

	<p align="center">SuedOstLink - BBPIG Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a –</p>	
	<p align="center">Abschnitt D2 Nittenau bis Pfatter</p> <p align="center">Unterlagen gemäß § 21 NABEG</p>	<p>Das Vorhaben Nr. 5 im SuedOstLink ist von der Europäischen Union gefördert; sie haftet nicht für die Inhalte.</p>  <p>Kofinanziert von der Fazilität „Connecting Europe“ der Europäischen Union</p>
<p align="center">Teil E4.1 Wärmeimmissionsgutachten</p>		

00	29.06.2023	Unterlage gemäß § 21 NABEG	ARGE U S. Beck-Broichsitter	ARGE U F. Wuttke	TenneT M. Schafhirt
Rev.	Datum	Ausgabe	Erstellt	Geprüft	Freigegeben

Festgestellt nach §24 NABEG
Bonn, den

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	2	
TABELLENVERZEICHNIS	5	
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	7	
ANLAGENVERZEICHNIS	16	
1	EINLEITUNG	17
1.1	SuedOstLink	17
1.2	Inhalt und Zweck des Dokuments	17
1.3	Allgemeinverständliche Zusammenfassung	18
1.3.1	Aufgabenstellung	18
1.3.2	Fragestellungen	18
1.3.3	Lösungsansatz	18
1.3.3.1	Allgemeines	18
1.3.3.2	Physikalische Prozesse im Boden	18
1.3.3.3	Umwelteinwirkungen	19
1.3.4	Ergebnisse	20
2	DATENGRUNDLAGEN UND INFORMATIONEN ZU DEN LEITPROFILIEN, TRASSENABSCHNITT UND KABELN	22
2.1	Allgemeine Daten für den SOL Abschnitt D2	22
2.1.1	Einführung	22
2.1.2	Definition des Punktrasters zu den abgespeicherten 1D Simulationsinformationen	22
2.1.3	Vernetzung	23
2.1.4	Bettungsmaterial	23
2.1.5	Daten für die zu betrachtende Verlustleistung	23
2.1.6	Initial- und Randbedingungen für die numerische Simulation	24
2.1.7	Physikalische Modelle in der Simulation	24
2.1.7.1	Modellrandbedingungen in der Simulation	25
2.1.7.2	Standortspezifische Wetterdaten für die Leitprofile	25
2.2	Ausgewählte Leitprofile im Abschnitt D2 des SuedOstLinks	25
2.2.1	Leitprofil S0128	26
2.2.1.1	Lage des Leitprofils S0128	26
2.2.1.2	Horizontbeschreibung und Kennwerte des Leitprofils S0128	27
2.2.1.3	Standortspezifische Eingangswerte und Varianzen des Leitprofils S0128	28
2.2.2	Leitprofil B0204	31
2.2.2.1	Lage des Leitprofils B0204	31
2.2.2.2	Horizontbeschreibung und Kennwerte des Leitprofils B0204	32
2.2.2.3	Standortspezifische Eingangswerte und Varianzen des Leitprofils B0204	33

3	ERGEBNISSE DER NUMERISCHEN SIMULATION DER LEITPROFILE IM ABSCHNITT D2	37
3.1	Leitprofil S0128 – Simulationen mit Kabelschutzrohr	37
3.1.1	Standort ohne Kabelbetrieb (Referenzwert im Ausgangszustand) für Mais	37
3.1.2	Ergebnisse unter Kabelbetrieb für Mais	37
3.1.2.1	Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem)	37
3.1.2.2	Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme)	43
3.1.3	Standort ohne Kabelbetrieb (Referenzwert im Ausgangszustand) für Grünland	47
3.1.4	Ergebnisse unter Kabelbetrieb für Grünland	48
3.1.4.1	Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem)	48
3.1.4.2	Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme)	54
3.1.5	Standort ohne Kabelbetrieb (Referenzwert im Ausgangszustand) für Winterweizen	59
3.1.6	Ergebnisse unter Kabelbetrieb für Winterweizen	60
3.1.6.1	Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem)	60
3.1.6.2	Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme)	66
3.2	Leitprofil B0204 – Simulationen mit Kabelschutzrohr	71
3.2.1	Standort ohne Kabelbetrieb (Referenzwert im Ausgangszustand) für Mais	71
3.2.2	Ergebnisse unter Kabelbetrieb für Mais	72
3.2.2.1	Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem)	72
3.2.2.2	Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme)	78
3.2.3	ohne Kabelbetrieb (Referenzwert im Ausgangszustand) für Grünland	83
3.2.4	Ergebnisse unter Kabelbetrieb für Grünland	84
3.2.4.1	Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem)	84
3.2.4.2	Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme)	89
3.2.5	Standort ohne Kabelbetrieb (Referenzwert im Ausgangszustand) für Winterweizen	95
3.2.6	Ergebnisse unter Kabelbetrieb für Winterweizen	95
3.2.6.1	Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem)	95
3.2.6.2	Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme)	101
4	VERGLEICHENDE BETRACHTUNG	107
4.1	Leitprofil S0128	107
4.2	Leitprofil B0204	107
4.3	Saisonale Veränderungen der Bodentemperaturen für das NEP-Szenario 85 %	108

4.4	Varianzanalyse unter Berücksichtigung der minimalen und maximalen Wärmeleitfähigkeiten	110
4.4.1	Leitprofil S0128	111
4.4.2	Leitprofil B0204	112
5	GUTACHTERLICHE WERTUNG DER ERGEBNISSE	114
5.1	Jahreszeitlich und lastbedingte Schwankungen der Temperatur- und Sättigungsdifferenzen für die Leitprofile S0128 und B0204	114
5.2	Einfluss auf Vegetation und Bodenwasserhaushalt	115
5.2.1	Auswirkungen des Kabelbetriebs auf die Makrofauna im Boden	116
5.3	Unsicherheiten	116
6	LITERATURVERZEICHNIS	117
7	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	118
8	SYMBOLVERZEICHNIS	119

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Empirisch bestimmte Inputparameter gemäß VAN GENUCHTEN (1980) für das Leitprofil S0128 (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	29
Tabelle 2:	Empirisch bestimmte Inputparameter gemäß VAN GENUCHTEN (1980) für das Leitprofil B0204 (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	34
Tabelle 3:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	39
Tabelle 4:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	39
Tabelle 5:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	44
Tabelle 6:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	44
Tabelle 7:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	50
Tabelle 8:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	50
Tabelle 9:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	55
Tabelle 10:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	56
Tabelle 11:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	62
Tabelle 12:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	62
Tabelle 13:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	67
Tabelle 14:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	68
Tabelle 15:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	74
Tabelle 16:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	74
Tabelle 17:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	79
Tabelle 18:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	80

Tabelle 19:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	85
Tabelle 20:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	86
Tabelle 21:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	91
Tabelle 22:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	91
Tabelle 23:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	97
Tabelle 24:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	97
Tabelle 25:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	102
Tabelle 26:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.	103
Tabelle 27:	Mittlere Temperaturdifferenzen ΔT [K] und Sättigungsdifferenzen ΔS [%] für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem) sowie Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme) für 68 % NEP und 85 % NEP und die Vegetationsformen Grünland, Mais und Winterweizen in 130 cm, 60 cm und 30 cm Tiefe sowie an der GOK für den vertikalen Abtastpunkt bei + 4 m (Nr. 5) bzw. – 4 m (Nr. 5 und Nr. 5a).	107
Tabelle 28:	Mittlere Temperaturdifferenzen ΔT [K] und Sättigungsdifferenzen ΔS [%] für das Vorhaben NR. 5 (1 Kabelsystem) sowie NR. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme) für 68 % NEP und 85 % NEP und die Vegetationsformen Grünland, Mais und Winterweizen in 130 cm, 60 cm und 30 cm Tiefe sowie an der GOK für den vertikalen Abtastpunkt bei + 4 m (Nr. 5) bzw. – 4 m (Nr. 5 und Nr. 5a).	108
Tabelle 29:	Standardabweichungen der Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a, 68 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3).	111
Tabelle 30:	Standardabweichungen der Temperaturdifferenzen ΔT [K] für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a, 85 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3).	112
Tabelle 31:	Standardabweichungen der Temperaturdifferenzen ΔT [K] für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a, 68 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3).	112
Tabelle 32:	Standardabweichungen der Temperaturdifferenzen ΔT [K] für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a, 85 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3).	113

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Boden als 3-Phasen-Modell.	19
Abbildung 2:	Umwelteinwirkungen (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	20
Abbildung 3:	Schematische Darstellung der abgetasteten 1D Punkte (Temperatur und Sättigung) für Gleichstrom für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem, oben) sowie das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme, unten) (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	22
Abbildung 4:	Veränderung der Tagesmitteltemperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlagshöhe und Windgeschwindigkeit der DWD-Station Regensburg im Zeitraum 2009-2018. (Quelle: DWD, GeoAnalysis-Engineering GmbH).	25
Abbildung 5:	Lage der Leitprofile im Verlauf des Trassenkorridors SOL D2.	26
Abbildung 6:	Lage des repräsentativen Leitprofils S0128 ergänzt durch die Hauptbodentypen der Bodenübersichtskarte (BÜK 200).	27
Abbildung 7:	Bodenkundliche Aufnahme des Leitprofils S0128 nach Bodenkundlicher Kartieranleitung KA 5 (Ad-Hoc AG BODEN 2005), Bodentiefe in cm (Quelle: HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH).	28
Abbildung 8:	Standortspezifische Eingangswerte des Leitprofils S0128:	31
Abbildung 9:	Lage des repräsentativen Leitprofils B0204 ergänzt durch die Hauptbodentypen der Bodenübersichtskarte (BÜK 200).	32
Abbildung 10:	Profilaufnahme des Leitprofils B0204 gemäß Bodenkundlicher Kartieranleitung KA 5 (Ad-Hoc AG BODEN 2005), Bodentiefe in cm (Quelle: HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH).	33
Abbildung 11:	Standortspezifische Eingangswerte des Leitprofils B0204:	36
Abbildung 12:	Referenzwerte für Sättigung S [-] und Temperatur T [°C] in 5 m, 2,5 m, 1,68 m und 1,58 m (links oben/unten) sowie 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben/unten) von Mais im Zeitraum von 10 Jahren für das Leitprofil S0128 (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	37
Abbildung 13:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	38
Abbildung 14:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	38
Abbildung 15:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	40
Abbildung 16:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	40
Abbildung 17:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais nach 10 Jahren.	41
Abbildung 18:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais nach 10 Jahren.	41
Abbildung 19:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	42

Abbildung 20:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	42
Abbildung 21:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	43
Abbildung 22:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	43
Abbildung 23:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	45
Abbildung 24:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	45
Abbildung 25:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais nach 10 Jahren.	46
Abbildung 26:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais nach 10 Jahren.	46
Abbildung 27:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	47
Abbildung 28:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie sowie die 5K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	47
Abbildung 29:	Referenzwerte für Sättigung S [-] und Temperatur T [°C] in 5 m, 2,5 m, 1,68 m und 1,58 m (links oben/unten) sowie 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben/unten) von Grünland im Zeitraum von 10 Jahren für das Leitprofil S0128 (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	48
Abbildung 30:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	49
Abbildung 31:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	49
Abbildung 32:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	51

