



Innovative Erdsondentechnik :

Das CO₂ - Erdwärmerohr

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

Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH

Dipl.-Ing. Meik Schubert

Brugg Rohrsysteme GmbH

Forschung: FKW und Information: IZW



Forschungs-
zentrum für
Kältetechnik und
Wärmepumpen
GmbH



Informations-
zentrum
Wärmepumpen
und Kältetechnik
e.V.

■ Weidendam 12,14
■ 30167 Hannover

Tel. +49 511 167 475 - 0
Fax. +49 511 167 475-25

E-Mail@fkw-hannover.de
www.fkw-hannover.de



FKW HANNOVER

Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH



F + E Arbeiten am EWR*

- | | | |
|--|---|---------------------------|
| 1. Prinzip und Vorentwicklung des CO ₂ -Erdwärmerohrs | - | <i>FKU/Aetna/FKW</i> |
| 2. Entwicklung des flexiblen Edelstahlwellrohres | - | <i>FKW/Aetna/Kaeltro</i> |
| 3. EWR- Prototypenwicklung | - | <i>FKW/Kaeltro</i> |
| 4. Marktreife Entwicklung des Erdwärmerohrs | - | <i>FKW/Brugg</i> |
| Einbringung und Demonstration | - | <i>FKW/ Brugg</i> |
| Werkstoffe und Verfüllmassen | - | <i>Brugg/ThyssenKrupp</i> |
| 5. Entwicklung des EWR-Wärmetauscherkopfs | - | <i>FKW/Brugg</i> |
| Kupferrohrwendel im Topf | - | <i>Coil + Shell</i> |
| 6. Entwicklung eines CO ₂ -Erdwärmerohres > 100 m | - | <i>FKW/Brugg</i> |

*EWR = Erdwärmerohr



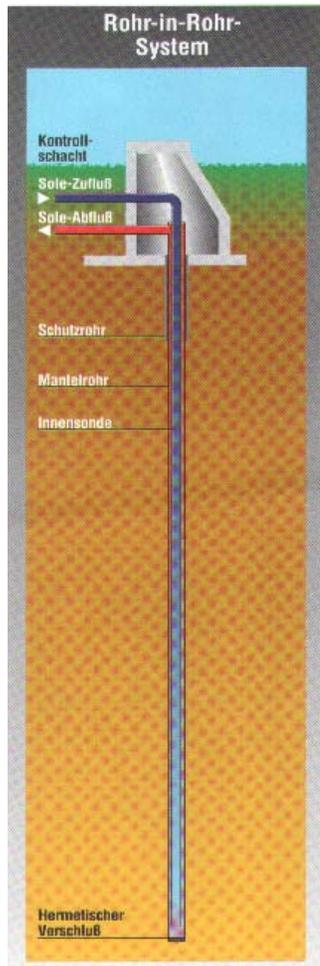
F+E - Arbeiten am EWR

Das Prinzip

Die Vorentwicklung

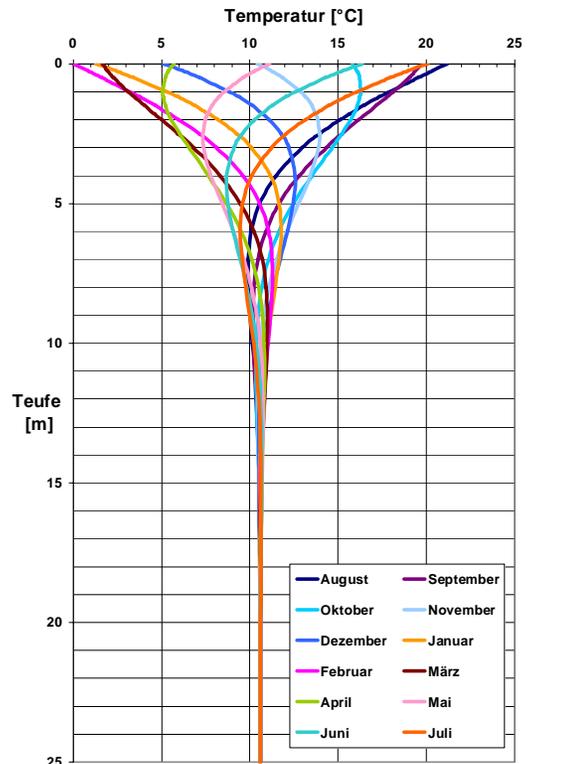
F+E-Projekt des FKU Berlin 1999 - 2001
gefördert durch das BMWi, Projektträger Gewiplan, Berlin.

