



# **Optimierung der Strombelastbarkeit erdverlegter Energiekabel**

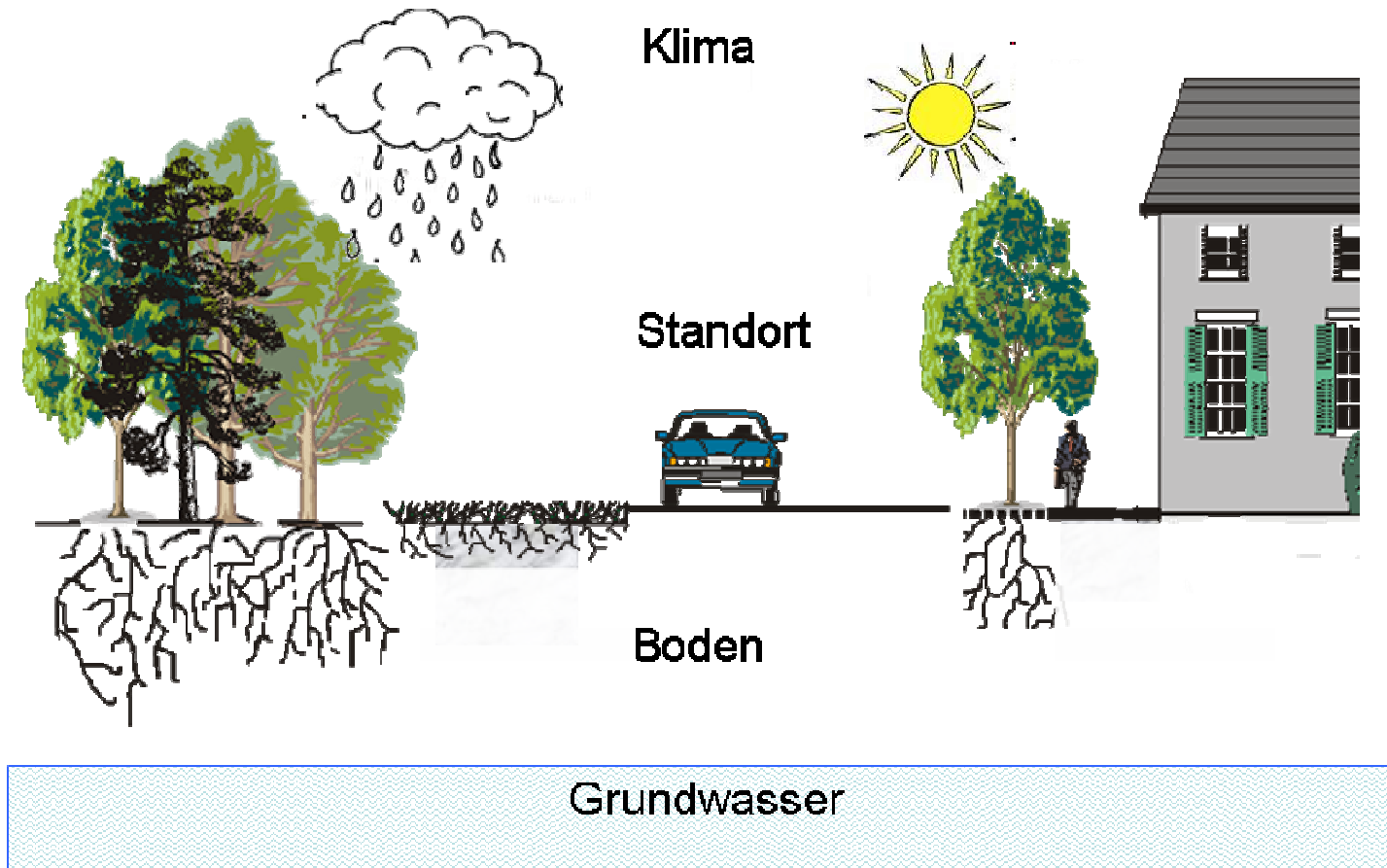
Prof. Dr. Gerd Wessolek  
Dr.-Ing. Steffen Trinks, Dr.-Ing. Björn Kluge

Technische Universität Berlin  
Institut für Ökologie

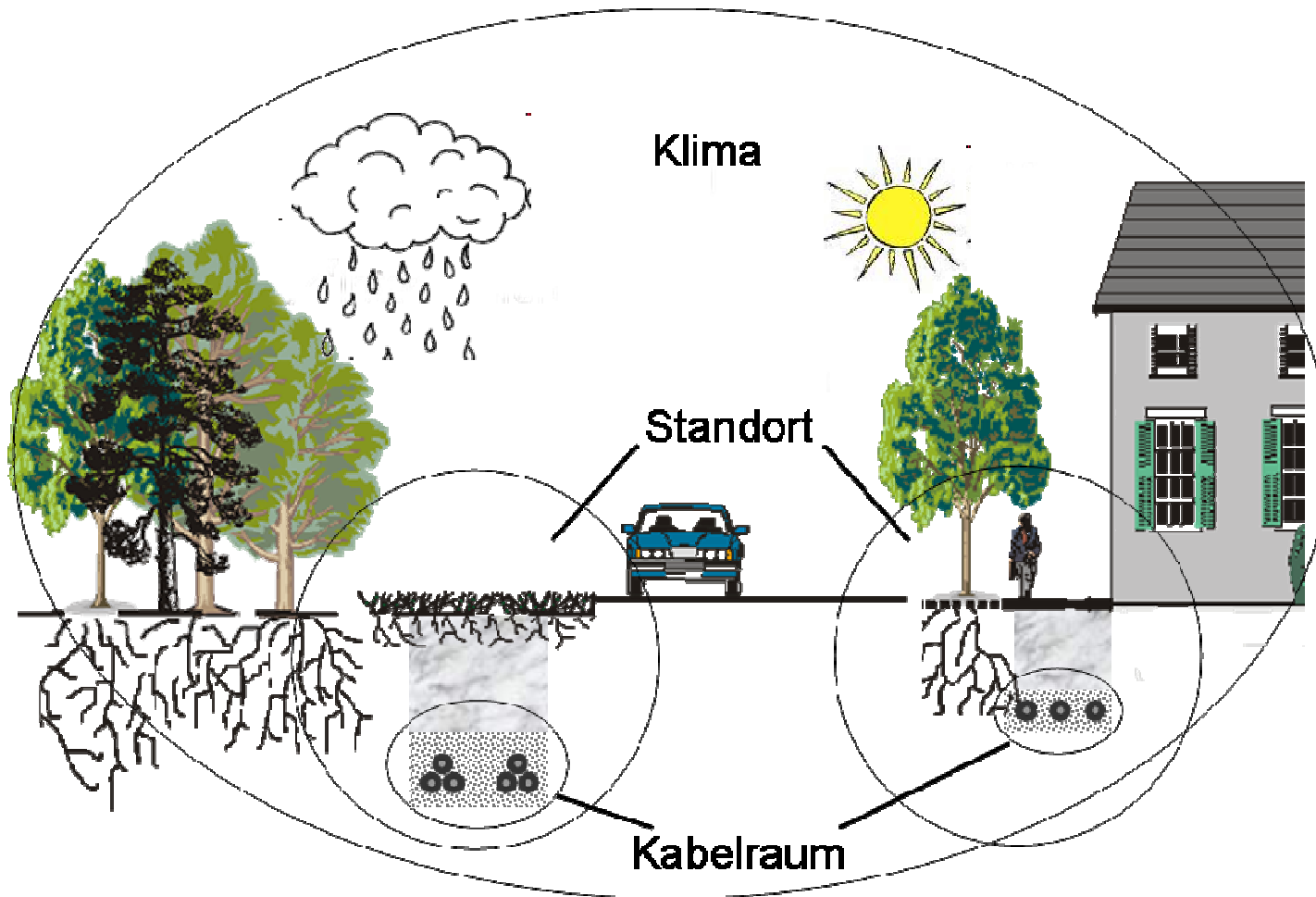
Tagung Energiewende – Ein Thema für den Boden  
Hannover, 12. März 2015 -

