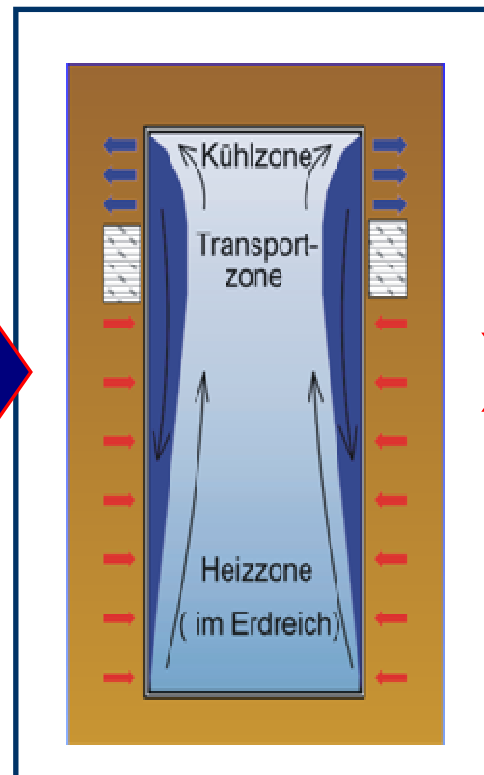
# Solesonden und ihre Wassergefährdungsklasse 1

	<b>ANTIFROGEN N</b>
Hersteller	Clariant, Sulzbach/Ts.
Anwendungsbereich	-37°C bis +150°C
Inhaltsstoffe	1,2-Ethandiol 90-95%, Natriumnitrit < 0,5% Kaliumnitrit < 0,2%
<b>Wassergefährdungsklasse</b>	<b>1</b>
Ökologie	Biologische Abbaubarkeit 90% gut abbaubar
Aquatische Toxizität	Fischtoxizität LC50 Goldorfe: 1500 mg/l nicht in Gewässer, Abwasser oder ins Erdreich gelangen lassen

## CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohr



**Erdreich ab 10m - 100m  
ca. konst. +10°C bis 13°C**



**Pumpenlose, selbsttätige  
Erdwärmesonde mit CO<sub>2</sub>**



**Flexibles Edelstahlrohr  
mit Spiralwellung**

## FKW- Brugg- CO<sub>2</sub>- Erdwärmerohr-System

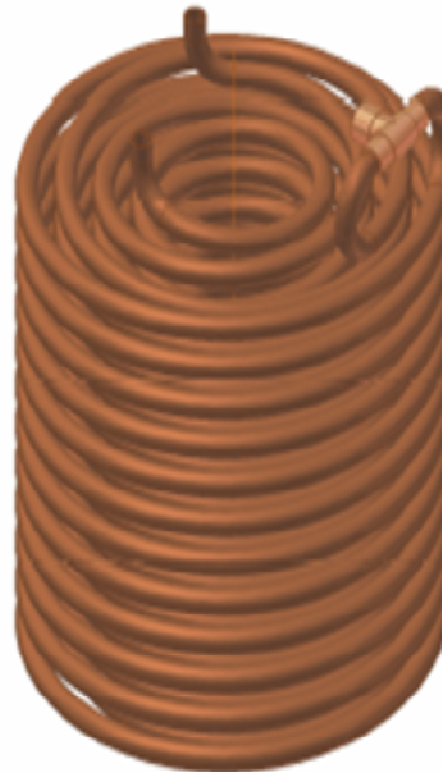


**CO<sub>2</sub>-EWR mit:**

**FKW / Brugg-  
Wärmetauscher  
Coil + Shell  
Erdschutz-Fuß  
Grapa-  
Verschraubung  
Wellrohr CNW  
39/44  
Verschweißtes  
Endstück**

**Zubehör: Füllventil**

**Thermostatisches.  
Expansionsventil**





# Entwicklung eines 300 m tiefen CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohres

## FKW-Projekt

des European Institute for Energy Research (EIFER),  
gemeinsam mit der Universität Karlsruhe,  
gefördert durch das EnBW Karlsruhe

Feldversuch Triberg/Schwarzwald  
CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohr 250 m  
Wellrohr DN 65 (ca. 80 mm lichte Weite)



## Dezember 2007: Bohrung für CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohr- Wärmepumpe für Altbau (20 kW)





## März 2008: Einbringung des 250 m EWR





**FKW** HANNOVER

Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH



## Ausstattung des 250 m EWR mit Temperaturmeßtechnik





## Januar 2009: Einweihung des CO<sub>2</sub> – EWR





## Erdschacht mit WT oberhalb des EWR





## Start der CO<sub>2</sub>-EWR-Wärmepumpe





**FKW** HANNOVER

Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH



# Potential mitteltiefer Erdwärmesonden



### Anzahl der verkauften Heizungswärmepumpen p.a. 1998- 2008

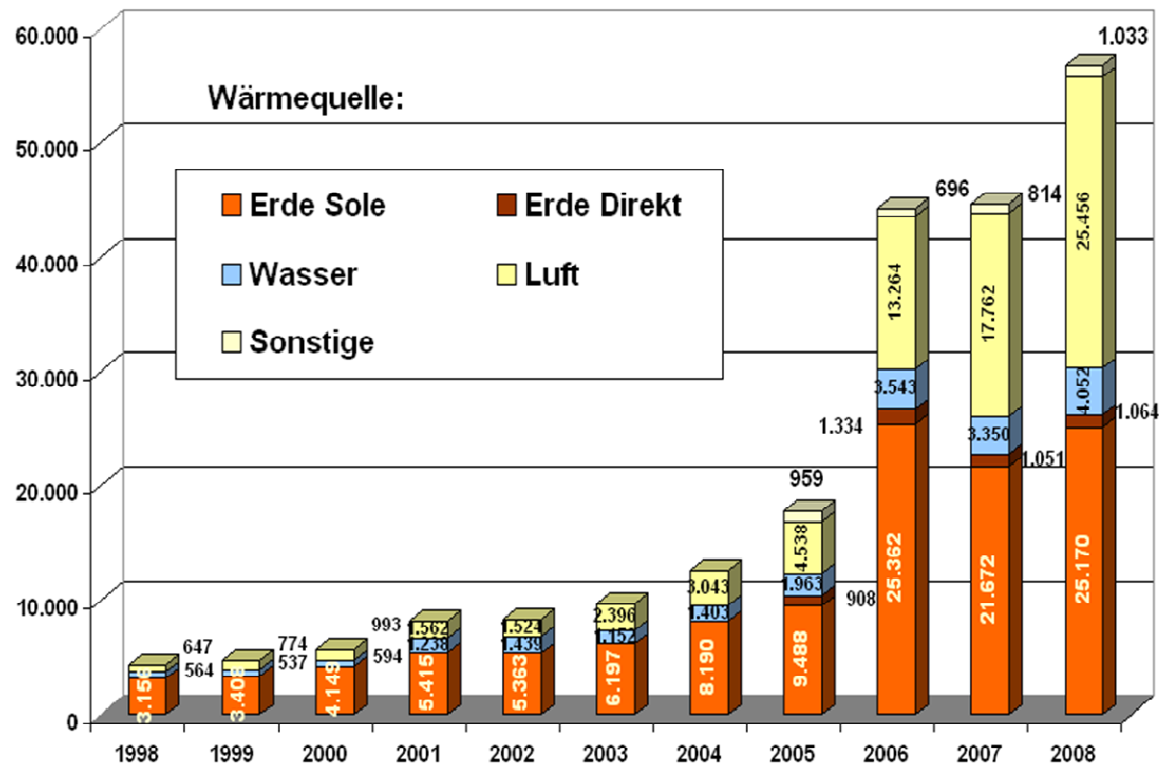


Diagramm erstellt vom IZW e.V. im März 2009 Quelle bwp e.V.

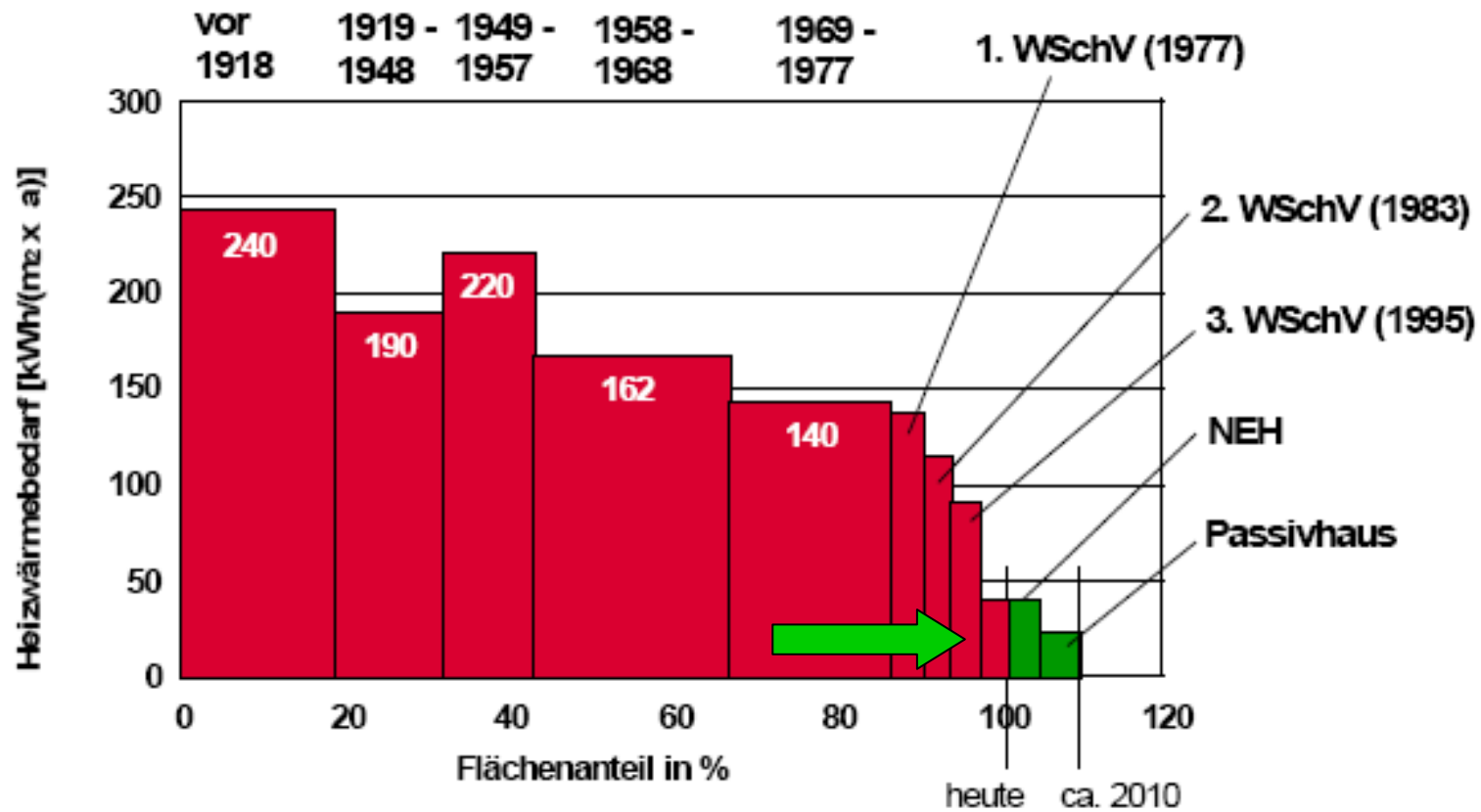


## Primärenergienutzungsgrad und Gesamttreibhausgasemissionen (TEWI) von Wärmepumpenheizungen im Vergleich zu Verbrennungsheizungen

	$\eta_P$	%-Anteile	TEWI – Belastung [t/a]	%-Anteile
1. Luft/ Wasser Wärmepumpe	0,99	122	2,948	80
2. Sole/ Wasser Wärmepumpe	1,16	143	2,269	61
3. Wasser/ Wasser Wärmepumpe	1,25	154	2,149	58
4. Gasbrennwertkessel	0,81	100	3,705	100
5. Gas NT-Kessel	0,72	89	4,164	122



## Heizwärmebedarf im Wohnungsbestand







## Schlussfolgerungen

- steigende Nachfrage nach oberflächennahen Erdwärmesystemen
- in der Regel mit Sondenlängen bis 100 m
- maximale Länge bisher installierter CO<sub>2</sub>-Sonden 250 m
- Nachfrage nach „mitteltiefen“ Erdwärmerohren 400 m bis 600 m
- Leistung an der Flutgrenze bei einer Entzugsleistung von 50 W/m etwa 20 kW für 400 m Rohr und etwa 30 kW für 600 m Rohr
- pro 100 m zunehmender Teufe steigt die Erdtemperatur um ca. 3 K, die treibende Temperaturdifferenz um 2 K : Leistungszunahme !