Solesonden und ihre Wassergefährdungsklasse 1

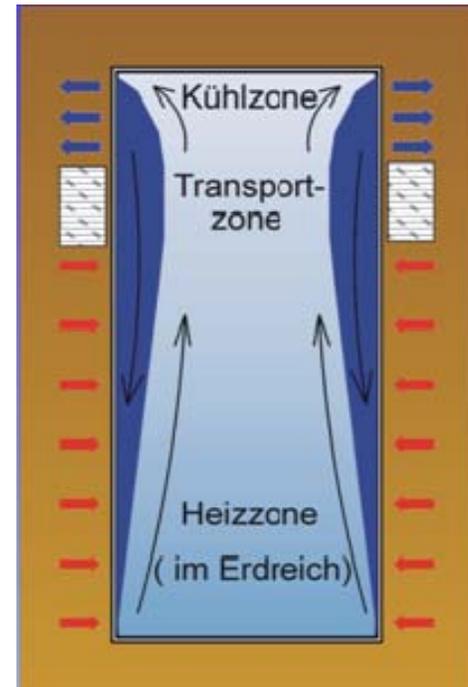


	DOWCAL 10
Hersteller	DOW Deutschland, Schwalbach
Anwendungsbereich	-50°C bis +175°C
Inhaltsstoffe	Ethylenglykol 94 Gew. % (87-93%), Inhibitoren o. A. + Wasser 6 Gew. %, frei von Aminen und Nitriten
Wassergefährdungsklasse	1
Ökologie für Ethylenglykol	biologischer Abbau im closed bottle test nach 20 Tagen: 88%
Aquatische Toxizität für Ethylenglykol	Akute LC50/Regenbogenforelle: 18000-46000 mg/l Nicht schädlich für Wasserorganismen LC50/EC50/IC50 > 100 mg/l
	ANTIFROGEN N
Hersteller	Clariant, Sulzbach/Ts.
Anwendungsbereich	-37°C bis +150°C
Inhaltsstoffe	1,2-Ethandiol 90-95%, Natriumnitrit < 0,5% Kaliumnitrit < 0,2%
Wassergefährdungsklasse	1
Ökologie	Biologische Abbaubarkeit 90% gut abbaubar
Aquatische Toxizität	Fischtoxizität LC50 Goldorfe: 1500 mg/l nicht in Gewässer, Abwasser oder ins Erdreich gelangen lassen

Entwicklung des EWR: Das Prinzip



Erdtemperaturgang
ab -10 m mit + 3K/100m
ungestört



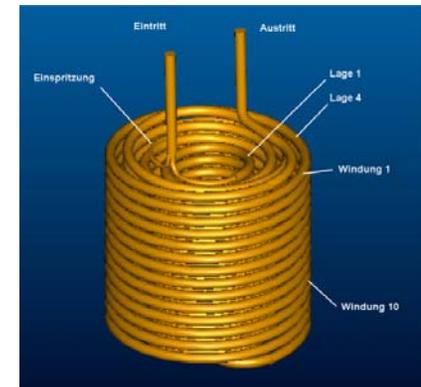
Thermosyphon:
Vertikales Wärmerohr

EWR: Prototyp-Entwicklung DBP 10327602.5



F+E -Entwicklung mit Fördermitteln der DBU, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück im Rahmen eines **FKW-F+E Auftrages 2001-2004** mit Unteraufträgen an die Fa. Aetna, Wildau und Kaeltro, Berlin.

Entwicklung FKW:
(EWR DN 32: 100 m Flexibles, druckfestes Edelstahlwellrohr Brugg-Rohrsysteme.



Entwicklung FKW:
Bündelrohrwärmetauscher:
Bau durch Fa. Kaeltro Berlin
Druckfestes Gehäuse mit Kupferwendel 5 kW

Das Edelstahl-Wellrohr

Spiralgewelltes Edelstahlwellrohr:

Der CO₂-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

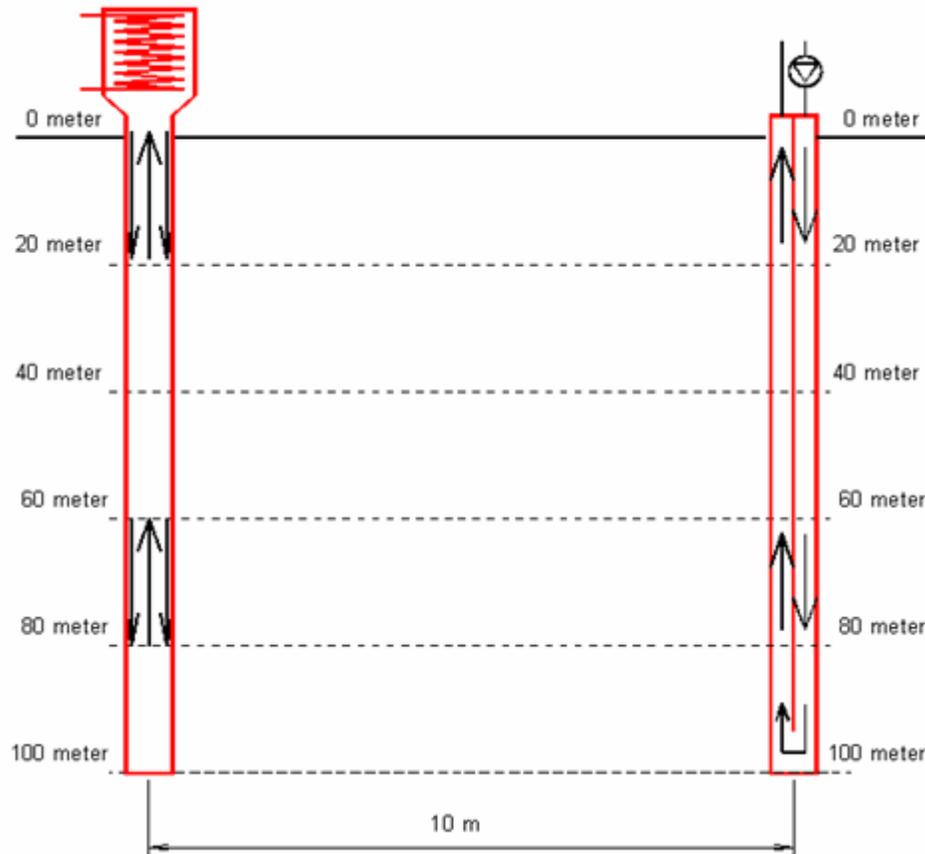
ergibt sich eine **optimale Zirkulation** des CO₂



EWR: Prototyp-Vermessung:

Bau und Vermessung einer Prototyp-WP mit CO₂- EWR im Vergleich zu einer WP mit Solesonde durch Fa. Kaeltro Berlin mit Unterstützung durch das FKW Hannover.

