Gastransportleitung AUGUSTA
der
bayernets GmbH

Antragsunterlagen im Planfeststellungsverfahren
im Regierungsbezirk Schwaben

21.1 Gutachten über den thermischen Einfluss aus dem Betrieb einer Gashochdruckleitung auf die Bodentemperatur

Industrie Service

Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.

Gutachten
über den thermischen Einfluss aus dem Betrieb einer Gashochdruckleitung auf die Bodentemperatur

Datum: 4. Nov. 2022

Unsere Zeichen:
IS-AN11-MUC/So-3416..

Dokument:
Bodenerwärm-22_g.doc

Das Dokument besteht aus
12 Seiten.
Seite 1 von 12

Die auszugsweise Wiedergabe des Dokumentes und die Verwendung zu Werbezwecken bedürfen der schriftlichen Genehmigung der TÜV SÜD Industrie Service GmbH.

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände.

Auftraggeber: bayernets GmbH
Poccistraße 7, 80336 München

Sitz: München
Amtsgericht München HRB 96 869
USt-IdNr. DE129484218
Informationen gemäß § 2 Abs. 1 DL-InfoV
unter www.tuev-sued.de/impressum

Aufsichtsrat:
Reiner Block (Vors.)
Geschäftsführer:
Ferdinand Neuwieser (Sprecher),
Thomas Kainz, Simon Kellerer

Telefon: +49 89 5791-2369
Telefax: +49 89 5791-1775
www.tuev-sued.de/is

TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Abteilung Anlagensicherheit
Bereich Fernleitungen
Westendstraße 199
80686 München
Deutschland

Industrie Service

INHALTSVERZEICHNIS

1. Vorgang und Aufgabenstellung 3

2. Überlassene Unterlagen 3

3. Berechnungen 3

3.1 Parameter und Abkürzungen 3
3.2 Relevante Einflussgrößen 4
3.3 Berechnung der Medientemperatur im Leitungsverlauf 6
3.4 Modell zur Berechnung der Temperatur an Bodenoberfläche 8
3.5 Ergebnisse aus der Abschätzung der Bodentemperatur 9
3.6 Diskussion der Ergebnisse 10

4. Zusammenfassung 11

5. Quellenverzeichnis 12

Industrie Service

1. Vorgang und Aufgabenstellung

Bei den Untersuchungen werden von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

- Fördermedium: Erdgas Gruppe H nach DVGW-Arbeitsblatt G 260
- Nennweite der Rohrleitung: DN 700
- Wanddicke: 13,0 mm
- Maximal zulässiger Betriebsdruck: MOP 100 bar
- Werkstoff: L485ME nach DIN EN ISO 3183 Anhang M (in Verbindung mit DVGW G 463)
- Sicherheitsbeiwert: S = 1,7 (nach DVGW-Arbeitsblatt G 260 und Verweis auf Sicherheitsstudie)
- Rohrüberdeckung: mindestens 1,0 m
-

Die rechnerisch ermittelten Ergebnisse sind in den Tabellen 3.5-1 und 3.5-2 zusammengefasst. Sie wurden außerdem auf Plausibilität hin überprüft und mit Daten des Deutschen Wetterdienstes verglichen.

2. Überlassene Unterlagen

Der Auftraggeber hat zur Bearbeitung folgende Unterlagen und Informationen zur Verfügung gestellt:

– Aufstellung der technischen Daten (Stand: 05. Nov. 2021)
– Telefonische Mitteilung der Wanddicke, 28. Sep. 2022
– relevante Betriebsfälle der AUGUSTA für Temperatur-Berechnungen (Datei: Betriebsfälle_ T-Berechnung-AUGUSTA.xlsx)
– Geotechnisches Streckengutachten zu „WK 51 - .. -AUGUSTA“, Dr. Spang Ingenieurgesellschaft, 18. Mai 2022