Abbildung 33:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	51
Abbildung 34:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland nach 10 Jahren.	52
Abbildung 35:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland nach 10 Jahren.	52
Abbildung 36:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	53
Abbildung 37:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	53
Abbildung 38:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	54
Abbildung 39:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	55
Abbildung 40:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	56
Abbildung 41:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	57
Abbildung 42:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland nach 10 Jahren.	57
Abbildung 43:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland nach 10 Jahren.	58
Abbildung 44:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	58
Abbildung 45:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie sowie die 5K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	59
Abbildung 46:	Referenzwerte für Sättigung S [-] und Temperatur T [°C] in 5 m, 2,5 m, 1,68 m und 1,58 m (links oben/unten) sowie 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben/unten) von Winterweizen im Zeitraum von 10 Jahren für das Leitprofil S0128 BK (VT) (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	60
Abbildung 47:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm,	

	10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	61
Abbildung 48:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	61
Abbildung 49:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	63
Abbildung 50:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	63
Abbildung 51:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren.	64
Abbildung 52:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren.	64
Abbildung 53:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	65
Abbildung 54:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	65
Abbildung 55:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	66
Abbildung 56:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	67
Abbildung 57:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	68
Abbildung 58:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	69
Abbildung 59:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren.	69
Abbildung 60:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren.	70

Abbildung 61:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	70
Abbildung 62:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie sowie die 5K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	71
Abbildung 63:	Referenzwerte für Sättigung S [-] und Temperatur T [°C] in 5 m, 2,5 m, 1,68 m und 1,58 m (links oben/unten) sowie 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben/unten) von Mais im Zeitraum von 10 Jahren für das Leitprofil B0204 BK (VT) (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	72
Abbildung 64:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	73
Abbildung 65:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	73
Abbildung 66:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	75
Abbildung 67:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	75
Abbildung 68:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais nach 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH). Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	76
Abbildung 69:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais nach 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH). Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	76
Abbildung 70:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	77
Abbildung 71:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	77
Abbildung 72:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	78
Abbildung 73:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	79

Abbildung 74:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	80
Abbildung 75:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	81
Abbildung 76:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	81
Abbildung 77:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	82
Abbildung 78:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH). Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	82
Abbildung 79:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie sowie die 5K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	83
Abbildung 80:	Referenzwerte für Sättigung S [-] und Temperatur T [°C] in 5 m, 2,5 m, 1,68 m und 1,58 m (links oben/unten) sowie 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben/unten) von Grünland im Zeitraum von 10 Jahren für das Leitprofil B0204 BK (VT) (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	83
Abbildung 81:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	84
Abbildung 82:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	85
Abbildung 83:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	86
Abbildung 84:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	87
Abbildung 85:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	87
Abbildung 86:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	88

Abbildung 87:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH). Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	88
Abbildung 88:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH). Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	89
Abbildung 89:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	90
Abbildung 90:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH). In den Abbildungen des Mittelwertes über die Tiefe und die zeitabhängigen Darstellungen können leichte Unterschiede infolge der Mittelung über das betrachtete Jahr aufweisen.	90
Abbildung 91:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	92
Abbildung 92:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	92
Abbildung 93:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	93
Abbildung 94:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	93
Abbildung 95:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	94
Abbildung 96:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie sowie die 5K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	94
Abbildung 97:	Referenzwerte für Sättigung S [-] und Temperatur T [°C] in 5 m, 2,5 m, 1,68 m und 1,58 m (links oben/unten) sowie 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben/unten) von Winterweizen im Zeitraum von 10 Jahren für das Leitprofil B0204 BK (VT) (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	95
Abbildung 98:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	96
Abbildung 99:	Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm,	

	10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	96
Abbildung 100:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	98
Abbildung 101:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	98
Abbildung 102:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	99
Abbildung 103:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	99
Abbildung 104:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	100
Abbildung 105:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	100
Abbildung 106:	Temperaturdifferenzen ΔT [°C] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	101
Abbildung 107:	Temperaturdifferenzen ΔT [°C] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	102
Abbildung 108:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,84 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,3 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	103
Abbildung 109:	Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,84 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,3 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	104
Abbildung 110:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	104
Abbildung 111:	2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	105
Abbildung 112:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem	

	Grundwasserspiegel. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	105
Abbildung 113:	2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	106
Abbildung 114:	2D-Temperaturfeld T [°C] (Kabellast/Referenz) für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme), 85 % NEP sowie Mais für den Monat März für das Leitprofil S0128 (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	109
Abbildung 115:	2D-Temperaturfeld T [°C] (Kabellast/Referenz) für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme), 85 % NEP sowie Mais für den Monat September für das Leitprofil S0128 (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).	109
Abbildung 116:	2D-Temperaturfeld T [°C] (Kabellast/Referenz) für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme), 85 % NEP sowie Mais für den Monat März für das Leitprofil B0204 (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH). Die Grundwassertiefe von 3,0 m ist entsprechend gekennzeichnet. 2D-Temperaturfeld T [°C] (Kabellast/Referenz) für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme), 85 % NEP sowie Mais für den Monat März für das Leitprofil B0204 (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH). Die Grundwassertiefe von 3,0 m ist entsprechend gekennzeichnet.	110
Abbildung 117:	2D-Temperaturfeld T [°C] (Kabellast/Referenz) für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme), 85 % NEP sowie Mais für den Monat September für das Leitprofil B0204 (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH). Die Grundwassertiefe von 3,0 m ist entsprechend gekennzeichnet.	110

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage E4.1.1	Wärmetransportberechnung
Teil E4.2	Bodenkundliche Bewertung
Teil E4.3	Ertragsberechnungen

1 Einleitung

1.1 SuedOstLink

Der SuedOstLink ist ein Netzausbauprojekt des Stromübertragungsnetzes. Es besteht aus den Vorhaben Nr. 5 sowie dem Vorhaben Nr. 5a gemäß Bundesbedarfsplangesetz (BBPIG). Beide Vorhaben sind Leitungen zur Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung und werden mit einem Erdkabelvorrang geplant.

Das Vorhaben Nr. 5 verläuft von Wolmirstedt bei Magdeburg in Sachsen-Anhalt bis Isar in Bayern. Das Vorhaben Nr. 5a ist eine Verbindung von Klein Rogahn über Stralendorf, Warsaw, Holthusen und Schossin bis Isar in Bayern. Vom Landkreis Börde bis Isar erfolgt in räumlicher Nähe eine gemeinsame Verlegung beider Vorhaben.

Der SuedOstLink besteht aus den Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (südlicher Teil) BBPI, für die jeweils eigene Anträge auf Planfeststellungsbeschluss gemäß § 19 Netzausbaubeschleunigungsgesetz (NABEG) gestellt wurden. Die Vorhabenträger haben gemäß § 26 Satz 2 NABEG eine einheitliche Entscheidung in den Planfeststellungsverfahren gemäß § 24 NABEG für die Abschnitte der beiden genannten Vorhaben zwischen dem Landkreis Börde und Isar beantragt. Die vorliegenden Unterlagen umfassen daher die Vorhaben Nr. 5 sowie Nr. 5a. Für den nördlichen Bereich des Vorhabens Nr. 5a erfolgt ein eigenes Bundesfachplanungs- und Planfeststellungsverfahren. Der südliche Bereich des SuedOstLinks Landkreis Börde bis Isar umfasst neun Planfeststellungsabschnitte.

Das Vorhaben Nr. 5 beinhaltet die Herstellung einer Kabelanlage mit einem Kabelsystem, bestehend aus zwei Erdkabeln mit einer Leistung von 2 Gigawatt (GW) und Nebenanlagen sowie einer zusätzlichen für den Betrieb notwendigen Anlage, der Konverterstation. Nebenanlagen sind die Kabelabschnittsstationen (KAS), Kabelübergangsstationen (KÜS) und die Kabelmonitoringstationen (KMS) sowie Oberflurschränke. Die Verlegung der Gleichspannungskabel erfolgt in Kabelschutzrohren (KSR). In Abschnitt A1 erfolgt in geringem Umfang auch eine Umsetzung als Freileitung mit den zugehörigen Anlagenteilen wie z. B. Freileitungsmasten.

Im Rahmen des Vorhabens Nr. 5a erfolgt zur Erweiterung der Übertragungsleistung um weitere 2 GW (insgesamt 4 GW) die Verlegung einer zusätzlichen Kabelanlage mit einem Kabelsystem. Sie besteht ebenfalls aus zwei Erdkabeln, verlegt in Kabelschutzrohren, sowie der erforderlichen Konverterstation und den bereits beschriebenen Nebenanlagen. Im Bereich vom Landkreis Börde bis Isar, in dem in räumlicher Nähe verlegt wird, erfolgt ein gemeinsamer Tiefbau und zeitnahe Kabelzug.

Für weitergehende Informationen zu SuedOstLink und zum Planfeststellungsverfahren wird auf die Kapitel 1 ff im Teil A1 Erläuterungsbericht der Unterlagen gemäß § 21 NABEG verwiesen.

1.2 Inhalt und Zweck des Dokuments

Beim Betrieb von erdverlegten Stromleitungen kommt es aufgrund der Verlustleistung zu einer Wärmeabgabe in den Boden. Dies wiederum beeinflusst den Wasserhaushalt des Bodens über die üblichen wetterbedingten Schwankungen hinaus. Die Temperatur- und Wassergehaltsänderungen können sich auf die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Bodens auswirken sowie die Phänologie und den Ertrag von Acker- und Grünlandkulturen beeinflussen.

Gegenstand des vorliegenden Berichts ist die Modellierung der Temperatur- und Wassergehaltsänderungen im Boden, die durch den Betrieb des Kabels hervorgerufen werden. Dazu werden an bereitgestellten Bodenleitprofilen Wärmetransportmodellierungen durchgeführt. Als Ergebnisse liegen zeitabhängige Sättigungs- und Wärmedifferenzfelder vor. Freileitungen werden in diesem Dokument nicht betrachtet.

Die Firma GeoAnalysis-Engineering GmbH wurde mit der Durchführung dieser Aufgabe für den SOL Abschnitt D2 betraut. In Abstimmung mit dem VHT wurde die Unterlage in einen ortskonkreten Hauptteil und eine allgemeingültige Anlage E4.1.1 Wärmetransportberechnung unterteilt.

In der Anlage E4.1.1 Wärmetransportberechnung werden die komplexen wissenschaftlichen Hintergründe näher erläutert. Dort wird die grundsätzliche Vorgehensweise, das physikalische und mathematische Modell sowie die Erhebung der Grundlagendaten detailliert beschrieben.

Gegenstand des Hauptteils ist die leitprofilbezogene Anwendung der im Teil E4.2 Ertragsberechnungen beschriebenen Methodik. Im Hauptteil werden vor allem die Ergebnisse vorgestellt und standortbezogen hinsichtlich der Aufgabenstellung ausgewertet.

1.3 Allgemeinverständliche Zusammenfassung

1.3.1 Aufgabenstellung

Beim Betrieb von Kabeln entsteht Verlustwärme, insbesondere aufgrund des Ohm'schen Leiterwiderstands. Je höher die Stromstärke im Kabel ist, desto höher sind die in Wärme umgewandelten Leiterverluste.

In diesem Zusammenhang kommt in der Öffentlichkeit und vor allem bei Betroffenen, wie Landwirten, die den Boden bewirtschaften, die Frage auf:

„Welchen Einfluss und welche Auswirkungen hat der Wärmeeintrag auf den Boden und auf die Umwelt, die von diesem Boden abhängt?“

Aus diesem Grund soll die Auswirkung des Wärmeeintrags auf den Boden mit Hilfe von physikalischen Modellierungen so genau wie möglich untersucht und prognostiziert werden. Dies ist Inhalt dieser Ausarbeitung für den hier betrachteten SOL Abschnitt D2.

