



Optimierung der Strombelastbarkeit erdverlegter Energiekabel

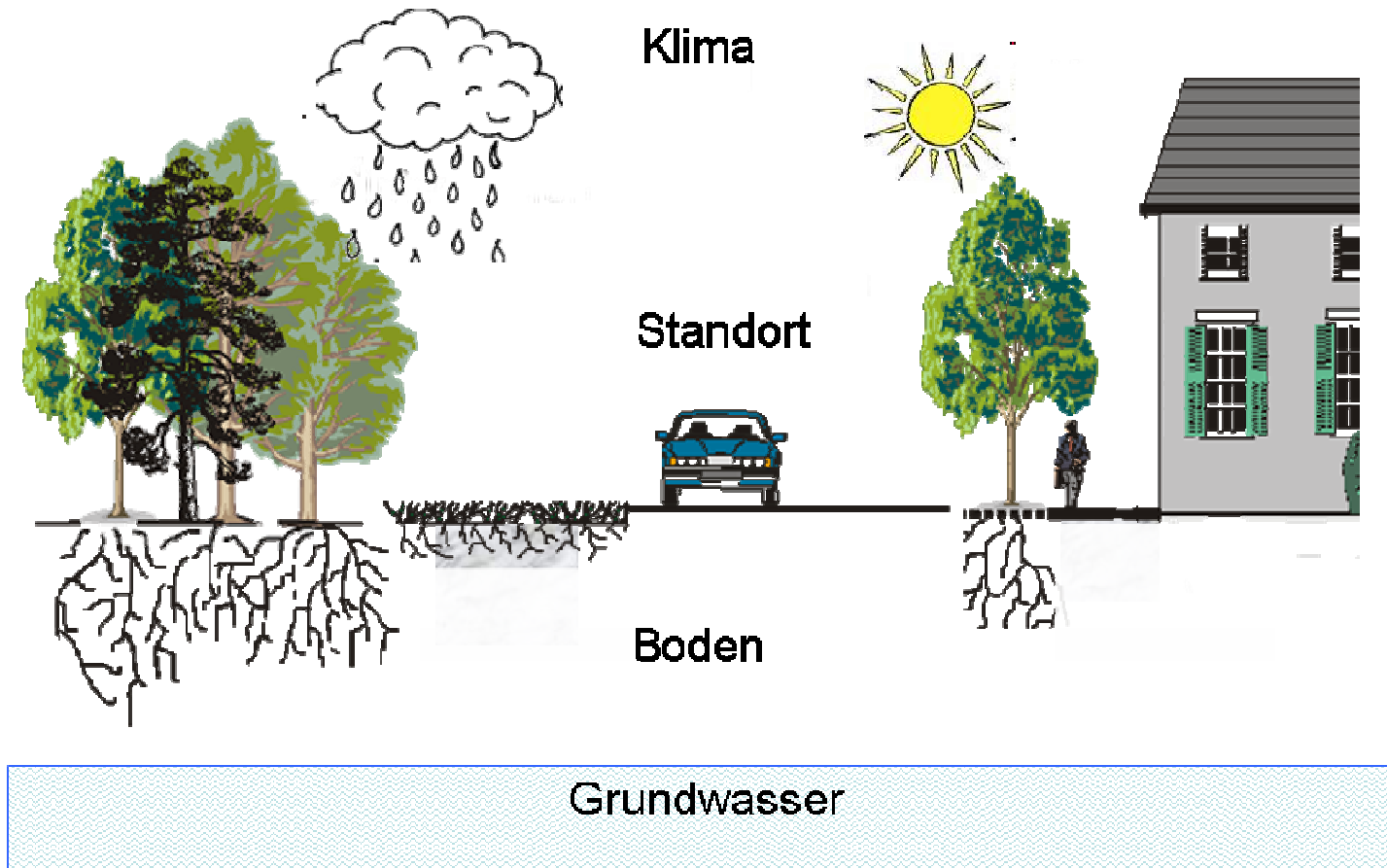
Prof. Dr. Gerd Wessolek
Dr.-Ing. Steffen Trinks, Dr.-Ing. Björn Kluge