3. Berechnungen

3.1 Parameter und Abkürzungen

spezifische Wärmekapazität Erdgas	$c_{p, EG}$
Außendurchmesser der Rohrleitung	D_a
Überdeckung der Leitung	H
Leitungsdruck	p
Wanddicke der Rohrleitung	T
Wärmeübergangskoeffizient Medium – Rohrwand	α_i
Wärmeübergangskoeffizient Boden - Luft	α_a

Industrie Service

Temperatur des Fördermediums (hier Erdgas)	ϑ_i
Temperatur an Bodenoberfläche	ϑ_{Boden}
Umgebungstemperatur	ϑ_U
Wärmeleitfähigkeit des Bodens	λ_{Boden}
Wärmeleitfähigkeit des Rohrleitungswerkstoffs	λ_{Stahl}
Wärmeleitfähigkeit der Rohrumhüllung	$\lambda_{Umhüll}$
Dichte der des Fördermediums (hier Erdgas)	ρ_{EG}

3.2 Relevante Einflussgrößen

Temperatur des Fördermediums

Das Fördermedium besteht aus gasförmigem Erdgas.

Kinematische Viskosität von Erdgas

In die Druckverlust-Betrachtung geht die kinematische Viskosität von Erdgas ein. Da Erdgas zum überwiegenden Teil aus Methan besteht, erfolgt die Berechnung der kinematischen Viskosität für Methan. Auf Grundlage von [01] und mit dem Berechnungsprogramm EFFECTS werden folgende Werte ermittelt:

kinematische Viskosität bei 90 bar und 5 °C: $1{,}69 * 10^{-7}$ [m²/s]

kinematische Viskosität bei 90 bar und 15 °C: $1{,}81 * 10^{-7}$ [m²/s]

Wärmeleitfähigkeit der Rohrwand

Die Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffes der Erdgashochdruckleitung wird mit

$\lambda_{Stahl} = 14 - 57{,}5$ [W/(m*K)]

angesetzt. Dieser Wertebereich gibt das in der Literatur (z. B. [01], [02], [03], [04]) angegebene Spektrum für die in der Technik gebräuchlichsten Stahlsorten wieder und ist somit als repräsentativ zu betrachten.

Industrie Service

Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs/Bodens

Maßgebend für den Wärmefluss von der Rohraußenseite zur Bodenoberfläche ist die Wärmeleitfähigkeit des Bodens (λ_{Boden}). Die Wärmeleitfähigkeit des Bodens wird im Wesentlichen durch seine Dichte und Feuchtigkeit bestimmt.
In der folgenden Tabelle 3.1 sind charakteristische Anhaltswerte für die Wärmeleitfähigkeit für verschiedene Bodentypen nach VDI 4640-1 aufgelistet.

Bodentyp	*Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)]*
Sand, trocken	0,3 – 0,9
Sand, feucht	1,0 – 1,9
Sand, wassergesättigt	2,0 – 3,0
Kies/Steine, trocken	0,4 – 0,9
Kies/Steine, wassergesättigt	1,6 – 2,5
Geschiebemergel/-lehm	1,1 – 2,9
Ton-/Schluffstein	1,1 – 3,4

Tabelle 3.1: Werte für Wärmeleitfähigkeit verschiedener Bodensubstrate (nach VDI 4640-1)

Wärmeleitfähigkeit der Kunststoff-Umhüllung der Pipeline

Die Wärmeleitfähigkeit der Umhüllung wird mit

$\lambda_{Umhüll}$ = 0,15 – 0,35 [W/(m*K)]

angesetzt. Dieser Wertebereich gilt für die gängigsten Kunststoffmaterialien. Die Werte wurden [01] entnommen.

Industrie Service

3.3 Berechnung der Medientemperatur im Leitungsverlauf

Für die in den vordefinierten Betriebsfällen angegebenen Parameter, die in Anhang 1 dieses Gutachtens zusammengestellt sind, wurde der Verlauf der Medientemperatur entlang des Leitungsachse rechnerisch ermittelt. Die Berechnungen erfolgten mit Hilfe der VDI-Richtlinie 2055, Blatt1. In den Berechnungen wurde für die Wärmeleitfähigkeit des Bodens ein Wert von 3 W/(m*K) (feuchter Boden) angenommen.
Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Abbildung 3.3-1 dargestellt.