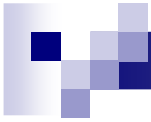


**FKW** HANNOVER

Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH



# Technischer Entwicklungsbedarf



**FKW** HANNOVER

Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH



## Wärmepumpenraum für EWR- und Sole- WP

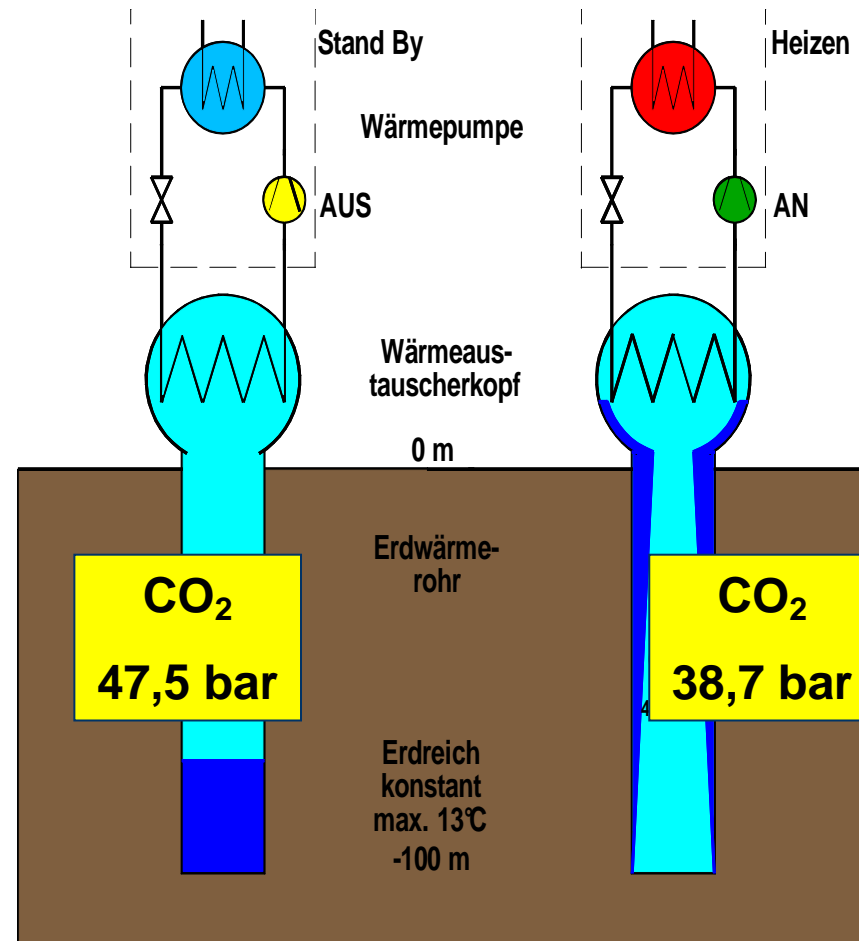


## Coil + Shell - Wärmeaustauscherkopf im Schacht des CO<sub>2</sub>-EWR



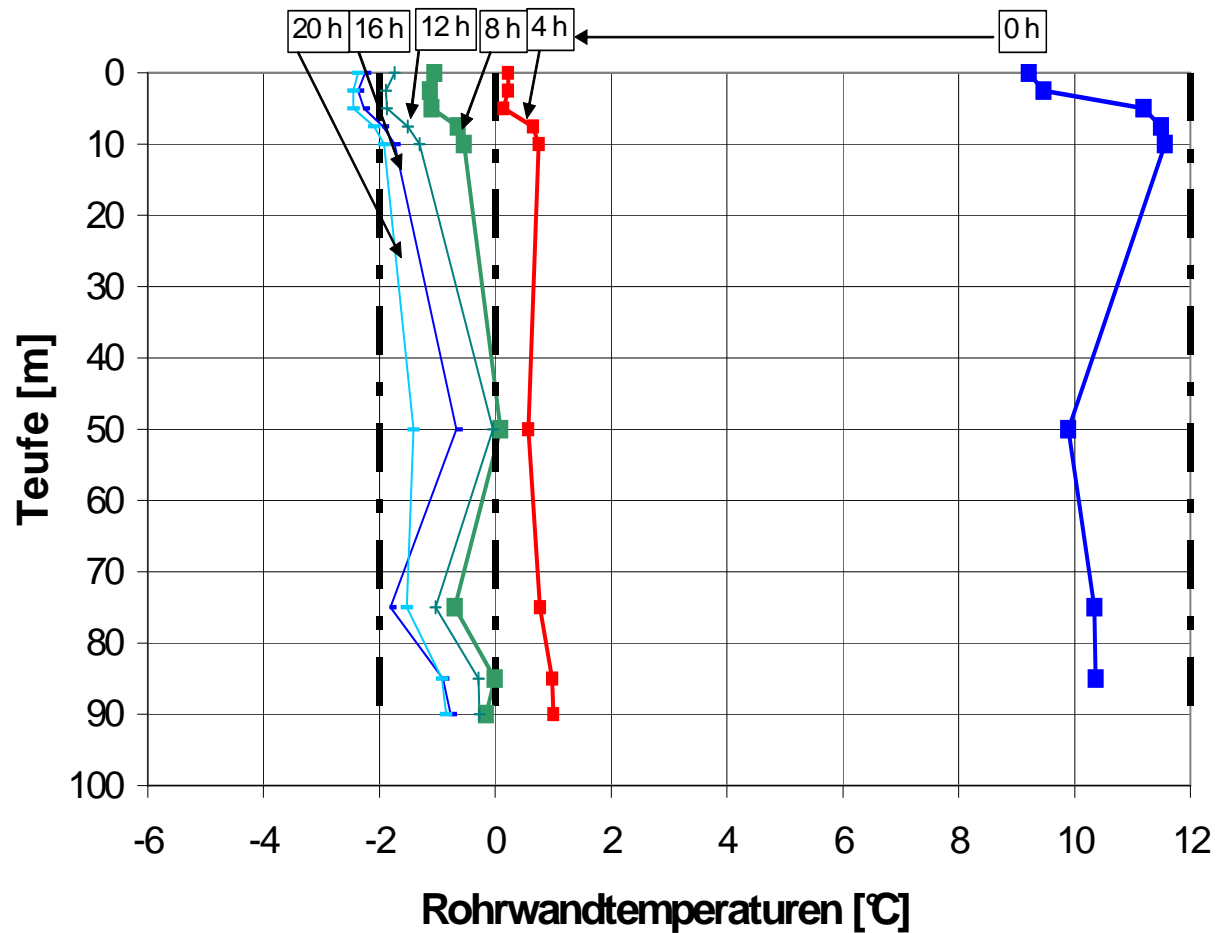


## Betriebszustände der CO<sub>2</sub>-EWR-Wärmepumpe





## Rohraußenwandtemperaturen von 0 bis 90 m Teufe nach verschiedenen Laufzeiten der Wärmepumpe mit $Q_o = 5 \text{ kW}$



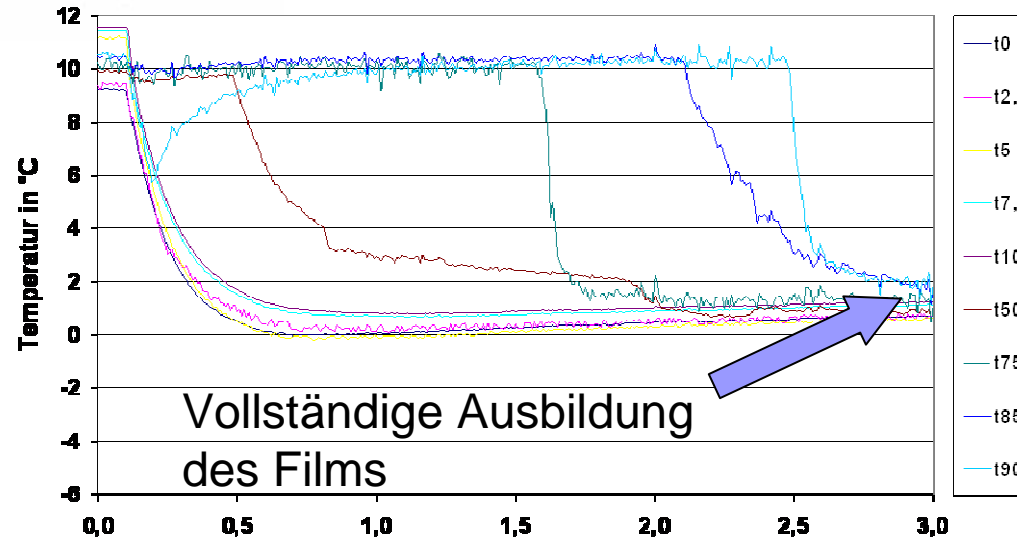


**CO<sub>2</sub>-EWR**

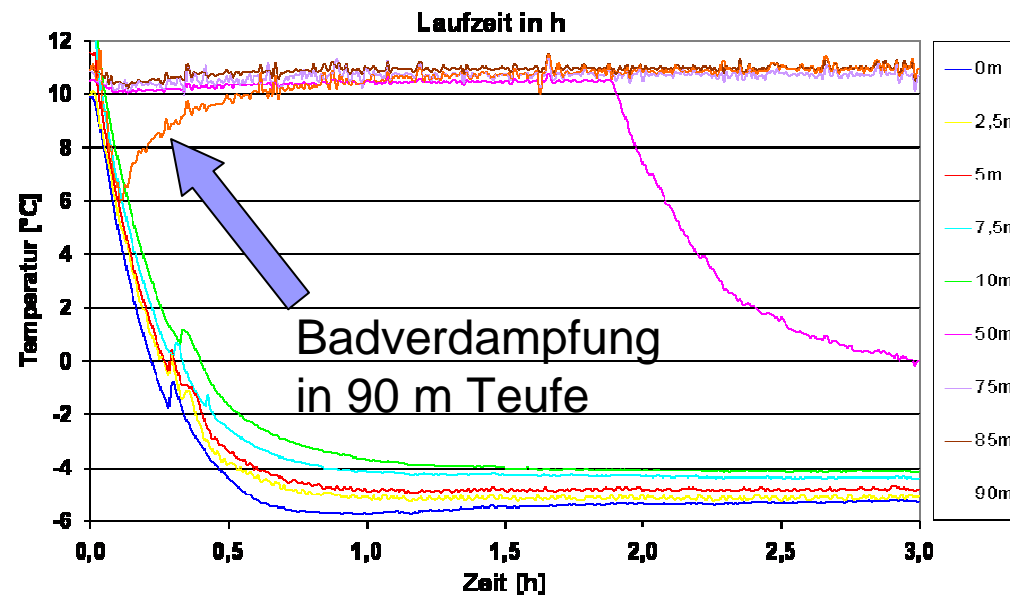