Technische Universität Berlin
Institut für Ökologie

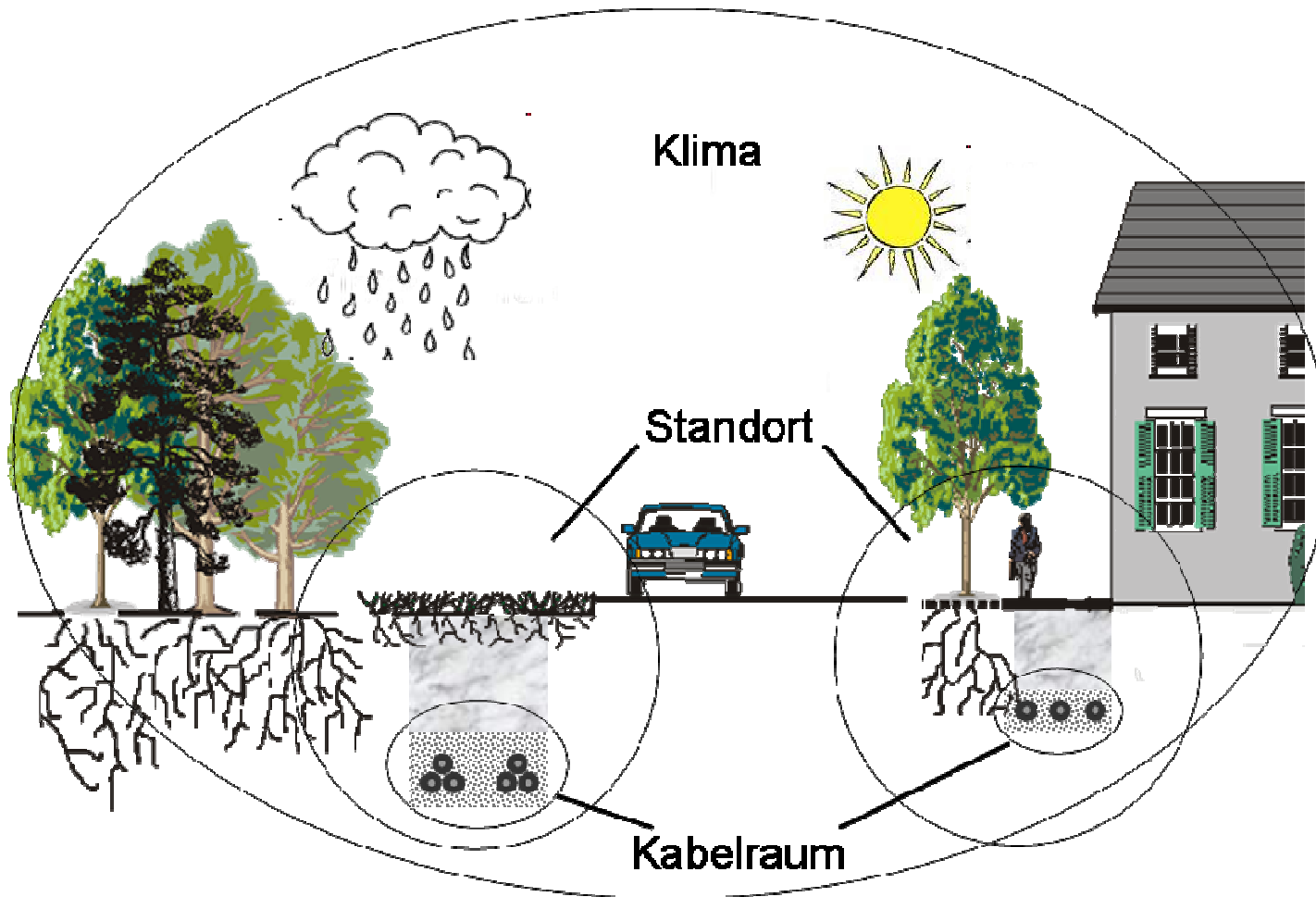
Tagung Energiewende – Ein Thema für den Boden
Hannover, 12. März 2015 -

- 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

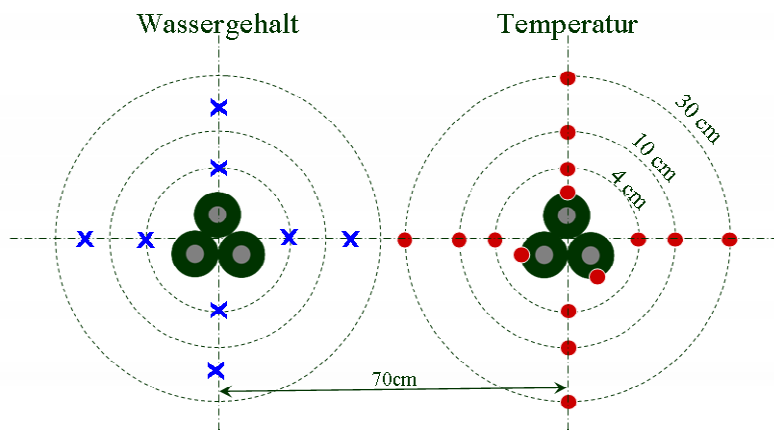
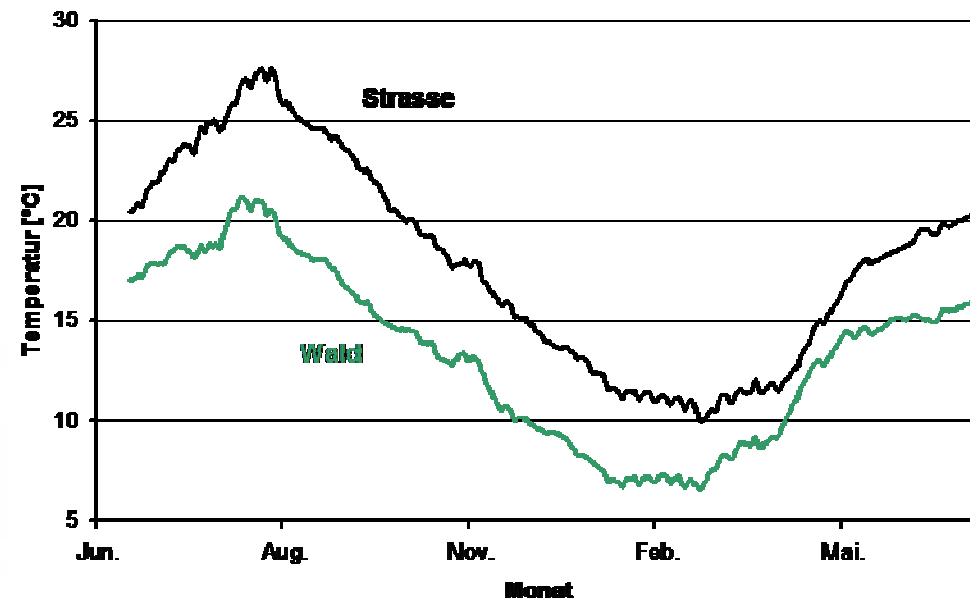
Zwei Standorte im Trassenverlauf:



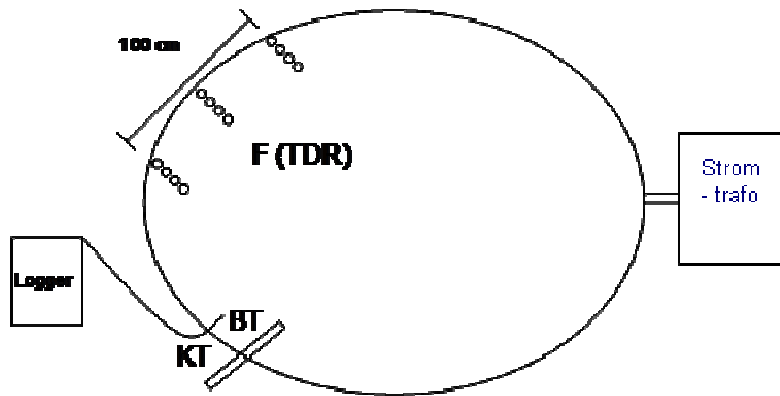
Messung: Temperatur von Kabel und Boden, Bodenfeuchte, Klima



Temperatur an der Kabeloberfläche



Motivation: Untersuchung eines Kabels mit hoher Stromlast



- 10m Kabelstrecke
- 10kV Einzelkabel, 240mm²
- 80 cm Legetiefe
- Messung von: Temperatur