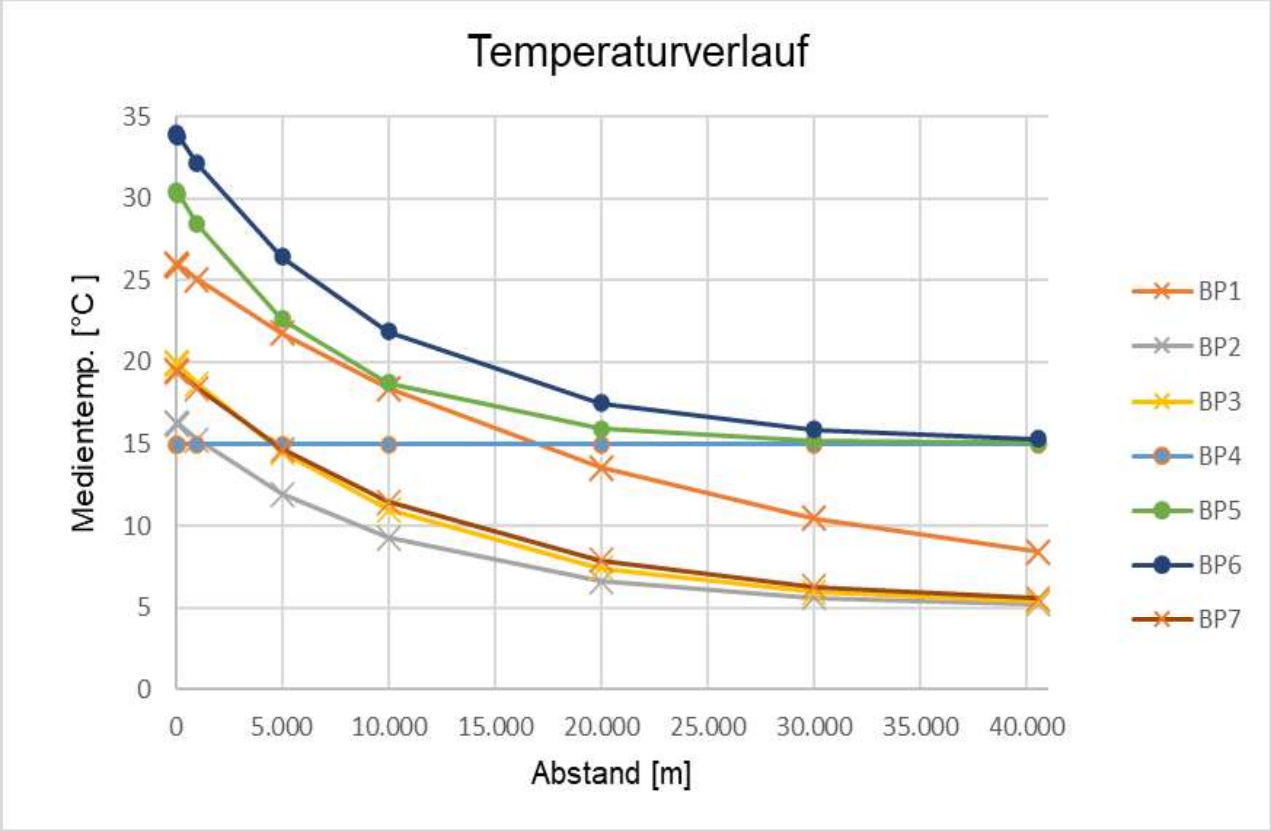

Abbildung 3.3-1: Verlauf der Medientemperatur entlang der Leitung für verschiedene Betriebspunkte