1.3.2 Fragestellungen

Folgende Fragen werden in der vorliegenden Ausarbeitung untersucht:

Wie verändern sich die Temperaturverhältnisse im Boden durch den Kabelbetrieb?

Wie verändern sich die Wassergehalte im Boden („Sättigungsverhältnisse“) infolge der Erwärmung durch den Kabelbetrieb?

1.3.3 Lösungsansatz

1.3.3.1 Allgemeines

Um zu ermitteln, welche Temperatur- und Feuchteänderungen sich im Boden durch den Kabelbetrieb einstellen, muss man die physikalischen Prozesse modellieren, die im Boden stattfinden. Dabei werden zwei Zustände betrachtet:

1. Der natürliche (vom Kabel unbeeinflusste) Zustand,
2. Der vom Kabel beeinflusste Zustand.

Die Ergebnisse beider Modellierungen werden verglichen, um eine Aussage darüber treffen zu können, inwieweit die Temperaturen und Wassergehalte des Bodens durch den Kabelbetrieb verändert werden.

Dazu ist es erforderlich, die wesentlichen physikalischen Prozesse im Boden und die auf den Boden einwirkenden Randbedingungen (Umwelteinwirkungen) zu berücksichtigen.

1.3.3.2 Physikalische Prozesse im Boden

Um sich ein Bild davon zu verschaffen, welche physikalischen Gesetze in die Betrachtung einbezogen werden müssen, wird zunächst beschrieben, was wissenschaftlich unter dem Begriff „Boden“ zu verstehen ist. Böden stellen ein „3-Phasen-System“ dar (Abbildung 1):

1. Feststoffe (feste Phase),
2. Wasser (flüssige Phase),
3. Luft (gasförmige Phase).

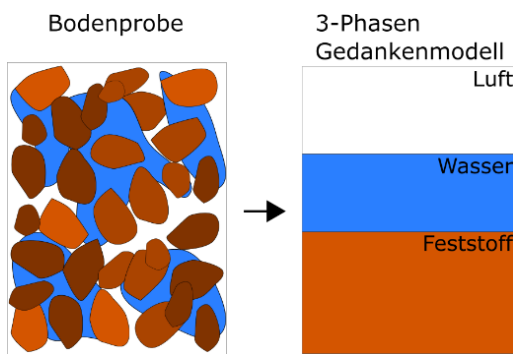


Abbildung 1: Boden als 3-Phasen-Modell.

In diesem 3-Phasen-System sind die folgenden physikalischen Prozesse maßgebend, die sich auf die Erwärmung und den Wassergehalt des Bodens auswirken:

1. Die vom Kabel ausgehende Wärme wird von Bodenkorn zu Bodenkorn übertragen (Wärmeleitung, „Konduktion“),
2. Wasser und Luft bewegen sich durch den Porenraum und transportieren darin gespeicherte Wärme (Wärmefluss, „Konvektion“),
3. Flüssiges Wasser geht in Dampf über oder dampfförmiges Wasser kondensiert. Beim Phasenwechsel wird thermische Energie aufgenommen bzw. abgegeben.

1.3.3.3 Umwelteinwirkungen

In der Abbildung 2 sind diverse Umwelteinflüsse dargestellt, die sich ebenfalls auf die Wärme und Feuchtigkeit im Boden auswirken und ggf. in Berechnungen zu berücksichtigen sind. Dies sind z. B.:

- Wetterdaten (Temperatur, Niederschlag, Windgeschwindigkeit etc.)
- Verdunstung, „Evapotranspiration“
- Vorhandenes Grundwasser, Grundwasserströmung
- Einsickern von Regen in den Boden
- Vegetationsform (z. B. Getreide, Wald, Gras)

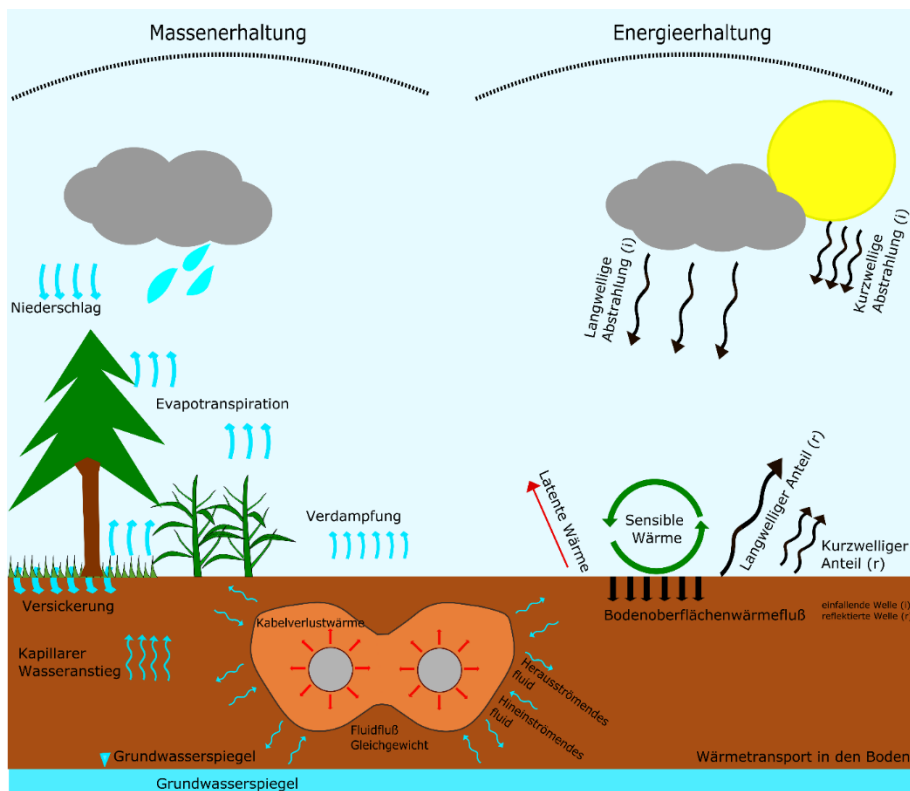


Abbildung 2: Umwelteinwirkungen (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

1.3.4 Ergebnisse

Als Ergebnis für den SOL Abschnitt D2 liegen nach der Modellierung und Berechnung für jeden Punkt des Modellbereichs die Temperaturen und Wassergehalte über 10 Jahre als Berechnungszeitraum vor. Diese Daten können weiterführend analysiert werden. Im vorliegenden Gutachten werden die Temperatur- und Sättigungsdifferenzen zwischen dem natürlichen Zustand der Leitprofile S0128 und B0204 sowie dem Zustand unter Kabelbetrieb mit einer Verlustleistung von 68 % NEP und 85 % NEP ermittelt. Im Hinblick auf die Vegetation werden sowohl Grünland als auch die Ackerkulturen Mais und Winterweizen betrachtet.

Die mittleren Sättigungs- und Temperaturdifferenzen zwischen dem natürlichen Zustand und dem Zustand unter Kabelbetrieb für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem) sowie das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme) wie folgt dargestellt:

- Betrieb eines Kabelsystems (Nr. 5) bei Gleichstrom (DC) mit 68 % NEP von 14,23 W/m für die Leitprofile S0128 und B0204
- Betrieb zweier Kabelsysteme (Nr. 5 und Nr. 5a) bei Gleichstrom (DC) mit 68 % NEP von 14,23 W/m für die Leitprofile S0128 und B0204
- Betrieb eines Kabelsystems (Nr. 5) bei Gleichstrom (DC) mit 85 % NEP von 22,3 W/m für die Leitprofile S0128 und B0204
- Betrieb zweier Kabelsysteme (Nr. 5 und Nr. 5a) bei Gleichstrom (DC) mit 85 % NEP von 22,3 W/m für die Leitprofile S0128 und B0204

Die ermittelten Temperatur- und Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem) sowie das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme) sind bei beiden Leitprofilen sowie 68 % NEP und 85 % NEP an der Geländeoberkante (GOK) immer < 0,5 K bzw. < 0,5 %. Die gilt sowohl für Grünland als auch für Mais und Winterweizen. Dementsprechend ist der Einfluss des Kabelbetriebs als sehr gering anzusehen. Zwischen der GOK und 60 cm Tiefe variieren die Temperatur- und Sättigungsdifferenzen beim Vorhaben Nr. 5 sowie 68 % NEP und 85 % NEP zwischen < 1,25 K und < 2,0 K, bzw. 1,5 % und 2,0 %. Beim Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a hingegen variieren die Temperatur- und Sättigungsdifferenzen beim Vorhaben Nr. 5 sowie 68 % NEP und

85 % NEP zwischen $< 1,35 \text{ K}$ und $< 2,1 \text{ K}$, bzw. sind $< 2,5 \%$. Die größten Temperatur- und Sättigungsdifferenzen durch den Kabelbetrieb zeigen sich in 1,30 m Tiefe. Das Leitprofil S0128 zeigt hier Temperatur- und Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP von $< 2,2 \text{ K}$ und $< 1,5 \%$ sowie für 85 % NEP von $< 3,5 \text{ K}$ und $< 2,0 \%$. Für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a zeigen sich Temperatur- und Sättigungsdifferenzen von $< 2,3 \text{ K}$ und $< 2,5 \%$ für 68 % NEP sowie Werte $< 3,6 \text{ K}$ und $< 2,5 \%$ für 85 % NEP. Das Leitprofil B0204 zeigt hier Temperatur- und Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP von $< 2,5 \text{ K}$ und $< 2,0 \%$ sowie für 85 % NEP von $< 4,0 \text{ K}$ und $< 2,5 \%$. Für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a zeigen sich Temperatur- und Sättigungsdifferenzen von $< 3,0 \text{ K}$ und $< 2,0 \%$ für 68 % NEP sowie Werte $< 4,8 \text{ K}$ und $< 3,0 \%$ für 85 % NEP.

Im Hinblick auf den Zeitpunkt der Reife zeigen die Simulationen im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb und das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem) sowie 68 % NEP und 85 % NEP für beide Leitprofile beim Grünland keine Unterschiede, beim Mais 0 bis -1 Tag und beim Weizen 0 bis -1 Tag. Für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme) sowie 68 % NEP und 85 % NEP zeigen sich beim Grünland keine Unterschiede, 0 bis -1 Tag beim Mais und 0 bis -1 Tag beim Weizen. Dementsprechend ist der Einfluss des Kabelbetriebs und einem damit verbundenen Bodentemperaturanstieg auf die phänologische Entwicklung der Kulturarten als gering einzustufen. Die Erträge für Grünland, Mais und Weizen zeigen nur kleine Unterschiede und die Grünlanderträge beziehen sich auf eine 1-Schnitt-Nutzung (Schnittzeitpunkt: Juni). Die Simulationsergebnisse zeigen einen sehr geringen Einfluss der Bodenerwärmung auf den Ertrag und sogar einen positiven Effekt auf den mittleren Maisertrag von bis zu 3,3 dt/ha.

Darüber hinaus kann auch geschlussfolgert werden, dass der Einfluss des Kabelbetriebs auf die Regenwurmpopulation im rekultivierten Grabenbereich gering ist.

2 Datengrundlagen und Informationen zu den Leitprofilen, Trassenabschnitt und Kabeln

2.1 Allgemeine Daten für den SOL Abschnitt D2

2.1.1 Einführung

Zur Ermittlung der Temperatur- und Wassergehaltsänderungen werden Modellierungen mit der „Finite-Elemente-Methode“ (FEM) durchgeführt. Die Vorgehensweise und die theoretischen Hintergründe werden ausführlich in der Anlage E4.1.1 Wärmetransportberechnung erläutert.