Bodenfeuchte

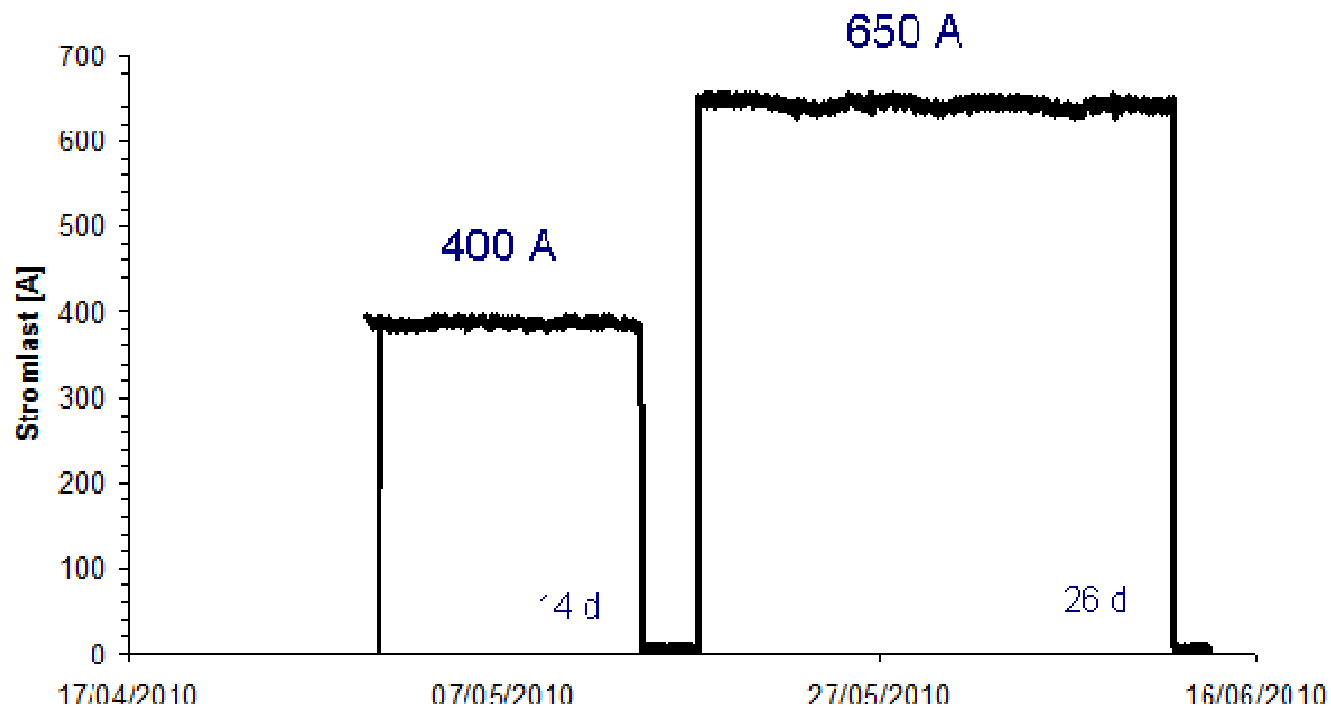
Strom

Klima

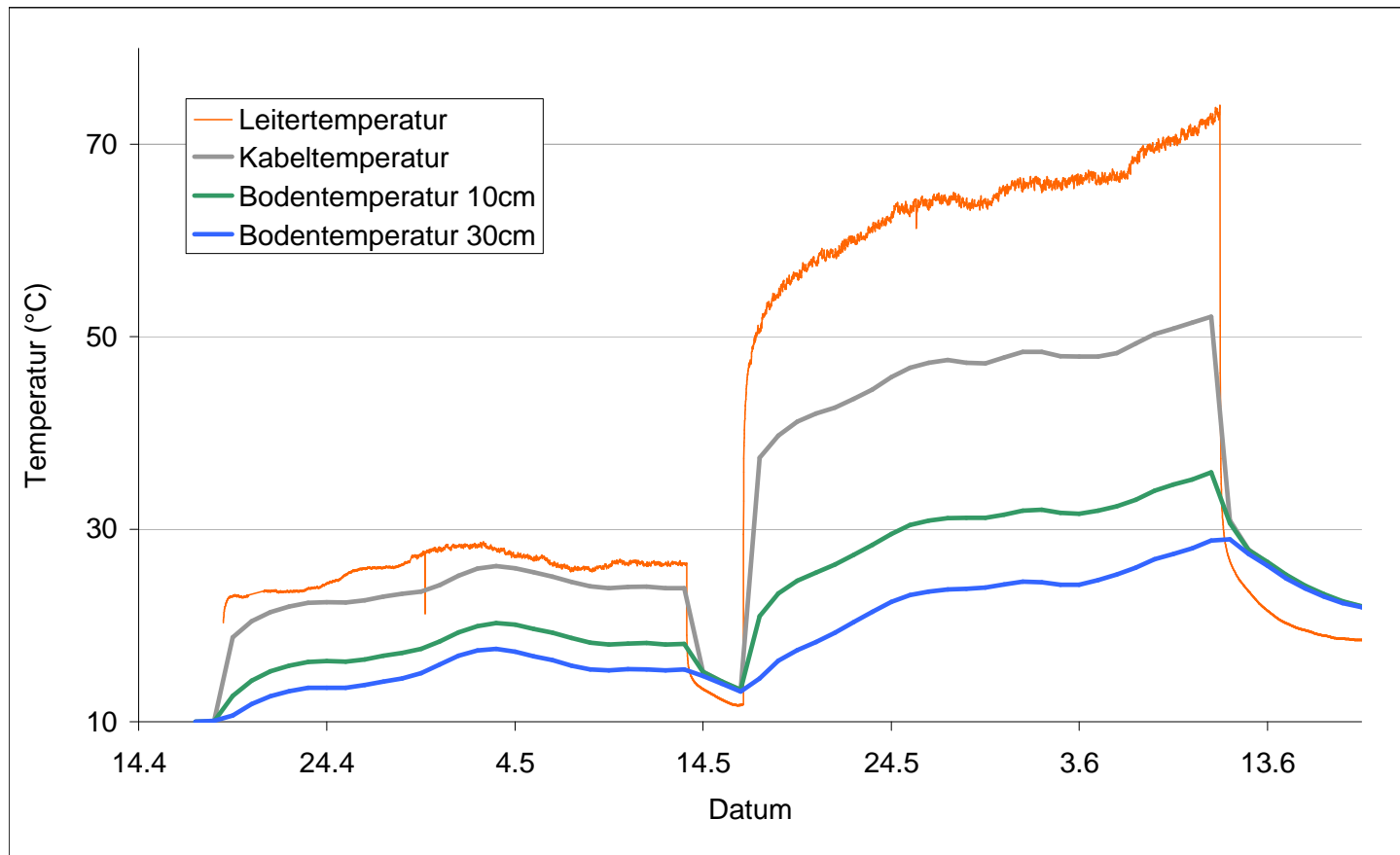


Motivation: Untersuchung eines Kabels mit hoher Stromlast

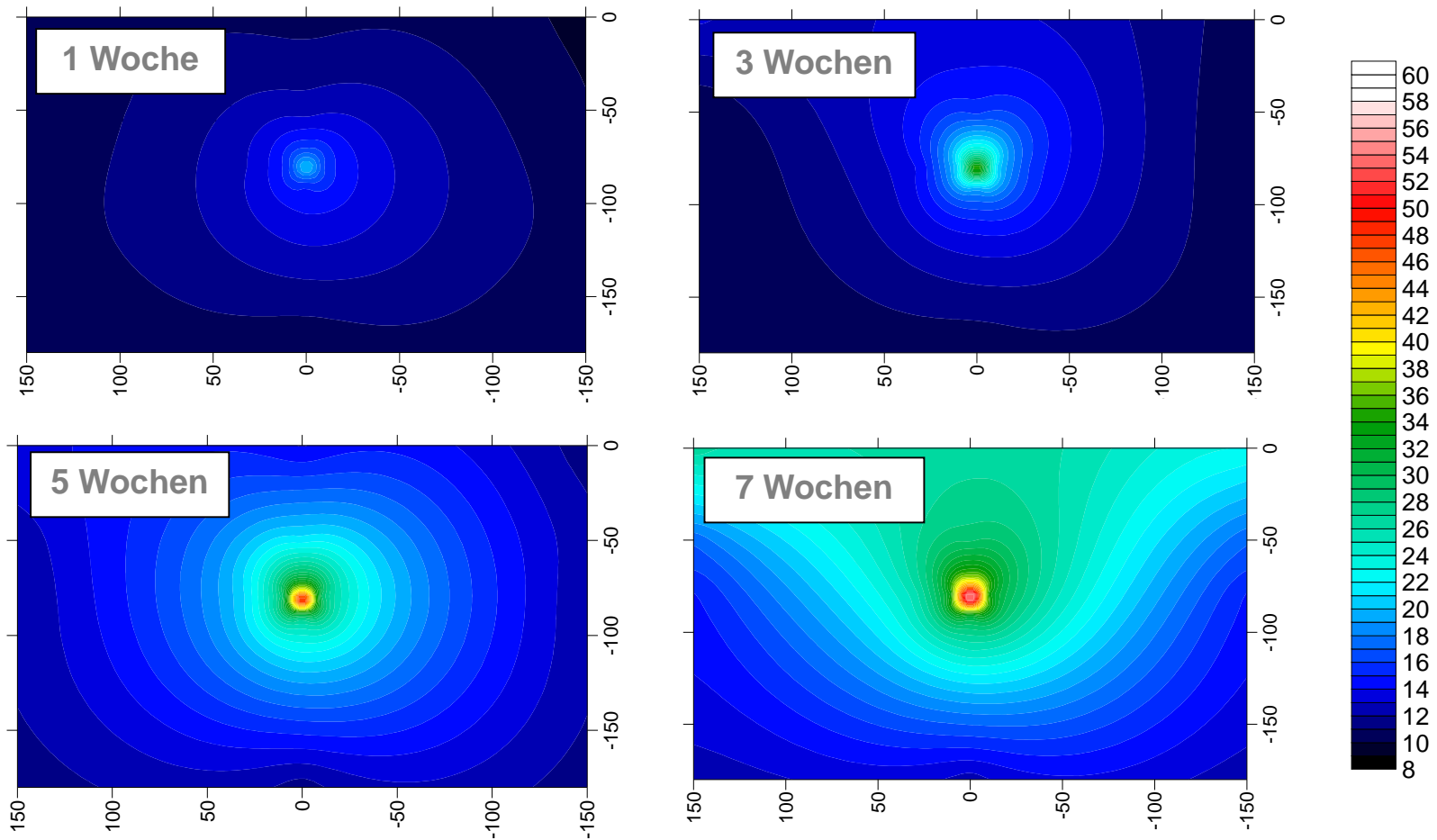
Stromlastgang während des Experiments



Temperaturverläufe



