pedo tec

3-dimensionale Modellierung zur Berechnung der Leitertemperaturen von sich kreuzenden Erdkabeln

Dr. Steffen Trinks und B.Sc. Maja Feuerhak

20.11.2020

Einleitung

- Für die Berechnung der Leitertemperaturen bei sich kreuzenden Erdkabeln ist ein 3-dimensionale Modellierung erforderlich, da im unmittelbaren Kreuzungsbereich die gegenseitige Beeinflussung am größten ist und mit zunehmendem Abstand diese Beeinflussung reduziert ist.
- Zur genauen Berechnung z.B. der maximalen Leitertemperatur im direkten Kreuzungsbereich kann der „kühlende“ Einfluss der weiter entfernten Bereiche (mehrere Meter) nicht mehr mit einem 2-dimensionalen Modell erfasst werden.
- Für das in der Abb. 1 dargestellte System wurden mit dem Cable Earth Modell 3-D-Modellierungen durchgeführt.

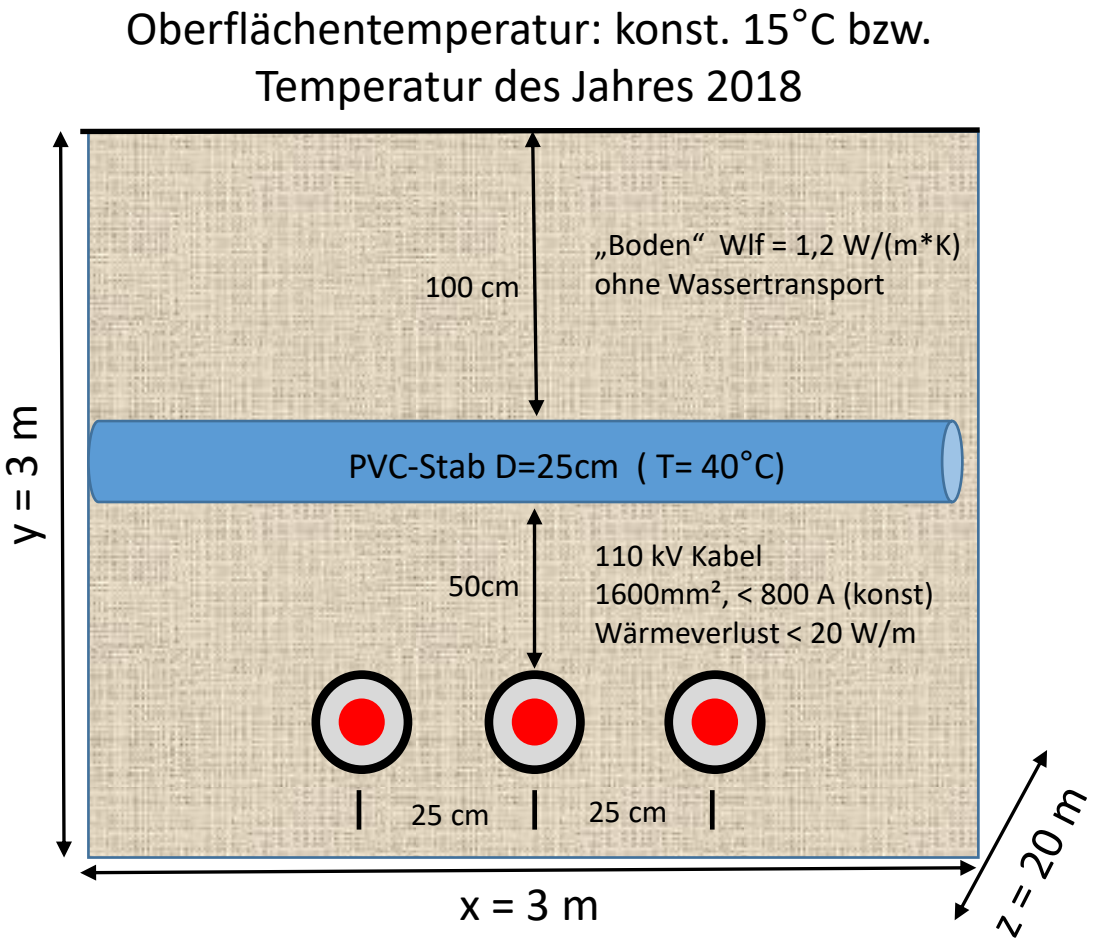
Abb. 1: Systemskizze Kreuzungsbereich Erdkabel

Es handelt sich um eine 110 kV Trasse.

Der Querschnitt der Aluminiumkabel beträgt 1600 mm² und diese sind ohne Schutzrohre verlegt.

Für die Berechnung der Leitertemperaturen wurden eine geringe konstante Stromlast (< 800 A) und eine geringe Verlustwärme von < 20 W/m angenommen.

