

Effizienter Betrieb von Erdwärme-Sondenfeldern und ihre aktive Regeneration

Prof. Dr.-Ing. Frieder Häfner, TU Bergakademie Freiberg,
Dr.-Ing. Rolf Michael Wagner, BLZ Geotechnik GmbH, Gommern
Dipl.-Ing. Sadko Meusel, Dipl.-Ing. Sebastian Paulo, Transflow GmbH, Freiberg

Schwerpunkte

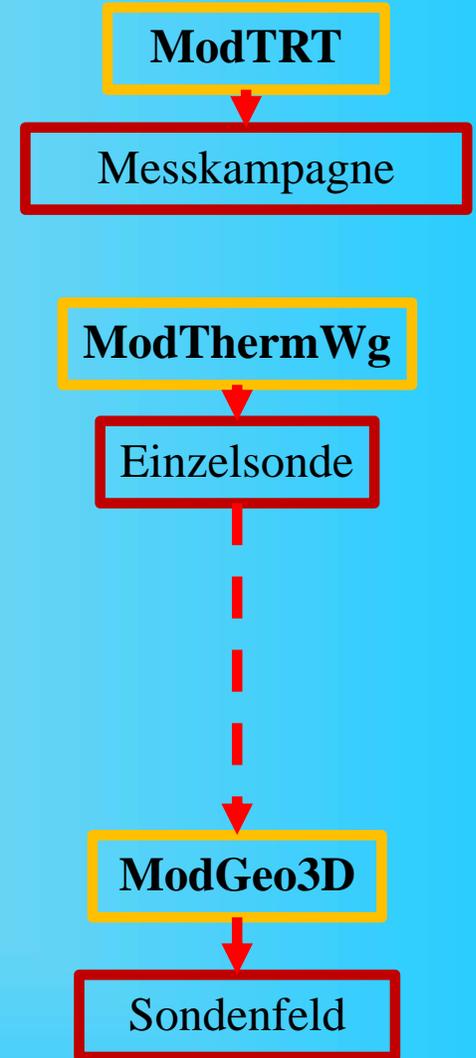
- **Besondere Planungsaufgaben**
- **Simulation des Sondenfeldbetriebes**
- **Typische Aufgabenstellung für ein Sondenfeld**
- **Sondenabstand**
- **Aktive Regeneration**
- **Effizienzvergleich**
- **Schlussfolgerungen für die Planung**

Besondere Planungsaufgaben

- **Sondenanzahl in Abhängigkeit von der Sondenbauform (Doppel-U oder Ringrohr)**
- **erforderlicher Sondenabstand und Verteilung auf der Fläche,**
- **Notwendigkeit der aktiven Regeneration, möglicherweise in Verbindung mit einer Gebäudeklimatisierung.**
- **Nachweis der Nachhaltigkeit des Sondenfeldes, zumindest der effizienten Betriebsfähigkeit für 50 Jahre.**

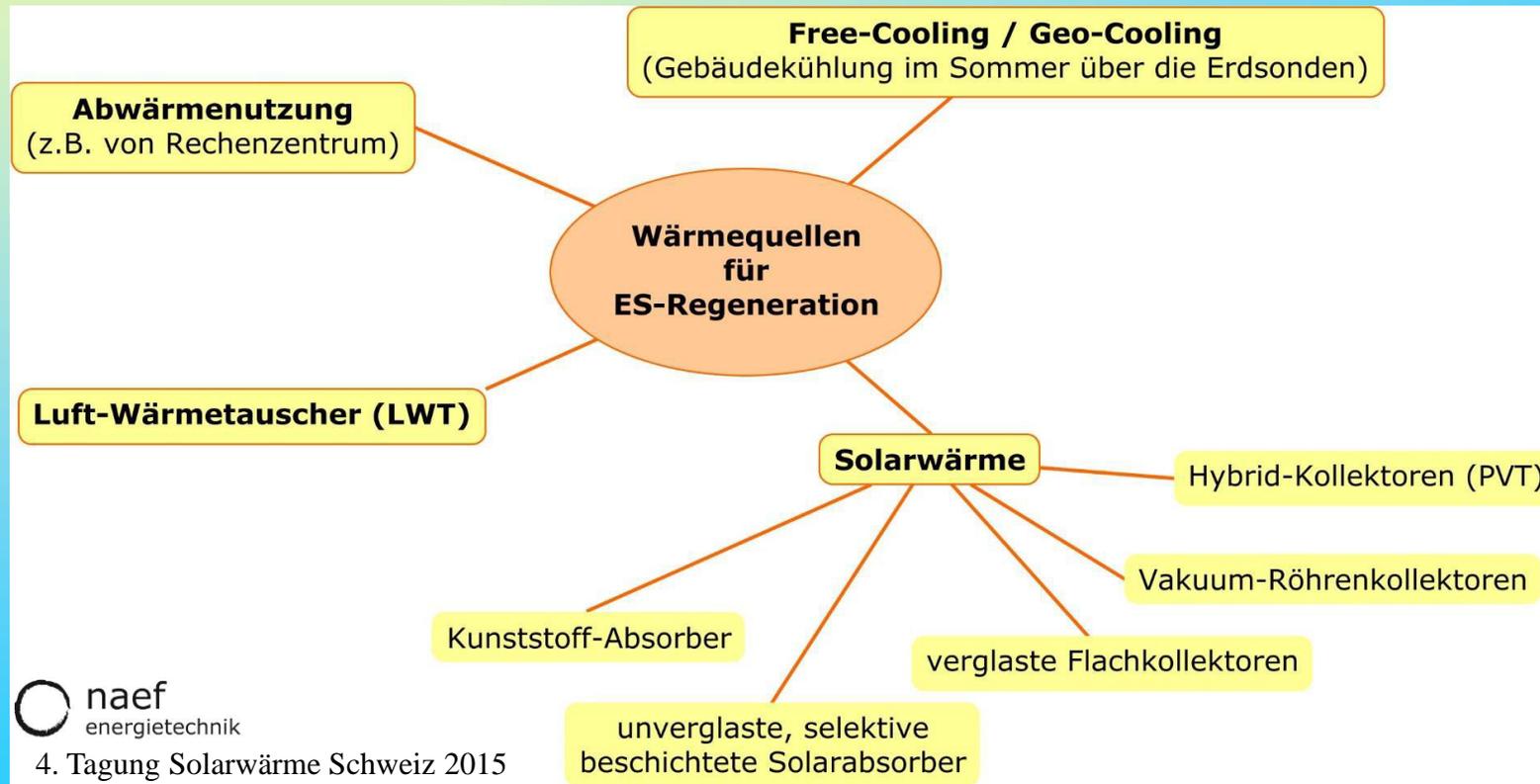
Simulation des Sondenfeldbetriebes (PC/Laptop)