**Rohraußenwand-  
temperaturen**

**0 m bis 90 m Tiefe**

**in Abhängigkeit  
von der Laufzeit  
der Wärmepumpe**

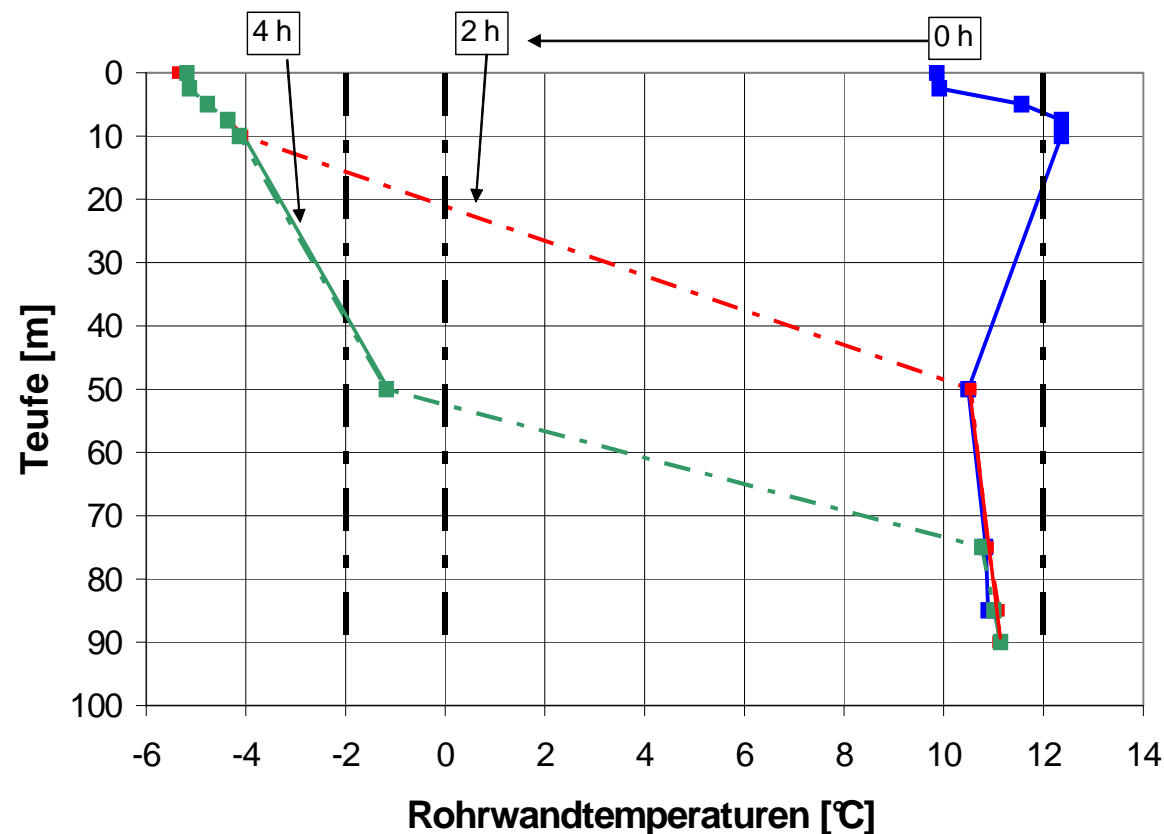


$Q_o = 5 \text{ kW}$   
Ohne Fluten



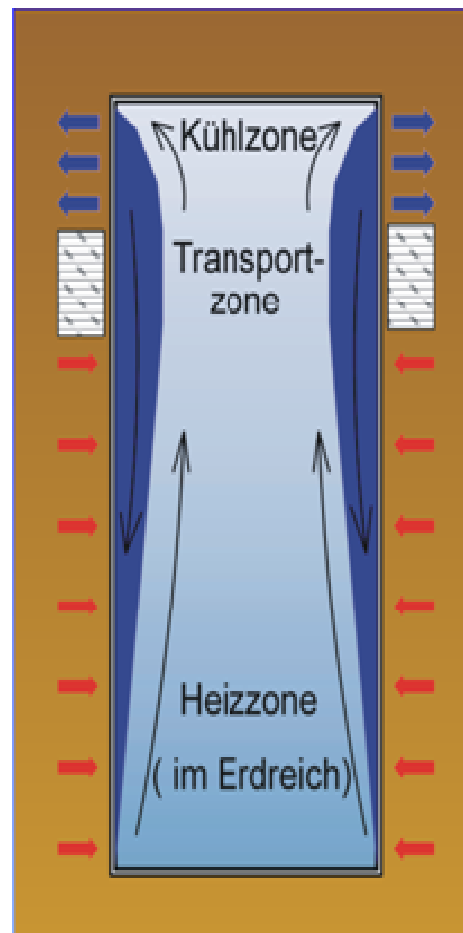
$Q_o = 7,5 \text{ kW}$   
Mit Fluten

## Rohraußenwandtemperaturen nach 2h und 4h Laufzeit der Wärmepumpe mit $Q_o = 7,5$ kW im Flutbetrieb



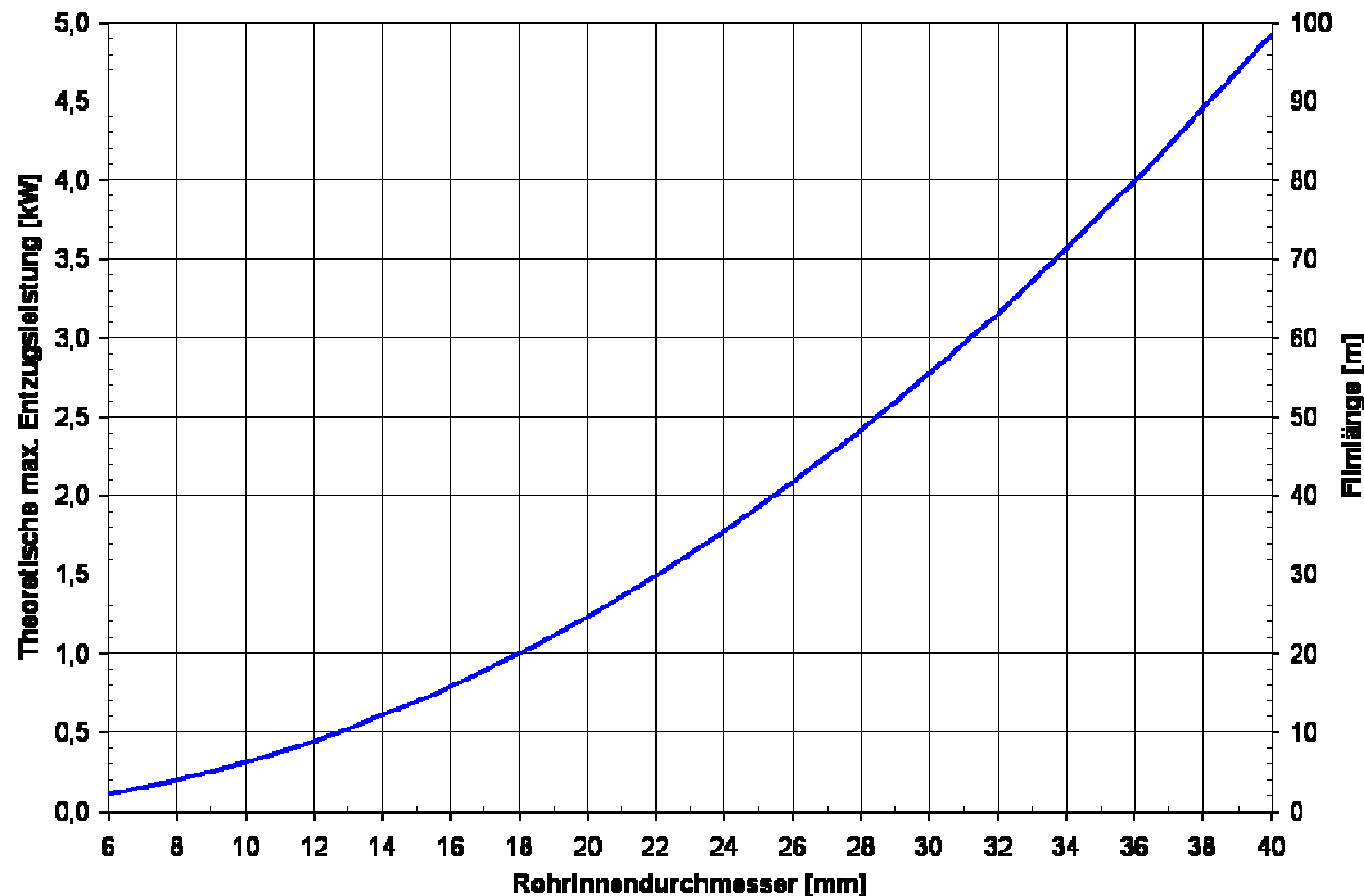


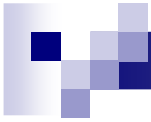
# Die Arbeitsweise des Erdwärmerohres





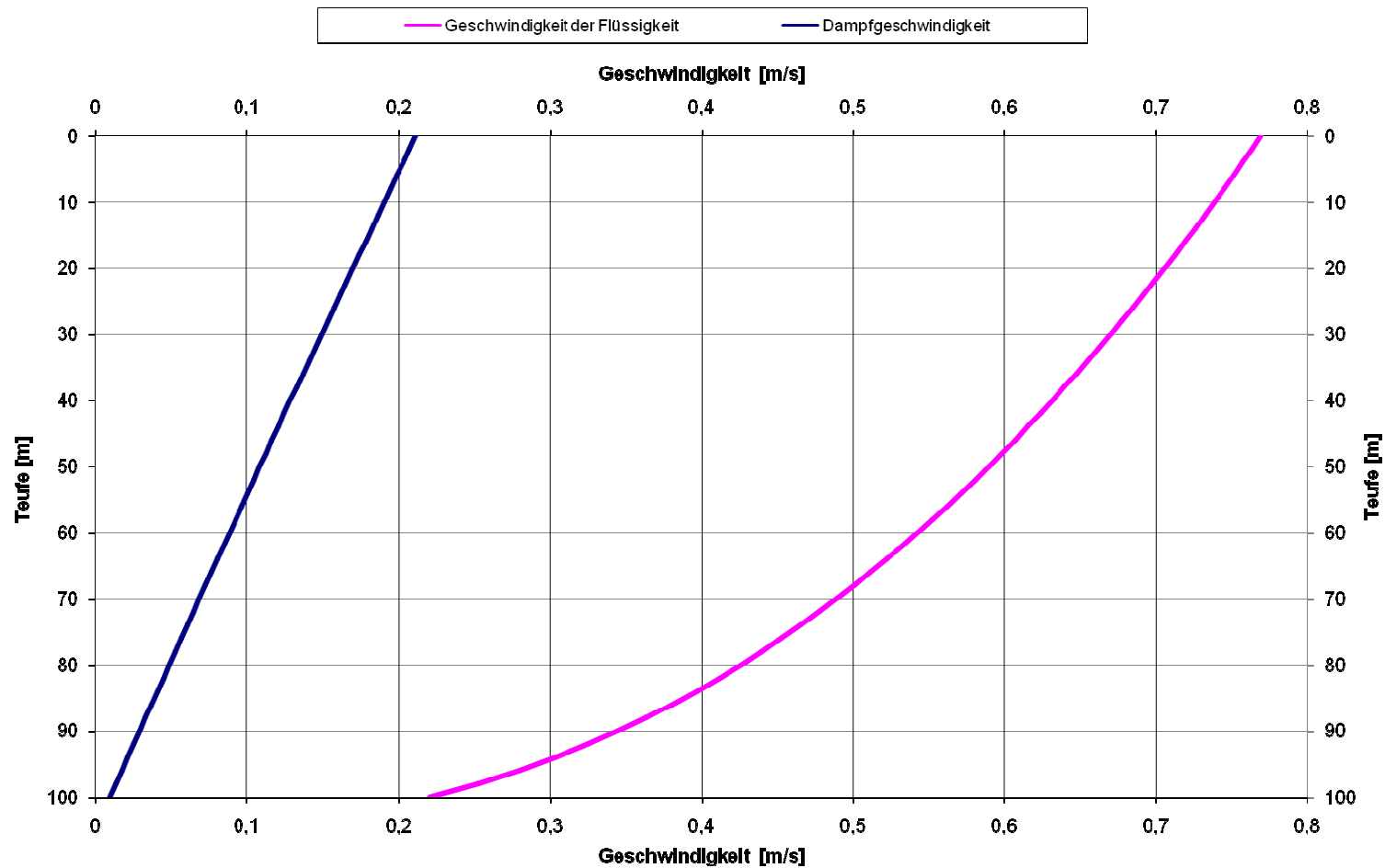
## Erdwärmerohr mit CO<sub>2</sub> als Transportfluid maximale Leistung und Filmlänge an der Flutgrenze erforderliche Rohrdurchmesser bei 50 W/m