50 cm oberhalb des 110 kV Kabel befindet sich ein „PVC Stab“ (nachfolgend auch Fernwärme bzw. Fernwärmeleitung genannt) mit einem Durchmesser von 25 cm, dem eine konstante Oberflächentemperatur von 40°C zugewiesen worden ist.



Schematische Darstellungen der Abbildung des Kreuzungsbereichs der Erdkabel im Cable Earth Modell

- Die Abbildungen 2 und 3 zeigen den Aufbau und die Geometrien inkl. der relevanten Parameter der in der Abb. 1 dargestellten Systemskizze, wie sie in dem 3-D-Modell des Cable Earth Modells abgebildet worden sind (XY-Schnitt und XZ-Schnitt).
- Da bei der 3-D-Modellierung z.T. sehr große Rechenzeiten erforderlich sind, wurden die beiden Symmetrieachsen ausgenutzt (s. Abb. 2 und 3), um die Rechnenzeit zu begrenzen.
- Weitere Angaben zur Modellierung sind den Abb. 2 und 3 zu entnehmen.

Hinweis:
In der Modellgeometrie des Cable Earth Modell (Delphin Modell) werden zur Abbildung von Kabel und Schutzrohren keine Kreisquerschnitte, sondern quadratische Querschnitte verwendet. Deshalb beträgt die Fläche des Leiters in diesem Fall 40 mm x 40 mm = 1600 mm^2.

Abb. 2: Abbildung des Kreuzungsbereichs der Erdkabel im Cable Earth Modell, XY-Schnitt

XY-Schnitt

– das Erdkabel kommt auf einen zu und die Fernwärmekreuzung ist vorne, dahinter ist Sand

- Die erste Zahl entspricht dem Element und die Zweite ist die Länge in mm
- Aluminiumleiter
- Boden mit Wärmeleitfähigkeit = 1,2 W/mK
- Kabelverlust konstant < 20 W/m