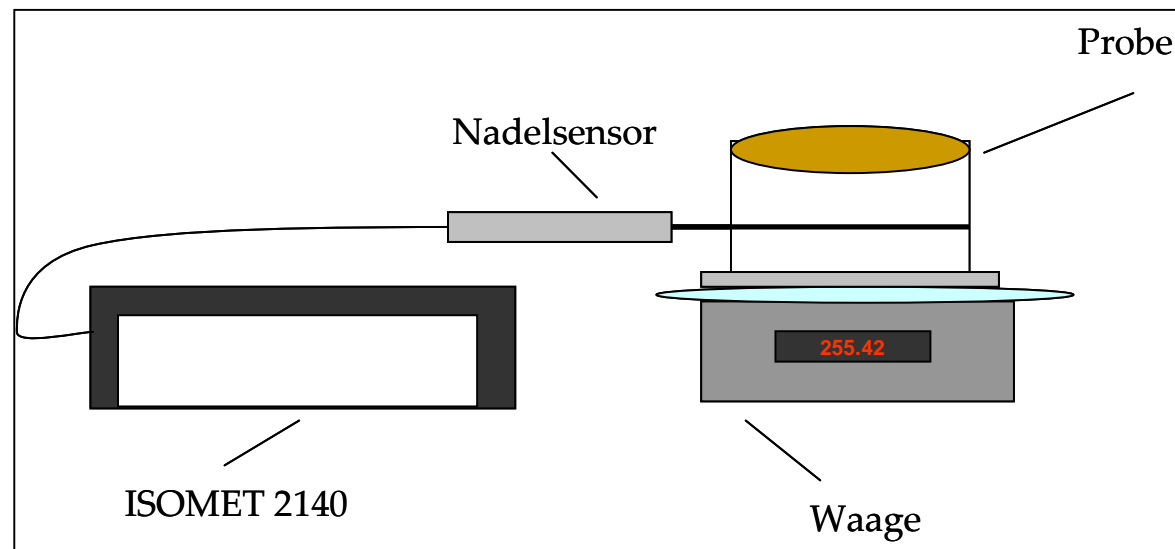
Ausbildung des Temperaturfeldes im Boden



Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK] ist abhängig von:

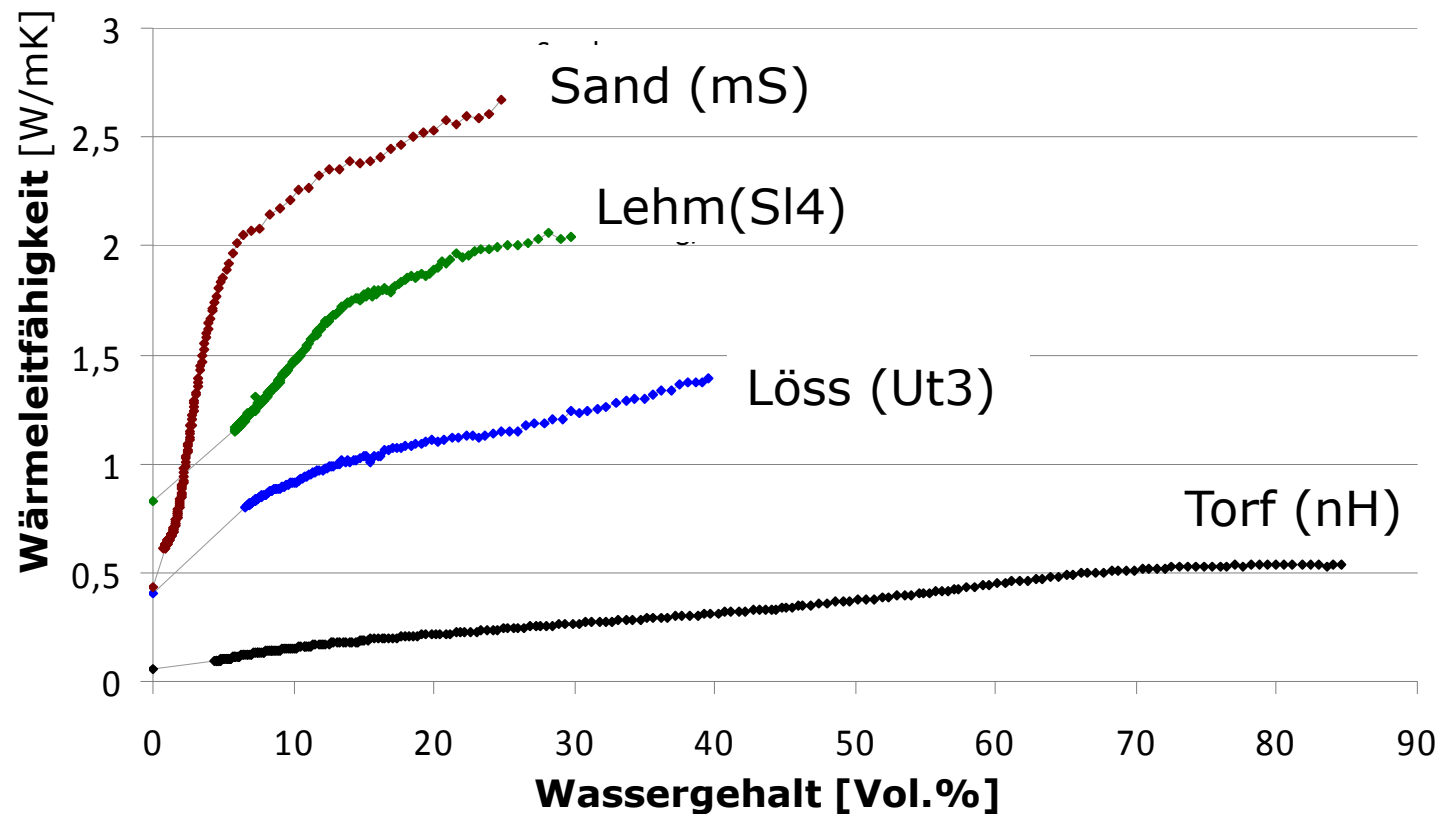
- Substrat
- Trockenrohdichte
- Temperatur
- Wassergehalt