2.1.2 Definition des Punktrasters zu den abgespeicherten 1D Simulationsinformationen

Die Querschnitte der Kabelanlagen für Gleichstrom (DC) sind in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Diese Darstellungen sind die geometrischen Grundlagen für die Finite-Element (FE)-Modellierung (2D). In den Darstellungen sind Punkte markiert, an denen im FE-Modell sämtliche Berechnungsergebnisse rückgespeichert werden. So ist es möglich, an diesen Punkten zeitabhängige Funktionen des Temperaturverlaufs und des Sättigungsverlaufs darzustellen (1D). Die Temperaturdifferenzen werden zusätzlich tabellarisch aufgeführt und die Tabellenwerte entstammen folgenden Beobachtungspunkten: Kabel 2 Graben links (K2L, - 4,75 m), Mitte Graben links (MGL, - 4,0 m), Kabel 1 Graben links (K1L, - 3,25 m), Mitte zwischen den Gräben (CL, 0 m), Kabel 1 Graben rechts (K1R, 3,25 m), Mitte Graben rechts (MGR, 4,0 m), Kabel 2 Graben rechts (K2R, 4,75 m).

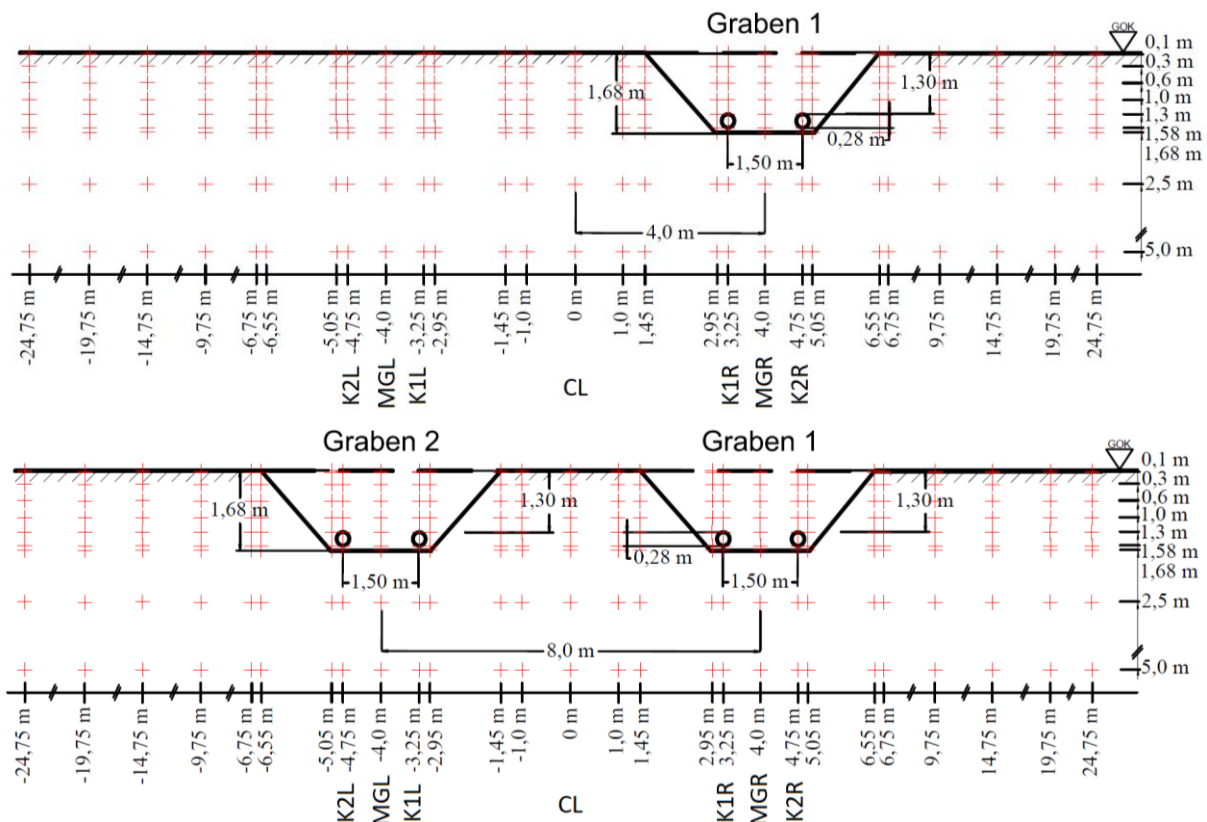


Abbildung 3: Schematische Darstellung der abgetasteten 1D Punkte (Temperatur und Sättigung) für Gleichstrom für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem, oben) sowie das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme, unten) (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

2.1.3 Vernetzung

Die Vernetzung des FE-Modells wird entsprechend der Beschreibung in der dazugehörigen Anlage 1 vorgenommen.

2.1.4 Bettungsmaterial

Der anstehende Boden soll nachrichtlich gemäß technischer Planung als Bettungsmaterial genutzt werden. Demgemäß werden die Bodenparameter des vorhandenen Bodens für die Berechnung genutzt.

2.1.5 Daten für die zu betrachtende Verlustleistung

Bei den Berechnungen der thermischen Auswirkungen des Kabelbetriebs auf kabelferne Bodenschichten werden bei der Verlustleistung realitätsnahe, auf die Untersuchung von Langzeitwirkungen abzielende, Ansätze getroffen. Diese unterscheiden sich von den Ansätzen der Verlustleistung für die technische Kabeldimensionierung.

Berechnungen für die Kabeldimensionierung

Die technische Dimensionierung des SuedLink erfolgt nach den anerkannten Regeln der Technik. Dabei wird eine konstante Auslastung von 100% über einen unendlich langen Betriebszustand angenommen. Bei dieser Dimensionierung wird daneben von dauerhaften sommerlichen und niederschlagsfreien Umgebungsbedingungen über unendlich viele Jahre des Betriebs ausgegangen. Die Umgebungstemperaturen werden dabei für das Standardgrabenprofil mit konstant 20 °C festgelegt. Bei der Bestimmung der Umwelt-Wärmeimmission wird keine konstante Umgebungstemperatur, sondern die realistischen variablen Klimarandbedingungen für das Standardgrabenprofil genutzt.

Neben der konstanten Fixierung der Umgebungstemperatur, enthält die technische Dimensionierung darüber hinaus noch weitere Sicherheitsfaktoren, welche im realen Betriebszustand i.d.R. zu wesentlich geringeren Bodentemperaturen beitragen als sie in der technischen Dimensionierung ermittelt werden. Diese Sicherheitsfaktoren sind z.B. die Berücksichtigung einer weitaus stärkeren und wesentlich weitreichenderen Verringerung des Wassergehaltes im Nahbereich der Kabel (durch Ansatz einer trockenen Wärmeleitfähigkeit bei Bereichen $dT > 15K$ nahe des Kabels) und damit Erhöhung der Wärmewiderstände sowie allgemein konstante und grundsätzlich etwas höhere Wärmewiderstände des umgebenden Bodens als sie in der Realität auftreten (in der Realität sind die Wärmewiderstände des nassen Bodens im Winter wesentlich geringer als die des trockenen Bodens im Sommer).

Konkret erfolgt die technische Dimensionierung so, dass eine maximal erlaubte Leitertemperatur des Kabels vom Hersteller vorgegeben wird. Im Berechnungsmodell mit den oberhalb genannten, konservativen Randbedingungen, werden dann die Abstände der Kabel so lange im Berechnungsmodell verändert, bis die maximal erlaubte Kabeltemperatur nicht überschritten wird. Diese Berechnungen werden entlang der Trasse auf Basis der Kennwerte aus der Baugrunduntersuchung durchgeführt und der konservativste Abstand, der sich aus der Vielzahl der Baugrunduntersuchungsergebnisse für einen Bauabschnitt mit einer sinnvollen Länge ergibt, wird dann für die Ausführungsplanung verwendet. Dabei wird von kleinräumigen Kabelabstandsveränderungen in geringen Trassenabschnittslängen abgesehen.

Die Vorgehensweise entspricht grundsätzlich üblichen ingenieurtechnischen Vorgehensweisen: Es werden Vereinfachungen im Berechnungsmodell vorgenommen die ermöglichen, dass nach klaren Regeln von verschiedenen Akteuren eine einheitliche Planung vorgenommen werden kann, und es werden konservative Werte für die Berechnungen verwendet, so dass die Anlage nicht an ihre Belastungsgrenze stoßen wird.

Die oben genannten Berechnungsannahme, dass die Kabel über einen unbegrenzten Zeitraum mit 100 % Dauerlast betrieben werden, bietet für die Kabeldimensionierung den Vorteil, dass die Kabel mit einem so großen Abstand dimensioniert werden, dass auch eventuell tatsächlich auftretende Phasen des Vollastbetriebes problemlos auftreten können. Im Leiter des Kabels bewirkt auch ein kurzzeitiger Vollastbetrieb eine verhältnismäßig schnell auftretende Erwärmung. In fernerer Bodenschichten kommt es demgegenüber aufgrund der auf die Temperaturentwicklung stark dämpfenden Eigenschaften (Wärmekapazität) des

Bettungsmaterials und des umgebenden Bodens, aber nur der Mittelwert aus einem längerfristigen Betriebsszenario (Volllast, Teillast, Abschaltung für Wartung etc.) an.

Berechnungen für kabelfernere Bodenschichten

Eine Abbildung der realen thermischen Wirkungen auf den Boden ist mit den beschriebenen Berechnungen für die technische Dimensionierung mit dieser Herangehensweise aber nur bedingt möglich: Es werden keine Wassergehaltsveränderungen im Boden ermittelt, es werden keine Temperaturveränderungen durch z. B. jahreszeitliche Veränderungen der Umgebungstemperatur berücksichtigt sowie der bessere Wärmetransport im Winter an die Oberfläche durch den wassergesättigten Boden nicht betrachtet, die Änderung der Wärmeleitfähigkeiten infolge von Niederschlägen etc.

Die technischen Berechnungen werden deswegen nicht für die Berechnungen der Bodenerwärmung in der Umgebung der Kabel verwendet. Es werden aber die, in der technischen Kabeldimensionierung ermittelten Kabelabstände als Eingangsgröße verwendet. Bei der Berechnung der realen Bodenerwärmung wird nur zum Beginn der Berechnung eine initiale Bodentemperatur angesetzt. Im weiteren Verlauf der wesentlich realistischeren, d.h. auch stark instationären Berechnung ergibt sich die Bodentemperatur aus den Klima-Umgebungsbedingungen und dem Einfluss des Kabels, welcher ebenfalls realistischer abgeschätzt wird als im Zuge der technischen Dimensionierung. Die Berechnungsmethode für die Bewertung der ferneren Bodenschichten ist in Kapitel (3.1) beschrieben. Es werden die folgenden beschriebenen Daten für die Verlustleistung verwendet.