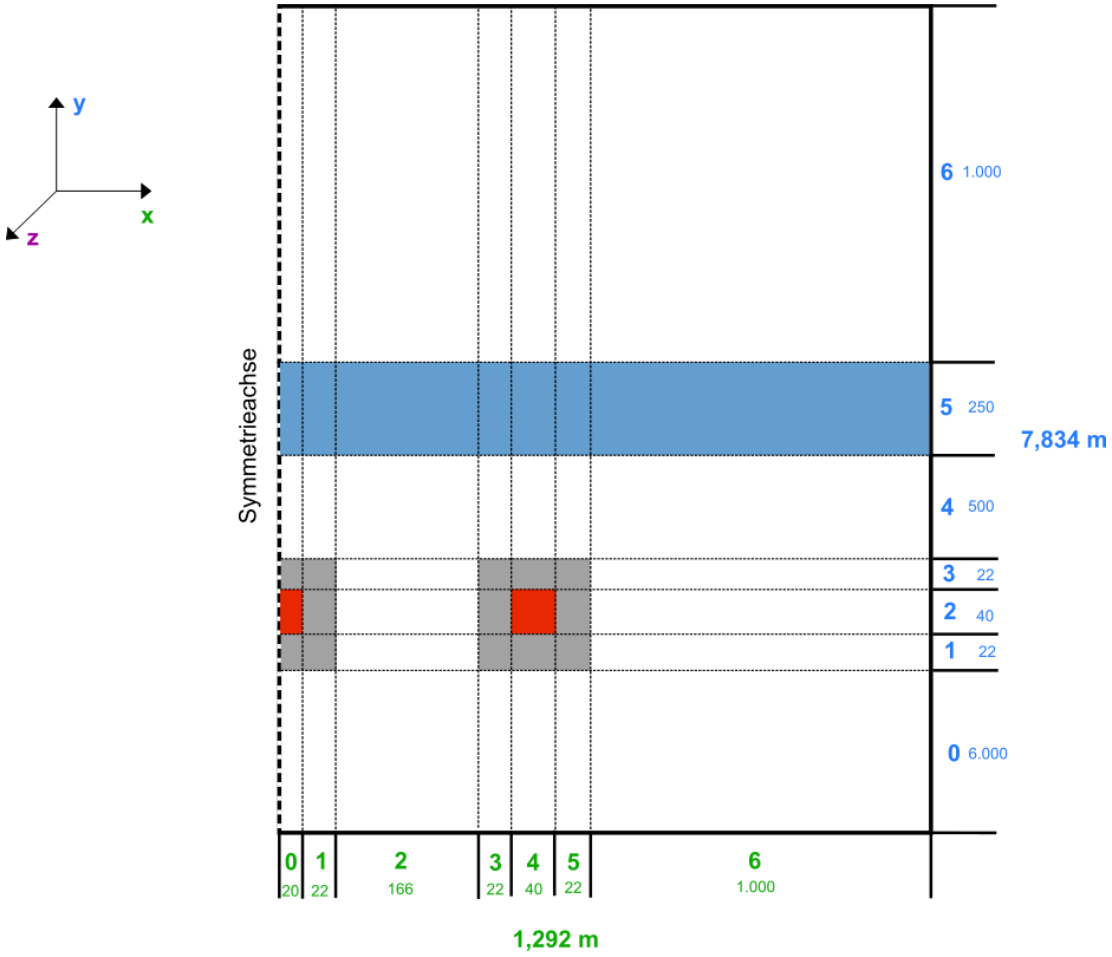
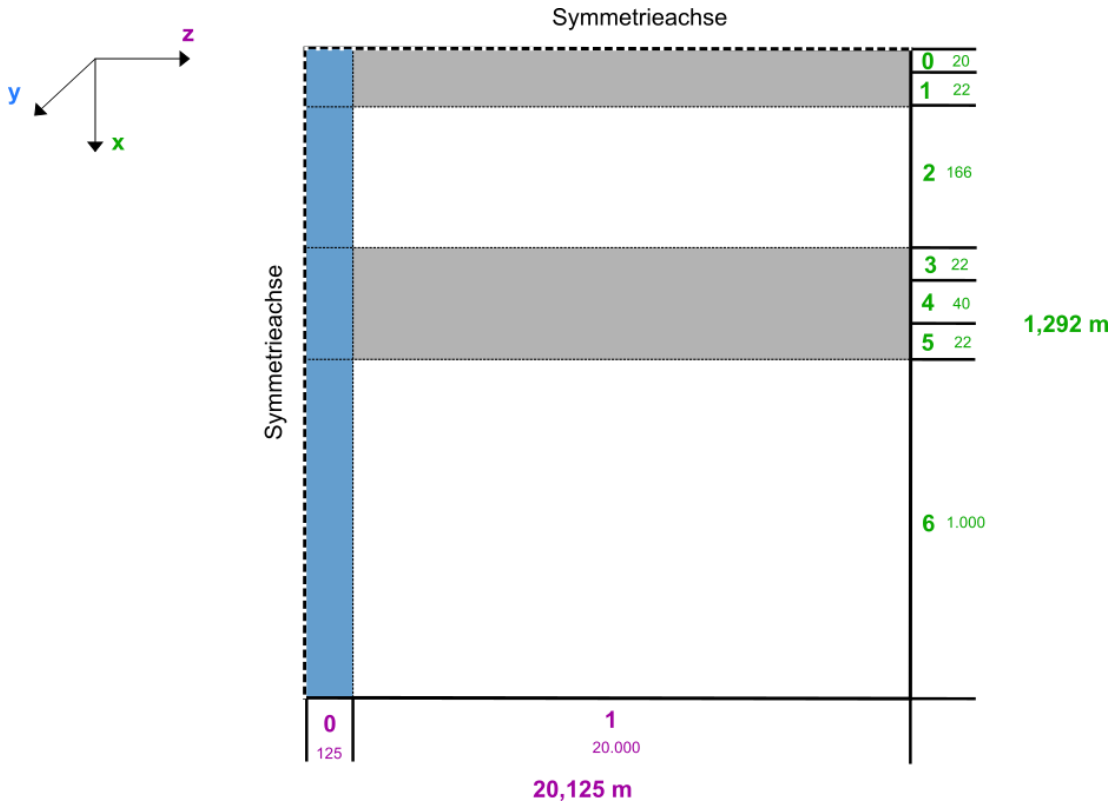


Abb. 3: Abbildung des Kreuzungsbereichs der Erdkabel im Cable Earth Modell, XZ-Schnitt