- Wasser- und Wärmehaushalt des Bodens
- Boden- und Standorteigenschaften
- Fragen aus der Praxis
- Fazit: Aufgaben der Bodenkunde

## Was wir schon wissen.



## Stromführende Kabel sind Wärmequellen



## Was wir wissen wollen.

Wie wirken sich Standort-  
und Klimabedingungen  
auf erdverlegte Kabel aus?

Wie beeinflussen Kabel den  
Wasser- und Wärmehaushalt



## Ziele:

- a) Verstehen der Prozesse (Labor, Freiland, Technik)
- b) Entwicklung eines Berechnungsverfahrens (CableEarth)
- c) Beantwortung von Fragen aus der Praxis

## Chronologie:

- |             |                                                                          |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 2004        | - Entwicklung der Projektidee                                            |
| 2006 – 2012 | - Grundlagenforschung (gefördert vom Land Berlin und EU)                 |
| Seit 2008   | - Kooperationen mit Netzbetreibern (Vattenfall, 50 Hertz, E.dis, TenneT) |

**Motivation:** Erfassung der thermischen Bedingungen einer Trasse



- Trasse im Verteilungsnetz von Berlin
- hohe Auslastung

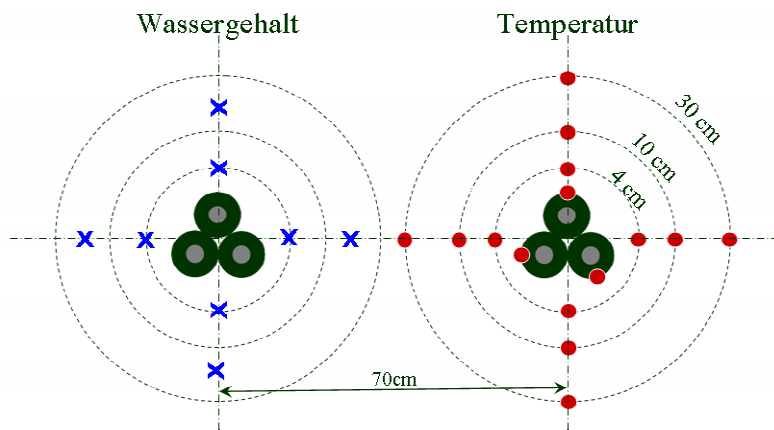
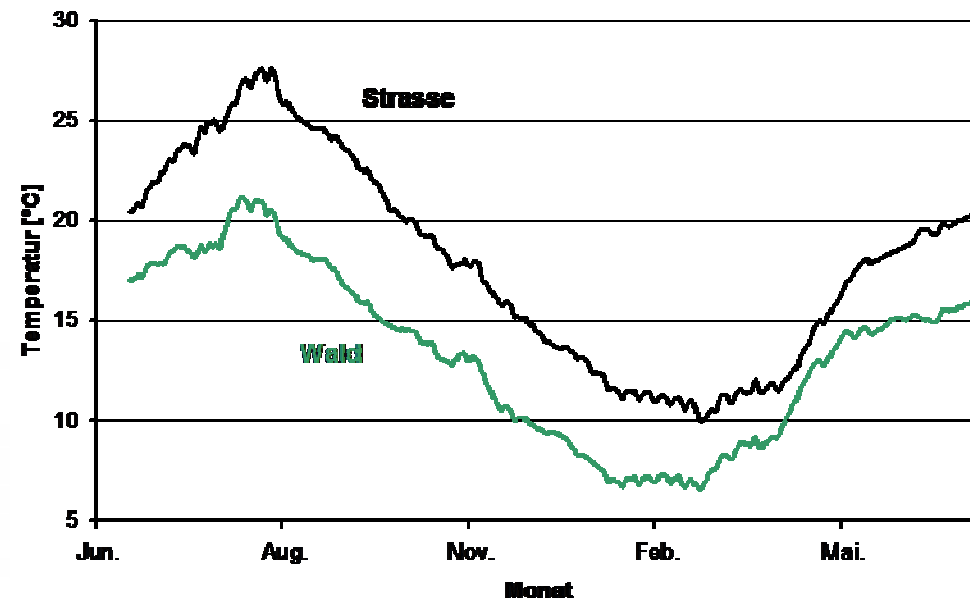
Zwei Standorte im Trassenverlauf:



**Messung:** Temperatur von Kabel und Boden, Bodenfeuchte, Klima

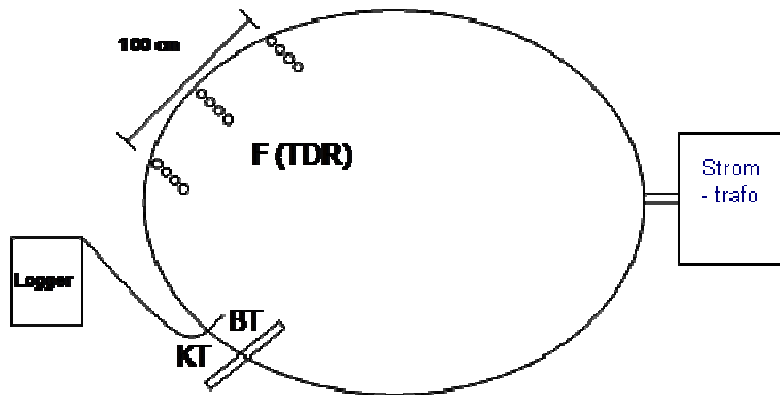


Temperatur an der Kabeloberfläche





**Motivation:** Untersuchung eines Kabels mit hoher Stromlast



- 10m Kabelstrecke
- 10kV Einzelkabel, 240mm<sup>2</sup>
- 80 cm Legetiefe
- Messung von: Temperatur