- **Einzelsonde: (r- ϕ -z)-Koordinaten, Software *ModThermWg***
 - detaillierte Erfassung der Lage der Rohre
 - Verfüllung
 - Kurzschlusswärmestrom
 - Speicherung eines Jahres in stundengenauer Berechnung
 - Rechenzeitbedarf im Halbstundenbereich
- **Sondenfeld: (x-y-z) Koordinaten, Software *ModGeo3D***
 - Einlesen des Leistungsverhaltens der Sonden
 - Anpassung an das 3D-Temperaturfeld
 - Berücksichtigung der Grundwasserströmung
 - Rechenzeitbedarf im Einstundenbereich

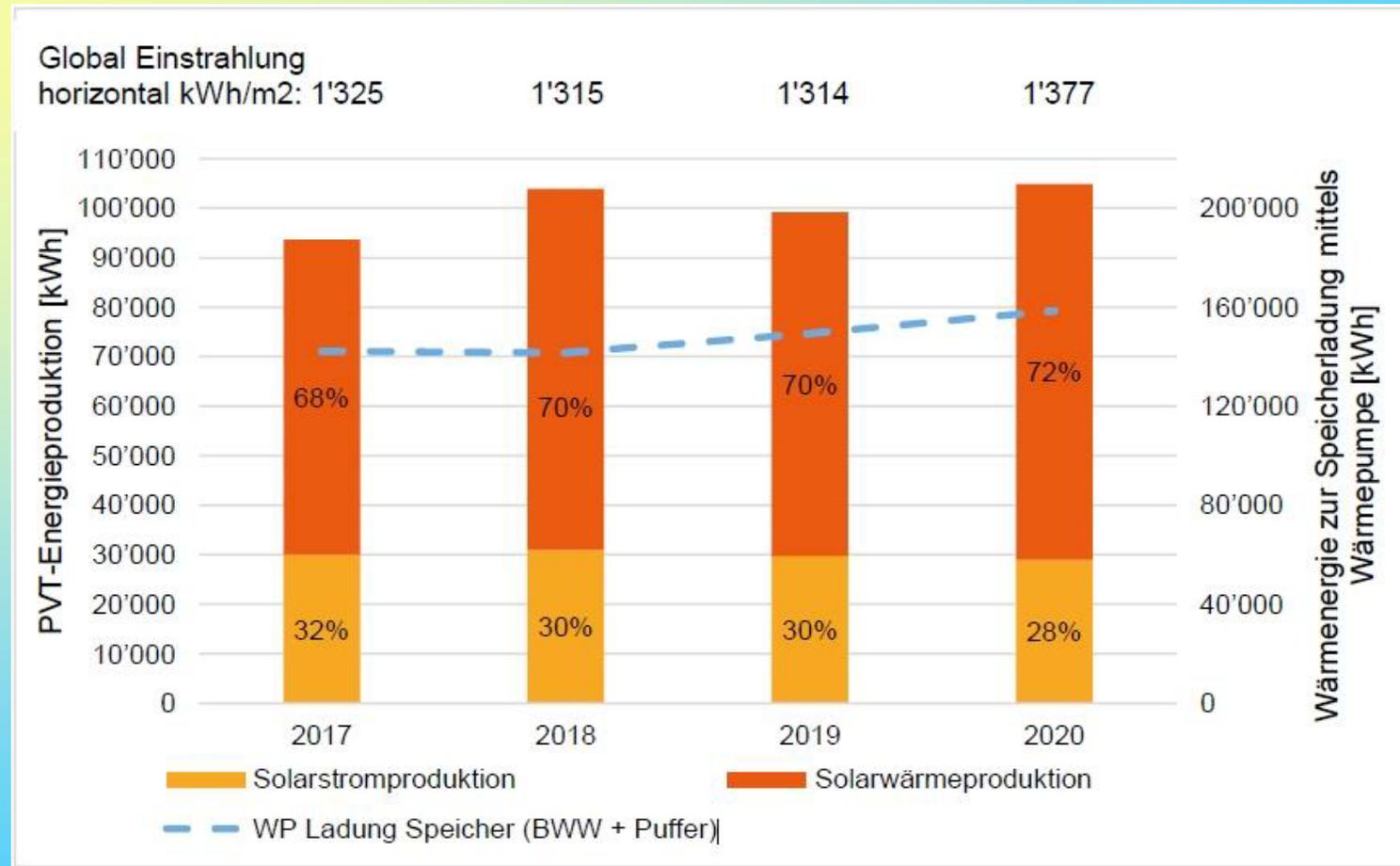


Aktive Regeneration

- **Einspeicherung der Abwärme von Klimaanlage** oder
- **Einsatz von Luftwärmetauschern mit Gebläse** oder
- **Nutzung der Abwärme von Industrieunternehmen oder gekühlten Solarmodulfeldern (PVT)**