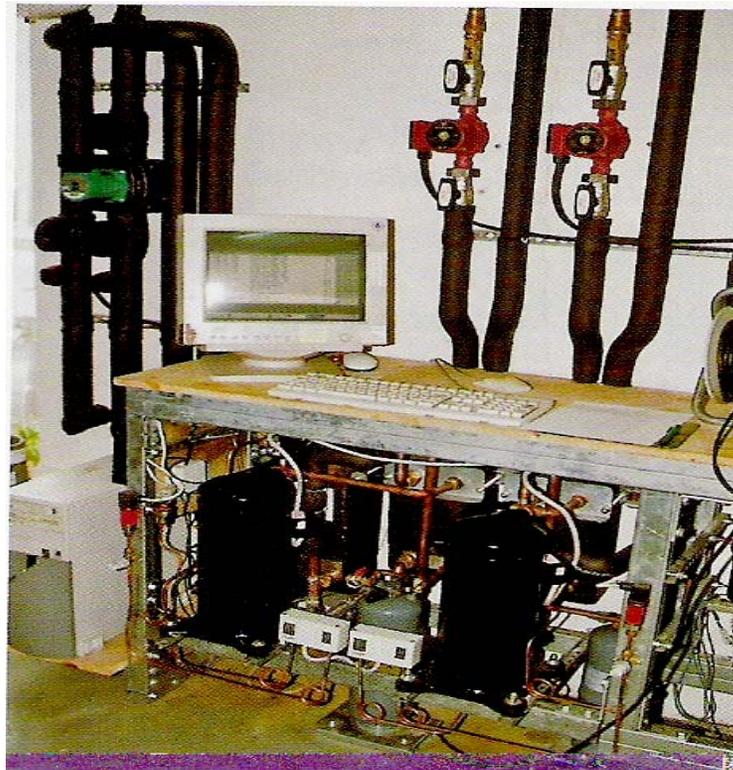
Prototyp-Vergleichsuntersuchung CO₂-EWR – Sole-Sonde



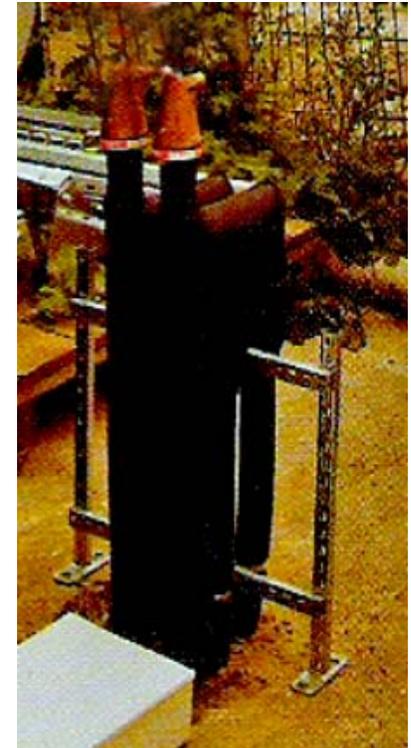
Kaeltro-Wärmepumpen-Prüfstand für Prototyp-Meßvergleich