Die geplante Trasse quert eine Reihe von Fließgewässern. Die Rohrleitung verläuft dort in tieferen Bodenschichten. Die relevanten Fließgewässer sind in der Tabelle in Anhang 2 zu diesem Gutachten zusammengestellt.
Durch eine Modifikation des Berechnungsprogramms wurde der mögliche Einfluss dieser Zonen auf den Temperaturverlauf in der Gasleitung berücksichtigt. Dazu wurden die in Anhang 2 aufgeführten Fluss-Querungen in das Modell unter Annahme einer 50 m breiten Einflusszone mit einer umgebenden Bodentemperatur von 7 °C eingepflegt.
Die Berechnungen erfolgten für die Betriebsfälle BP1, BP5 und BP6, da hier davon auszugehen ist, dass in Relation zu kühleren Rohrbettung höhere Medientemperaturen vorliegen.
Die Ergebnisse dieser modifizierten Berechnung sind in Abbildung 3.3-2 dargestellt.

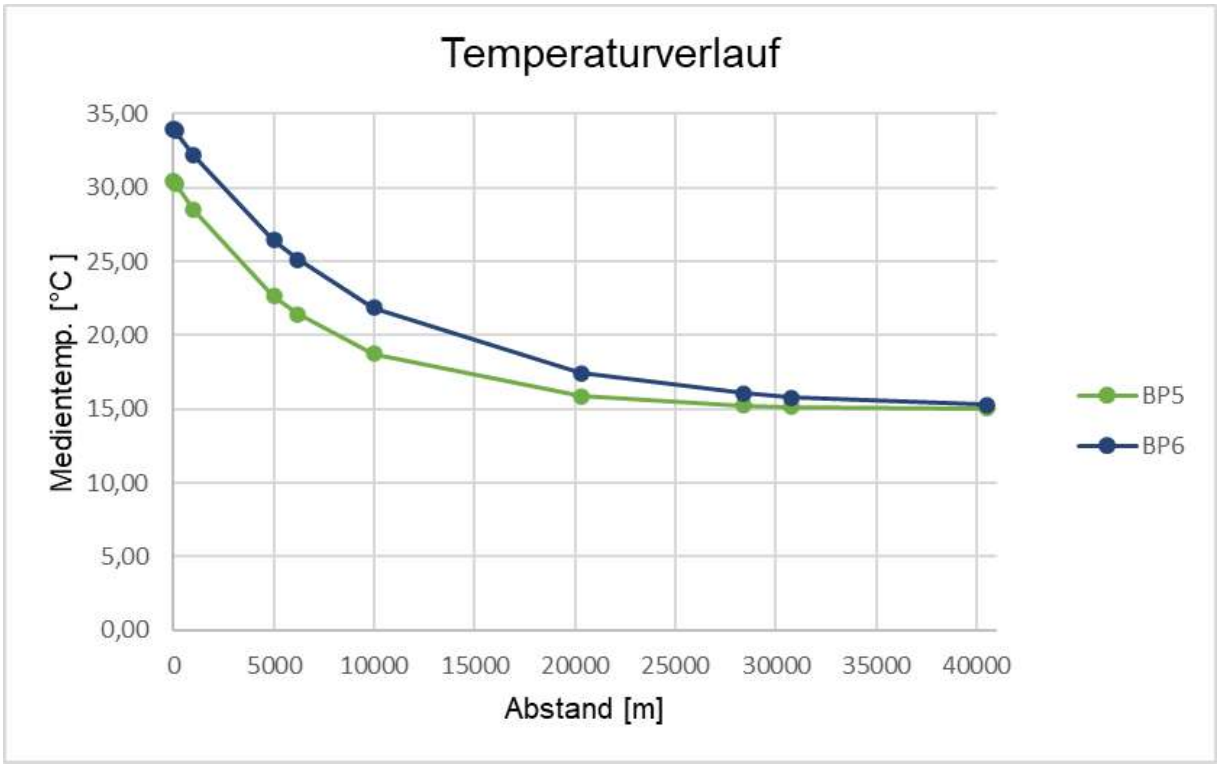

Abbildung 3.3-2: Verlauf der Medientemperatur entlang der Leitung für die Betriebspunkte BP1, BP5 und BP6 unter Berücksichtigung von Fluss-Querungen