Übersicht mit Aufteilung des jährlichen PVT-Anlagenertrags



in Solarstrom und Solarwärme auf der linken Ordinate

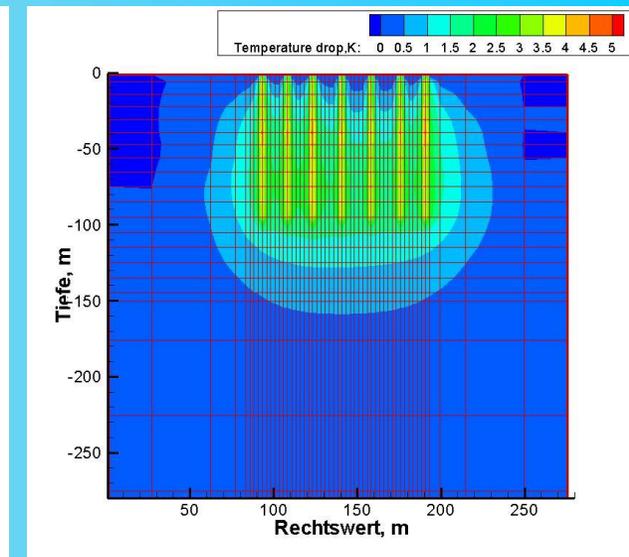
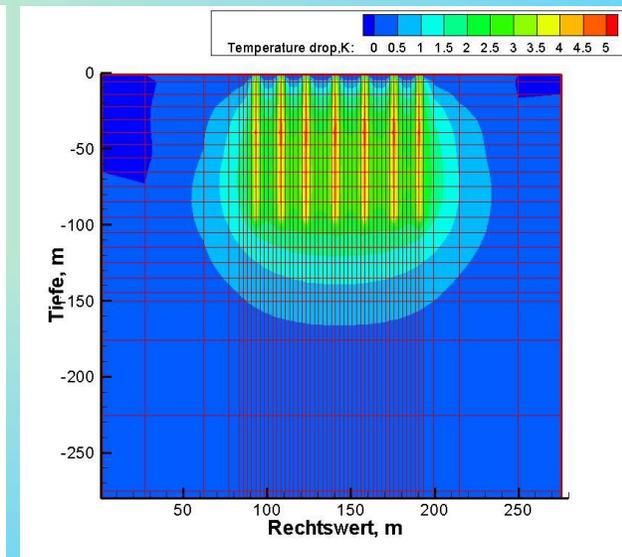
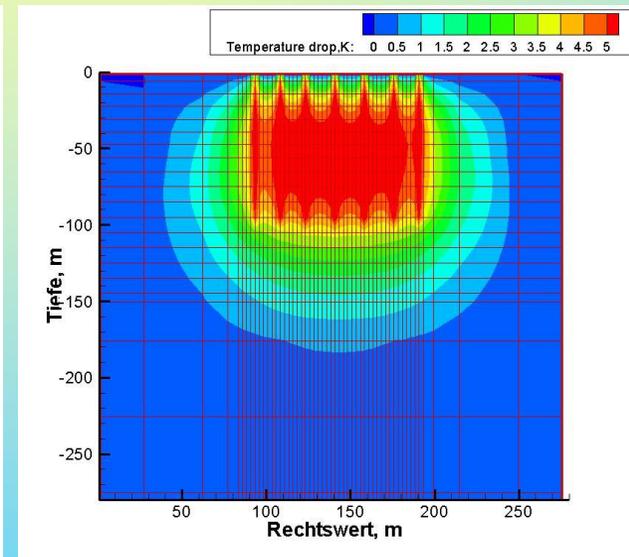
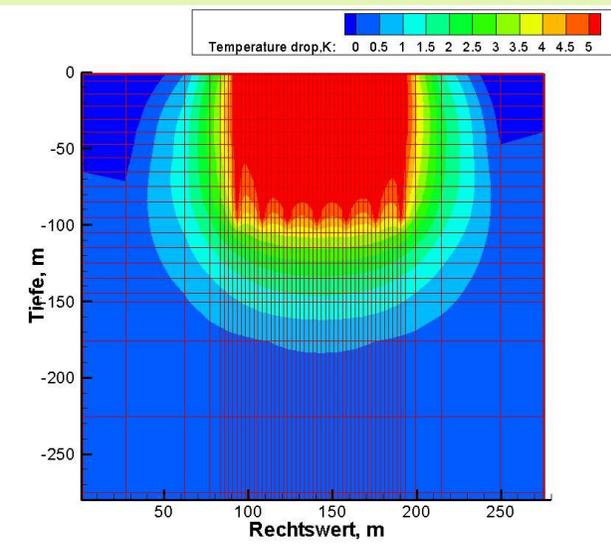
im Vergleich

zur Wärmeenergieproduktion mittels Wärmepumpe auf der rechten Ordinate
Messwerte für ein Mehrfamilienhaus

Typische technische und geologische Bedingungen für Sonden im Feld

Daten	Doppel-U	Ringrohr
Tiefe, Bohrlochdurchmesser	100m, 120 mm	
Bohrloch-Wandabstand, mm	20	1
Wärmeleitfähigkeit der Verfüllung, W/(mK)	2.0	0.8
Zirkulationsrate, l/s	0.17	0.22
Vorlauftemperatur der Sonden bei Wärmegewinnung, °C, bei Wärmespeicherung, °C	+2 +20	
Jahresbetriebsstunden , h Wärmegewinnung, -speicherung	3000, 1500	
Erdreich- Art, Tiefe von...bis, m	Grobsand, 0-10 m Schluff, Ton, Braunkohle: 10-60 m Feinsand, 60-68 m Buntsandstein, 68-240 m	

Vertikalschnitt Temperaturabsenkung durch das Feldzentrum eines Ringrohr-Sondenfeldes nach 50 Jahren



a) Natürliche Regeneration ohne Geländeoberfläche

Die Geländeoberfläche wird als thermisch dicht betrachtet, z.B. durch Überbauung.

b) Natürliche Regeneration

An der Geländeoberfläche wird die mittlere Grundwassertemperatur (10°C) konstant gehalten. Der Zustrom von Wärme wird mit dem Wert von 10 W/m^2 limitiert. (Der natürliche Wärmeeintrag in den Boden ohne technische Abkühlung des Erdreiches beträgt nur etwa 1 W/m^2).