## CO<sub>2</sub>- Fluidgeschwindigkeiten bei einem 40 mm Rohr an der Flutgrenze

Entzugsleistung Q=5,5 kW



## Das Edelstahl-Wellrohr

### **Spiralgewelltes Edelstahlwellrohr:**

Der CO<sub>2</sub>-Flüssigkeitsfilm läuft an der Innenwand des Wellrohres spiralgig, geschützt durch die Wendel, hinab.

Das Gas strömt im freien Querschnitt ohne Behinderung des Films aufwärts.

Hierdurch wird die maximale Wärme-Entzugsleistung aus der Erde erreicht.

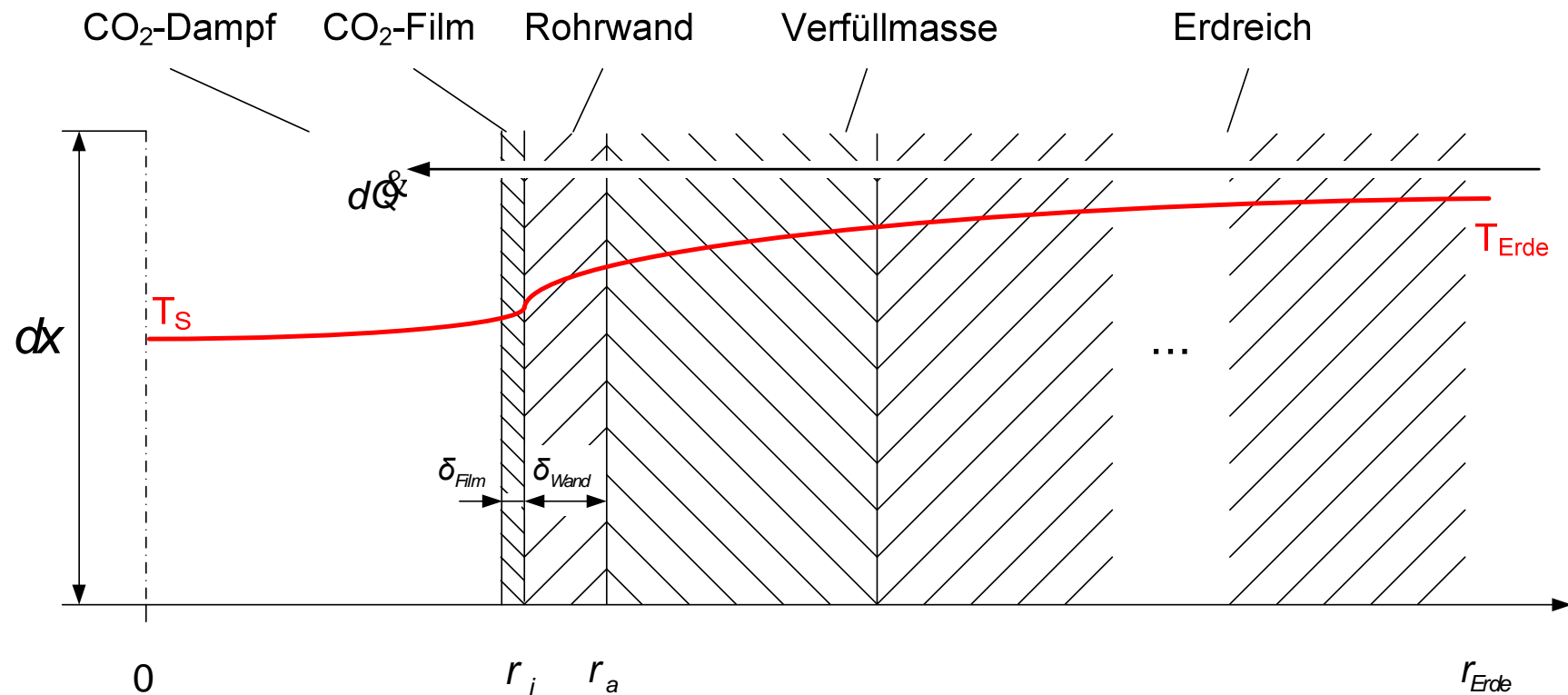


Bei Einhaltung der dem Rohr infolge von D und L eigenen

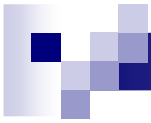
**Flutgrenze und maximaler Entzugsleistung**

ergibt sich eine **optimale Zirkulation** des CO<sub>2</sub>

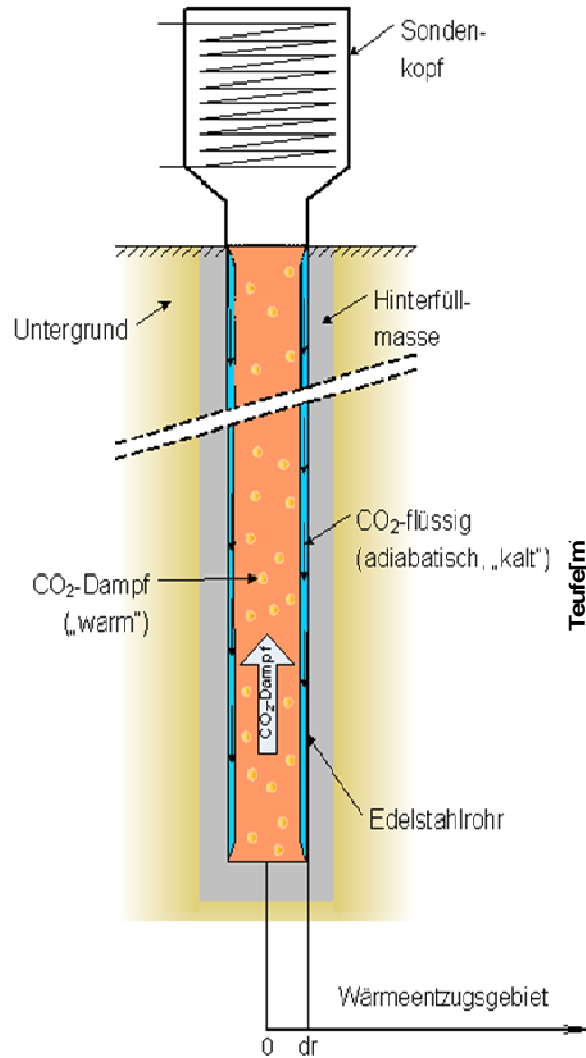
## Wärmeleitung zum CO<sub>2</sub>-EWR



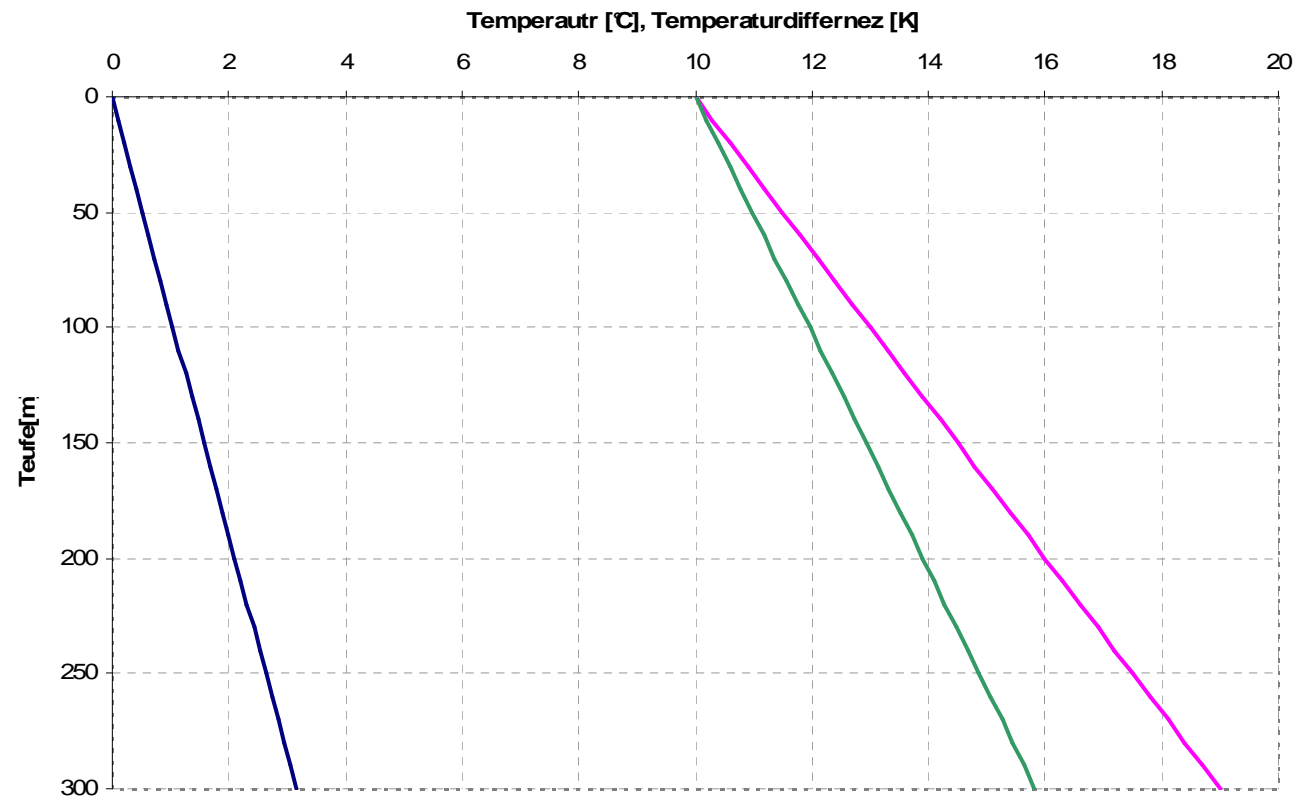
$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T \quad \text{mit} \quad \frac{1}{k \cdot A} = \frac{1}{\pi \cdot L} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\ln(d_{i+1}/d_i)}{\lambda_{mi}} \right)$$