Thermische Verlustleistung

Die thermische Verlustleistung der eingebetteten HGÜ Kabel wurde als stationäre Leistung vom VHT definiert und so in den nachfolgenden Simulationen angesetzt. Berechnungen im Zuge der Bedarfsermittlung des Netzentwicklungsplanes Strom 2030 (Bedarfsermittlung 2019-2030 - Bestätigung Netzentwicklungsplan, Bundesnetzagentur, Bonn, 2019) ergaben mittlere jährliche Auslastungen der Vorhaben des SOL von 68 % NEP und 85 % NEP. Aus diesen Belastungen können die mittleren thermischen Verluste, die im Weiteren als NEP-Last bezeichnet werden abgeleitet werden:

- Vorhaben Nr. 5 bei Gleichstrom (DC) für 68 % NEP mit einer Verlustleistung von 14,28 W/m je Kabel für die Leitprofile S0182 und B0204
- Vorhaben Nr. 5 und 5a bei Gleichstrom (DC) für 85 % NEP mit einer Verlustleistung von 22,3 W/m je Kabel für die Leitprofile S0128 und B0204

2.1.6 Initial- und Randbedingungen für die numerische Simulation

Die initiale Bodentemperatur wird für alle Leitprofile mit 9,5 °C als mittlere Durchschnittstemperatur der aufgezeichneten Jahrestemperatur angenommen. Für den Boden wurde eine initiale Sättigung von 60 % sowie eine initiale relative Luftfeuchtigkeit von 60 % angenommen. Für das Leitprofil B0204 wurde eine Grundwasserströmung orthogonal zur Kabelachse bei einer Grundwassertiefe von 3,0 m unter GOK mit einer Fließgeschwindigkeit von 0,864 Meter pro Tag angenommen.

2.1.7 Physikalische Modelle in der Simulation

Das Modell wird durch die physikalischen Randbedingungen und die entsprechenden partiellen Differentialgleichungen definiert. Dies wird im Anhang 1 zu dem vorliegenden Dokument genauer beschrieben. Die äußeren Randbedingungen sind die standortabhängigen thermischen, hydraulischen und meteorologischen Datengrundlagen und die thermische Last des Kabels. Die genutzten Modellgleichungen sind, in Abhängigkeit vom Wassergehalt im Boden, die Richards- und die Darcy-Gleichung, die Fourier-Gleichung für die Wärmefeldsimulation und die Ficks- bzw. Diffusionsgleichung für die Wasserdampfbewegungen. Damit ist eine vollständige Interaktion zwischen dem vom Kabel ausgehenden Wärmefluss, dem natürlichen Wassergehalt, den meteorologischen Einflüssen (Temperatur, Niederschlag etc.) und der induzierten Massenbewegung von Fluid und Dampf dargestellt.

2.1.7.1 Modellrandbedingungen in der Simulation

Für folgende physikalischen Einflüsse wurden Randbedingungen definiert, die näherungsweise den natürlichen Bedingungen entsprechen:

- Temperatur:
 - isotherme Randbedingung mit natürlicher Bodentemperatur 9,5 °C für Süddeutschland
 - Wärmestrom-Randbedingungen an den seitlichen Rändern und dem unteren Rand als konstant angenommen,
- Hydraulisch:
 - No-Flow-Boundary-Condition an den Seiten, wenn kein Grundwasser im Profil vorhanden ist
 - Drainage- Randbedingung am unteren Rand des Modells
 - Oberer-Rand: meteorologische Einflüsse aus Luftfeuchtigkeit und Niederschlag
- Dampfbedingungen: seitliche und untere Ränder sind nicht dampfdurchlässig
- Modellgröße: Controlled Volume Study für die Größe des Modells

2.1.7.2 Standortspezifische Wetterdaten für die Leitprofile

Die erforderlichen Wetterdaten wurden entsprechend der Beschreibung im zugehörigen Anhang ermittelt und aufbereitet. Für die Leitprofile S0128 und B0204 wurden die Daten der DWD-Station Regensburg genutzt (Abbildung 4).

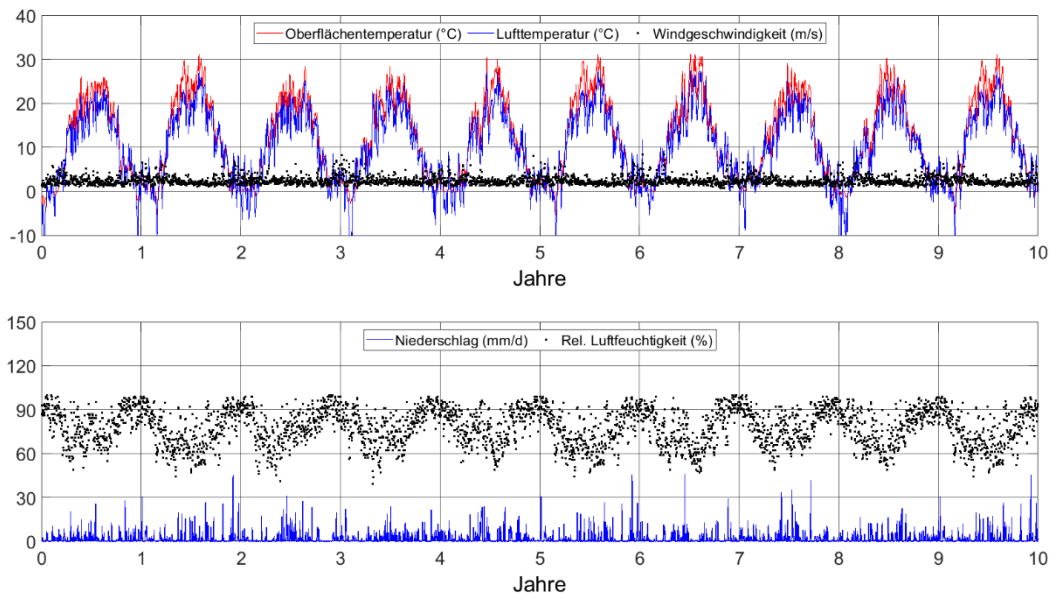
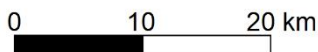


Abbildung 4: Veränderung der Tagesmitteltemperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlagshöhe und Windgeschwindigkeit der DWD-Station Regensburg im Zeitraum 2009-2018. (Quelle: DWD, GeoAnalysis-Engineering GmbH).

2.2 Ausgewählte Leitprofile im Abschnitt D2 des SuedOstLinks

Die Leitprofile S0128 und B0204 wurden durch die HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH auf Basis der Bodenkundlichen Kartierung (KA 5) ausgewählt und übergeben und im Vorfeld mit dem Bodencluster der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) abgeglichen (Abbildung 5). Die Modelleingangsparameter wurden aus den physikalischen und chemischen Eigenschaften der Leitprofile (u. a.

Lagerungsdichte, Textur, Humusgehalt) unter Einbeziehung der Bodenkundlichen Kartierung 5 (Ad-Hoc AG BODEN 2005) entsprechend Vorgehensweise 2 (Anlage E4.1.1 Wärmetransportberechnung) abgeleitet.



■ Trassenkorridor ● Leitprofile

Abbildung 5: Lage der Leitprofile im Verlauf des Trassenkorridors SOL D2.

Im Folgenden werden die ortskonkreten Datengrundlagen und Informationen für jedes Leitprofil zusammengestellt.

2.2.1 Leitprofil S0128

2.2.1.1 Lage des Leitprofils S0128

Das Leitprofil S0128 (Rechtswert: 32U746197; Hochwert: 5437485, geplante Koordinaten) liegt ca. 730 m südlich des Ortes Zieglöde (Landkreis Regensburg) in einem Waldgebiet, 20 m westlich der Kreisstraße R 42. Etwa 1,5 km nördlich liegt Frauenzell, ca. 2,5 km südlich Ettersdorf. Das Gebiet ist bergig mit Höhenunterschieden bis zu 330 m zwischen den Bergen und dem Donautal. Das Profil liegt im Falkensteiner Vorwald, einem welligen Ausläufer des Bayerischen Waldes. Das Gebiet wird hauptsächlich forstwirtschaftlich genutzt, Landwirtschaft wird im Norden um Frauenzell, sowie weiter östlich und südlich im Donautal betrieben. Die umliegenden Berge sind von großen Forstflächen bedeckt. 375 m nördlich des Leitprofils liegt ein Waldrand, hinter welchem Ackerflächen beginnen.

Geologisch gehört das Gebiet zum Falkensteiner Vorwald und es finden sich vorwiegend karbonische und permische Granite und karbonische Anatexite (UmweltAtlas Bayern, 2022). Gemäß BÜK 200 dominieren im Gebiet des Leitprofils Braunerden sowie Gleye im Bereich größerer Wasserläufe (Abbildung 6).

Etwa 477 m östlich des Leitprofils fließt der Pfätergraben, ca. 1300 m östlich und ca. 120 Höhenmeter tiefer die Wiesent, welche in die ca. 5 km südlich gelegene Donau mündet. Der Grundwasserspiegel wird laut dem Büro HG bei ca. 3,0 m u. GOK angetroffen.

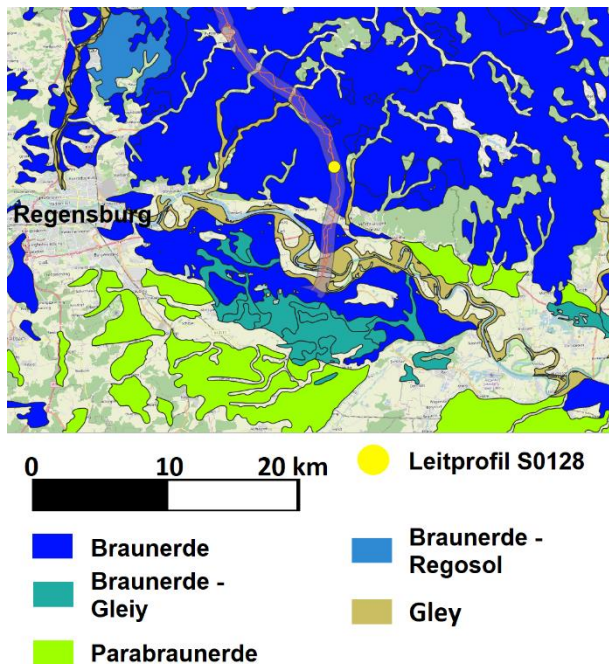


Abbildung 6: Lage des repräsentativen Leitprofils S0128 ergänzt durch die Hauptbodentypen der Bodenübersichtskarte (BÜK 200).

2.2.1.2 Horizontbeschreibung und Kennwerte des Leitprofils S0128

Das Leitprofil S0128 wurde bis in eine Tiefe von 180 cm von der HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH anhand der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 (AD-HOC AG BODEN 2005) aufgenommen. Es handelt sich um eine podsolige Braunerde mit der Horizontfolge L/Aeh/Bv /Cv (Abbildung 7).

Der Boden ist bis in 180 cm Tiefe nicht durch Grundwasser geprägt. Oberhalb der GOK liegt ein ca. 5 cm mächtiger stark humoser (h4, 2,0 bis <4 Gew. %) L-Horizont mit einer sehr geringen Lagerungsdichte (Ld1, <1,4 g/cm³) und einem Skelettanteil von 1 %. Der darauffolgende obere Bodenhorizont ist ein 10 cm mächtiger, humusfreier Aeh-Horizont mit sehr geringer Lagerungsdichte (Ld1, <1,4 g/cm³) und einem Skelettanteil von 1 %. Auf diesen folgt ein 140 cm mächtiger, humusfreier Bv-Horizont in Tiefen zwischen 10 cm und 120 cm zeigen allesamt sehr geringe Humusgehalte (h1, <1 Gew. %) mit mittlerer Lagerungsdichte (Ld3, 1,6 bis <1,8 g/cm³) und 20 % Skelettanteil. Den Abschluss des Profils mit mindestens 30 cm Mächtigkeit bildet ein humusfreier Cv-Horizont mit hoher Lagerungsdichte (Ld4, 1,8 bis <2,0 g/cm³) und einem Skelettanteil von 75 %.