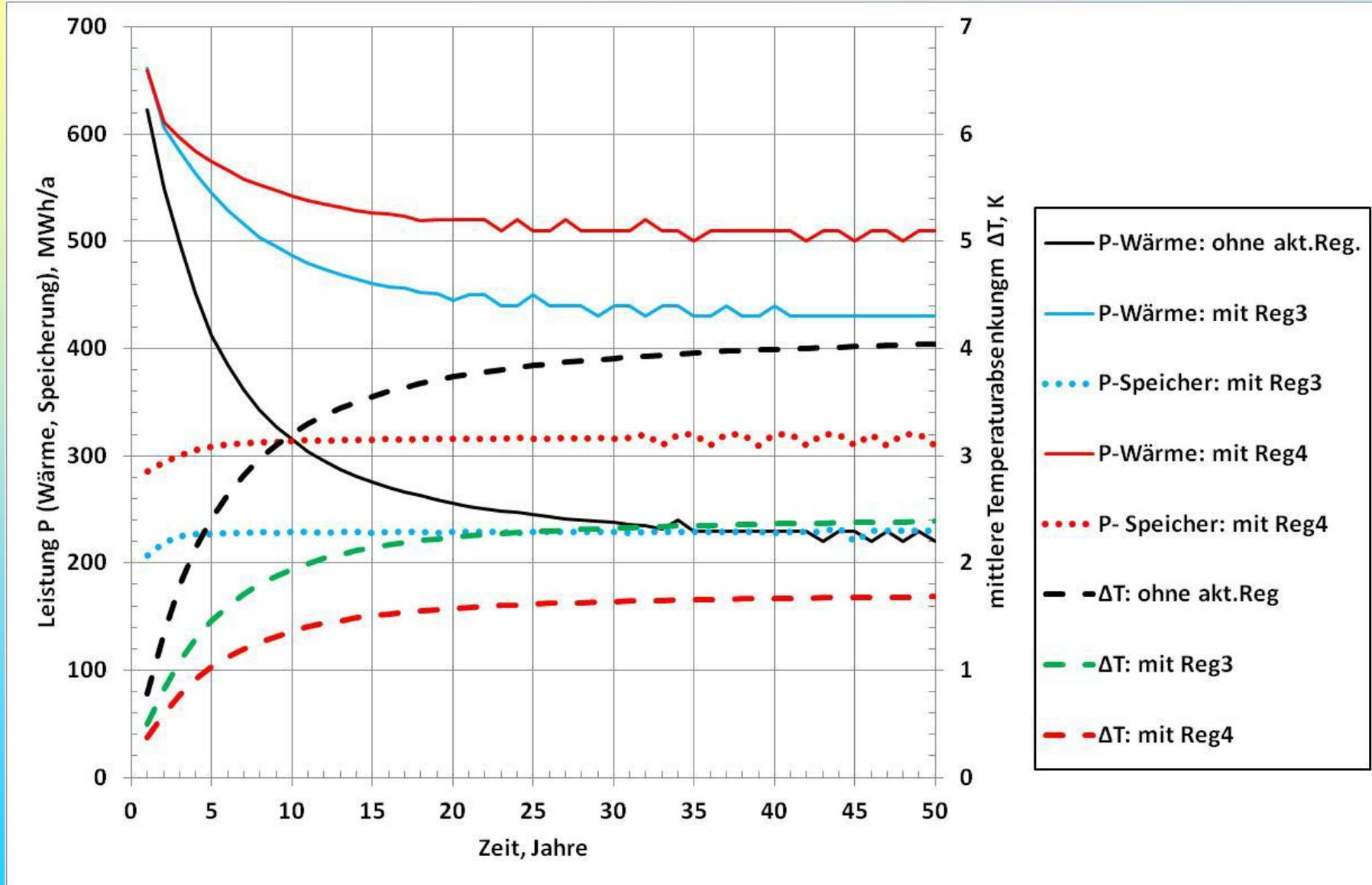
c) Natürliche Regeneration + Sommerspeicherung

z.B. durch Erwärmung des Vorlaufwassers der Sonden durch einen Luft-Wärmetauscher, Solarthermie oder mit industrieller Abwärme. (Juni-August, je $16.3 \text{ h/d} = 1500$ Jahresbetriebsstunden),

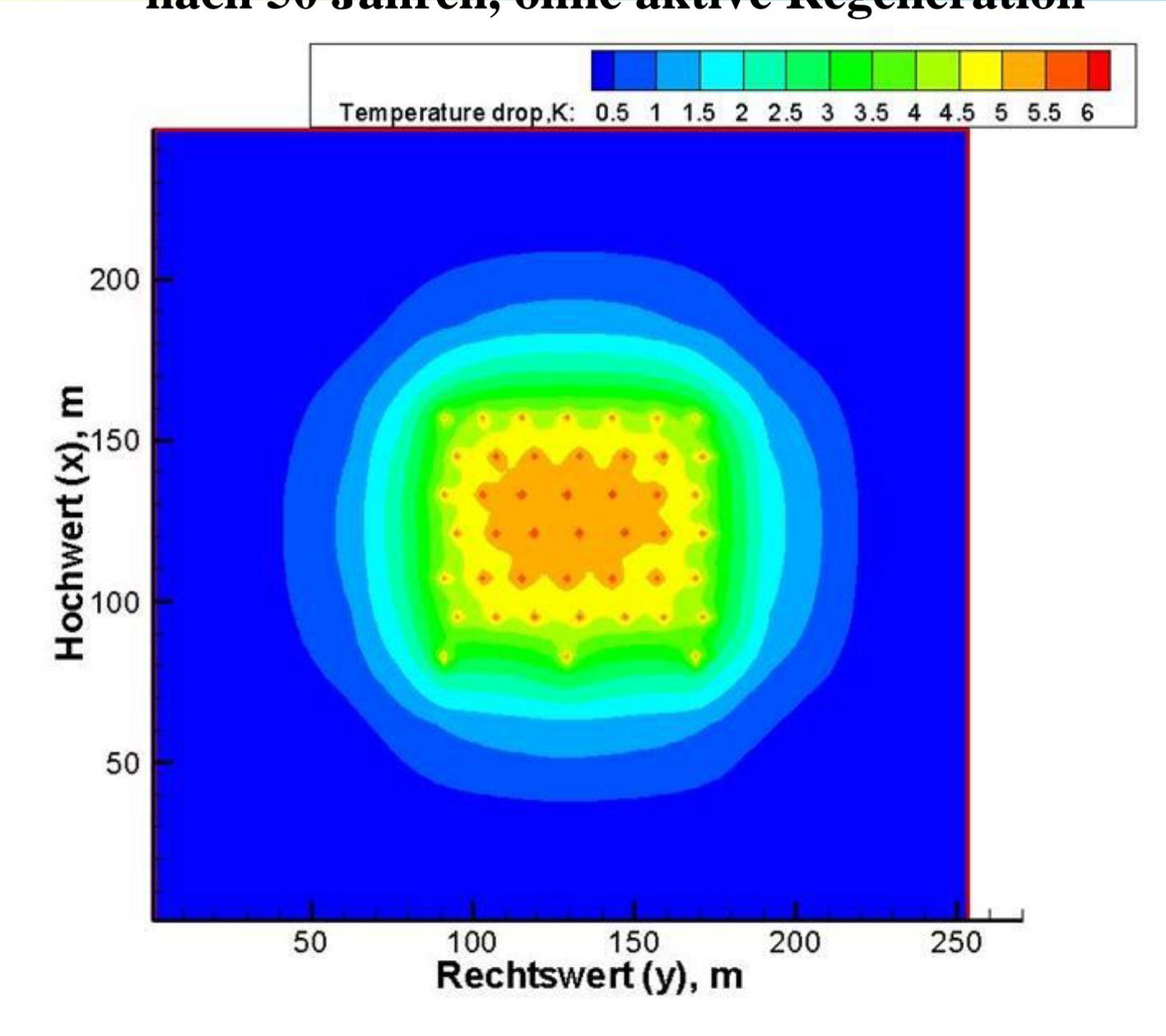
d) Natürliche Regeneration + Halbjahresspeicherung