## Temperaturen im EWR und im Erdreich

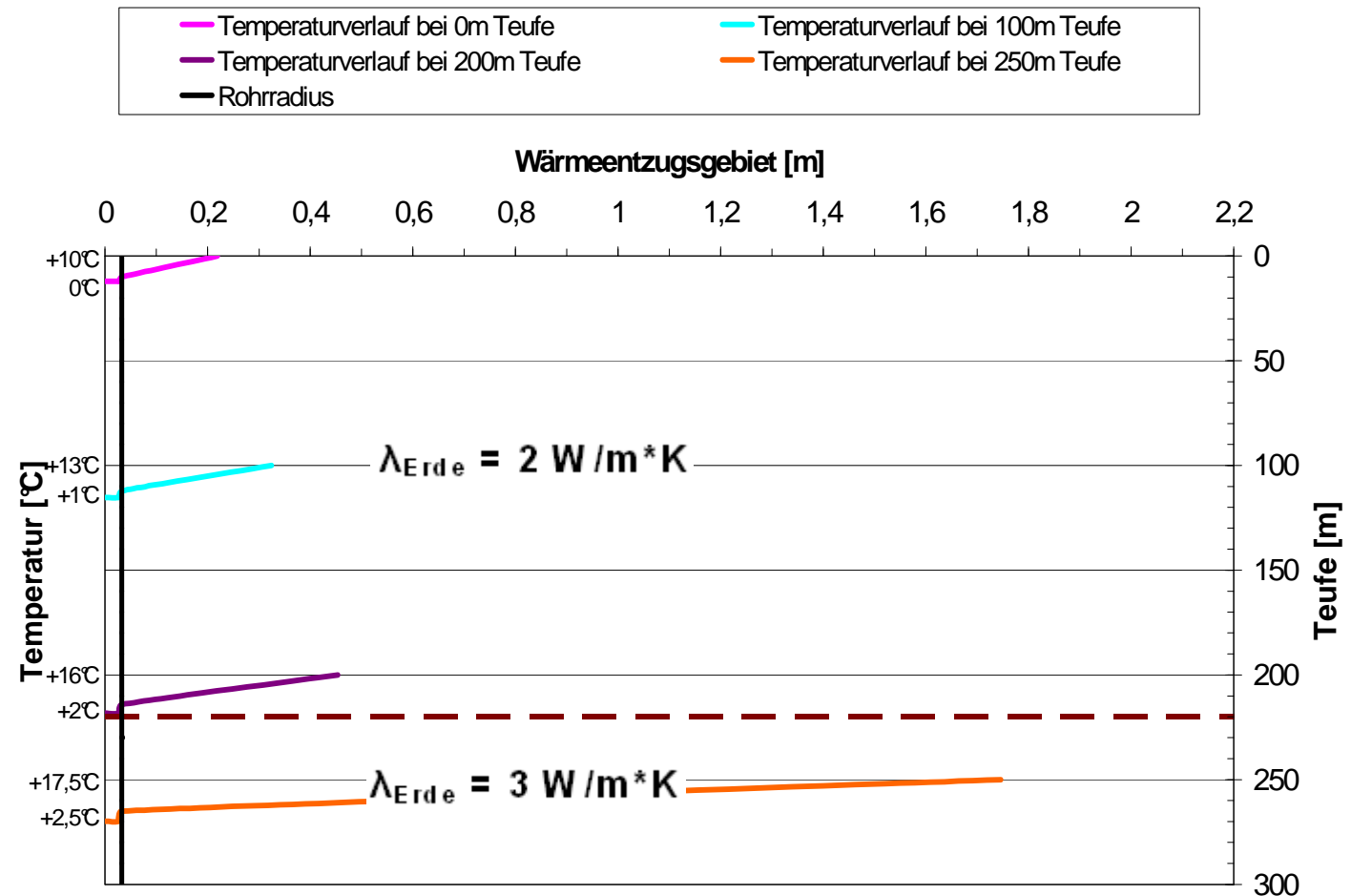
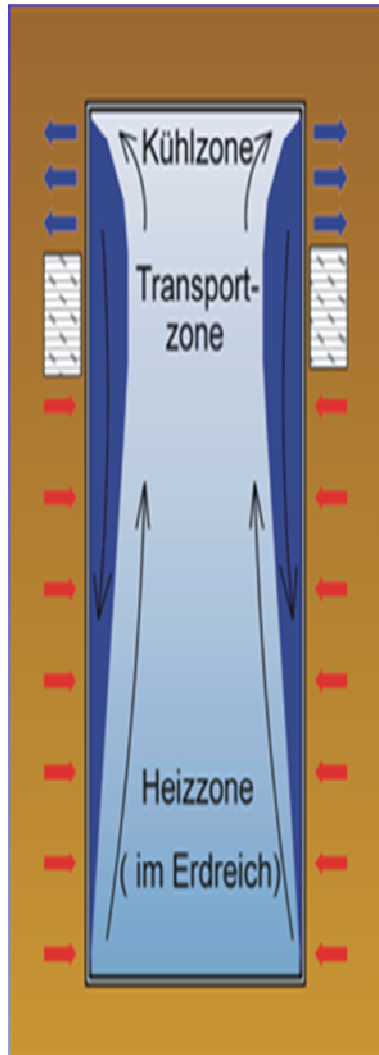


— CO<sub>2</sub> Sättigungstemperatur — Erdtemperatur — Temperaturdifferenz Erde-CO<sub>2</sub>



**Wärmeentzugsgebiete in Abhängigkeit von der Teufe in zwei Erdschichten**

mit verschiedenen Wärmeleit Zahlen  $\lambda_{\text{Erde}}$ ,  $Q=12,8 \text{ kW}$ ,  $L=300 \text{ m}$ ,  $D=80 \text{ mm}$