Die Berechnungen ergeben einen nur geringen Einfluss der Fluss-Querungen auf die Abkühlung der Erdgas-Temperatur im Leitungsstrom. Bezogen auf Leitungs-km 40,5 ergibt sich für die Betriebsfälle BP5 und BP6 durch die Berücksichtigung der Fluss-Querungen eine Verringerung der Medientemperatur um 0,03 K.

Aufgrund der Fließgeschwindigkeiten sowie der hohen Wärmekapazität von Wasser ist unter den gegebenen Verhältnissen ein reziproker Einfluss des Wärmeinhaltes der Gasleitung auf die Temperatur der Fließgewässer nicht zu erwarten.

Industrie Service

3.4 Modell zur Berechnung der Temperatur an Bodenoberfläche

Für eine konservative Abschätzung der durch die Gashochdruckleitung bedingten Bodenerwärmung an der Bodenoberfläche wurde der Wärmeübergangsmechanismus (WÜG) durch einen Modellansatz mit folgenden Charakteristika abstrahiert:

1. Betrachtung des Wärmeüberganges an einem liegend, achsparallel zur Bodenoberfläche angeordneten, mehrschaligen Zylinder unter stationären (zeitlich unabhängigen) Bedingungen (siehe hierzu auch Abb. 3.1).
2. Beschreibung des WÜG durch die Peclet-Gleichung in Zylinderkoordinaten bei definierter Anfangsbedingung:
   1. Schale: bildet das Pipeline-Stahlrohr
   2. Schale: bildet die auf das Stahlrohr aufgebrachte Umhüllung
   3. Schale: bildet die über der Pipeline befindliche Erdüberdeckung; die Erdüberdeckung entspricht der Dicke der 3. Schale.