CO₂-EWR-Kopf



Identische Wärmepumpen



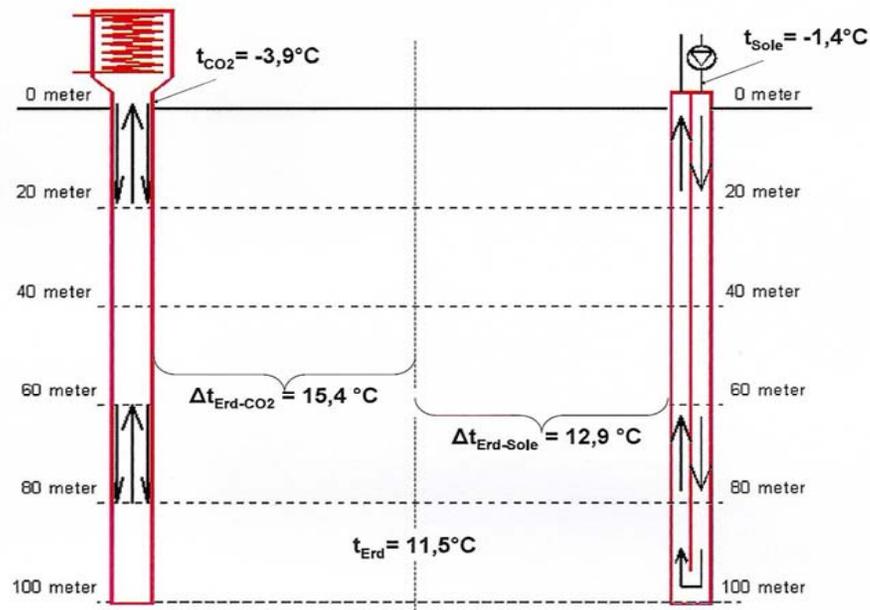
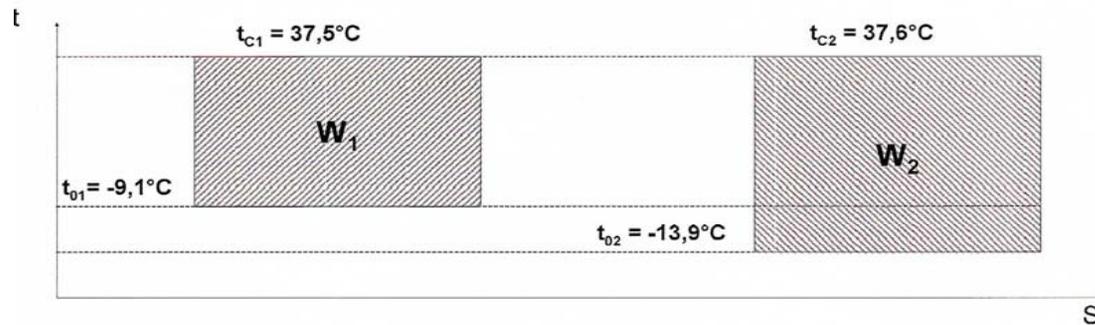
Sole-Wärmetauscher



Prototyp: Messdaten der Vergleichsmessung CO₂-EWR / Sole- Sonde

Period	Brine Inlet Temp [°C]	Evaporating Temp. t _o R407C [°C]* at dew line	Condensing Temp. t _c R407C [°C]* at dew line	Heat extraction rate of brine earth probe [W/m]	CO ₂ Inlet Temp. [°C]	Evaporating Temp. t _o R407C [°C]* at dew line	Cond. Temp. t _c R407C [°C]* at dew line	Heat extraction rate of CO ₂ earth probe [W/m]
20.-23.5.05: 60 h	-	-	-	-	-1.4	-6.4	44.4	56.5
1.-2.6.05: 24 h	-	-	-	-	-3.3	-8.3	26.9	60.4
4.-6.6.05: 48 h	-1.4	-13.9	37.6	42.4	-3.9	-9.1	37.5	60.0
7.-8.6.05: 18 h	-0.5	-13.5	51.9	43.4	-3.6	-8.8	51.0	61.7
27.-30.6.05: 60 h	-	-	-	-	-0.1	-7.1	39.4	59.8
7.-7.3.06: 7 h	-	-	-	42.2	-2.0	-8.7	47.1	52.9

Prototyp: Energetischer Vergleich CO₂-EWR / Sole-Sonde





Prototyp: Ergebnis der Vergleichsmessung CO₂-EWR / Sole- Sonde

System	t_{B1}	t_{B2}	Δt_{Brine}	t_o	t_c	COP_c	COP_h	Δt_{om}	Δt_{Earth}	Q_o	I
	[°C]	[°C]	[K]	[°C]	[°C]	-	-	[K]	[K]	[W/m]	m
Brine	-1.4	+0.2	1.6	-13.9	37.6	2.81	3.81	13.3	12.3	42.4	100
CO₂	-3.9	-3.9	0	-9.1	37.5	3.23	4.23	5.2	15.4	60	100
CO ₂	+0.6	+0.6	0	-4.6	37.5	3.71	4.71	5.2	10.9	42.4	100
Brine	-3.6	-2.0	1.6	-16.1	37.6	2.65	3.65	13.3	14.3	50	100
CO₂	-1.3	-1.3	0	-6.5	37.5	3.50	4.50	5.2	12.8	50	100



Prototyp: Fazit des Vergleichs CO₂-EWR mit Sole-Sonde

Mit gleicher Wärmepumpe:

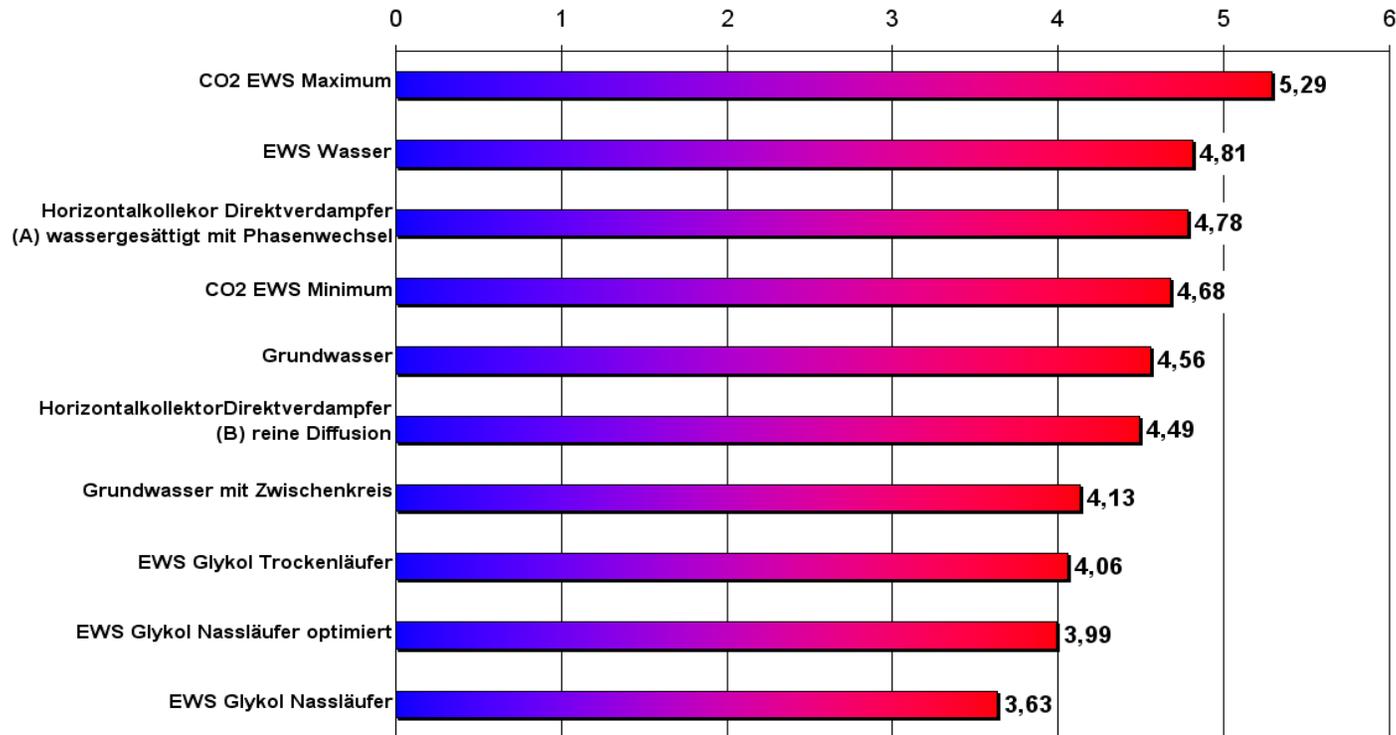
Unterschiedliche Entzugsleistung 60 W/m zu 42,4 W/m der Sole-Sonde:

COP_h: 11 % besser (ohne Berücksichtigung der Pumpenleistung)

Normierte Entzugsleistung 50 W/m beide:

COP_h: 25 % besser (ohne Berücksichtigung der Pumpenleistung)

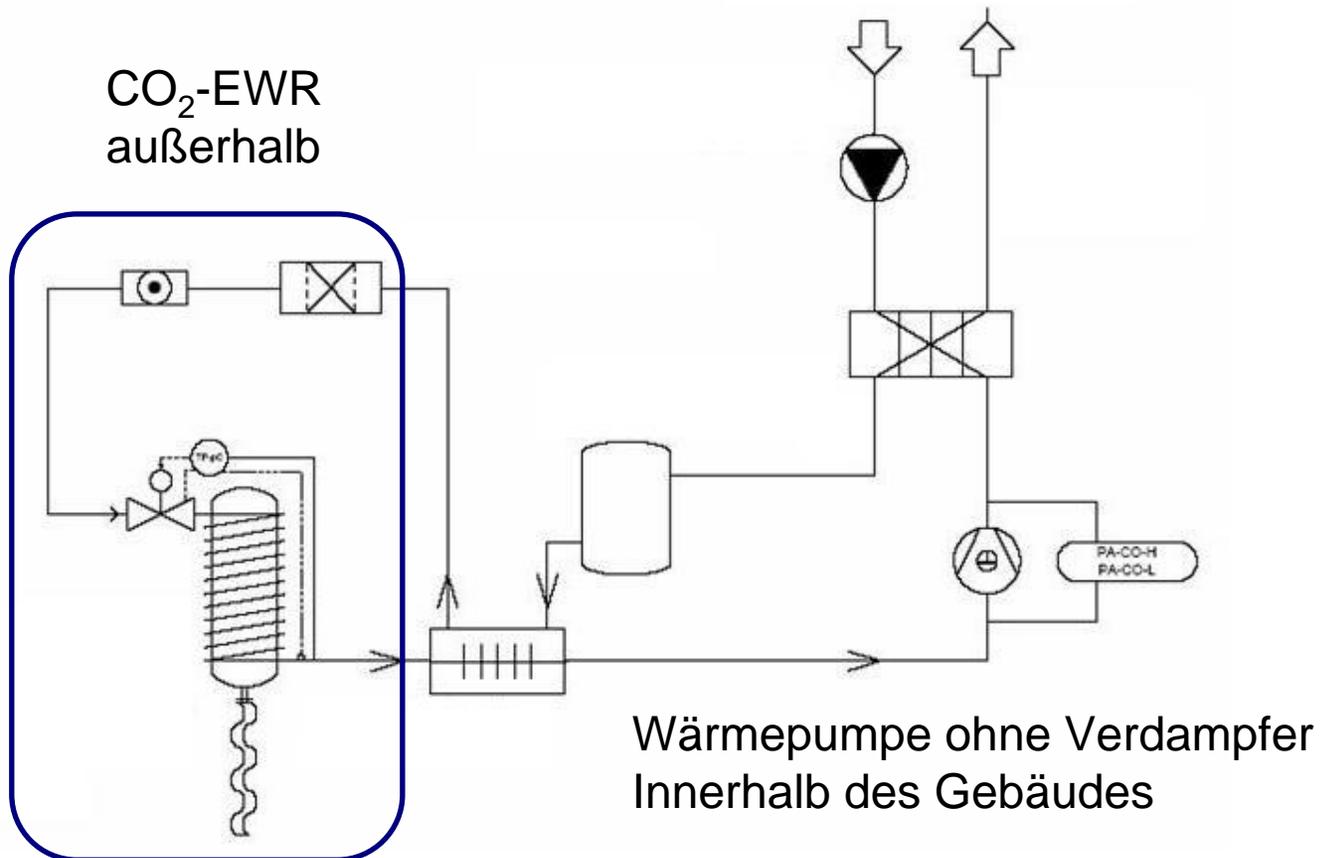
Vergleich der Jahresarbeitszahlen Erdgestützter WP-Systeme