Bodenfeuchte

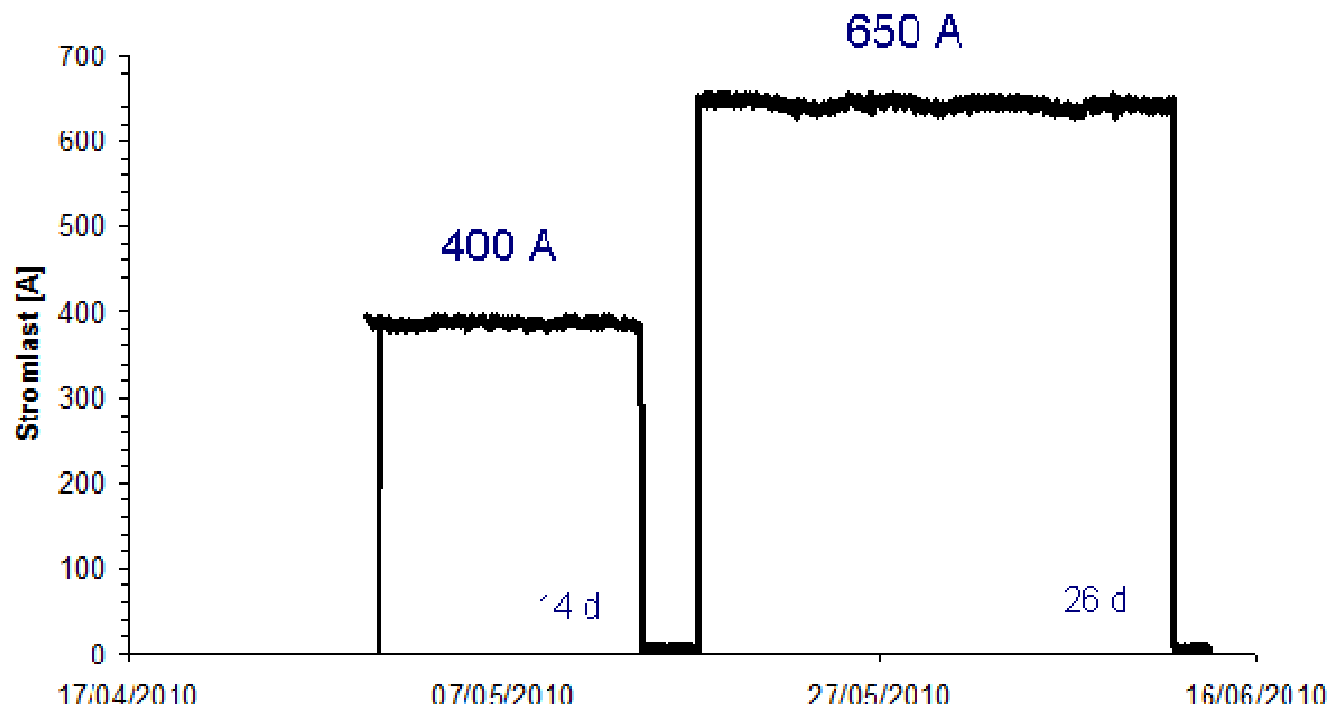
Strom

Klima

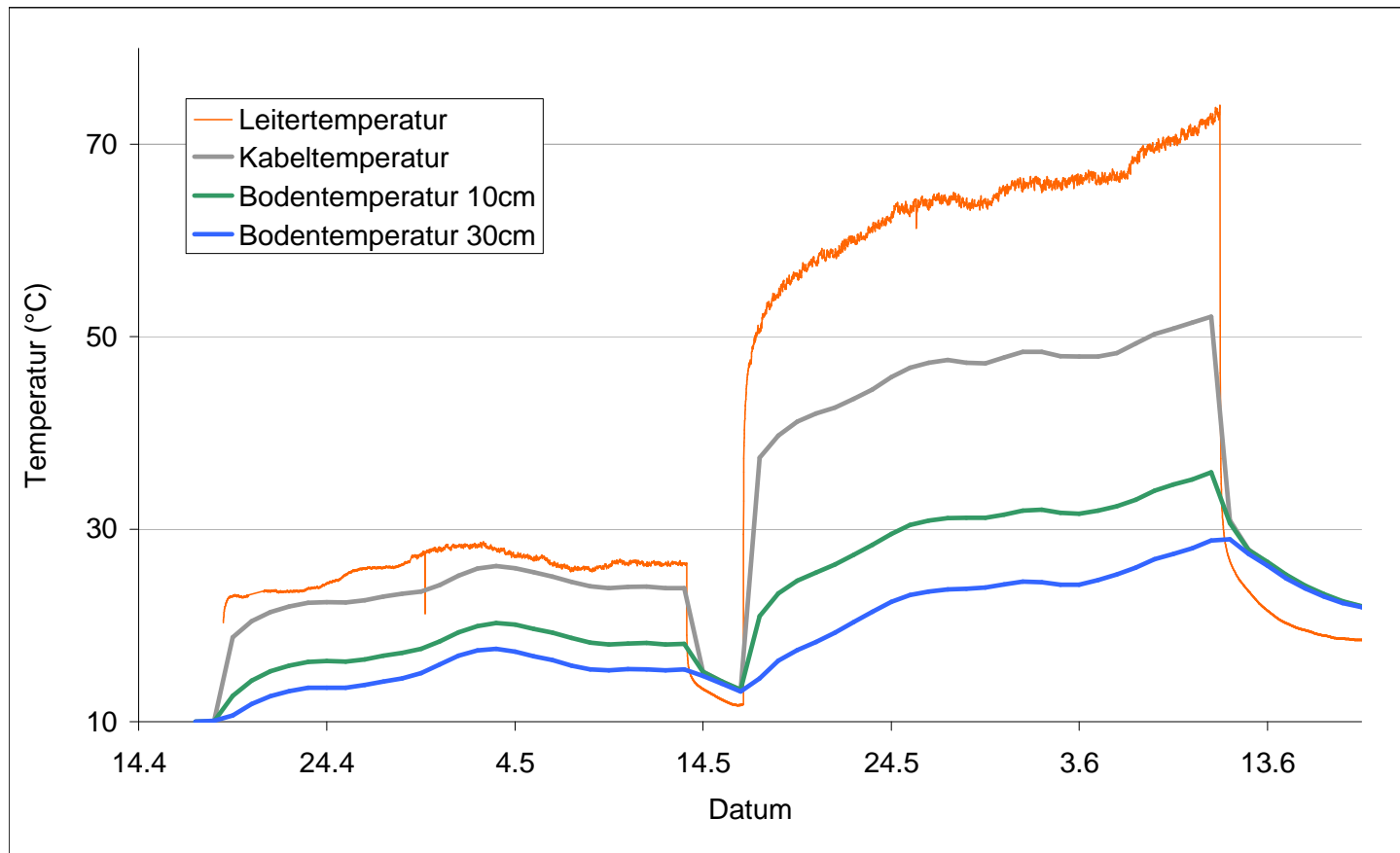


**Motivation:** Untersuchung eines Kabels mit hoher Stromlast

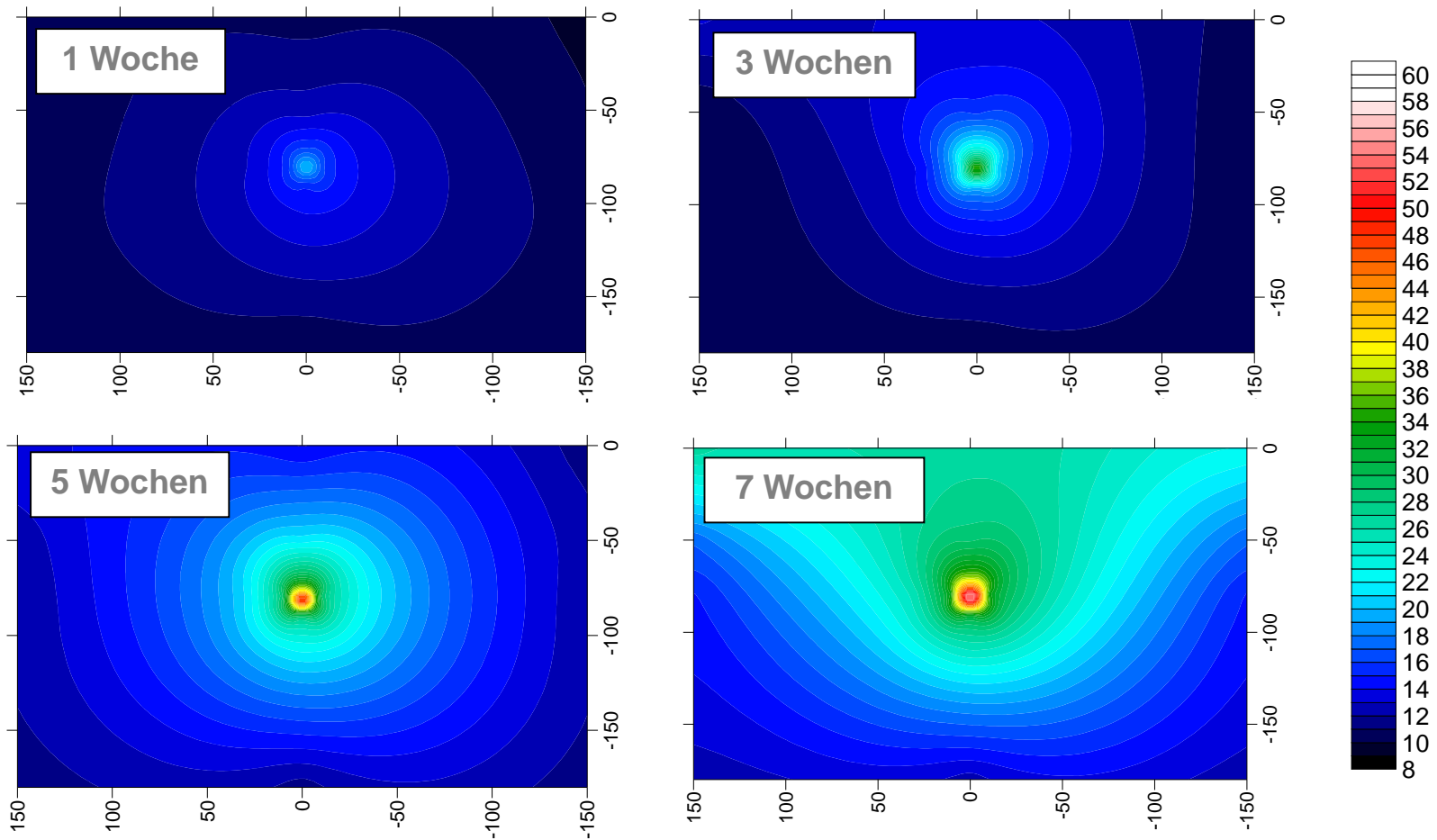
Stromlastgang während des Experiments