(Mai-September). In 24 zentral gelegenen Sonden wird in dieser Zeit Wärme gespeichert (1800 JBS), im Rest der Sonden nur von Juni-August. Das ist vorstellbar mit industrieller Abwärme außerhalb der Sonnenstunden und anderer Erwärmungsquellen in der Übergangsperiode.

Aktive Regeneration: Leistung und Temperaturabsenkung

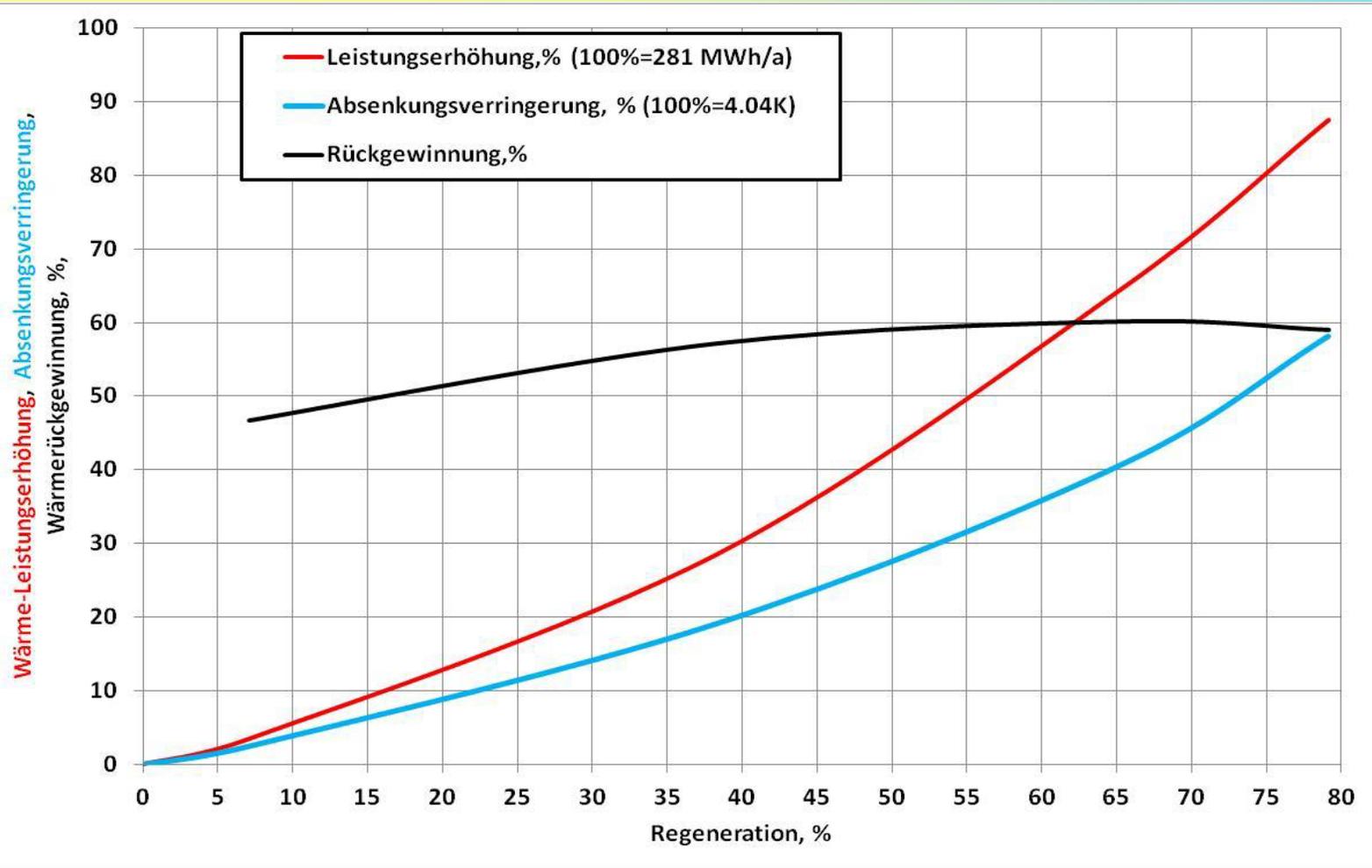


Ringrohrsondenfeld: Temperaturabfallverteilung in 50 m Tiefe nach 50 Jahren, ohne aktive Regeneration