CO₂-EWR: Entwicklungspotential (theoretische Berechnungen) :

Quelle: Studie für das Bundesamt für Energie (BfE, Schweiz), Prof. Ehrbar, Buchs.

Anlagenschaltschema: Wärmepumpe mit CO₂-EWR (Splitbauweise)



Feldtestanlage: Wärmepumpe mit CO₂-EWR (Splitbauweise)



Wärmepumpe ohne Verdampfer
Im Gebäude



EWR-Wärmeaustauscherkopf
im Schacht



Prototyp: Feldtestanlagen seit 2005-07 im Betrieb

Location	Type of heat pump	Heating capacity	Length of the heat pipe	Cooling capacity	Sub soil	Start up
Schriesheim	Hoval DV8P	8,5 KW	1 x 100m	6,6 KW	silt/rock	15.09.05
Bad König	Hoval DV7P	5,5 KW	1 x 80m	4,3 KW	silt/rock	18.10.05
Crailsheim	Hoval DV15P	15 KW	2 x 100m	12 KW	lime stone	24.10.05
Emsbach	Hoval DV8P	8,5 KW	1 x 100m	6,6 KW	lime stone	15.04.06
Nordheim/Heilbronn	Hoval DV8P	8,5 KW	1 x 100m	6,6 KW	silt/lime stone	15.10.06
Ludwigshafen	Hoval DV8P	8,5 KW	1 x 100m	6,6 KW	sand/groundwater	10.11.06
Kappelrodeck/Achern	Hoval DV7P	5,5 KW	1 x 80m	4,3 KW	silt/rock	?
Eppingen/Richen	Schrag	8,5 KW	1 x 100m	6,6 KW	silt/rock	05.07
Bammental	Hoval	8,5 KW	1 x 100m	6,6 KW	silt	11. 07.
Waldburg(A)	Ochsner	?	1 x 100m	?	?	?
Berlin	Testrig	7.5. kW	1 x 100m	5 kW	?	20.05.05
Berlin	Schrag	k. A	1 x 100m	?	?	?



EWR: Marktreife Entwicklung:

Berechnung und Auslegung von CO₂ - Erdwärmerohren mit Wärmeaustauscher durch das FKW Hannover

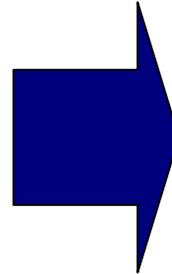
Marktreife Konstruktion und Bau der CO₂ – EWR –Systeme durch Brugg Rohrsysteme Wunstorf



Prototyp

CO2 - EWR mit:

FKW/Kaeltro Wärmetauscher
Coil + Shell
Grapa-Verschraubung
Wellrohr CNW 39/44
Verschweißtes Endstück
Zubehör: Füllventil
Thermost. Expansionsventil



Serie

CO2 - EWR mit:

FKW/Brugg Wärmetauscher
Coil + Shell
Erdschutz-Fuß
Grapa-Verschraubung
Wellrohr CNW 39/44
Verschweißtes Endstück
Zubehör: Füllventil
Thermost. Expansionsventil