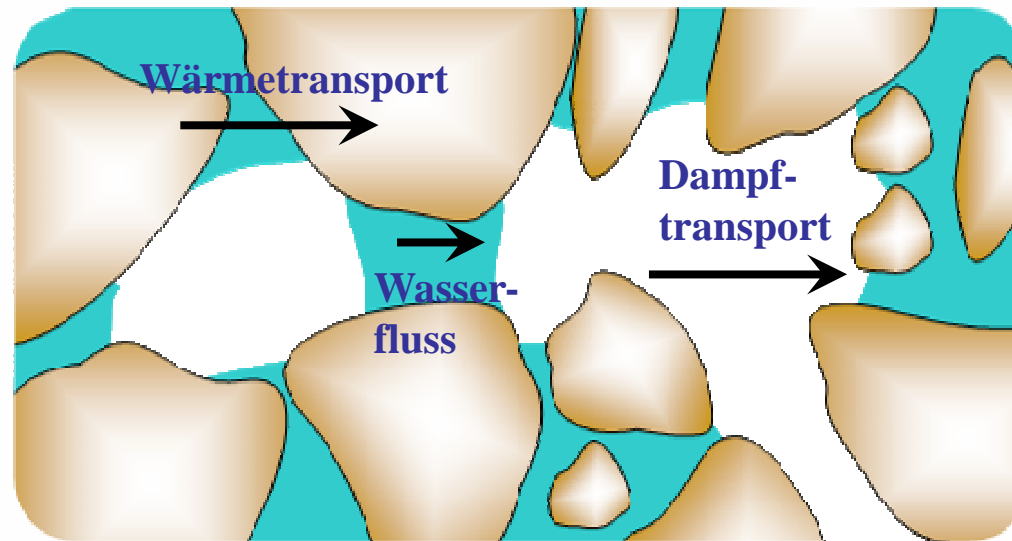
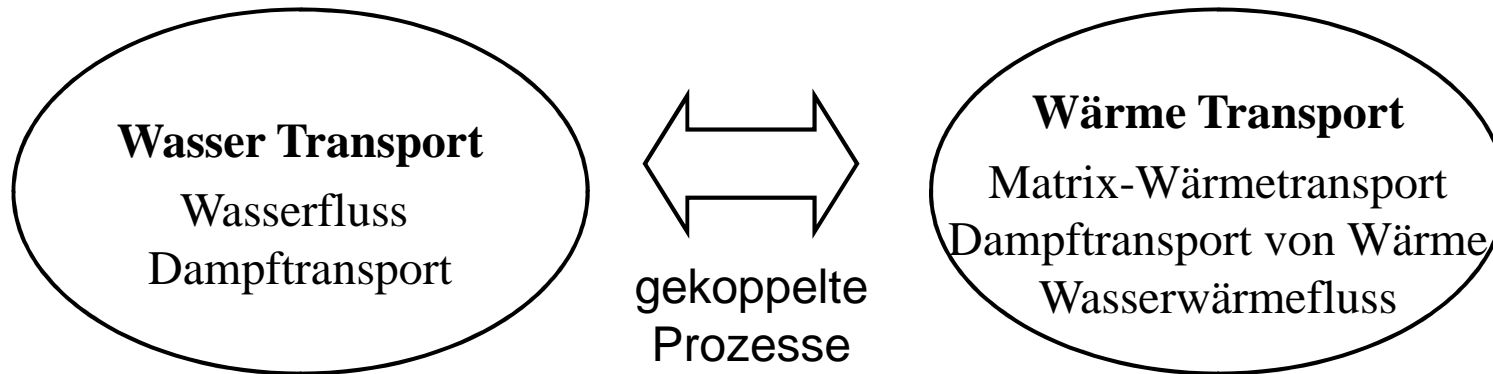
Untersuchungsmethode: Verdunstungsverfahren