Wärmegegewinnungs- und –speicherleistung

Fazit zur Regeneration

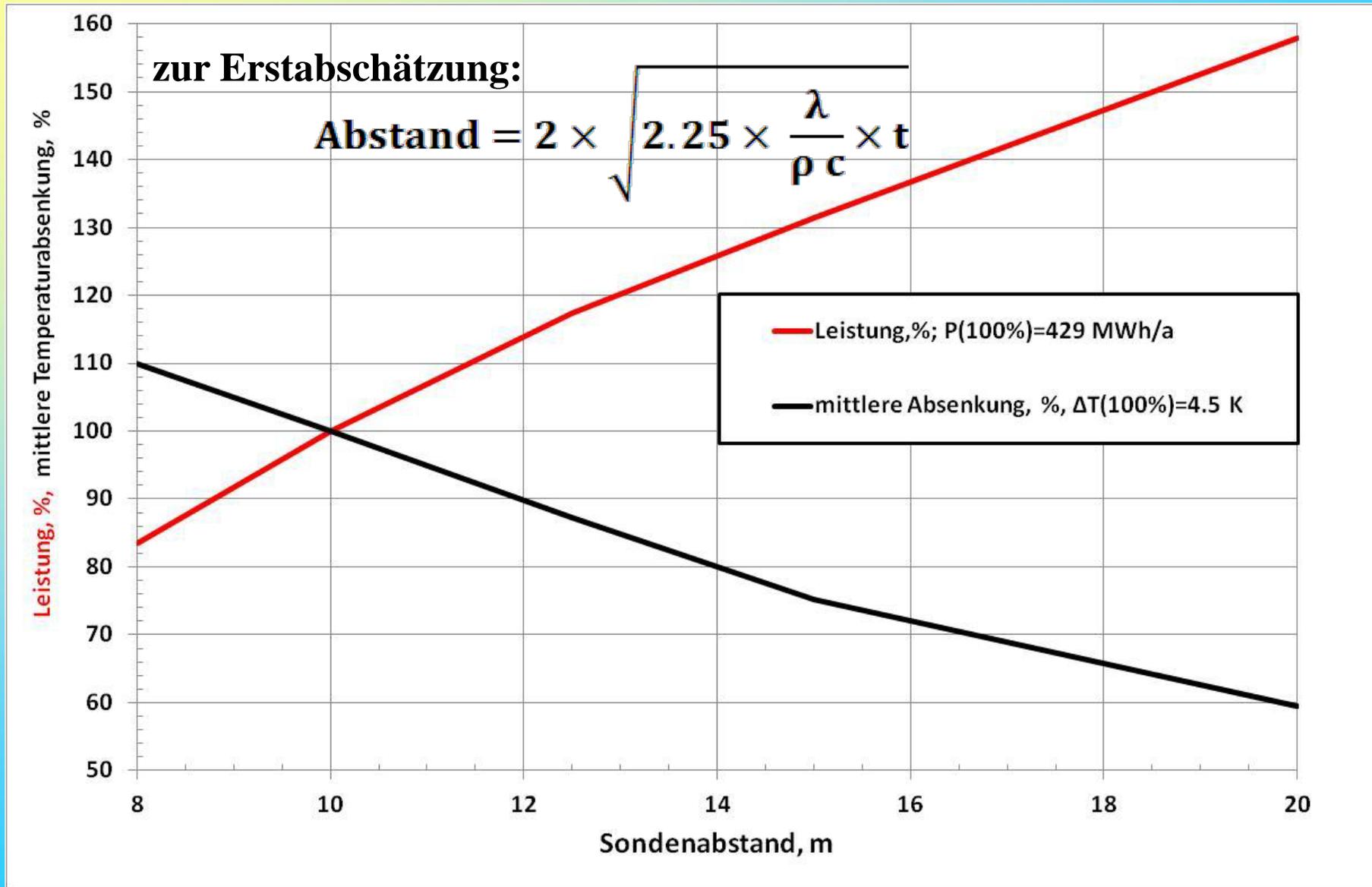


- Ohne aktive Regeneration fällt die Jahreswärmeleistung nach 50 Jahren auf ca. 30% des Wertes im ersten Jahr ab.

- Eine aktive Regeneration von 50 % führt zu einer Leistungserhöhung um mehr als 40 %. Stärkere Regeneration, mit industrieller oder solarer Abwärme, kann 100% erreichen.

- Bei starker Einspeicherung im Sommer und mehr als 50% Regeneration ist eine Wärmerückgewinnung von ca. 60 % zu erwarten.

Einfluss des Sondenabstandes (nach 20 Jahren Betrieb)



Effizienzvergleich von Doppel-U- mit Ringrohrsondenfeld bei gleicher Sondenanzahl, 50 Jahre Betrieb mit aktiver Regeneration

	68 Doppel-U- Sonden	68 Ringrohrsonden	
Sondenabstand, m	10	10	12.5
Sondenvorlauftemperatur, °C	2	5.7	2
mittlere Jahreswärmeleistung, MWh/a	566.8	572.2	965.4
Mittlere Jahresspeicherleistung, MWh/a	364.2	439.6	696.0
mittl. jährlicher Stromverbrauch, MWh/a	140.5	128.5	239.8
Regeneration, %	85.4	99.1	95.9
Jahresarbeitszahl	4.034	4.448	4.026

Technische Ausstattungen für Sonden und Sondenfeldern gleicher Größe aber mit unterschiedlicher Sondenanzahl

Daten	Doppel-U	Ringrohr
Tiefe, Bohrlochdurchmesser	100m, 120 mm	
Sondenanzahl	68	45
Sondenabstand, m	11	14
Sondenfeldbreite, m	85	85
Sondenfeldlänge, m	100	100
Sonden an den Rändern	mit geringerem Abstand	