Bodenprofil: S 0128 BK(VT)

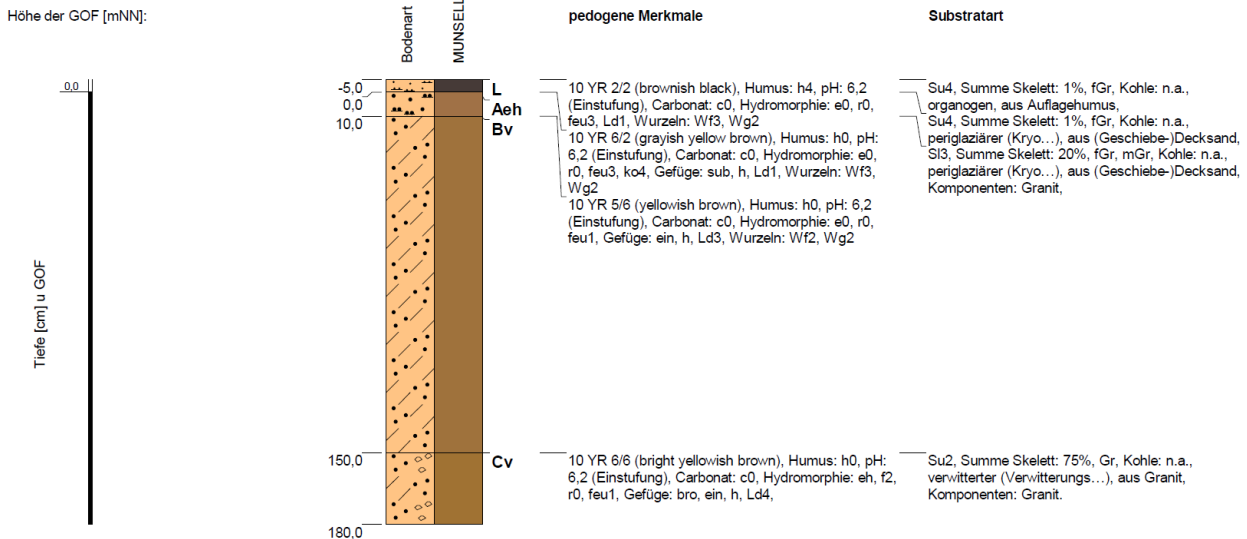


Abbildung 7: Bodenkundliche Aufnahme des Leitprofils S0128 nach Bodenkundlicher Kartieranleitung KA 5 (AD-HOC AG BODEN 2005), Bodentiefe in cm (Quelle: HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH).

Erläuterung der Bodenhorizonte im Leitprofil S0128 gemäß KA 5 (AD-HOC AG BODEN 2005):

- L = Organischer Horizont aus Ansammlung von nicht und wenig zersetzter Pflanzensubstanz an der Bodenoberfläche
- Aeh = Mineralischer humoser Oberbodenhorizont, schwach podsolig
- Bv = Mineralischer Unterbodenhorizont, durch Verwitterung verbraunt und verlehmt, frei von Carbonat
- Cv = Mineralischer Untergrundhorizont, angewittert bis verwittert, aus dem Gestein unter dem Boden

Erläuterung der Bodenarten (Korngrößenverteilungen) gemäß KA 5 (AD-HOC AG BODEN 2005):

- Su4 = stark schluffiger Sand (0-8 % Ton, 40-50 % Schluff, 42-60 % Sand)
- Sl3 = mittel lehmiger Sand (8-12 % Ton, 10-40 % Schluff, 48-82 % Sand)
- Su2 = schwach schluffiger Sand (0-5 % Ton, 10-25 % Schluff, 70-90 % Sand)

2.2.1.3 Standortspezifische Eingangswerte und Varianzen des Leitprofils S0128

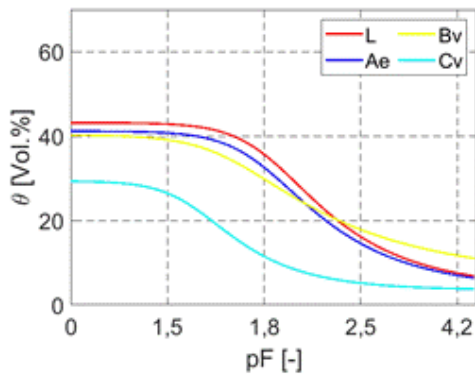
Für die einzelnen Bodenhorizonte wurde der Wassergehalt θ [Vol.-%] gemäß der Gleichung von VAN GENUCHTEN (1980) auf Basis des Matrixpotenzials ψ_m (Saugspannung) bestimmt (Abbildung 8 a). Die Grundlage zur Beschreibung der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit $K(\theta)$ [m/s] sind die Modelle nach MUALEM (1976) und VAN GENUCHTEN (1980) (Abbildung 8 b). Dabei entspricht die Fluiddichte 1000 Kg/m^3 , die Fluidkompressibilität $5 \times 10^{-10} \text{ Pa}$ und folgende Porositäten ϕ : L ($0,59 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$), Aeh ($0,57 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$), Bv ($0,43 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) und Cv ($0,31 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$). Für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit wurden unterschiedliche bodenartenabhängige Pedotransferfunktionen genutzt, um daraus einen Mittelwert samt Varianz für die Wärmeleitfähigkeit zu bilden. Grundlage bilden dabei die Modelle von KERSTEN (1952), DeVries (1963) und Campbell (1985), entnommen aus CASSEL (1987), FAROUKI (1981), Côté und Konrad (2005) und MARKERT et al. (2017). Dabei wird das Modell von CÔTÉ UND KONRAD (2005) mit den minimalen bodenartenabhängigen Wärmeleitfähigkeiten als untere Varianzgrenze (Abbildung 8 c) und das Modell von MARKERT et al. (2017) mit den maximalen bodenartenabhängigen Wärmeleitfähigkeiten als obere Varianzgrenze genutzt (Abbildung 8 d). In den Simulationen sind entsprechend der Festlegung des VHT sowohl die minimalen als auch maximalen Wärmeleitfähigkeiten als Eingangswerte eingeflossen. Neben der thermischen Leitfähigkeit sind für die Simulation die spezifische Wärmekapazität C_p [J/kg*K] (Abbildung 8 e), der effektive Diffusionskoeffizient D_v [m^2/s] (Abbildung 8 f), die Wasserdampfdiffusionswiderstände m [-] (Abbildung 8 g) und die

Feuchtigkeitsspeicherkoeffizienten w_ϕ [kg/m³] Abbildung 8 h) erforderlich. Diese Parameter wurden gemäß den Ausführungen von KROENER et al. (2014) empirisch bestimmt.

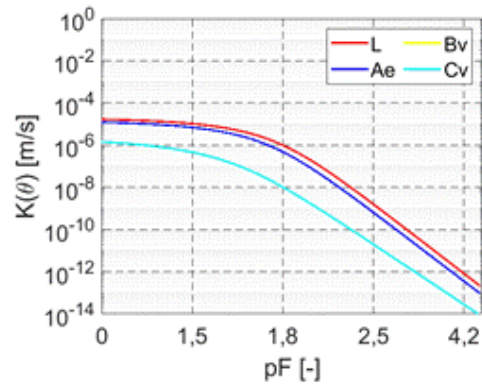
Tabelle 1: Empirisch bestimmte Inputparameter gemäß VAN GENUCHTEN (1980) für das Leitprofil S0128 (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Horizont	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Skelettanteil	θ_s	Θ_r	α	n	Kf	m
			[Masse-%]	[Vol. %]	[Vol. %]	[1/cm]	[-]	[m/s]	[-]
L	5-0	Su4	1	0,432	0,038	0,009	1,52	2,03E-05	0,3429698
Aeh	0-10	Su4	1	0,412	0,036	0,011	1,51	1,52E-05	0,3377483
Bv	10-150	Sl3	20	0,403	0,067	0,024	1,35	2,80E-06	0,2570579
Cv	150->180	Su2	75	0,294	0,035	0,053	1,69	7,50E-04	0,4079337

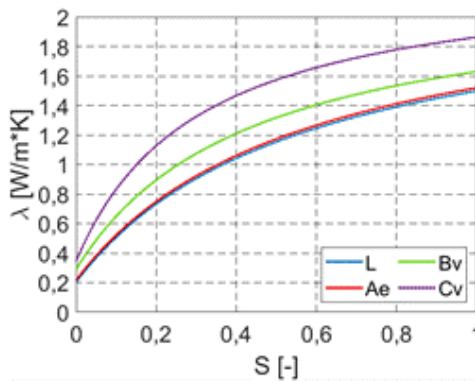
a)



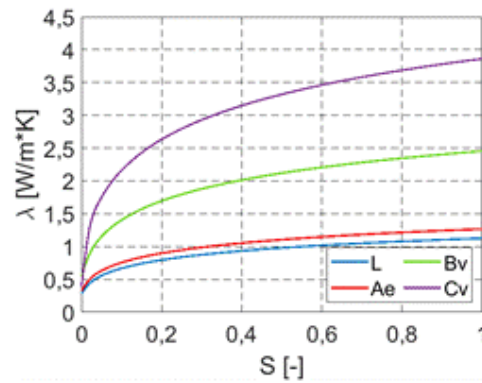
b)



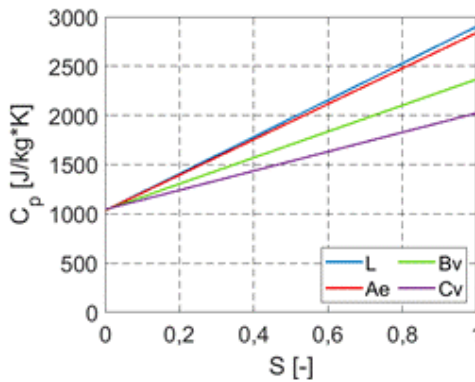
c)



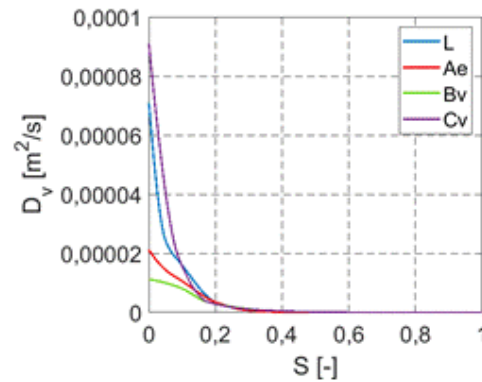
d)



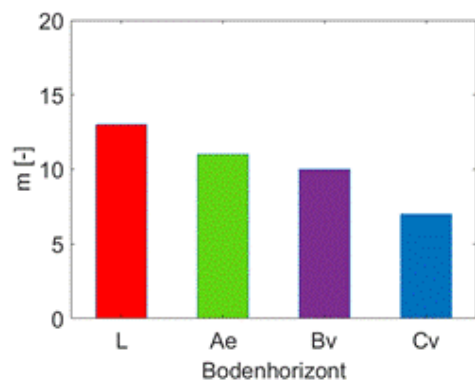
e)



f)



g)



h)

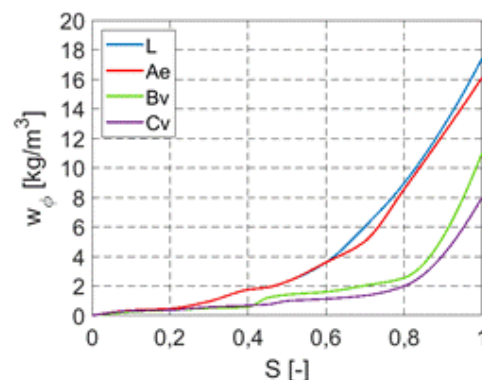


Abbildung 8: Standortspezifische Eingangswerte des Leitprofils S0128:

- a) Beziehung zwischen dem volumetrischen Wassergehalt θ [Vol.-%] und pF-Wert [-]
- b) Ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit $K(\theta)$ [m/s] der Bodenhorizonte in Abhängigkeit vom pF [-]
- c) Minimale Wärmeleitfähigkeiten λ [W/m*K] in Abhängigkeit von der Sättigung S [-]
- d) Maximale Wärmeleitfähigkeiten λ [W/m*K] in Abhängigkeit von der Sättigung S [-]
- e) Spezifische Wärmekapazität C_p [J/kg*K] der Bodenhorizonte in Abhängigkeit von der Sättigung S [-]
- f) Effektive Diffusionskoeffizienten D_v [m²/s] in Abhängigkeit von der Sättigung S [-]
- g) Wasserdampfdiffusionswiderstände m [-]
- h) Feuchtigkeits-speicher-koeffizienten w_ϕ [kg/m³] in Abhängigkeit von der Sättigung S [-].