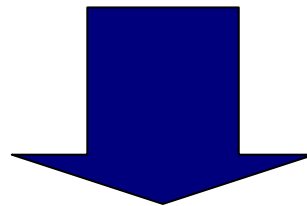




## Weiterentwicklung des CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohres

**Anlagen mit noch größerer Leistung  
durch:**

**- längere Erdwärmerohre bis maximal 600 m -**



**Forschungsantrag an das BMWi:**

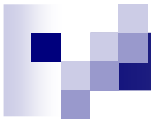
GeoDienste GmbH, Garbsen

Wöltjen GmbH, Nienburg

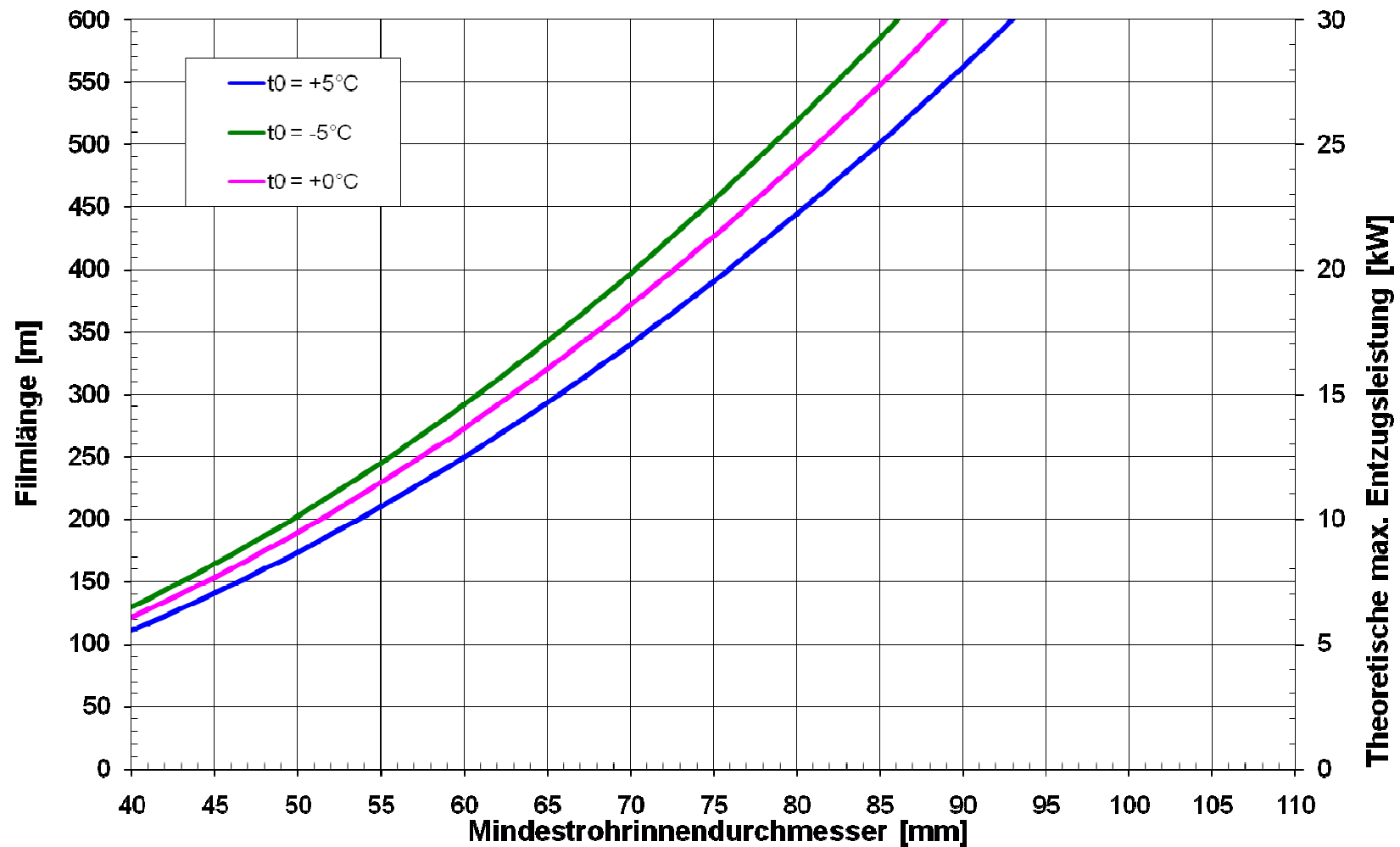
FKW GmbH, Hannover

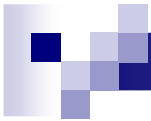
FH Hannover



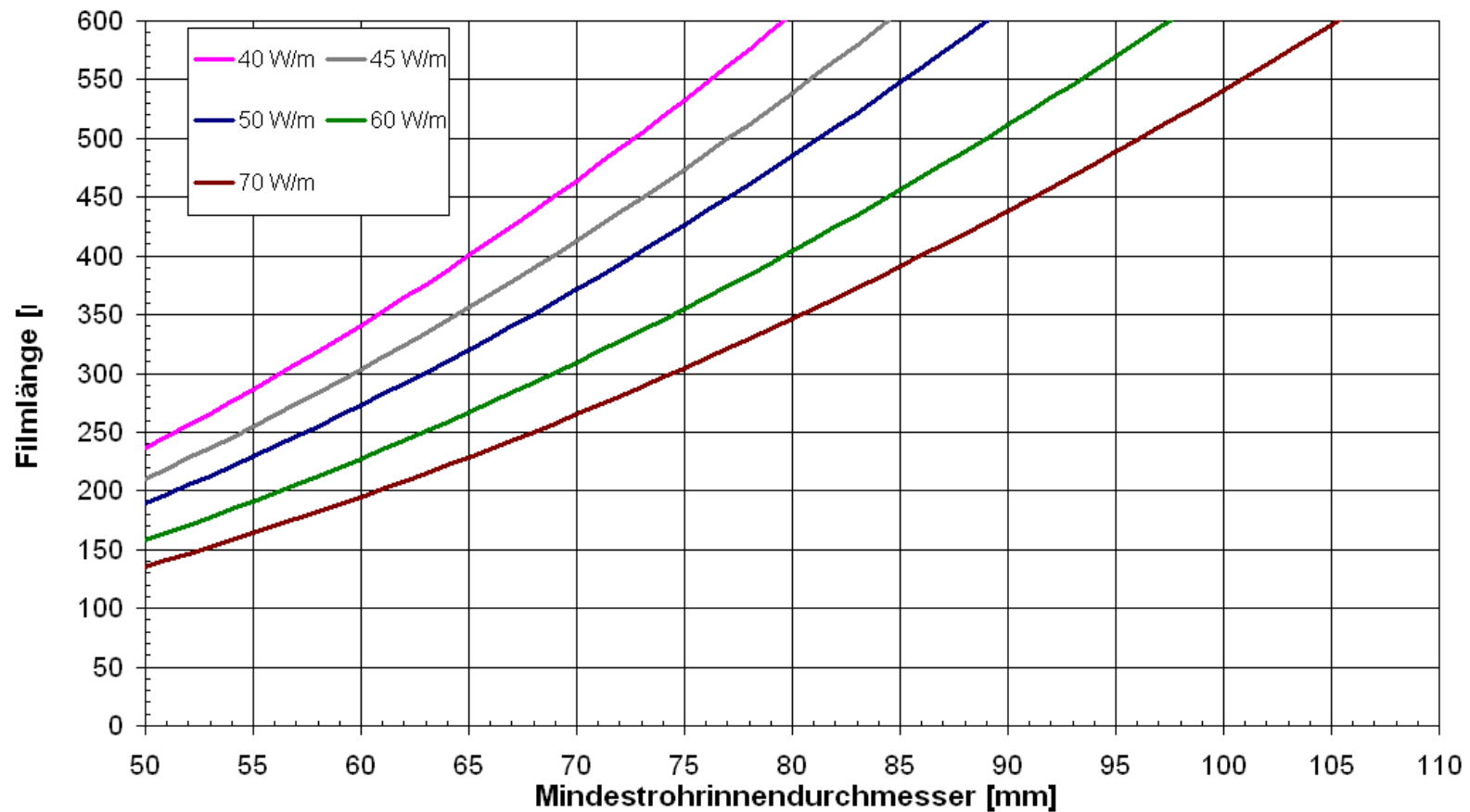


**Theoretische max. Entzugsleistung und Filmlänge an der Flutgrenze bei einer Sondenleistung von 50 W/m mit Variation der CO<sub>2</sub>-Verdampfungstemperatur**

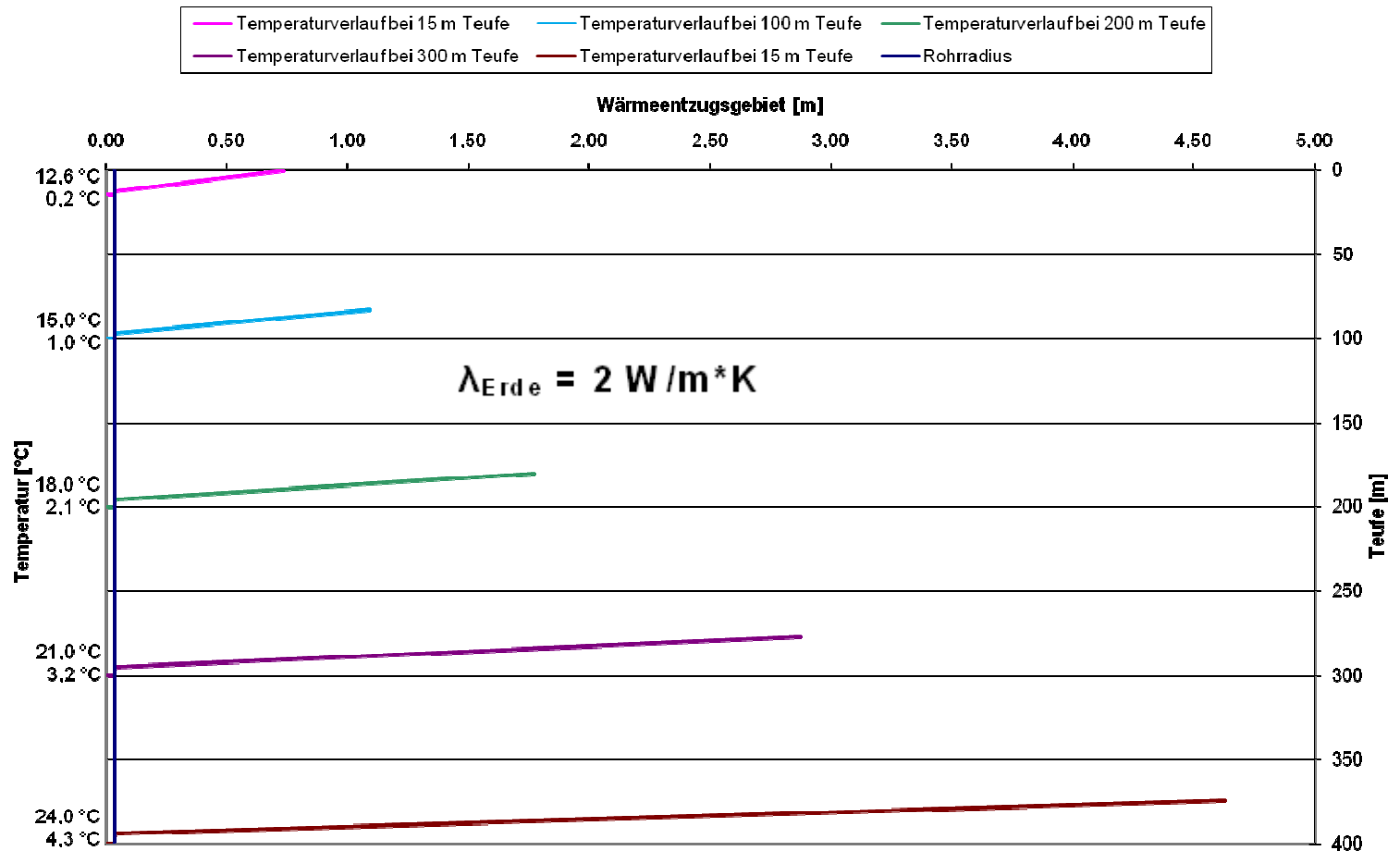
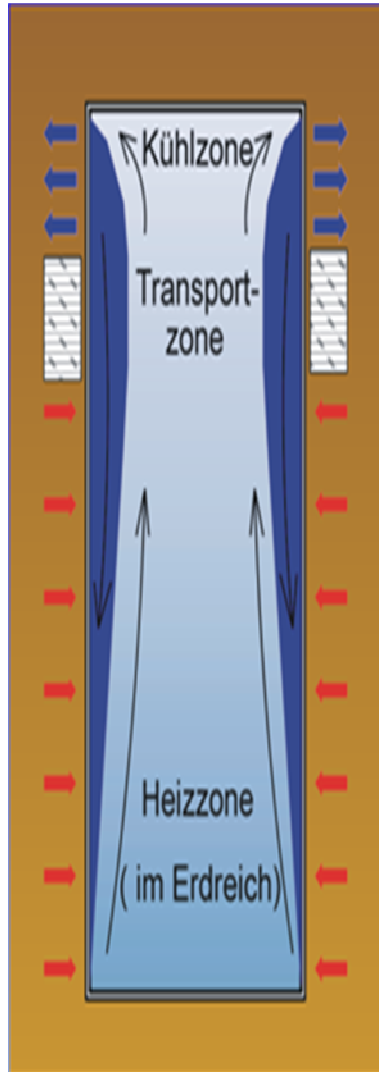




**Theoretische max. Filmlänge an der Flutgrenze bei einer  
CO<sub>2</sub>-Verdampfungstemperatur von  $t_s = 0^\circ\text{C}$   
mit Variation der spez. Entzugsleistung**



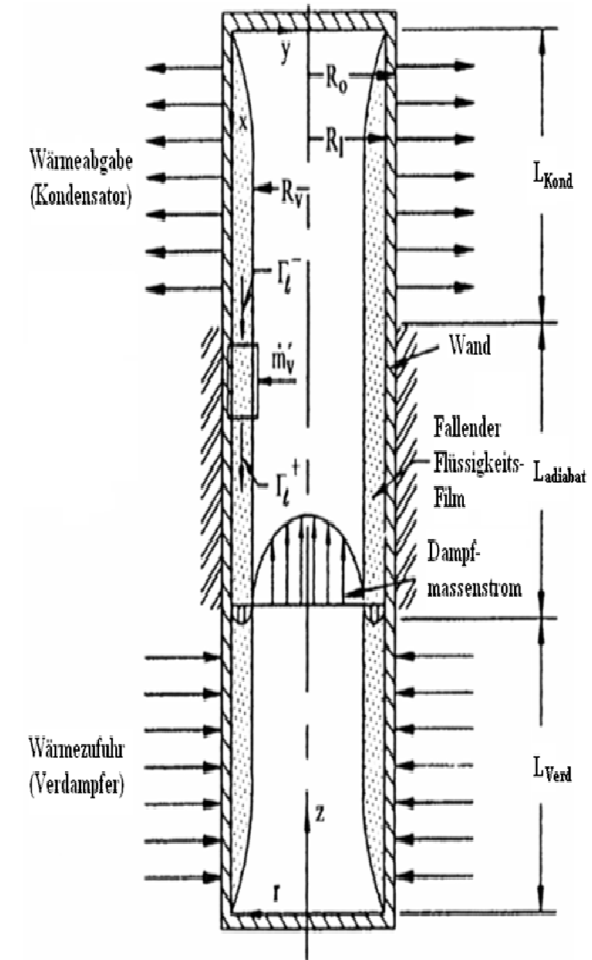
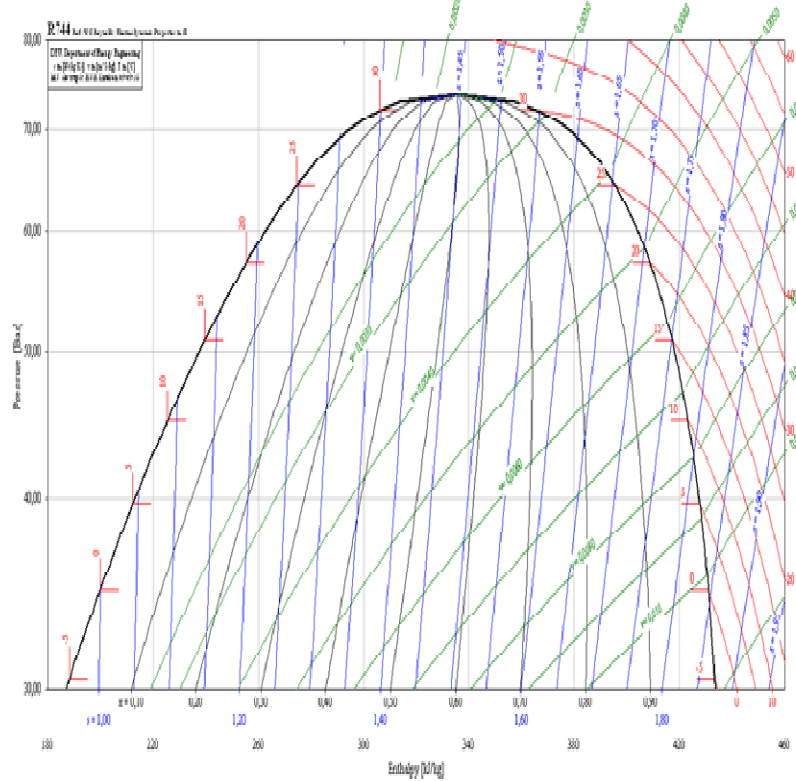
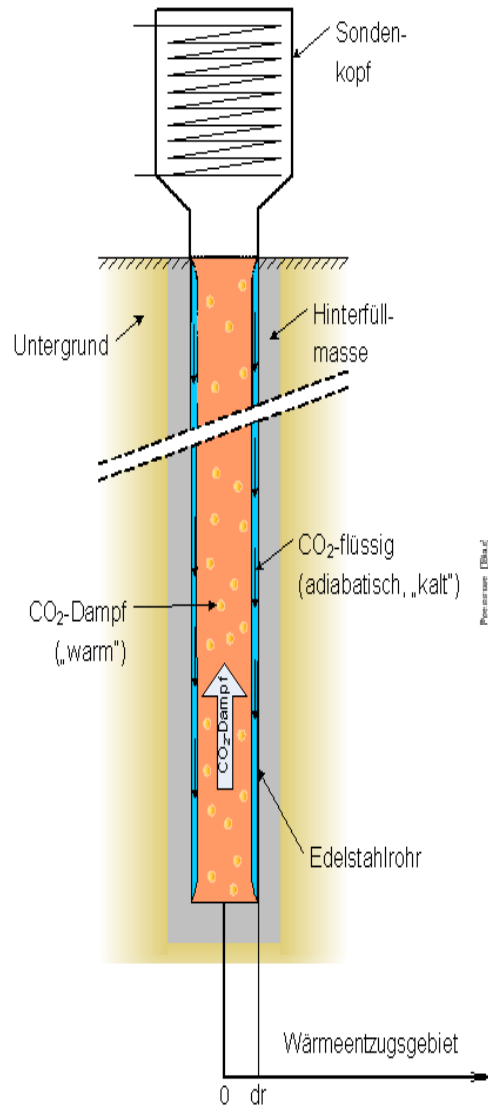
**Wärmeentzugsgebiete in Abhängigkeit von der Teufe bei konstanter Wärmeleitfähigkeit der Erde  $\lambda_{\text{Erde}}$ ,  $Q=19,5 \text{ kW}$ ,  $L=400 \text{ m}$ ,  $D=72 \text{ mm}$**