## Temperaturverläufe



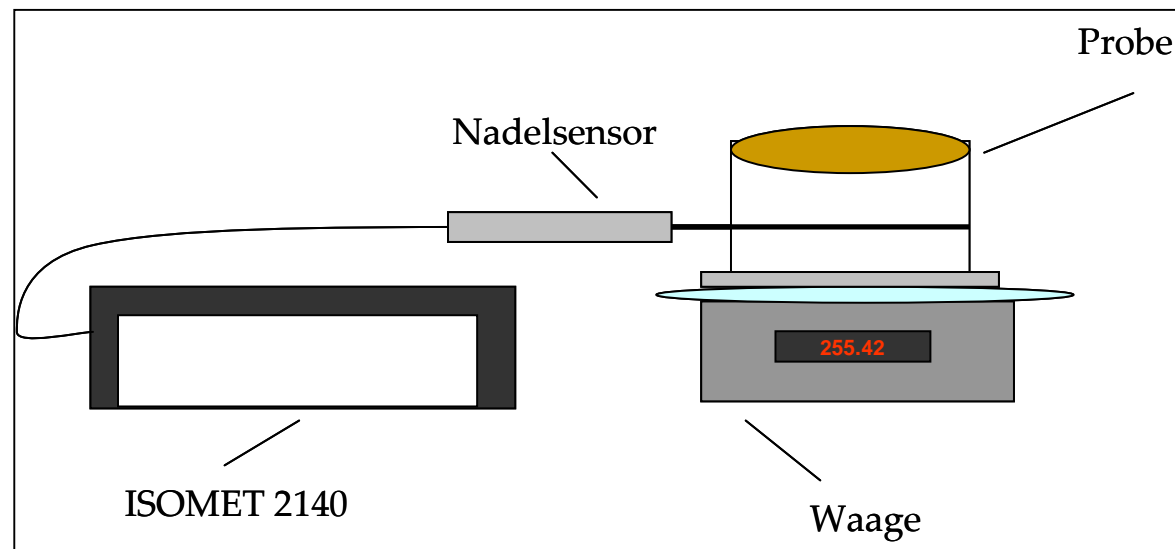
## Ausbildung des Temperaturfeldes im Boden



**Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  [W/mK] ist abhängig von:**

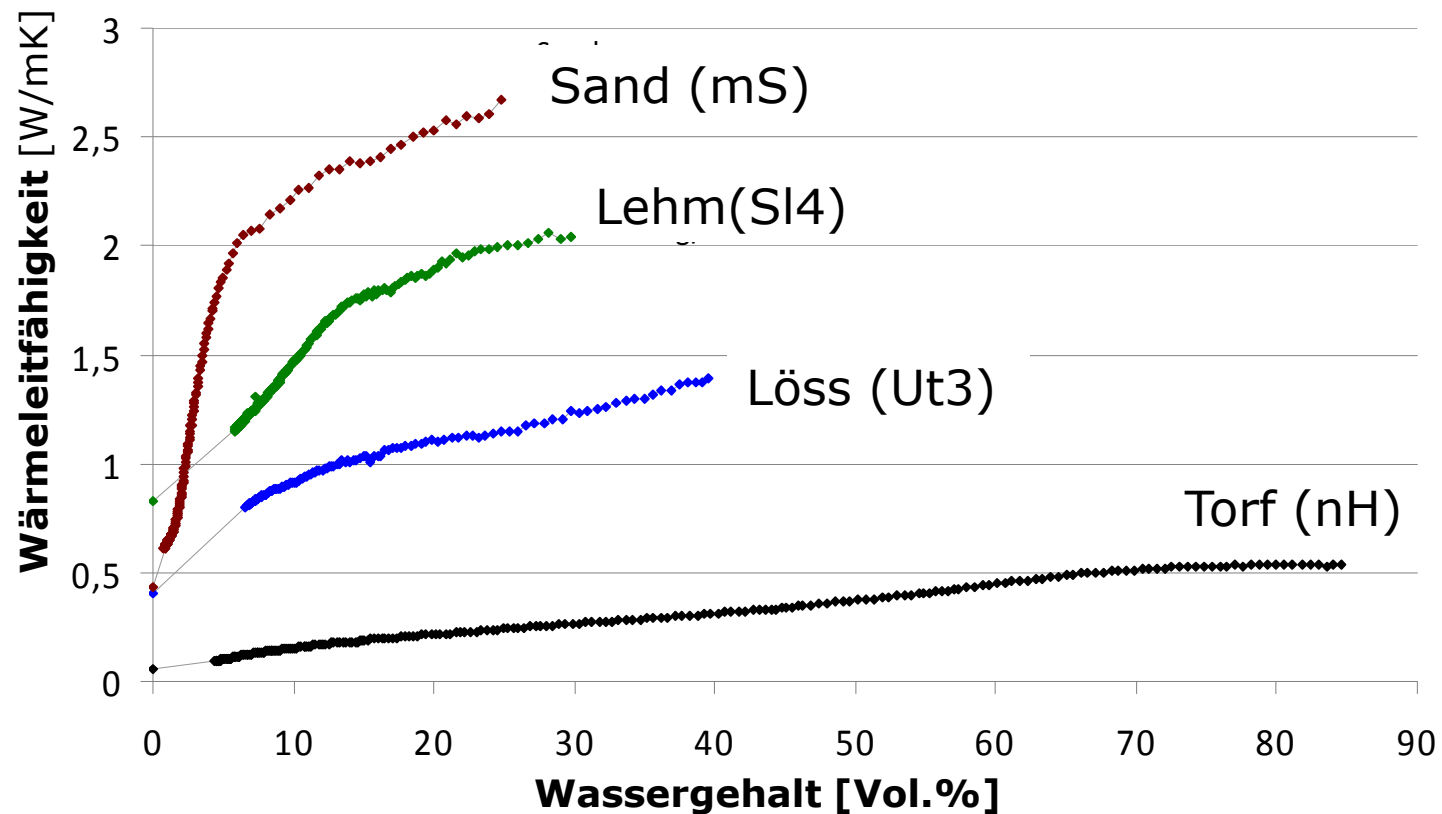
- Substrat
- Trockenrohdichte
- Temperatur
- Wassergehalt