2.2.2 Leitprofil B0204

2.2.2.1 Lage des Leitprofils B0204

Das Leitprofil B0204 (Rechtswert: 32U744697; Hochwert: 5428711) liegt östlich der Stadt Neutraubling (Landkreis Regensburg) auf einem Acker ca. 900 m südöstlich des Dorfes Geisling und ca. 170 m südwestlich der Bundesstraße 8. Eine weitere Ortschaft in der näheren Umgebung ist Pfatter, ca. 1900 m, östlich des Leitprofils. Das nähere Gebiet ist flach mit Höhenunterschieden von unter 50 Metern und wird überwiegend landwirtschaftlich genutzt. Südlich des Leitprofils liegen drei kleine Forstgebiete, das Mintrachinger Holz, 2140 m südwestlich, das Johannisholz 890 m südlich und das Maiszanter Holz, 3750 m südöstlich.

Geologisch liegt das Gebiet am nordwestlichen Rand des Gäubodens, einem ausgedehnten Lössgebiet an der Donau. Im Süden liegen die Ausläufer des Donau-Isar-Hügellandes. Es finden sich vorwiegend pleistozäne Schmelzwasserschotter, sowie holozäne Flussschotter und Auenlehme (UmweltAtlas Bayern, 2022). Im Süden finden sich große Lössablagerungen, während nördlich des Profils am anderen Donauufer karbonische und permische Granite und Anatexite anstehen. Nach der BÜK 200 dominieren im näheren Gebiet des Leitprofils Braunerden, Braunerde-Gleye und im Bereich der Gewässer Gleye. In größerer Entfernung liegen im Süden auch Parabraunerden vor (Abbildung 9).

Das Leitprofil liegt im Donautal und im umliegenden Gebiet liegen viele kleine und größere Teiche. Die nächsten Teiche liegen etwa 380 m westlich und 520 m östlich des Leitprofils. Etwa 260 m nordöstlich fließt der Geislinger Mühlenbach. Dieser mündet etwa einen Kilometer weiter östlich in die Alte Donau, einem Altarm der etwa 1300 m nördlich fließenden Donau. Das Gelände fällt in Richtung Norden, bzw. Nordosten sanft zur Donau hin ab. Nach dem Büro HG wurde der Grundwasserspiegel bei 3,0 m u. GOK angeschnitten.

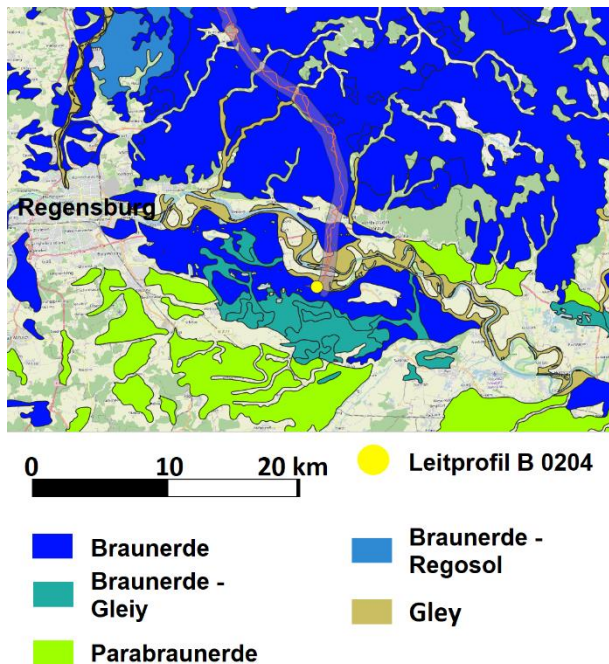


Abbildung 9: Lage des repräsentativen Leitprofils B0204 ergänzt durch die Hauptbodentypen der Bodenübersichtskarte (BÜK 200).

2.2.2.2 Horizontbeschreibung und Kennwerte des Leitprofils B0204

Das Leitprofil B0204 wurde bis in eine Tiefe von 180 cm von der HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH anhand der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 (AD-HOC AG BODEN 2005) aufgenommen. Es handelt sich um eine vergleyte Braunerde mit der Horizontfolge Ap/Bv/IICv//IIIGo-eIC (Abbildung 10).

Der obere Horizont ist ein 35 cm mächtiger, schwach humoser Ap-Horizont (1 bis < 2 Gew. %) mit sehr geringer Lagerungsdichte (Ld1, 1,2 bis < 1,4 g/cm³) und einem Skelettanteil von 10 %. Darauf folgt ein sehr schwach humoser (h1, < 1 Gew. %) Bv-Horizont mit einer geringen Lagerungsdichte (Ld2, 1,4 bis < 1,6 g/cm³) und einem Skelettanteil von 25 %. Zwischen 60 und 80 cm unter GOK folgt ein IICv-Horizont, welcher humusfrei ist und eine mittlere Lagerungsdichte (Ld3, 1,6 bis < 1,8 g/cm³) und einen Skelettanteil von 5 % hat. Auf diesen folgt ein mindestens 100 cm mächtiger humusfreier IIIGo-eIC-Horizont mit ebenfalls mittlerer Lagerungsdichte und einem Skelettanteil von 70 %.

Bodenprofil: VTA B 204

Höhe der GOF [mNN]:

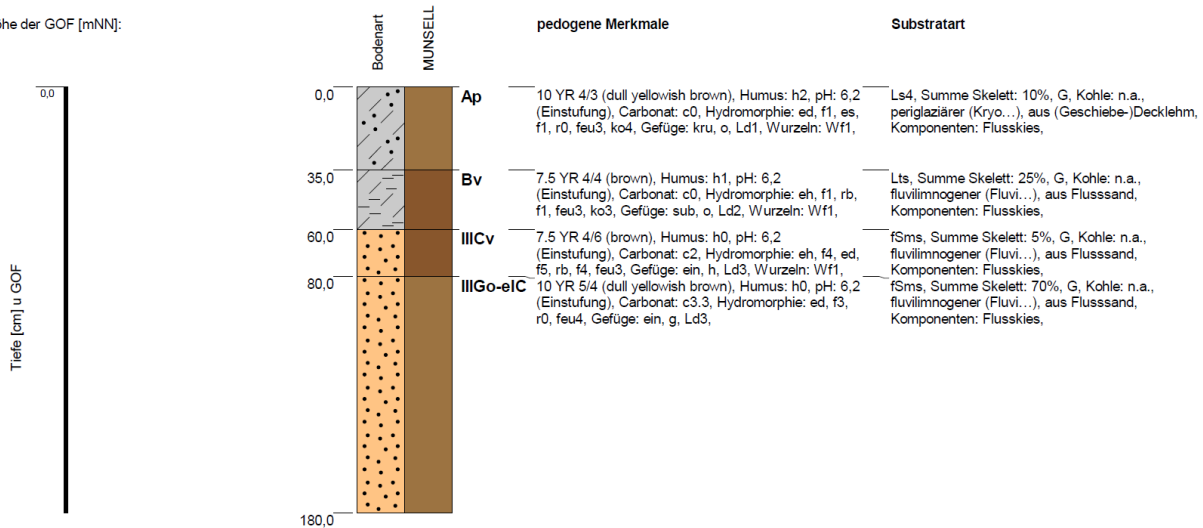


Abbildung 10: Profilaufnahme des Leitprofils B0204 gemäß Bodenkundlicher Kartieranleitung KA 5 (AD-HOC AG BODEN 2005), Bodentiefe in cm (Quelle: HG Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH).

Erläuterung der Bodenhorizonte im Leitprofil B0204 gemäß KA 5 (AD-HOC AG BODEN 2005):

- Ap = Mineralhorizont im Oberboden mit akkumuliertem Humus und/oder an Mineralstoffen verarmt, geprägt durch regelmäßige Bodenbearbeitung
- Bv = Mineralischer Unterbodenhorizont, durch Verwitterung verbraunt und verlehmt, frei von Carbonat
- IIICv = Mineralischer Untergrundhorizont, angewittert bis verwittert, aus dem Gestein unter dem Boden
- IIIGo-elC = Mineralbodenhorizont mit Grundwassereinfluss und im Jahresverlauf überwiegend oxidierenden Verhältnissen bis Mineralischer Untergrundhorizont aus Mergelgestein
- Die römischen Ziffern (III) dienen der Kennzeichnung verschiedener Bodenausgangssubstrate (geologische Schichten).

Erläuterung der Bodenarten (Korngrößenverteilungen) gemäß KA5 (AD-HOC AG BODEN 2005):

- Ls4 = stark sandiger Lehm (17-25 % Ton, 15-30 % Schluff, 45-68 % Sand)
- Lts = sandig-toniger Lehm (25-45 % Ton, 15-30 % Schluff, 25-60 % Sand)
- fSms = mittelsandiger Feinsand (0-5 % Ton, 0-10 % Schluff, 85-10 % Sand; 40-80 % Feinsand, 10-50 % Mittelsand, 0-20 % Grobsand)

2.2.2.3 Standortspezifische Eingangswerte und Varianzen des Leitprofils B0204

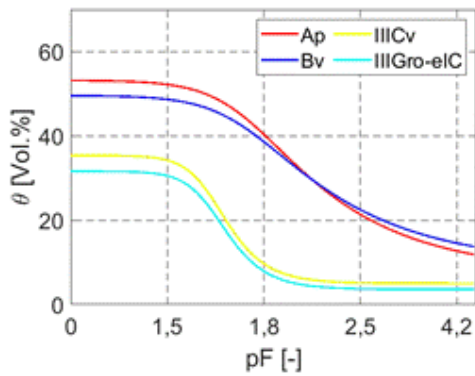
Für die einzelnen Bodenhorizonte wurde der Wassergehalt θ [Vol.-%] gemäß der Gleichung von VAN GENUCHTEN (1980) auf Basis des Matrixpotenzials ψ_m (Saugspannung) bestimmt (Abbildung 11 a). Die Grundlage zur Beschreibung der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit $K(\theta)$ [m/s] sind die Modelle nach MUALEM (1976) und VAN GENUCHTEN (1980) (Abbildung 11 b). Dabei entspricht die Fluidichte 1000 Kg/m^3 , die Fluidkompressibilität $5 \times 10^{-10} \text{ Pa}$ und folgende Porositäten ϕ : Ap ($0,62 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$), Bv ($0,54 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$), IIICv ($0,38 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) und IIIGo-elC ($0,47 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$). Für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit wurden unterschiedliche bodenartenabhängige Pedotransferfunktionen genutzt, um daraus einen Mittelwert samt Varianz für die Wärmeleitfähigkeit zu bilden. Grundlage bilden dabei die Modelle von KERSTEN (1952), DEVRIES (1963) und CAMPBELL (1985), entnommen aus CASSEL (1987), FAROUKI (1981), Côté und Konrad (2005) und MARKERT et al. (2017). Dabei wird das Modell von CÔTÉ UND KONRAD (2005) mit den minimalen bodenartenabhängigen Wärmeleitfähigkeiten als untere Varianzgrenze (Abbildung 11 c) und das Modell von MARKERT et al. (2017) mit den maximalen bodenartenabhängigen Wärmeleitfähigkeiten als obere Varianzgrenze genutzt (Abbildung 11 d). In den Simulationen sind entsprechend der Festlegung des VHT sowohl die minimalen als auch

maximalen Wärmeleitfähigkeiten als Eingangswerte eingeflossen. Neben der thermischen Leitfähigkeit sind für die Simulation die spezifische Wärmekapazität C_p [J/kg*K] (Abbildung 11 e), der effektive Diffusionskoeffizient D_v [m²/s] (Abbildung 11 f), die Wasserdampfdiffusionswiderstände m [-] (Abbildung 11 g) und die Feuchtigkeitsspeicherkoeffizienten w_ϕ [kg/m³] (Abbildung 11 h) erforderlich. Diese Parameter wurden gemäß den Ausführungen von KROENER et al. (2014) empirisch bestimmt.