Leistungsvergleich von 68 Doppel-U mit 45 Ringrohrsonden nach 50 Jahren

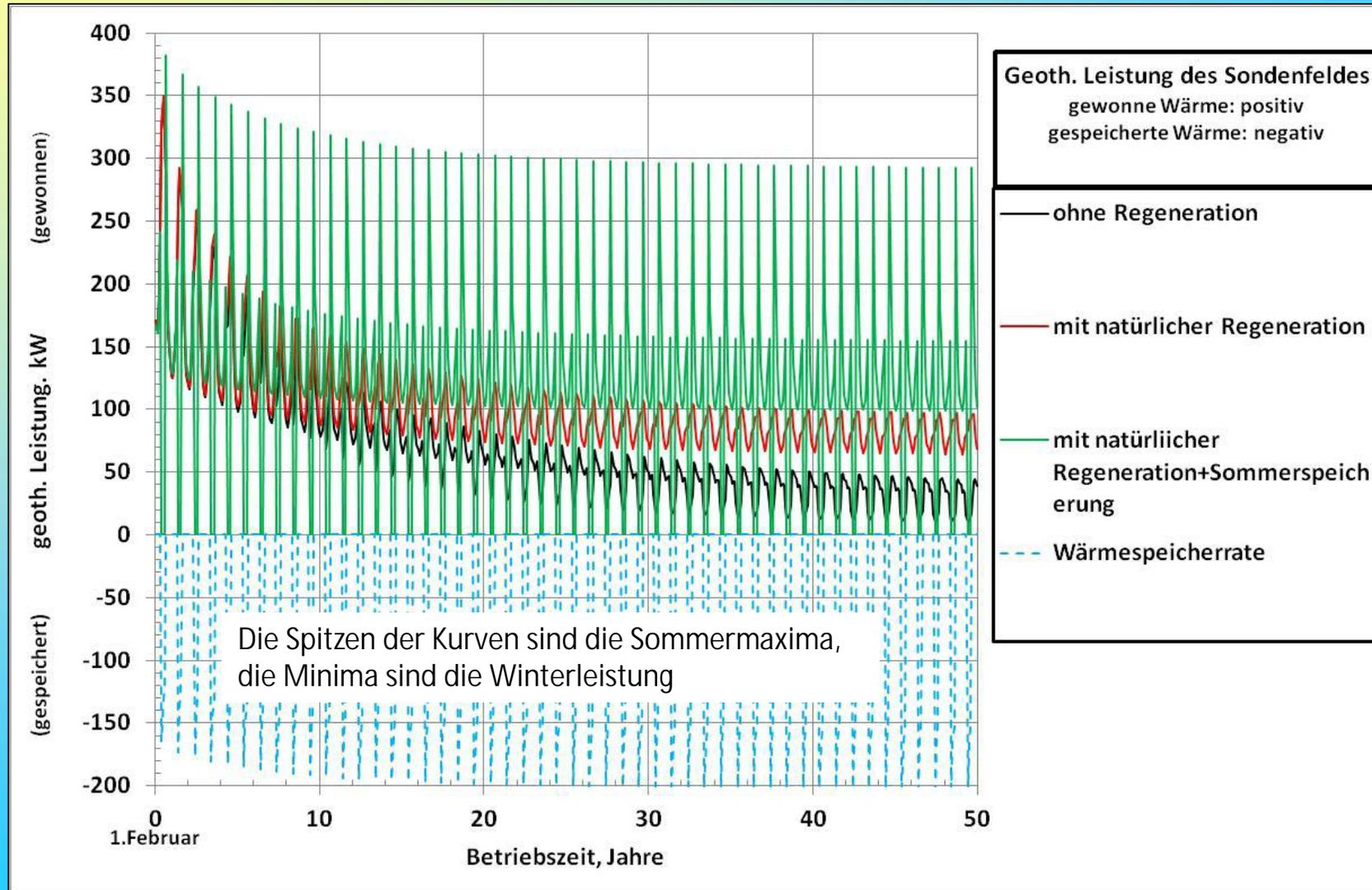
Die thermische Belastung der beiden Felder, d.h. die in 50 Jahren entnommenen bzw. gespeicherten Wärmemengen, sind gleich ($\pm 1\%$).

	Doppel-U (68 EWS)		Ringrohr (45 EWS)	
	$P_{\text{geoth.}}\text{-zentral}$ kW	$P_{\text{geoth.}}\text{-Rand}$ kW	$P_{\text{geoth.}}\text{-zentral}$ kW	$P_{\text{geoth.}}\text{-Rand}$ kW
ohne natürliche Regeneration, Wärme: Beginn/nach 50 a	2.441 / 0.423	2.441 / 0.879	3.805 / 0.742	3.805 / 1.254
mit natürlicher Regeneration, Wärme: Beginn/nach 50 a	2.441 / 0.799	2.441 / 1.382	3.806 / 1.254	3.806 / 1.906
mit natürlicher Regeneration +Sommerspeicherung				
Wärmegewinnung: Beginn/nach 50 a	2.413 / 1.545	2.413 / 1.794	3.806 / 2.172	3.806 / 2.453
Wärmespeicherung: Beginn/nach 50 a	-2.30 / -2.55	-2.30 / -2.29	-3.65 / -3.53	-3.65 / -3.25