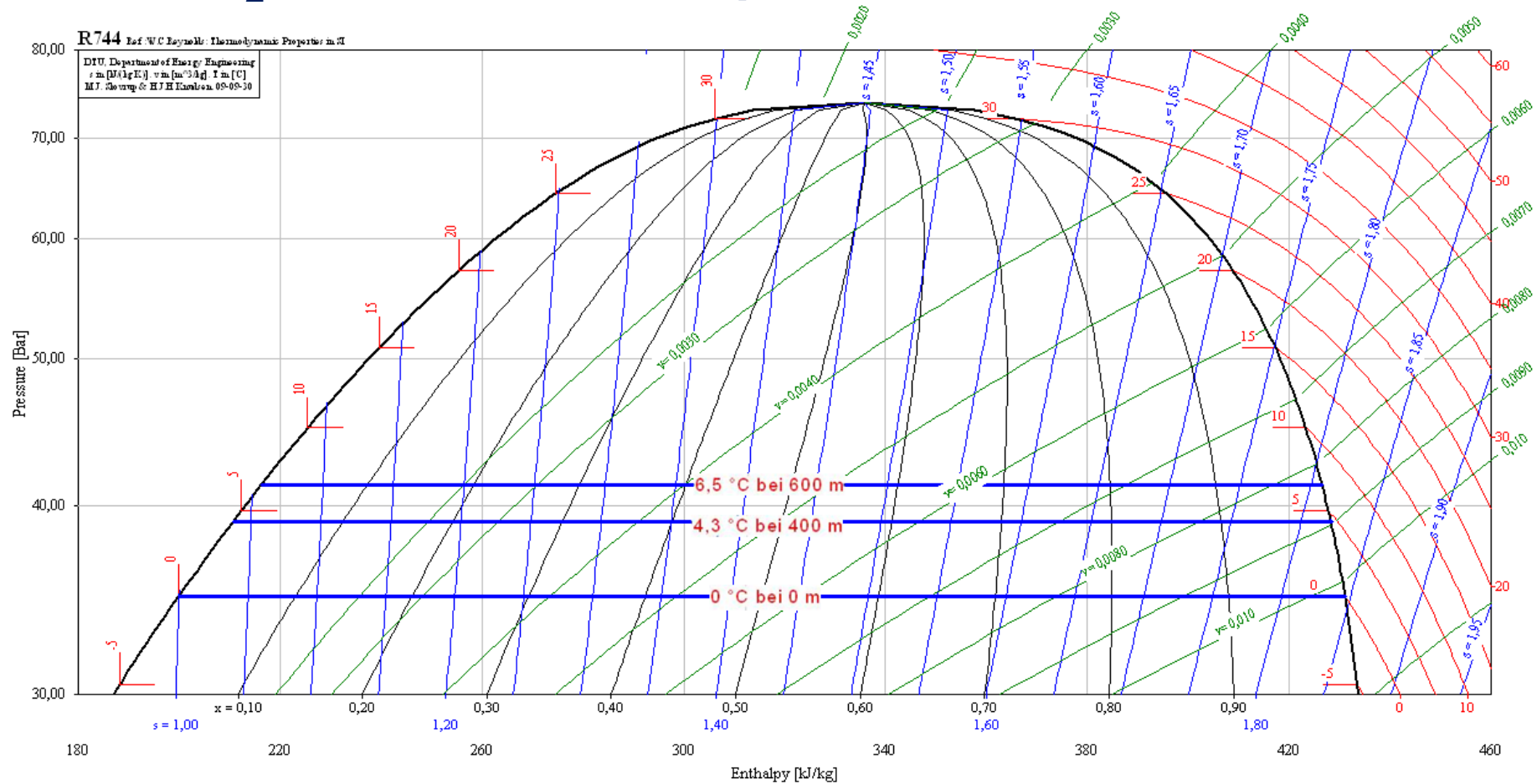
## Wärmeübertragung im Erdwärmerohr

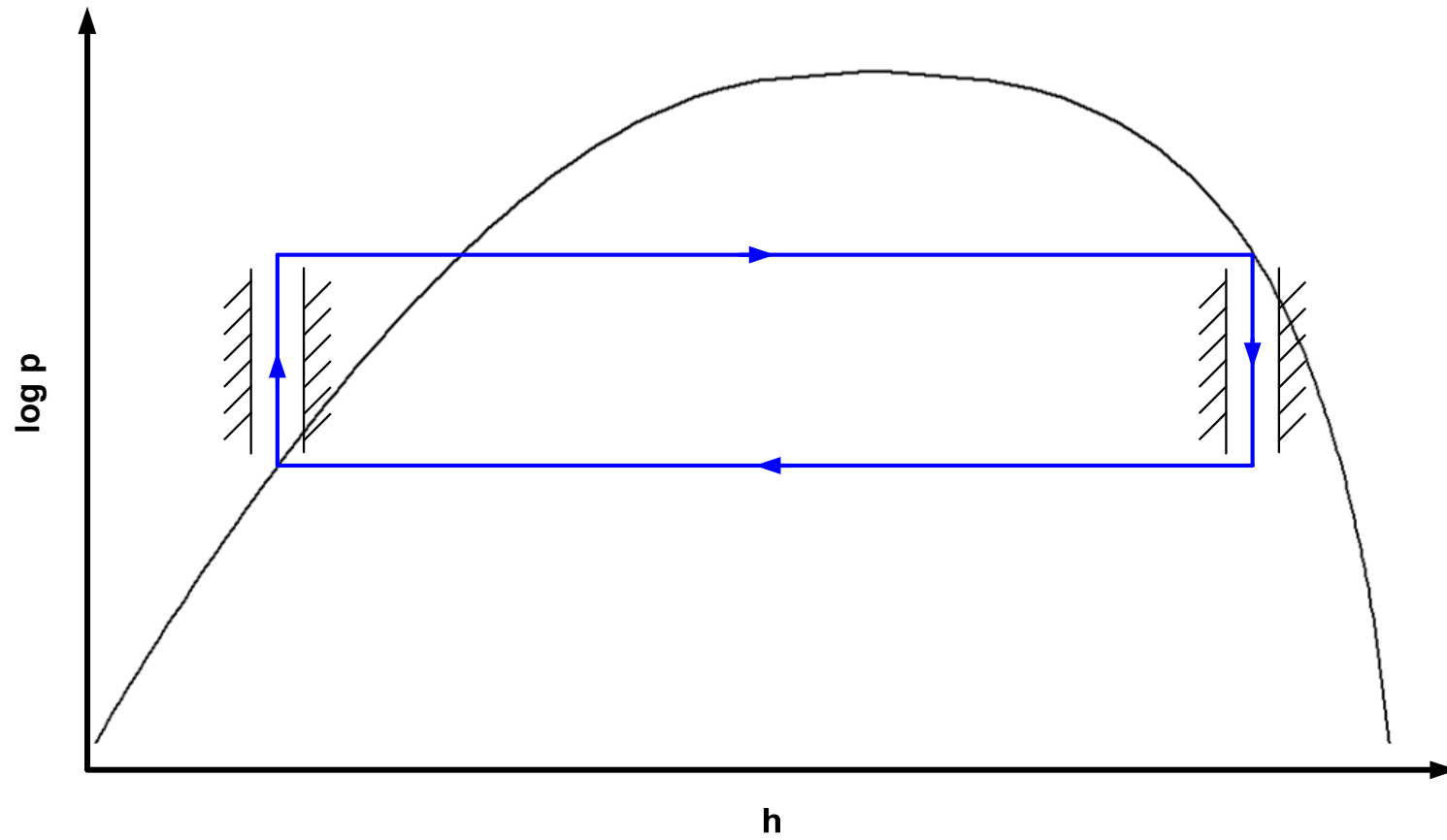
Druck - Enthalpie - Diagramm von CO<sub>2</sub>