XZ-Schnitt
– man schaut von oben auf die Kreuzung drauf

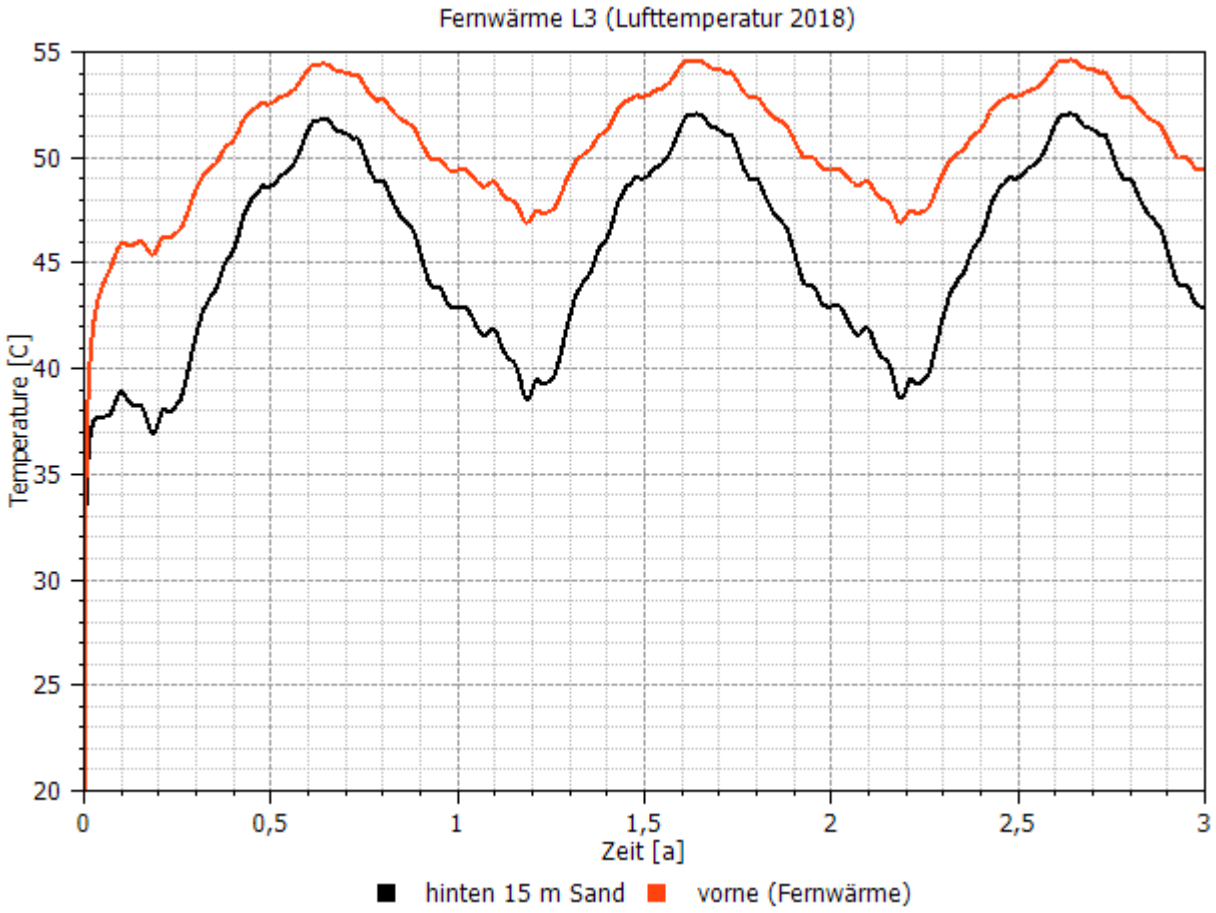


Ergebnisse der 3-D-Modellierung

- In den folgenden Abbildungen 4 und 5 sind die berechneten Leitertemperaturen des rechten Leiters L3 aus der Abb.1 dargestellt.
- Dieser entspricht auch L1 (auf Grund der Symmetrieachse).
- Die Darstellung bezieht sich auf den unmittelbaren Kreuzungsbereich (rote Linie vorn Fernwärme) sowie auf einen Abstand von 15 m (schwarze Linie hinten Sand).