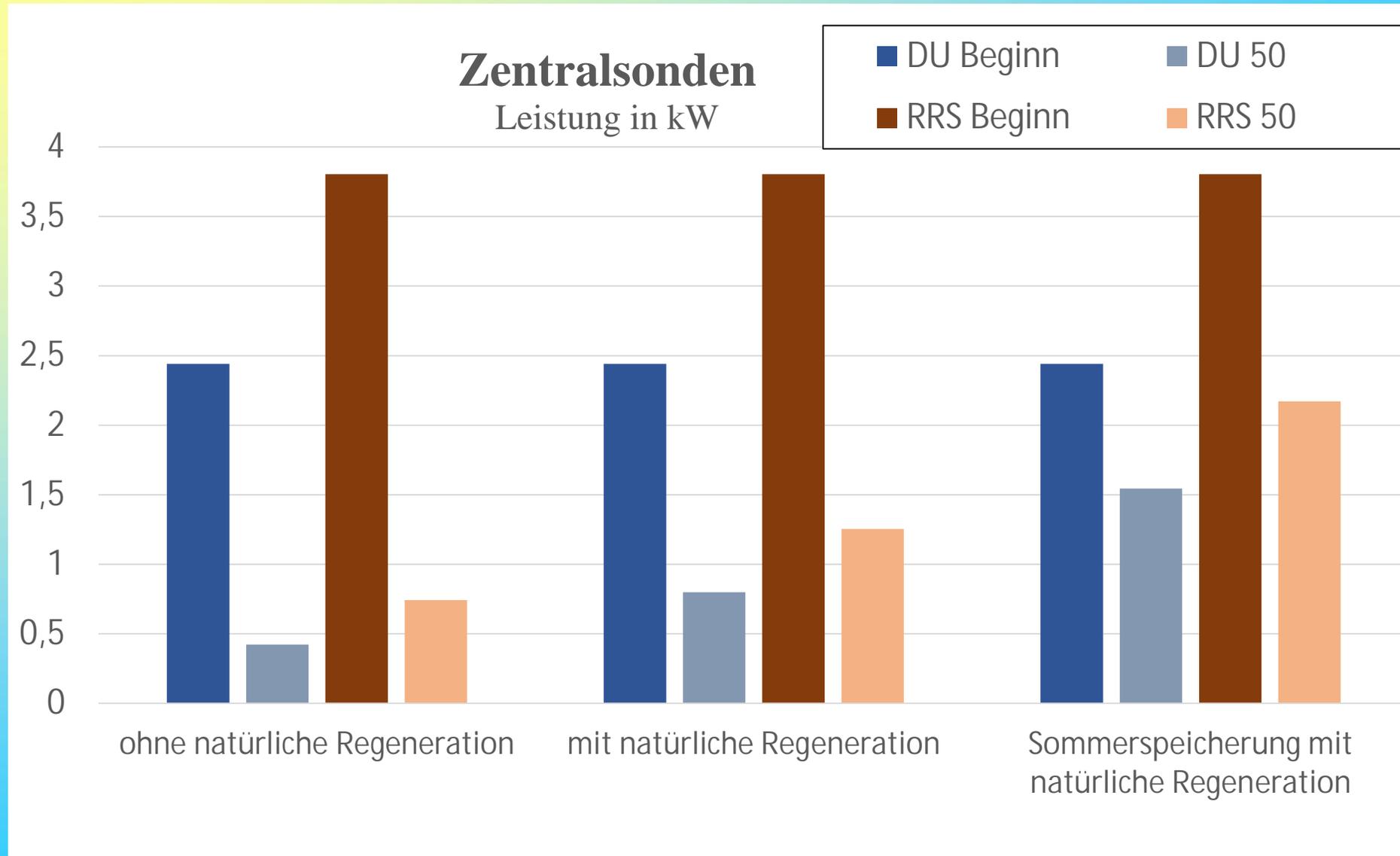
Doppel-U-Sondenfeld mit 40 zentrale Sonden und 28 Randsonde

Ringrohr-Sondenfeld mit 25 zentrale Sonden und 20 Randsonde

Geothermische Leistung eines Ringrohr-Sondenfeldes über 50 Jahre



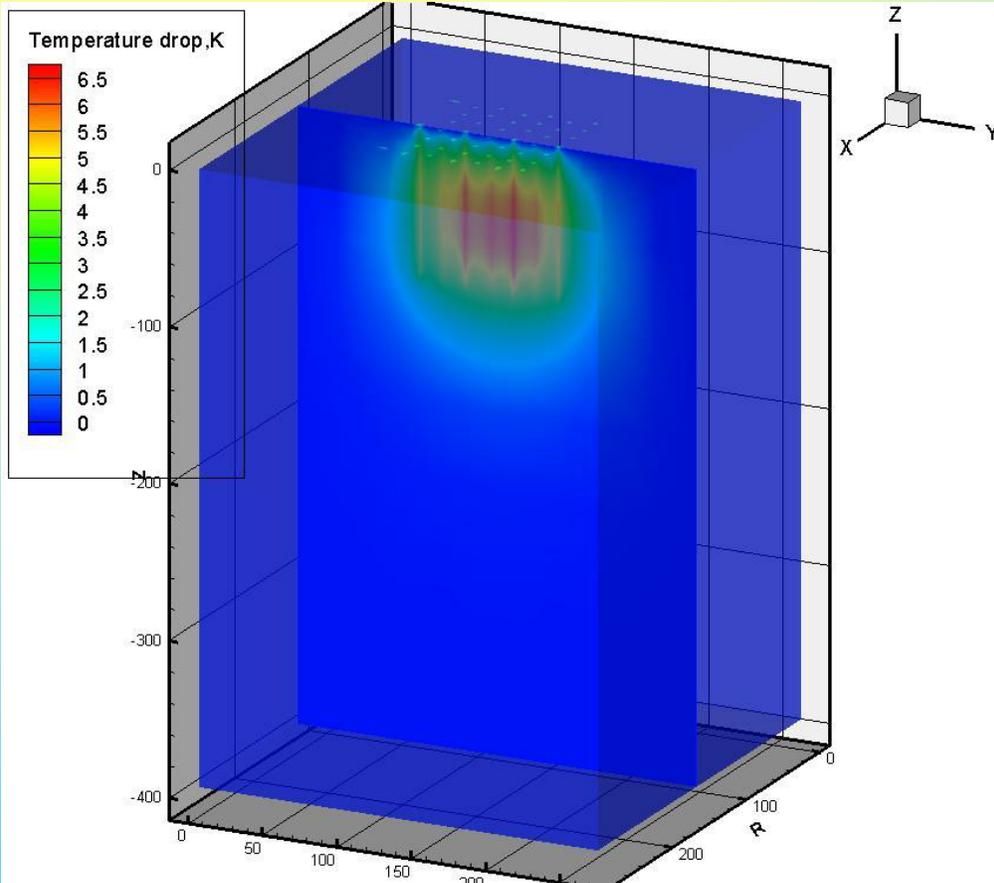
Leistungsvergleich von 68 Doppel-U mit 45 Ringrohrsonden nach 50 Jahren



Die thermische Belastung der beiden Felder, d.h. die in 50 Jahren entnommenen bzw. gespeicherten Wärmemengen, sind gleich ($\pm 1\%$).

Schlußfolgerungen

- **Sondenfelder sollten grundsätzlich regeneriert werden.**
- **Ringrohrsonden können bis zu 40% Investitionen sparen**
- **Bei gleicher Sondenanzahl kann die Effizienz (Jahresarbeitszahl) mit Ringrohrsonden um 5-10% gegenüber Doppel-U gesteigert werden.**



3D Darstellung der Temperaturabsenkung bei natürlicher Regeneration nach 50 Jahren

**BLZ Geotechnik GmbH
Stand 32**



**Das System von energetisch effizienten Sonden und Wärmepumpen
unterstützt eine klimaoptimierte Versorgung mit Erdwärme !**