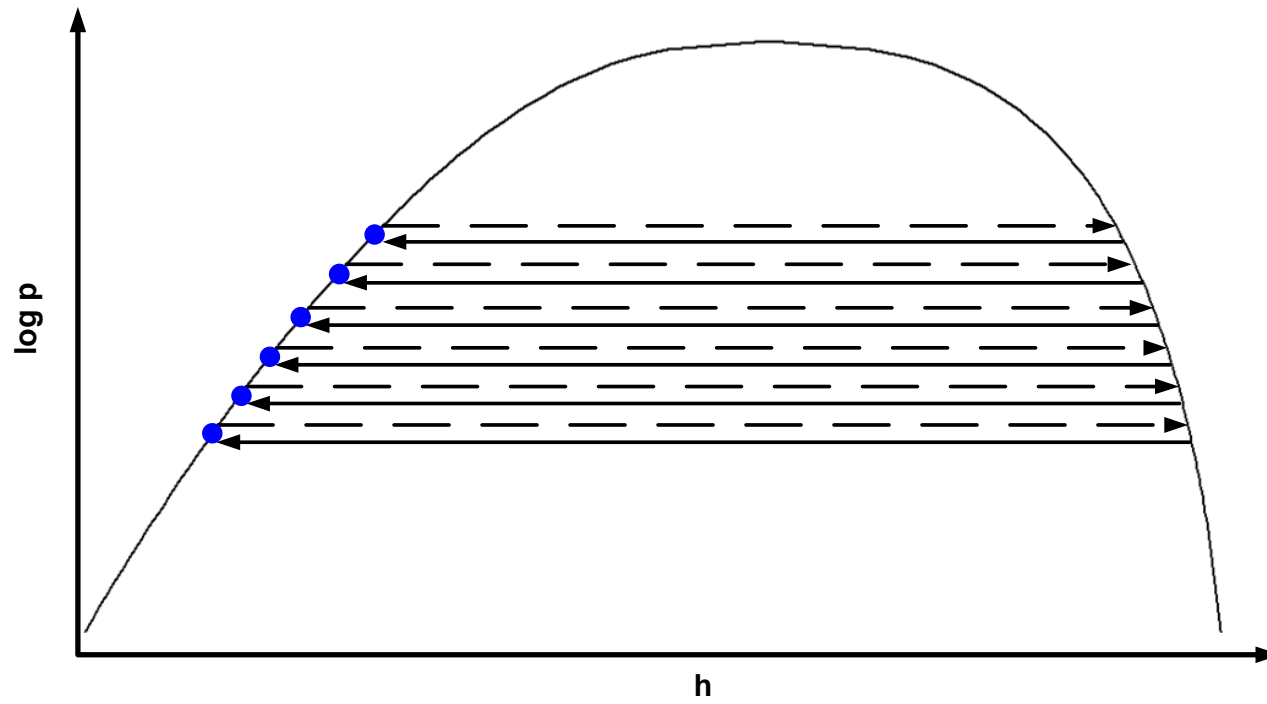
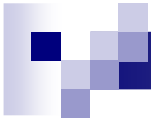




# EWR- CO<sub>2</sub>- Drücke- und Temperaturen 0 m, 400 m und 600 m









## **Forschungs- und Entwicklungsbedarf mitteltiefer CO<sub>2</sub>-Erwärmerohre**

Durch die mit der Tiefe veränderlichen Temperaturen im Rohr und im umgebenden Erdreich ist es erforderlich, die sich daraus ergebenden Betriebszustände mit den daraus resultierenden Entzugsleistungen möglichst genau vorausberechnen zu können.

Hierzu ist eine Zusammenführung der geothermischen Berechnungen im Erdreich und der thermodynamischen Ermittlungen der Wärmetransportvorgänge im CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohr zu gemeinsamen mathematischen Ansätzen erforderlich, die eine Modellierung seiner Betriebsweise erlaubt.

Deren Ergebnisse sind mit entsprechenden Meßwerten an mitteltiefen Erdwärmerohren zu korrelieren, um zuverlässige und wirklichkeitsnahe Auslegungsergebnisse für die Praxis zu erhalten.





## Zusammenfassung

**Wegen des großen Altbaubestandes und der abnehmenden Anzahl der Neubauten mit geringerem Wärmebedarf, sowie der verfügbaren kleineren Nutzungsflächen für Sondenfelder ergibt sich ein großes Potential für mitteltiefe Erdwärmesoden und damit eine Tendenz zu größeren Entzugsleistungen je Bohrloch.**

**Am Beispiel des CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohres wurden die technisch-wissenschaftlichen Herausforderungen aufgezeigt, um mitteltiefe Erdwärme ohne elektrischen Energieaufwand pumpenlos zu fördern.**



**FKW** HANNOVER

Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH



**Ich bedanke mich für Ihre**  
**Aufmerksamkeit**

**FKW** HANNOVER

Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH

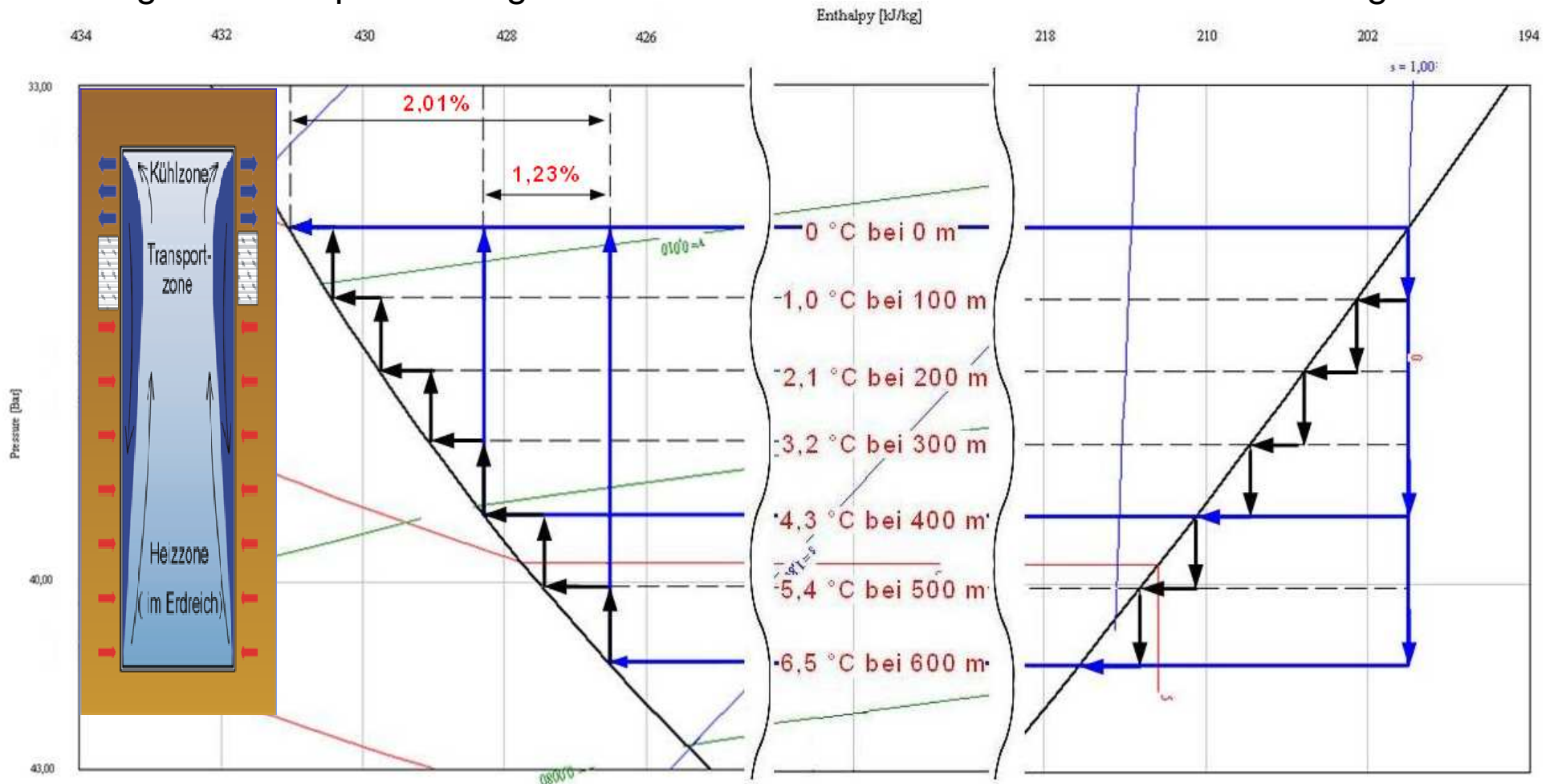


## **FKW-Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH „An-Institut“ der Fachhochschule Hannover**



## Thermosyphon – Strömung des CO<sub>2</sub> im EWR

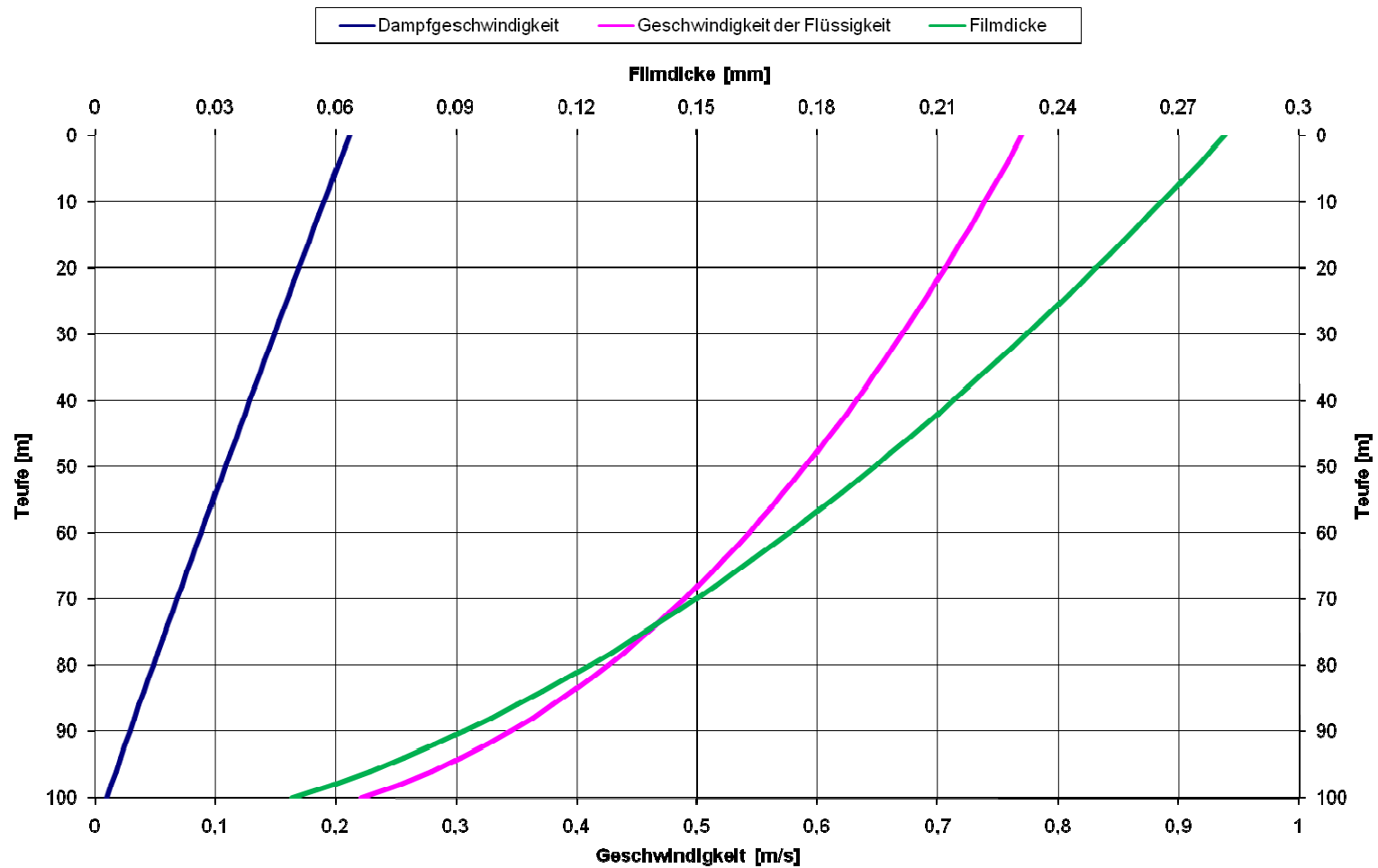
Aufsteigende Dampfströmung im Rohr und an der Wand hinabfließender Flüssigkeitsfilm





# CO<sub>2</sub>- Fluidgeschwindigkeiten und Filmdicke an der inneren Rohrwand

Entzugsleistung Q=5,5 kW





## Dampfgeschwindigkeit im Rohr in [m/s]