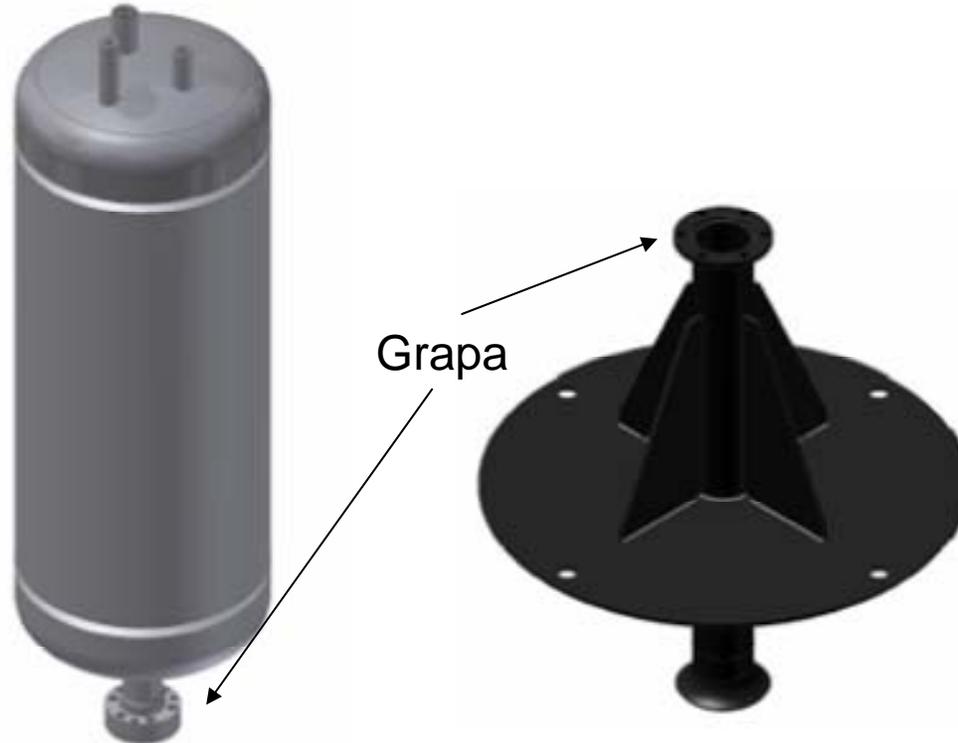
Marktreife Entwicklung: FKW/ Brugg Wärmeaustauscher

Auslegung FKW, Bau Brugg

Cu-Rohrwendel 2 x untereinander im Topf



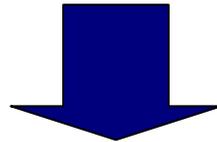
Durch Brugg lieferbar: Wärmetauscherkopf, Erdschutzfuß
Zubehör: Grapa-Dichtung und Schraubensatz, Füllventil,
Thermostatisches Expansionsventil



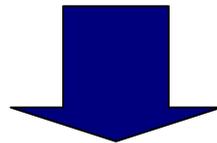


Markteinführung des CO₂-Erdwärmerohres:

Feldtest an Demonstrationsanlagen (Stand Entwicklung FKW mit Kaeltro/Aetna)



Weiterentwicklung Coil+Shell-WT durch FKW und Bau durch Brugg (25m–35m–45m)



Brugg-Produkt Erdwärmerohr und Wärmeaustauscherkopf mit Zubehör



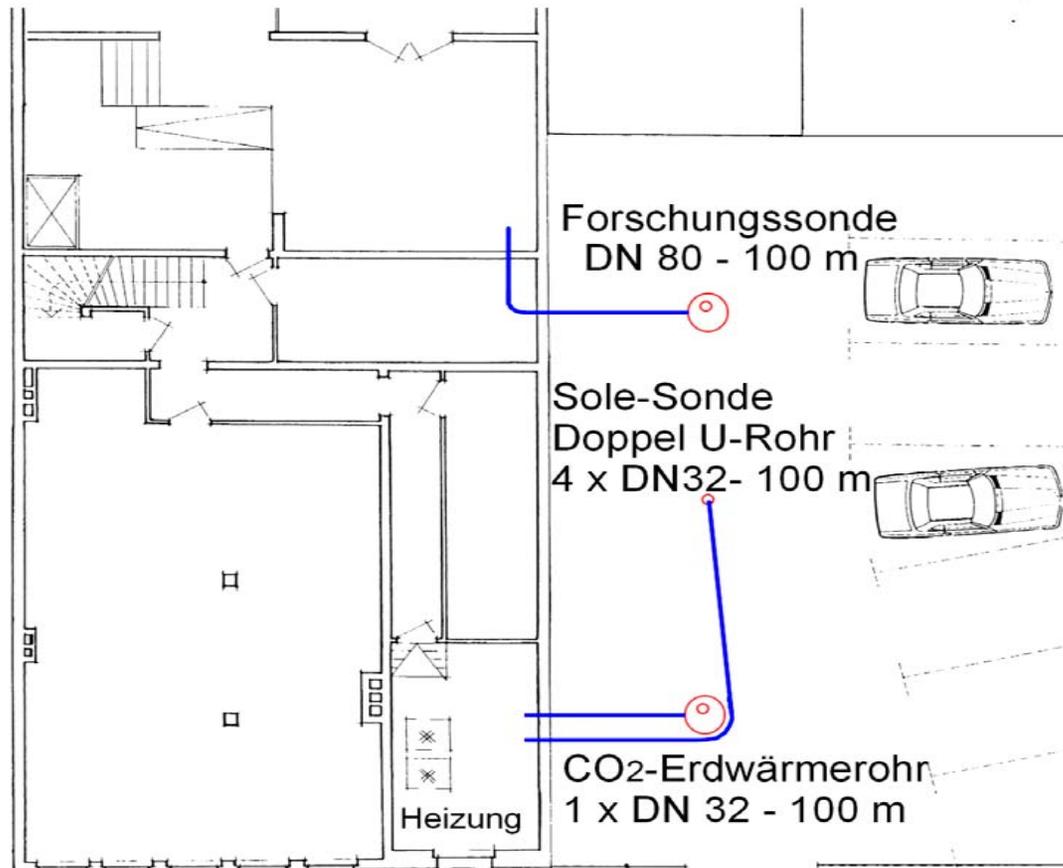
CO2-EWR: Einbringung und Demonstration:

FKW – Forschungsvorhaben gefördert durch:
das BMWi (Projekträger Jülich) und ProKlima Hannover

mit Unterstützung durch die Firmen:

Brugg Rohrsysteme, Wunstorf,
ThyssenKrupp Edelstahl, Krefeld und
Viessmann Wärmepumpen, Allendorf

Lageplan der Bohrung FKW



Bohrung für das FKW CO₂-EWR



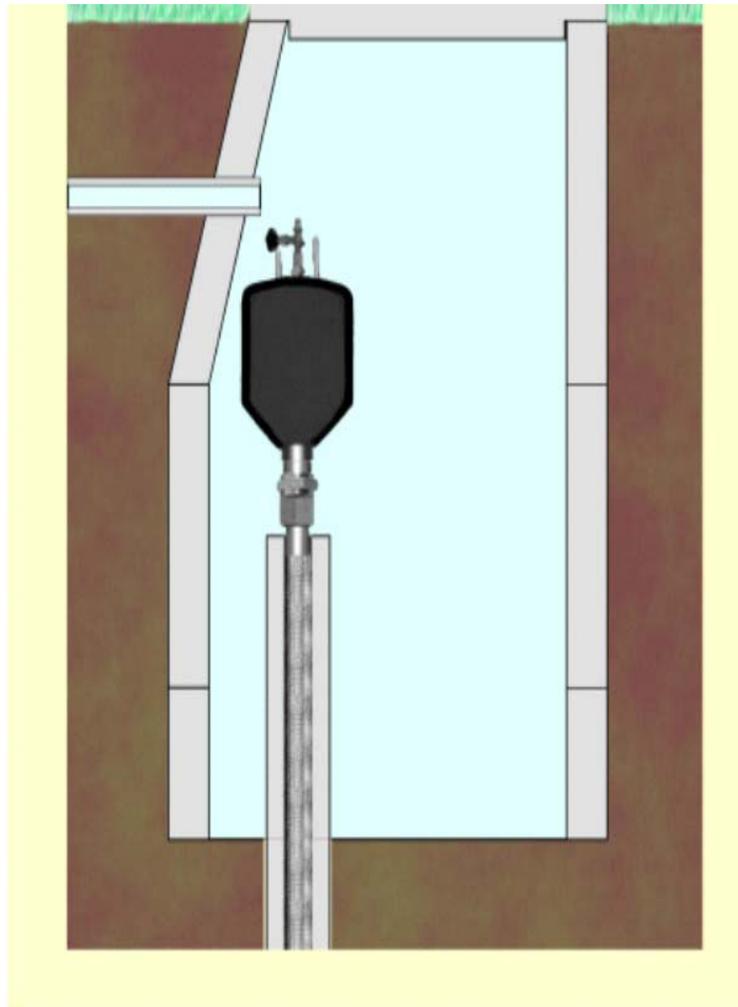
Anlieferung des CO₂-EWR durch Brugg



Einführen des CO₂ – EWR in die Erdbohrung



Schacht für das CO₂-EWR



Verbindungskanal zum Schacht für das EWR



Wärmepumpenraum für EWR- und Sole- WP



CO₂-EWR- und Sole-Wärmepumpe



**Coil + Shell Wärmeaustauscherkopf
im Schacht des CO₂-Erdwärmerohres**





Entwicklung eines CO₂-Erdwärmerohres > 100 m

FKW-Projekt des ElfER,
gemeinsam mit der Universität Karlsruhe,
gefördert durch das EnBW Karlsruhe



Feldversuch Triberg
CO₂-Erdwärmerohr 250 m
Wellrohr DN 65

CO₂-Erdwärmerohr-Wärmepumpe für Altbau (20 kW)

(Feldversuch in Triberg durch ENBW)



Einbringung des 250 m EWR DN 65



Ausstattung der 250 m EWR mit Temperaturmeßtechnik

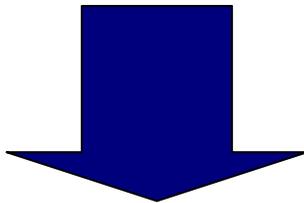




Weiterentwicklung des CO₂-Erdwärmerohres

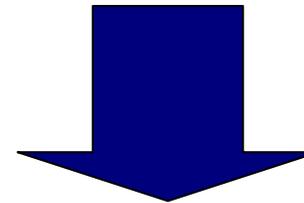
Anlagen mit größerer Leistung durch:

- längere Erdwärmerohre maximal 650 m mit DN 80 (nur ein Verdampferkopf),
- parallele Anordnung von Erdwärmerohren an einem Verdampferkopf.



Forschungsantrag: Rogge & Co

zusammen mit Wöltjen GmbH
Brugg Rohrsysteme
FKW GmbH



Forschungsvorhaben: FKW GmbH

zusammen mit Viessmann
Gea WTT
Brugg Rohrsysteme
Thyssen Krupp Nirosta



Zusammenfassung

In drei **FKW - Forschungsvorhaben** wurde im letzten BMWi-Vorhaben gemeinsam mit **Brugg Rohrsysteme, Wunstorf** ein dem FKW patentiertes grundwasserfreundliches Erdwärmerohrsystem bis zur Marktreife entwickelt, das auf Grund der großen benötigten Rohrlängen für Erdwärmesonden eine interessante Produkterweiterung dieser Firma in der **Region Hannover** darstellt.