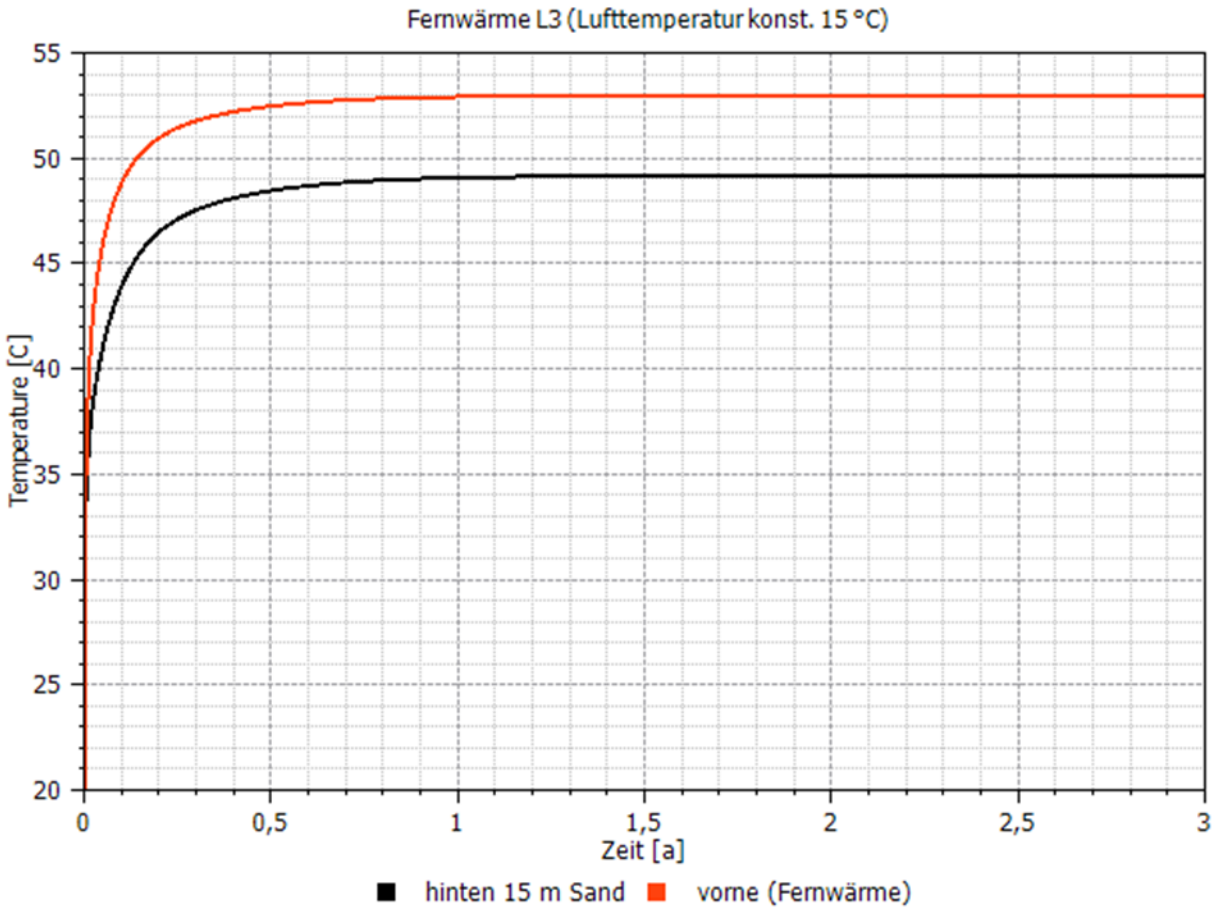
pedo tec

Abb. 4: Berechnete Leitertemperaturen in Abhängigkeit vom Abstand zur Fernwärmeleitung **im Jahresverlauf 2018**



pedo tec

Abb. 5: Berechnete Leitertemperaturen in Abhängigkeit vom Abstand zur Fernwärmeleitung **bei konstanter Lufttemperatur**