Wärmeleitfähigkeit

in Abhängigkeit von Bodenart und -feuchte





Temperaturgradient

Numerische 2D-Modelle: Delphin, Hydrus

Modellierung der Transportprozesse

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

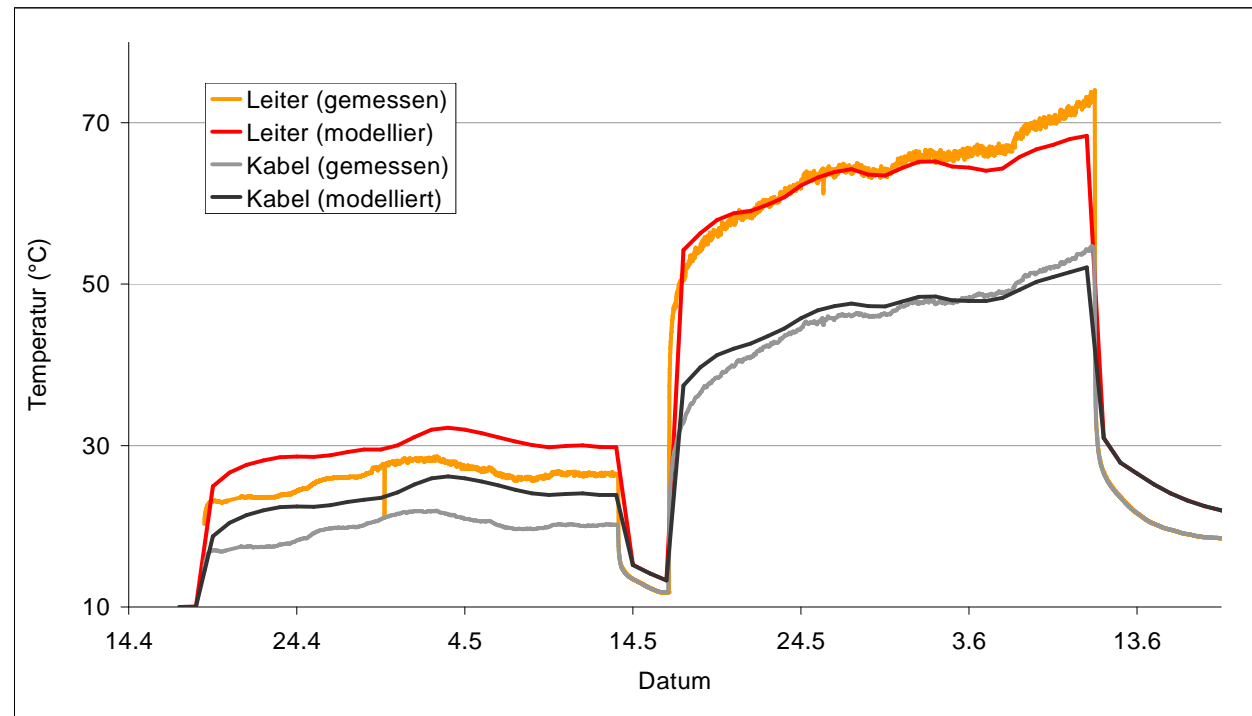
Gastransport:
$$\frac{\partial(\rho_a \theta_g)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\rho_a v_k^{m_g} \theta_g - j_{k,diff}^{m_v} \theta_g \right]$$

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

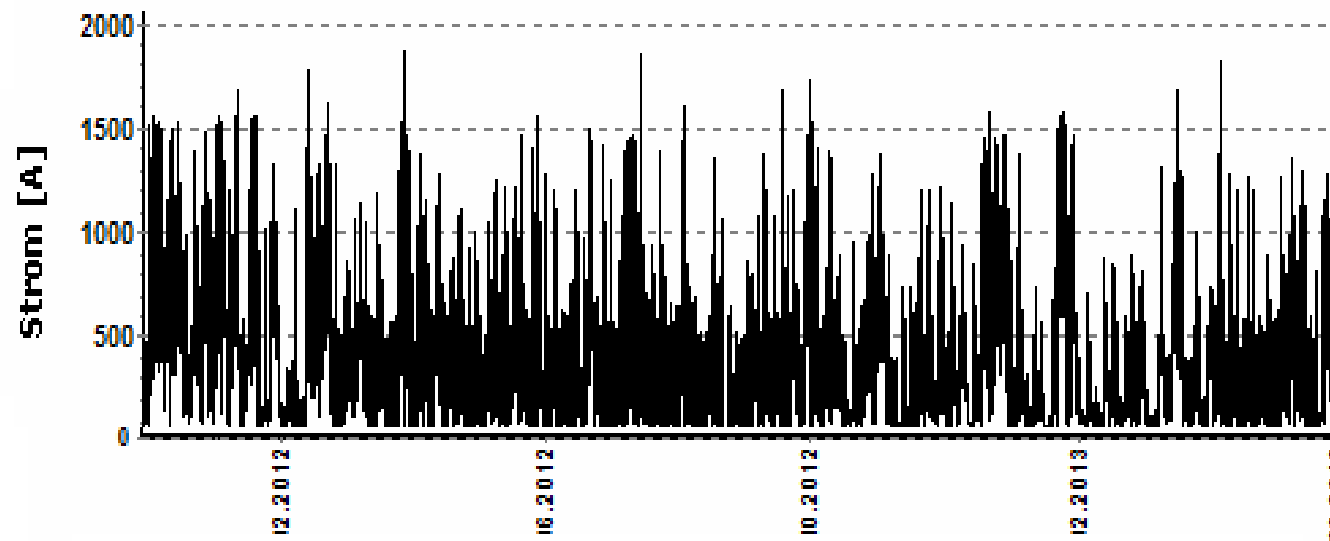
für bestehende Erdkabeltrassen:

- 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.?