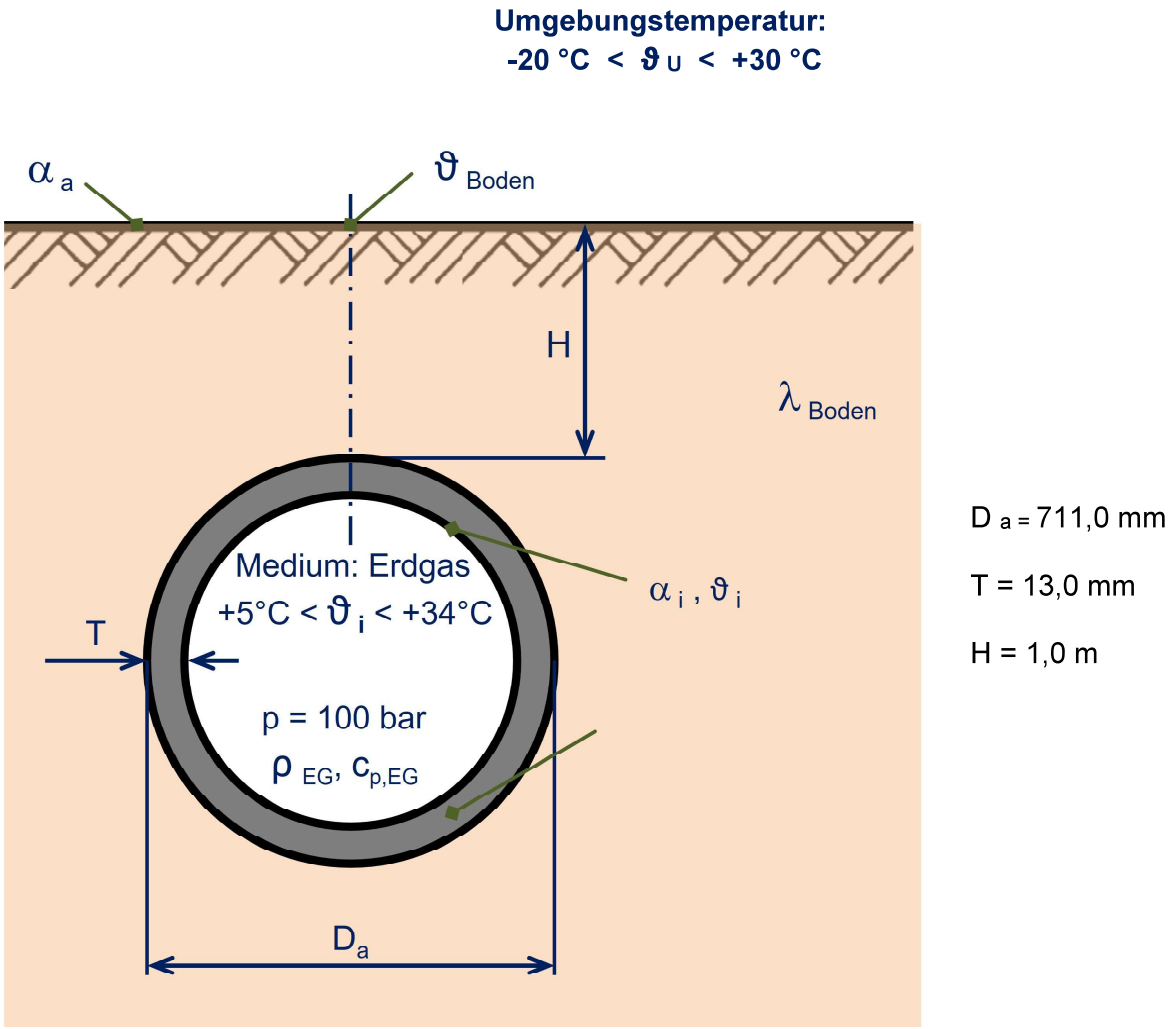

Abbildung 3.4-1: Modell zur Berechnung des Wärmeübergangs und der Bodentemperaturen

Industrie Service

Die maximale Bodenoberflächentemperatur ergibt sich bei dieser Modellierung im Scheitelpunkt der 3. Schale (Normale von der Pipeline-Achse zur Bodenoberfläche hin). Seitwärts des Scheitels ergeben sich niedrigere Temperaturen.

In den weiteren Berechnungen werden die nachfolgend aufgeführten Werte für die Wärmeleitfähigkeiten der einzelnen Schalen zugrunde gelegt. Für die hier vorgesehenen Werkstoffe der Leitungsrohre wird ein Wert von 35 [W/(m*K)] angesetzt. Für die Wärmeleitfähigkeit des Bodens wird ausgehend von Tabelle 3.1 in Verbindung mit den Angaben im Geotechnischen Streckengutachten ein Wert von 2 [W/(m*K)] in Ansatz gebracht.

Stahl $\lambda_{Stahl} = 35$ [W/(m*K)]

Umhüllung $\lambda_{Umhüll} = 0{,}25$ [W/(m*K)]

Boden $\lambda_{Boden} = 2{,}0$ [W/(m*K)]

Die geometrischen Randbedingungen sind in Abschnitt 1 und in Abbildung 3.4-1aufgeführt.

Mit dem oben beschriebenen Modellansatz und den vorgenannten geometrischen und physikalischen Randbedingungen wurde für Erdgastemperaturen von 5 °C, 15 °C, 25 °C und 35 °C in der Pipeline und Umgebungstemperaturen von -20 °C, 0 °C und +20 °C (Lufttemperatur über dem Erdboden) die sich an der Bodenoberfläche langfristig sich einstellenden Temperaturen (stationäre Bedingungen) berechnet. Diese Temperaturen stellen gleichzeitig für die zugrunde gelegten Randbedingungen die Grenzwerte des jeweiligen Temperaturspektrums dar.