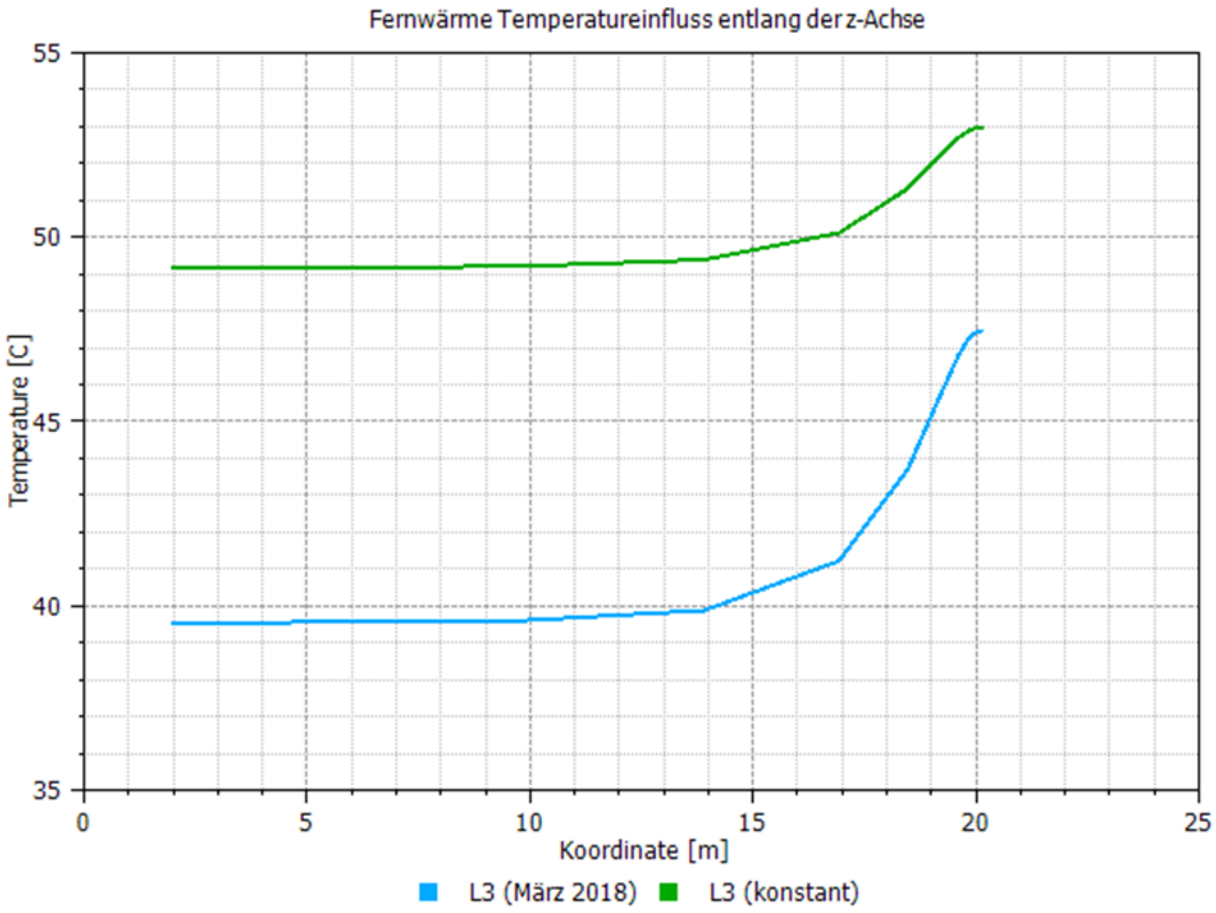


Einfluss der Fernwärmeleitung auf die Leitertemperaturen im März und im August

- Die Bilder 6 und 7 zeigen den Einfluss der Fernwärmeleitung auf die Leitertemperaturen des Leiters L3 entlang der z-Achse im März und im August des Jahres 2018 im Vergleich zu der konstanten Oberflächentemperatur von 15° C.
- Die Kreuzung Fernwärme/Kabel befindet sich bei z = 20 m!
- Im März wurde im unmittelbaren Kreuzungsbereich die höchste Leitertemperatur LT mit etwa 47,5 °C berechnet. Mit zunehmendem Abstand reduziert sich die LT von L3. Im März des Jahres 2018 ist ein steiler Verlauf der „Abkühlung“ vorhanden. Ursache hierfür sind die geringen Temperaturen an der Bodenoberfläche (hoher Temperaturgradient!). Die Abnahme der Leitertemperatur in z-Richtung beträgt in diesem Fall ca. 2°C/m bis zu einem Abstand von der Kreuzung von ca. 3 m; danach ist der Verlauf deutlich flacher (nur noch geringe Abnahme).
- Die Werte für den August und für die konstante Oberflächentemperatur von 15 °C sind den Abb. 6 und 7 zu entnehmen.

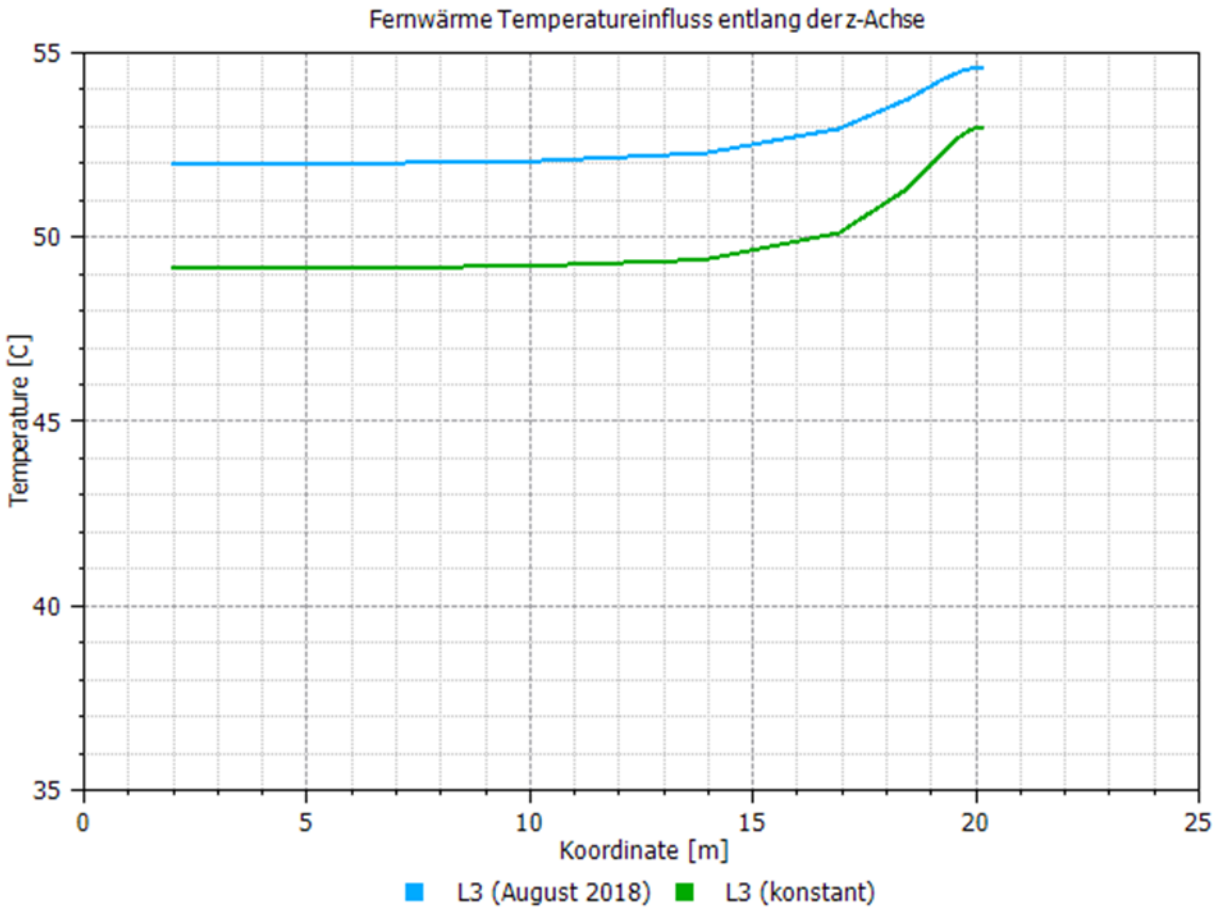
pedo tec

Abb. 6: Leitertemperatur und Einfluss des Abstands zur Fernwärmeleitung **im März 2018**