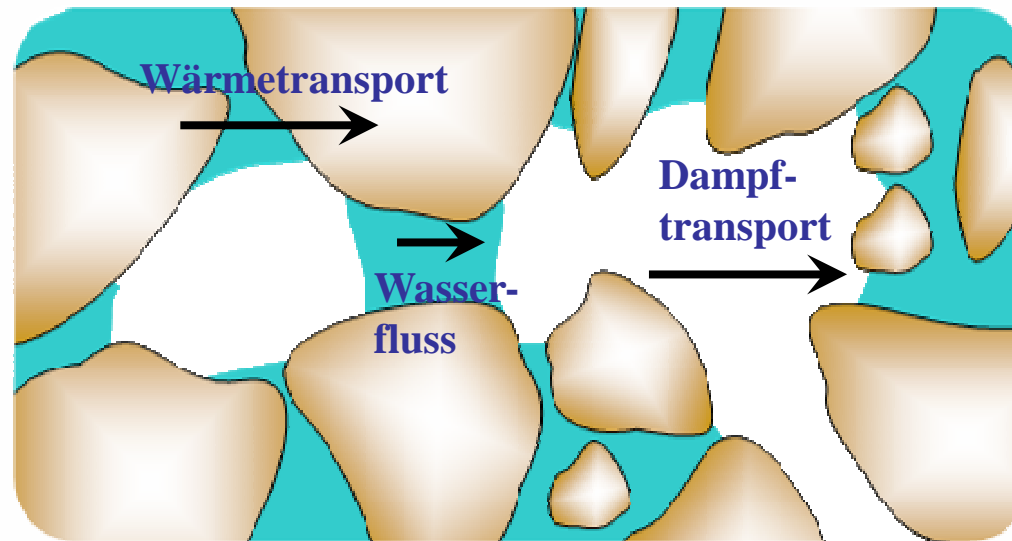
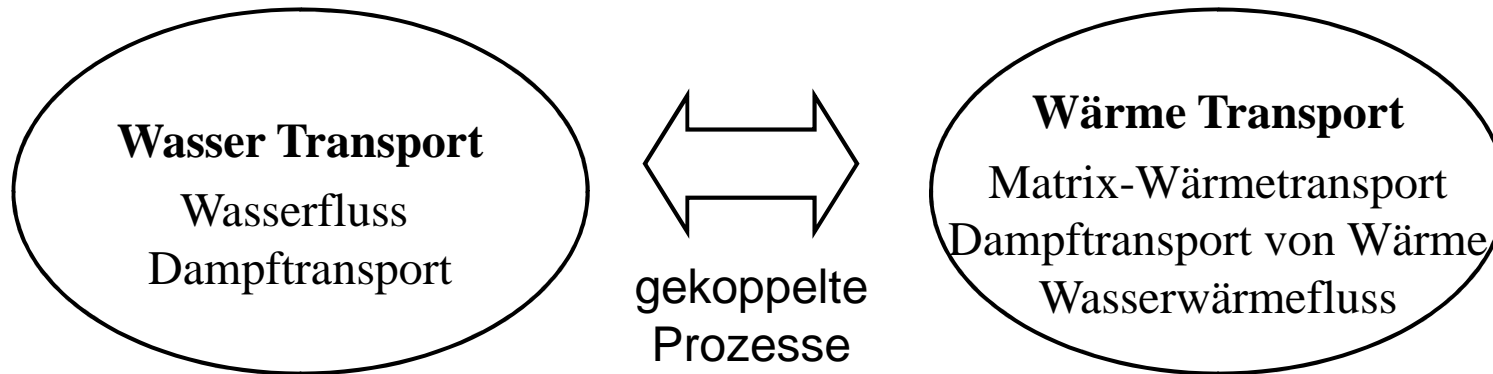
**Untersuchungsmethode: Verdunstungsverfahren**



## Wärmeleitfähigkeit

in Abhängigkeit von Bodenart und -feuchte





Temperaturgradient

## Numerische 2D-Modelle: Delphin, Hydrus

### Modellierung der Transportprozesse

**Wassertransport:** 
$$\frac{\partial(\rho_l \theta_l + \rho_v \theta_g)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[ \rho_l v_k^{m_l} \theta_l + (\rho_v v_k^{m_g} + j_{k,diff}^{m_v}) \theta_g \right]$$

**Gastransport:** 
$$\frac{\partial(\rho_a \theta_g)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[ \rho_a v_k^{m_g} \theta_g - j_{k,diff}^{m_v} \theta_g \right]$$

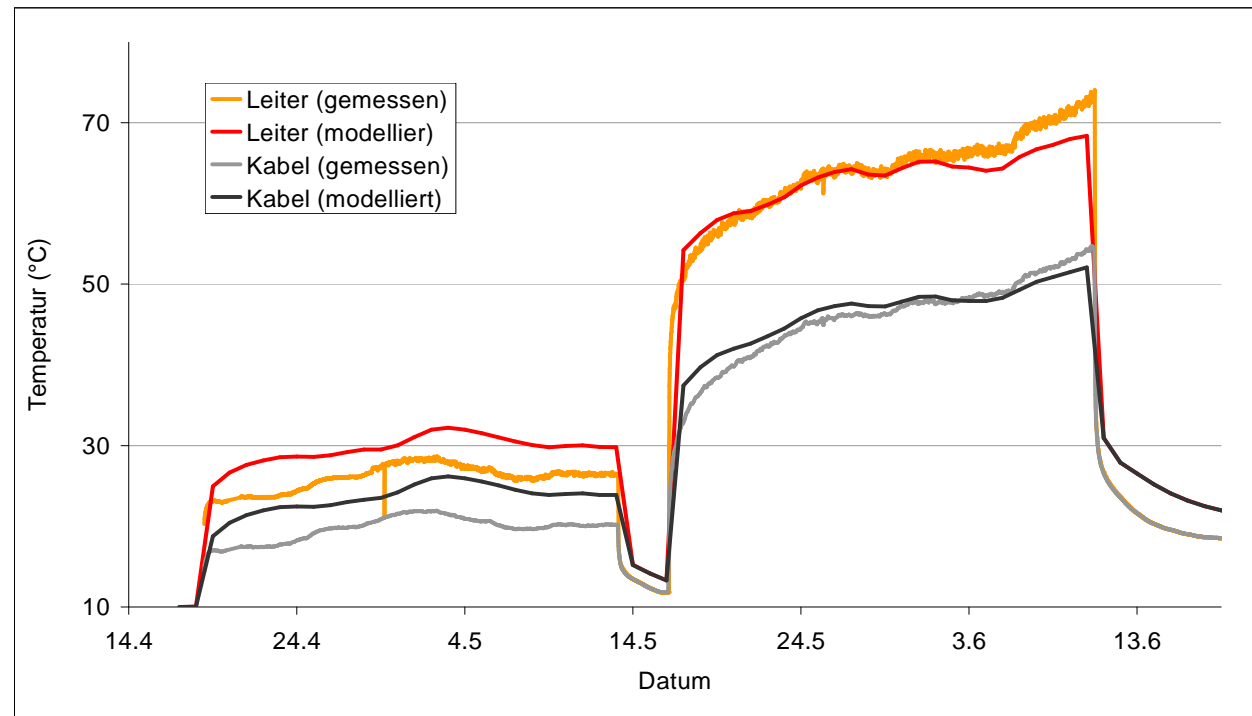
**Energietransport:** 
$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[ j_{k,diff}^{m_v} + \rho_l u_l v_k^{m_l} \theta_l + (\rho_v u_v + \rho_a u_a) v_k^{m_l} \theta_g + j_{k,diff}^{m_v} (h_v - h_a) \theta_g \right]$$