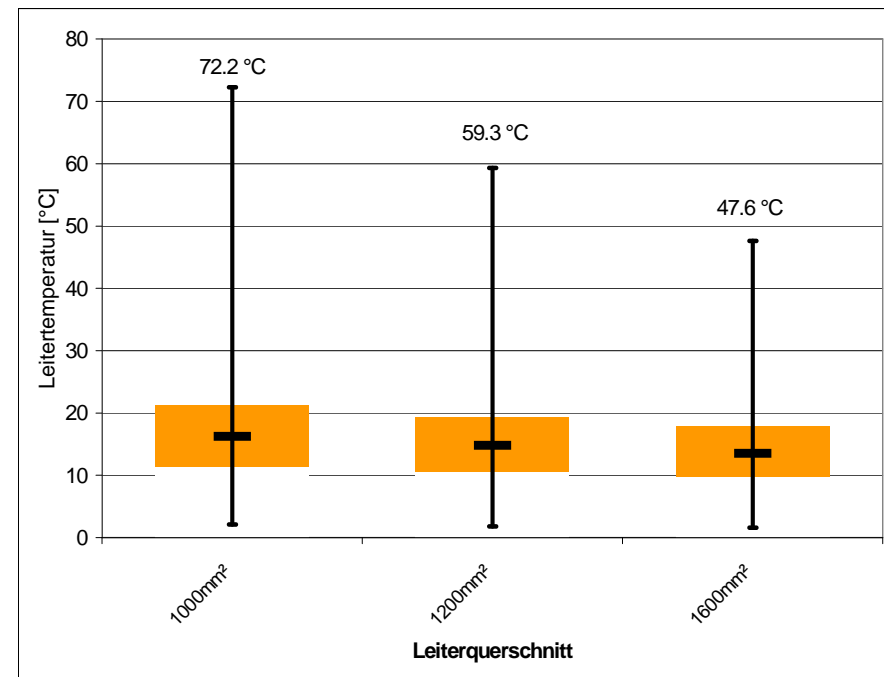
Kann eine Trassendimensionierung optimiert werden?



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 2500mm² Al-Leiter

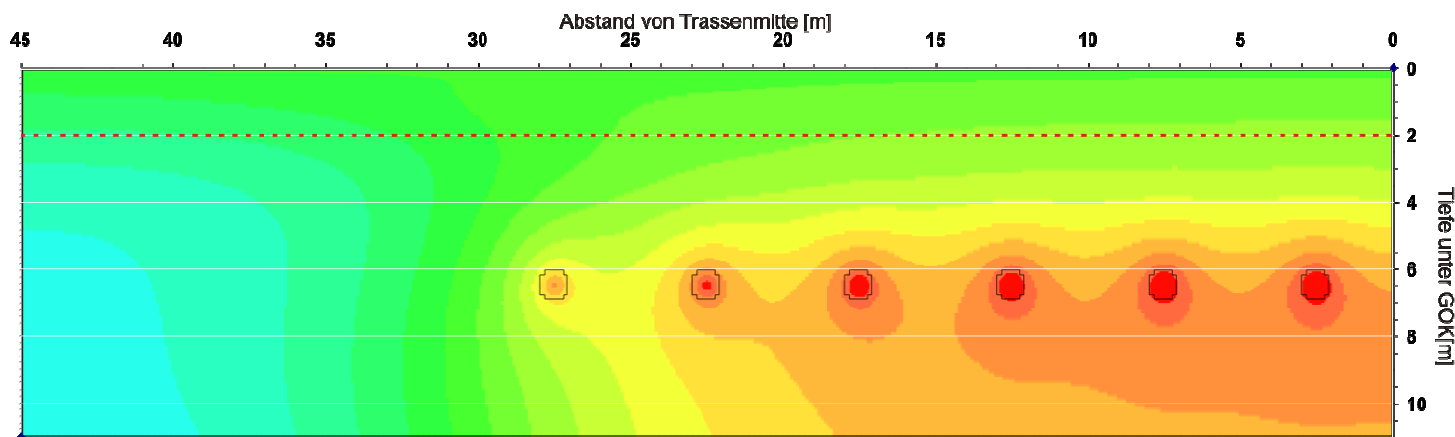


Es sind deutliche Einsparungspotenziale vorhanden.

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



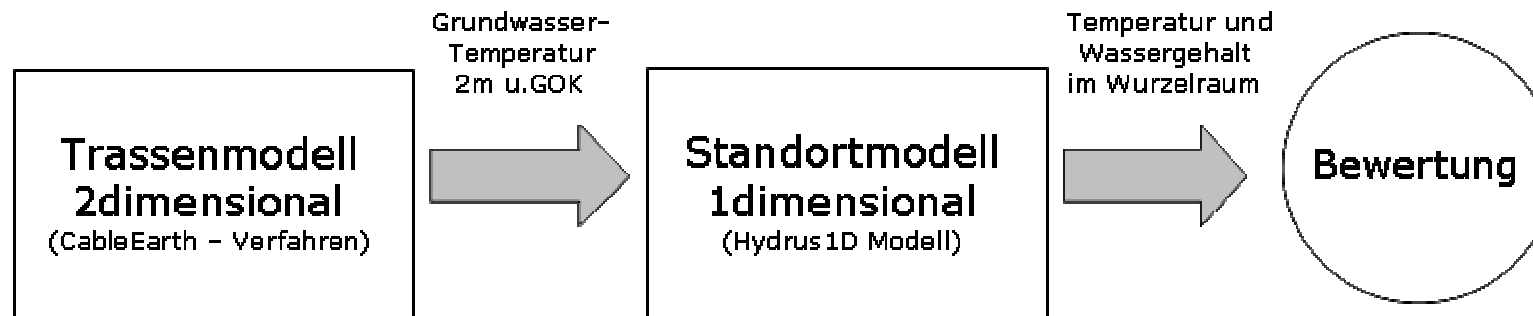
Wie verändert die Wärmeemission den Wasser- und Wärmehaushalt von Böden und wie reagiert die Vegetation?

- 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.