pedo tec

Abb. 7: Leitertemperatur und Einfluss des Abstands zur Fernwärmeleitung **im August 2018**



Leitertemperaturen im jahreszeitlichen Verlauf 2018 und bei konstanter Oberflächentemperatur

Die Abbildungen 8 und 9 zeigen den jahreszeitlichen Verlauf der Leitertemperaturen des Leiters L3 entlang der z-Achse des Jahres 2018 (mit Bezug zur Lufttemperatur des Jahres 2018) im Vergleich zu der konstanten Oberflächentemperatur von 15°C in dem Bereich direkt unterhalb der Fernwärme bis zu 20 m von der Kreuzung entfernt.

pedo tec

Abb. 8: Leitertemperaturen entlang der z-Achse **im Jahresverlauf 2018**

Jahresgang Lufttemperatur [°C]

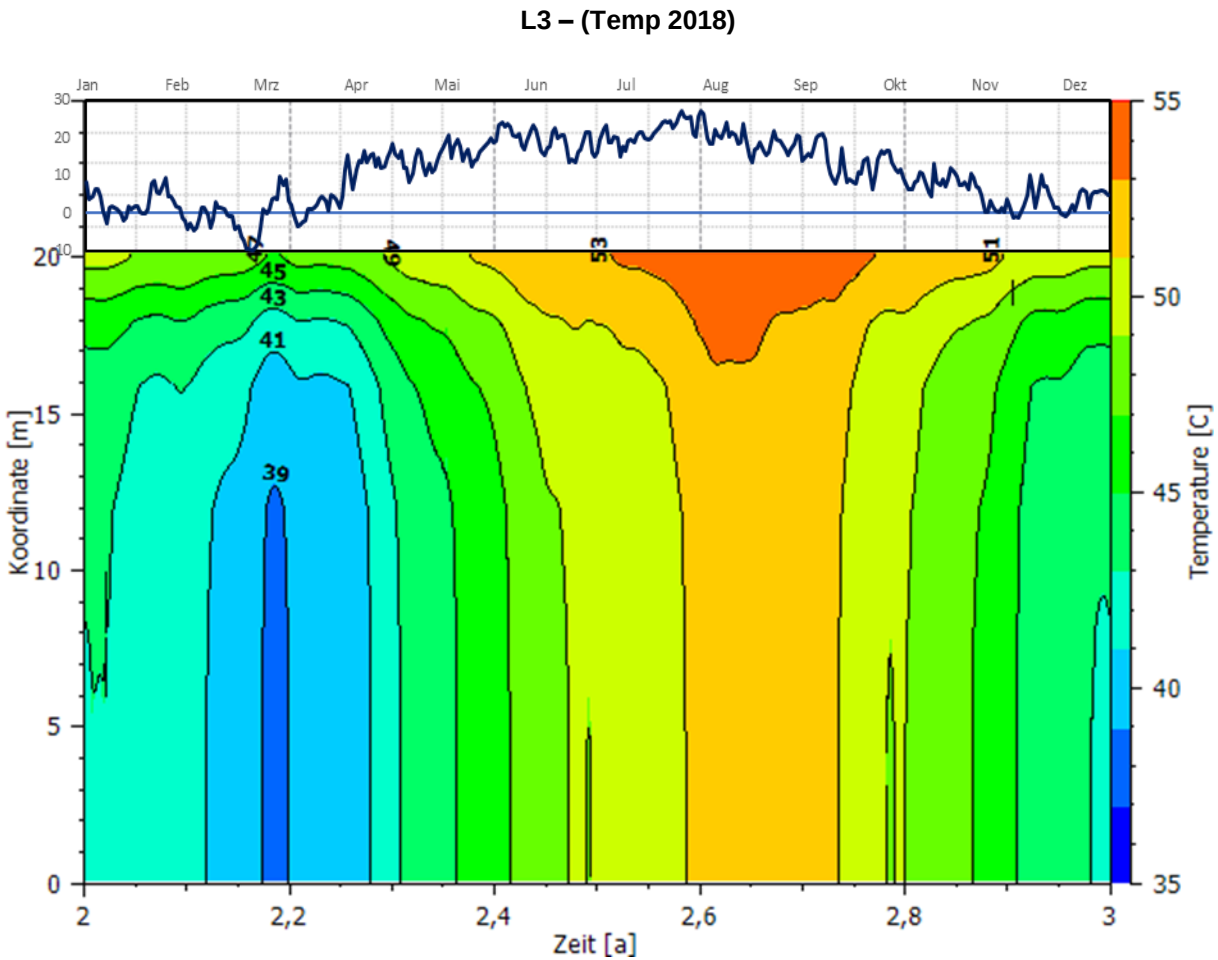
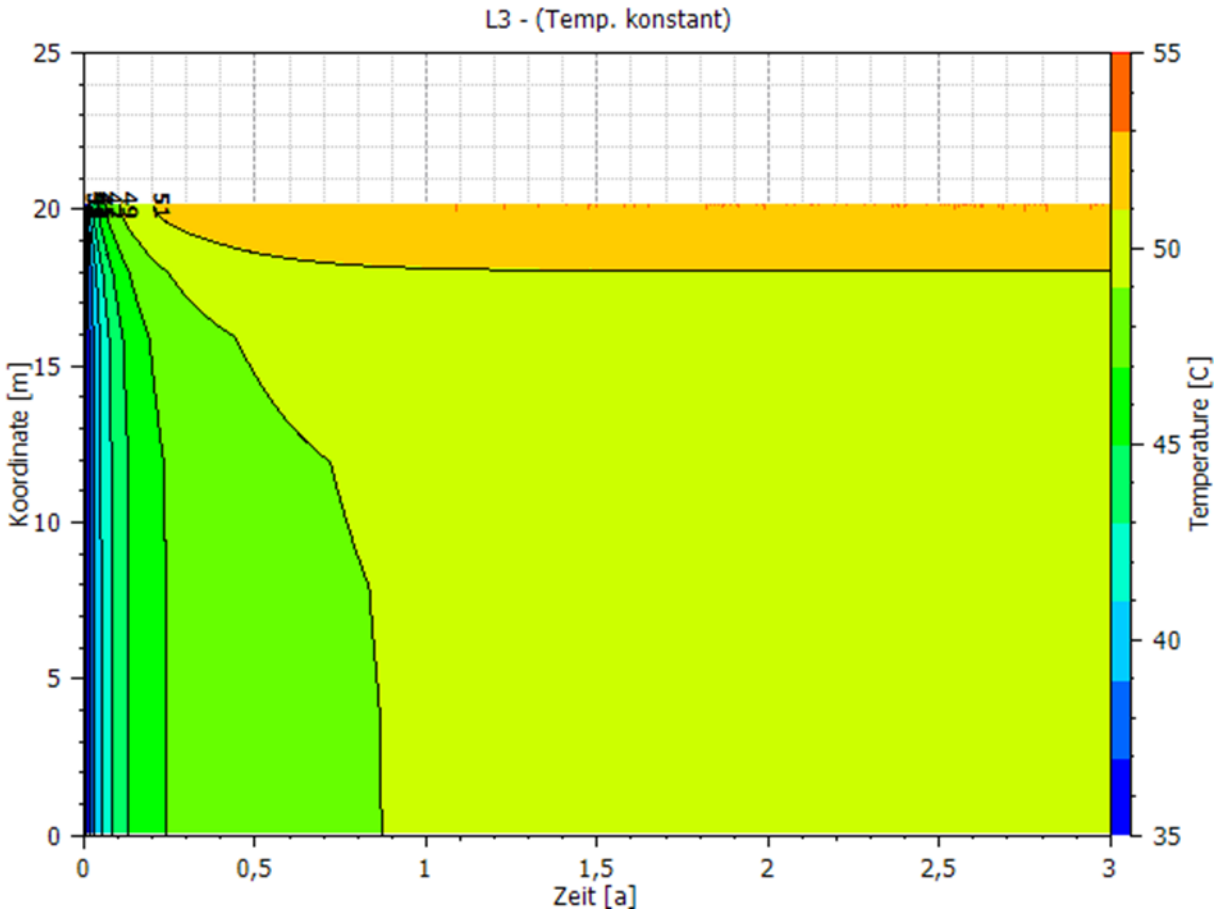


Abb. 9: Leitertemperaturen entlang der z-Achse **bei konstanter Oberflächentemperatur** direkt unterhalb der Fernwärme



Bewertung und Ausblick

- Für das gewählte System (s. Abb. 1) konnte die Beeinflussung der Fernwärme auf die Leitertemperaturen eines 110 kV Kabels mit dem Cable Earth Modell berechnet werden. Es konnte u.a. die Abnahme der Leitertemperauren mit zunehmendem Abstand von der Kreuzung quantifiziert werden.
- Es steht ein Modell zur Verfügung, das z.B. sich kreuzende Kabel (Dauerlast oder volatile Last) oder variierende Bedingungen entlang einer Trasse (z.B. Übergangsbereiche mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten des umgebenden Bodens) berücksichtigen kann.