## 2D - Modellierung der Leitertemperatur (aus dem Praxistest)

INPUT:

- Lufttemperatur, Niederschlag,
- thermische und hydraulische Eigenschaften (Boden und Kabel)
- Verlustwärme des Kabels



## Wenig Platz für neue Trassen...



Foto: Köhler, Stromnetz Berlin

18

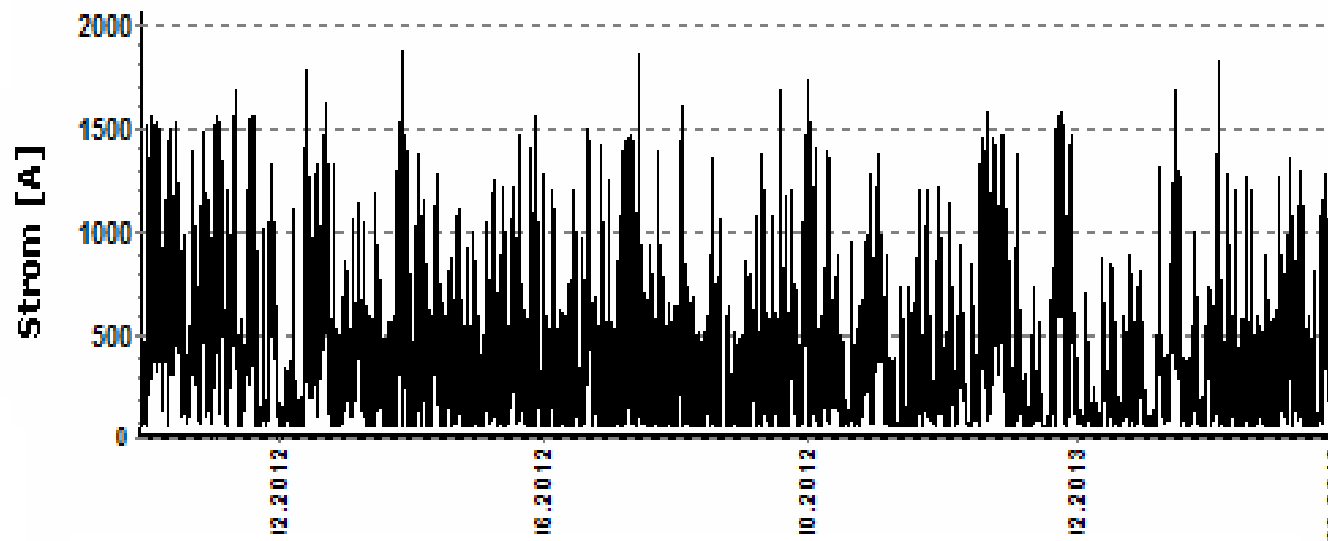
## **für bestehende Erdkabeltrassen:**

- Können bestehende Trassen stärker ausgelastet werden?
- Liegen ungenutzte Kapazitäten im transienten Betrieb (Lastspitzen) vor?
- thermischen Eigenschaften der Böden?

## **für neu geplante Trassen:**

- Kann die Trassendimensionierung für Netze mit transienten Stromlasten optimiert werden?
- Wie verändert die Wärmeemission der Trasse den Wasser- und Wärmehaushalt in geschützten Gebieten, wie reagiert die Vegetation?
- Welche Verbesserungen sind an thermischen Engpässen im geplanten Trassenverlauf möglich.?

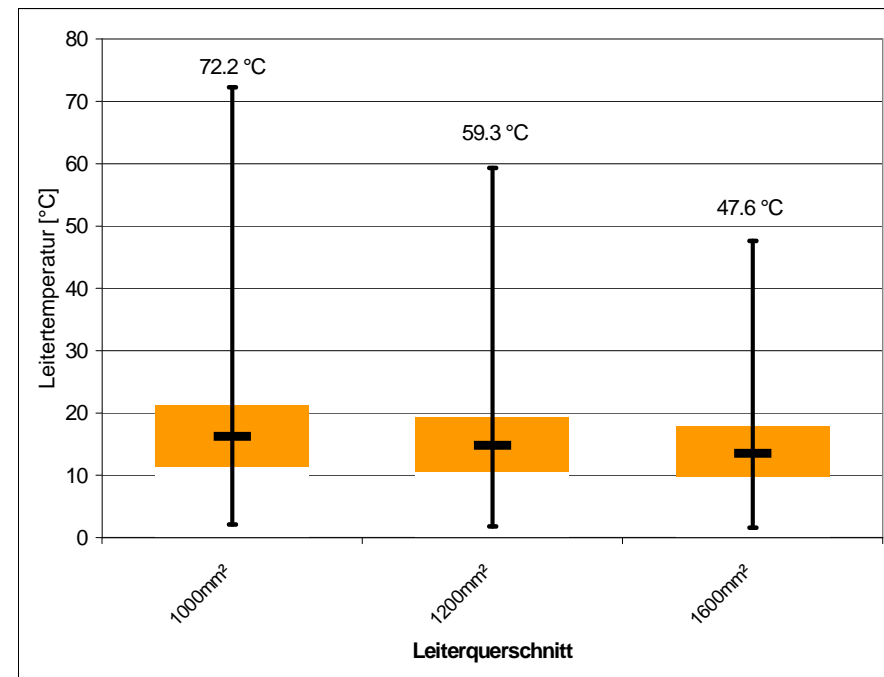
## Kann eine Trassendimensionierung optimiert werden?