3.5 Ergebnisse aus der Abschätzung der Bodentemperatur

Die Bodentemperatur über der Gasleitung ergibt sich durch das Zusammenwirken von Erdgastemperatur und Umgebungstemperatur aus dem Wärmeübertragungsmechanismus.

Mit dem oben beschriebenen Dreischalenmodell wurden die Temperaturen an der Bodenoberfläche im Scheitelpunkt direkt über der erdverlegten Gasleitung abgeschätzt.
Diese Ergebnisse sind in den beiden nachfolgenden Tabellen wiedergegeben.

Medientemperatur ϑ_i	Umgebungstemperatur ϑ_U		
	-20 °C	0 °C	20 °C
5,0 °C	-17,6 °C	0,5 °C	18,6 °C
15,0 °C	-16,7 °C	1,4 °C	19,5 °C
25,0 °C	-15,7 °C	2,4 °C	20,5 °C
35,0 °C	-14,8 °C	3,3 °C	21,4 °C

Tabelle 3.5-1: Temperatur an der Bodenoberfläche (ϑ_{Boden}) bei verschiedenen Umgebungstemperaturen in Abhängigkeit der Medientemperatur

Industrie Service

3.6 Diskussion der Ergebnisse

Die mit dem Dreischalenmodell errechneten maximalen Temperaturen an der Bodenoberfläche gelten für die Linie oberhalb der Rohrleitung (Scheitellinie, vgl. Abbildung 3.4-1). Seitwärts dieser Linie nehmen die Temperaturen ab auf das Niveau der durch die Pipeline unbeeinflussten Bodenoberflächentemperaturen. Ausgehend von den im Rahmen des „Freiburger Experiments“ [06] vorgenommenen Untersuchungen, die hinsichtlich der Auswirkungen von Wärmeemission von Höchstspannungserdkabeln durchgeführt wurden, kann eine relevante seitliche Ausdehnung mit 1 m bis 1,5 m angenommen werden.

Aus den Berechnungen geht, die exemplarisch in Tabelle 3.5-1 dargestellt sind, hervor, dass der thermische Einfluss auf die Bodenoberflächentemperaturen mit zunehmender Erdgas-Temperatur zunimmt. So ergeben sich für den hier untersuchten Grenzfall (Medientemperatur von 35 °C und einer Umgebungstemperatur von -20 °C) eine Bodenerwärmung um etwa 5 K direkt über der Rohrleitung. Für den Betriebsfall mit einer Medientemperatur von 5 °C und einer Umgebungstemperatur von 0 °C ist die analog errechnete Bodenerwärmung unter 1 K.

Die Berechnungen unterstellen stationäre Wetter- und Betriebsbedingungen. Temperaturänderungen, wie sie beim Dispatching in der Gasversorgung anzunehmen sind, bleiben in konservativer Weise unberücksichtigt.

Wie aus Messungen der Bodentemperatur über den Jahresverlauf für unterschiedliche Bodentiefen, die exemplarisch in Abbildung 3.6-1 dargestellt sind, abgeleitet werden kann, ergibt sich der wesentliche Einfluss auf die Bodentemperatur aufgrund vom Wärmeaustausch mit der Atmosphäre. Die thermischen Effekte aus dem Leitungsbetreib sind dagegen geringfügiger und lokal begrenzt. Analoge Ergebnisse wurden auch durch im Rahmen des „Freiburger Experiments“ gewonnen.