Stromlastprofil bei 400 MVA installierte Anlagenleistung  
(75% Wind 25% Photovoltaik), Zeitraum 18 Monate

## Kann eine Trassendimensionierung optimiert werden?

- Berechnung mit numerischen Modell
- Berücksichtigung der Bodeneigenschaften, Klima- und Standortbedingungen
- Ermittlung der Leitertemperatur in Abhängigkeit vom Leiterquerschnitt
- Erforderliche Trassendimension nach Herstellerangabe (400 MVA Dauerlast):  
2 Systeme mit 2500mm<sup>2</sup> Al-Leiter

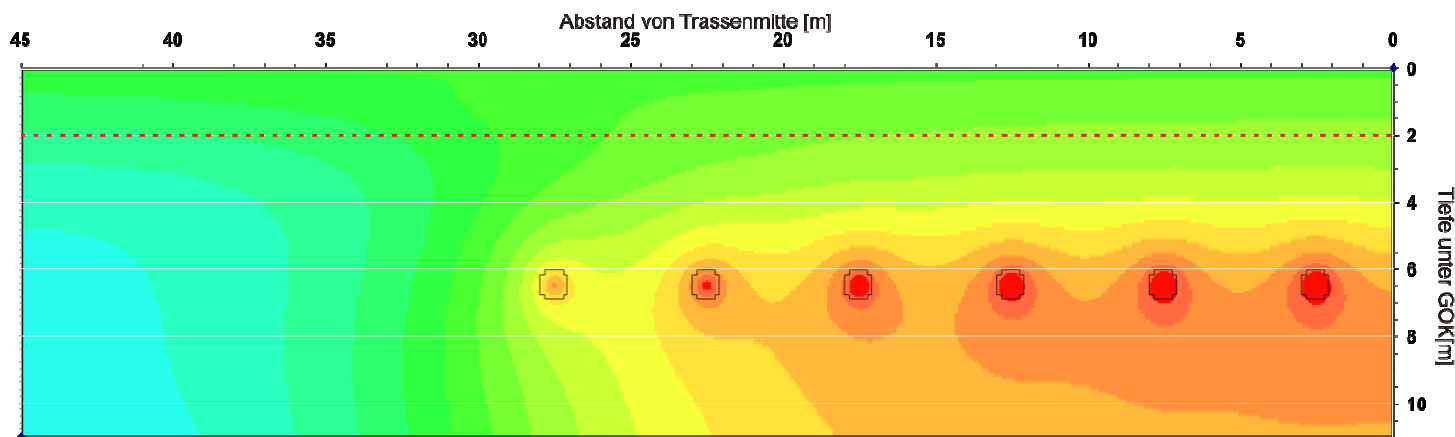


**Es sind deutliche Einsparungspotenziale vorhanden.**

## Wie verändert die Wärmeemission den Wasser- und Wärmehaushalt von Böden und wie reagiert die Vegetation?

- Trassen in Übertragungsnetzen können große Wärmemengen emittieren
- Vermeidung von Trocken- und Bodenwärmestress in Schutzgebieten

Berechnetes Temperaturfeld einer Trasse mit 4 Systemen



## **Wie verändert die Wärmeemission den Wasser- und Wärmehaushalt von Böden und wie reagiert die Vegetation?**

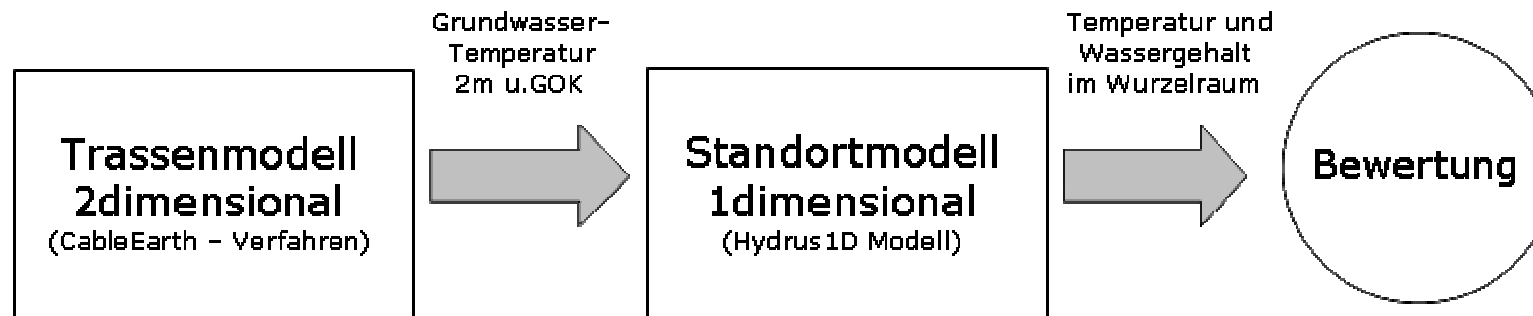
- Trassen in Übertragungsnetzen können große Wärmemengen emittieren
- Vermeidung von Trocken- und Bodenwärmestress in Schutzgebieten

### **Optimierung von:**

- Kabeltiefe
- Kabelabstand
- Kabeldurchmesser
- Verbesserung der Wärmeabfuhr durch Bodenverbesserung



## Wie verändert die Wärmeemission den Wasser- und Wärmehaushalt von Böden und wie reagiert die Vegetation?



**Eine Zusammenarbeit zwischen technischen, naturwissenschaftlichen und planerischen Disziplinen ist notwendig !**

---

## **Die Energiewende Ein Thema für die Bodenkunde?**

- ✓ zur trassenbezogenen Standortbewertung
- ✓ für die Bestimmung von thermischen Bodeneigenschaften
- ✓ für die Beurteilung der Folgen für die Landwirtschaft
- ✓ Verbesserung von Berechnungsmethoden in der Netzplanung

Naturschutz für die Bewertung von Vegetationseinheiten

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.