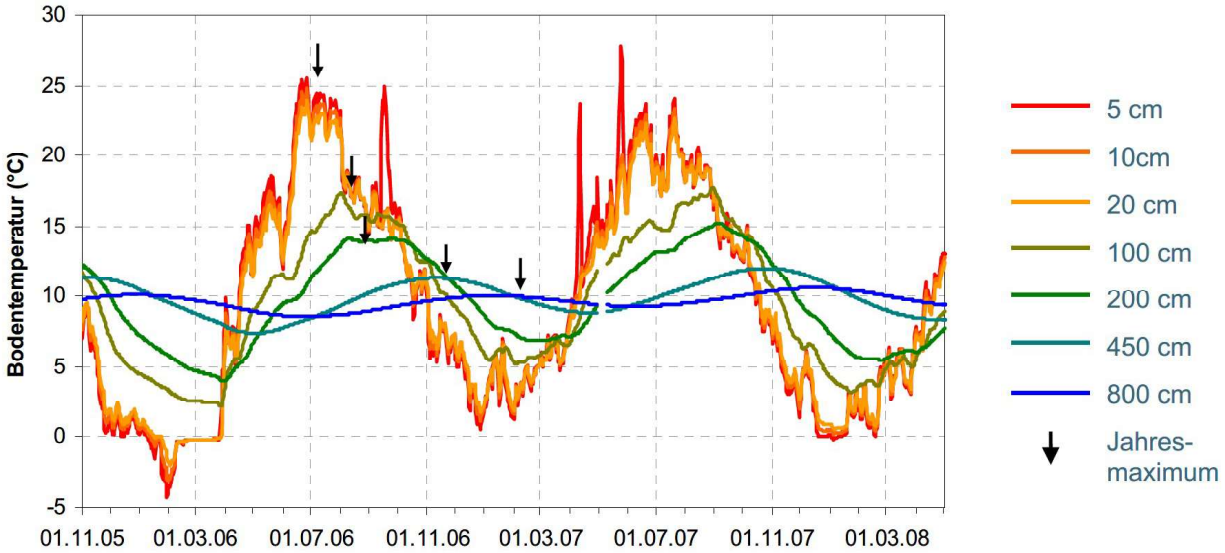

Abbildung 3.6-1: Zeitliche Entwicklung der Bodentemperatur im Messgebiet Donau / Gäuboden (entnommen [05])

Industrie Service

4. Zusammenfassung

Gegenstand dieser Studie ist die Abschätzung der Veränderung der Medientemperatur entlang des Verlaufes der AUGUSTA Erdgasleitung aufgrund der Wärmeübertragung mit der umgebenden Bodenschichten.

Ferner wurde die Auswirkungen thermischer Effekte auf die Bodenoberfläche, die aus dem Betrieb der AUGUSTA Erdgasleitung entstehen können untersucht und diskutiert. Hierzu wurde für die unter Abschnitt 1 dieser Studie genannten Randbedingungen ein thermodynamisches Modell entwickelt, womit die Bodentemperaturen unter konservativen Annahmen berechnet werden konnten.

Unter Berücksichtigung der konservativen Modellannahmen, der begrenzten räumlichen Ausdehnung der wärmebeeinflussten Zonen sowie dem maßgeblichen Einfluss der atmosphärischen Zustandsbedingungen kann somit die beim Betrieb der AUGUSTA Erdgasleitung zu erwartende Erwärmung des Bodens als geringfügig eingestuft werden.

Abteilung Anlagensicherheit
Bereich Fernleitungen
Sachverständiger

Wolfram Sollinger

Industrie Service

5. Quellenverzeichnis

[01] U. Grigull; H. Sandner: Wärmeleitung; Springer-Verlag, Berlin; 1986

[02] ThyssenKrupp Materials International GmbH: Werkstoffdatenblatt P215NL1/2, Stand 02/2012

[03] ThyssenKrupp Materials International GmbH: Werkstoffdatenblatt X52_L360xx, Stand 07/2011

[04] VDI Richtlinie VDI 4640-1 Blatt 1:2010-06 Thermische Nutzung des Untergrunds – Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte

[05] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Wasser in Bayern, Gewässerkundlicher Jahresbericht für Bayern 2007

[06] P. Trüby: Auswirkungen der Wärmeemission von Höchstspannungserdkabeln auf den Boden und auf landwirtschaftliche Kulturen; Freiburg; 2020