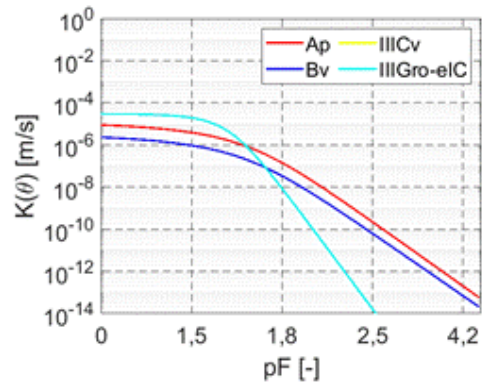
Tabelle 2: Empirisch bestimmte Inputparameter gemäß VAN GENUCHTEN (1980) für das Leitprofil B0204 (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Horizont	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Skelettanteil	θ_s	Θ_r	α	n	K_f	m
			[Masse-%]	[Vol.%]	[Vol.%]	[1/cm]	[-]	[m/s]	[-]
Ap	0-35	Ls4	10	0,532	0,074	0,016	1,42	1,33E-05	0,2967651
Bv	35-60	Lts	25	0,496	0,09	0,017	1,39	3,70E-06	0,2790195
IICv	60-80	fSms	5	0,3539	0,05	0,034	2,51	3,01E-05	0,6007984
IIIGo-eIC	80->180	fSms	70	0,3162	0,036	0,034	2,51	9,25E-04	0,6007984

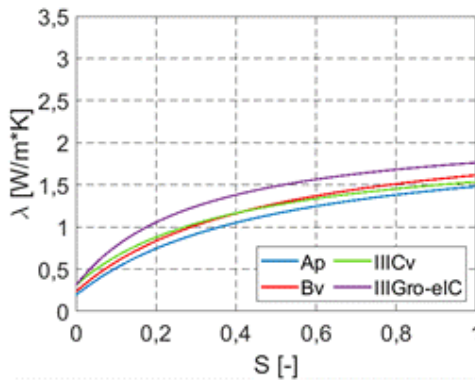
a)



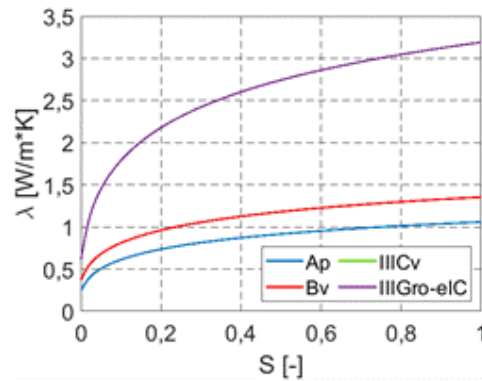
b)



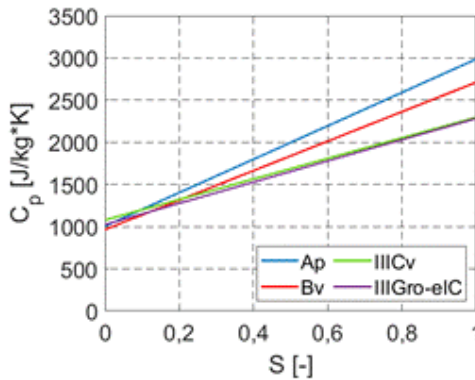
c)



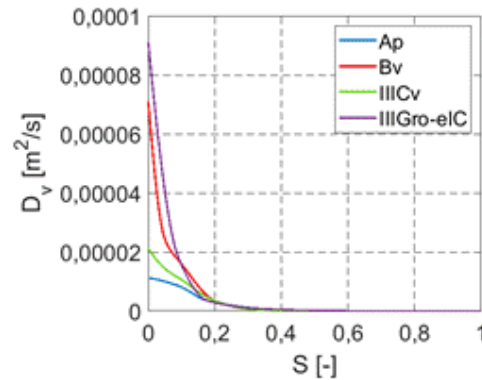
d)



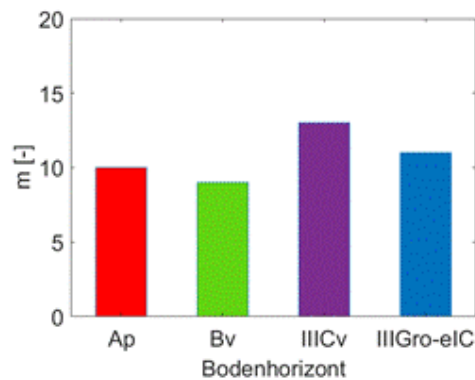
e)



f)



g)



h)

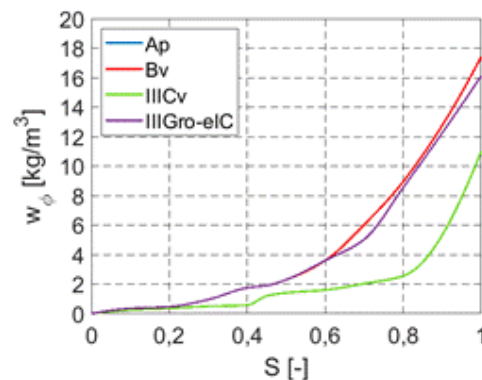


Abbildung 11: Standortspezifische Eingangswerte des Leitprofils B0204:

- a) Beziehung zwischen dem volumetrischen Wassergehalt θ [Vol.-%] und pF-Wert [-]
- b) Ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit $K(\theta)$ [m/s] der Bodenhorizonte in Abhängigkeit vom pF [-]
- c) Minimale Wärmeleitfähigkeiten λ [W/m*K] in Abhängigkeit von der Sättigung S [-]
- d) Maximale Wärmeleitfähigkeiten λ [W/m*K] in Abhängigkeit von der Sättigung S [-]
- e) Spezifische Wärmekapazität C_p [J/kg*K] der Bodenhorizonte in Abhängigkeit von der Sättigung S [-]
- f) Effektive Diffusionskoeffizienten D_v [m²/s] in Abhängigkeit von der Sättigung S [-]
- g) Wasserdampfdiffusionswiderstände m [-]
- h) Feuchtigkeits-speicher-koeffizienten w_ϕ [kg/m³] in Abhängigkeit von der Sättigung S [-].

3 Ergebnisse der Numerischen Simulation der Leitprofile im Abschnitt D2

3.1 Leitprofil S0128 – Simulationen mit Kabelschutzhohr

3.1.1 Standort ohne Kabelbetrieb (Referenzwert im Ausgangszustand) für Mais

Die Referenzwerte für die Temperatur und die Sättigung im Ausgangszustand ohne Kabelbetrieb und Mais zeigen jahreszeitlich bedingte Schwankungen zwischen -3 °C und $27,5\text{ °C}$ sowie 0,6 und 0,8 an der GOK (Abbildung 12). Mit zunehmender Tiefe nimmt der Schwankungsbereich der Temperatur und der Sättigung ab und es ist auf einen signifikanten Unterschied zwischen der Bodentemperatur an der GOK und der Lufttemperatur zu verweisen.

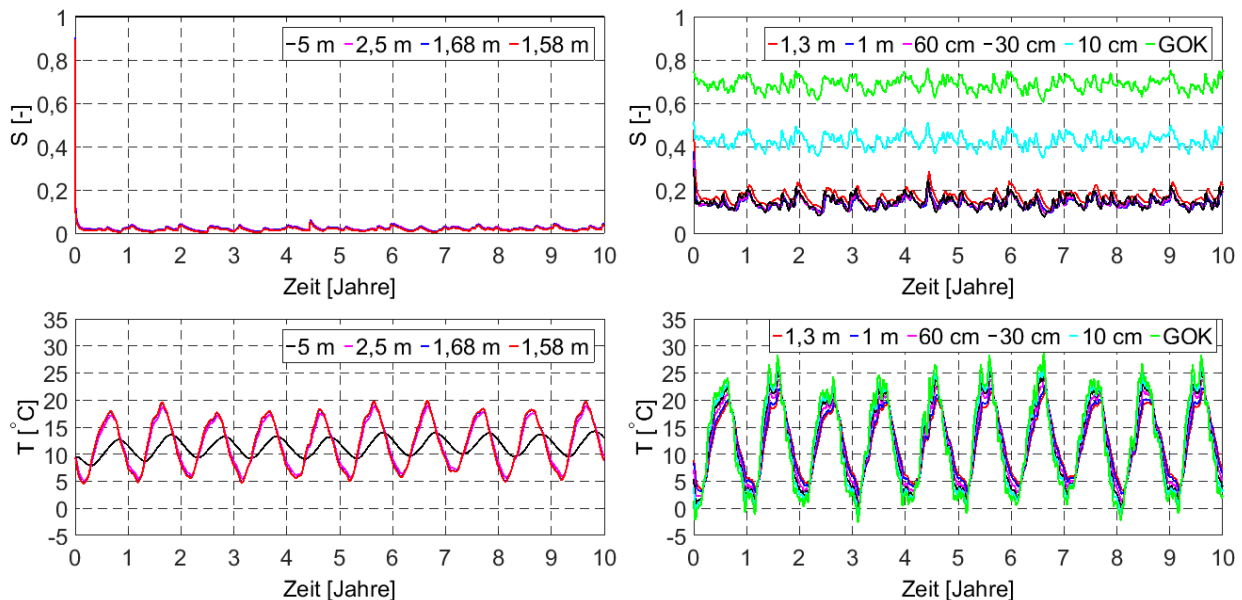


Abbildung 12: Referenzwerte für Sättigung $S [-]$ und Temperatur $T [^{\circ}\text{C}]$ in 5 m, 2,5 m, 1,68 m und 1,58 m (links oben/unten) sowie 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben/unten) von Mais im Zeitraum von 10 Jahren für das Leitprofil S0128 (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

3.1.2 Ergebnisse unter Kabelbetrieb für Mais

3.1.2.1 Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem)

Die Temperaturdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Temperaturdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m übersteigen dabei nicht 4 K (Abbildung 13) bzw. 6 K (Abbildung 14) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer. In den Abbildungen des Mittelwertes über die Tiefe und die zeitabhängigen Darstellungen können leichte Unterschiede infolge der Mittelung über das betrachtete Jahr aufweisen.

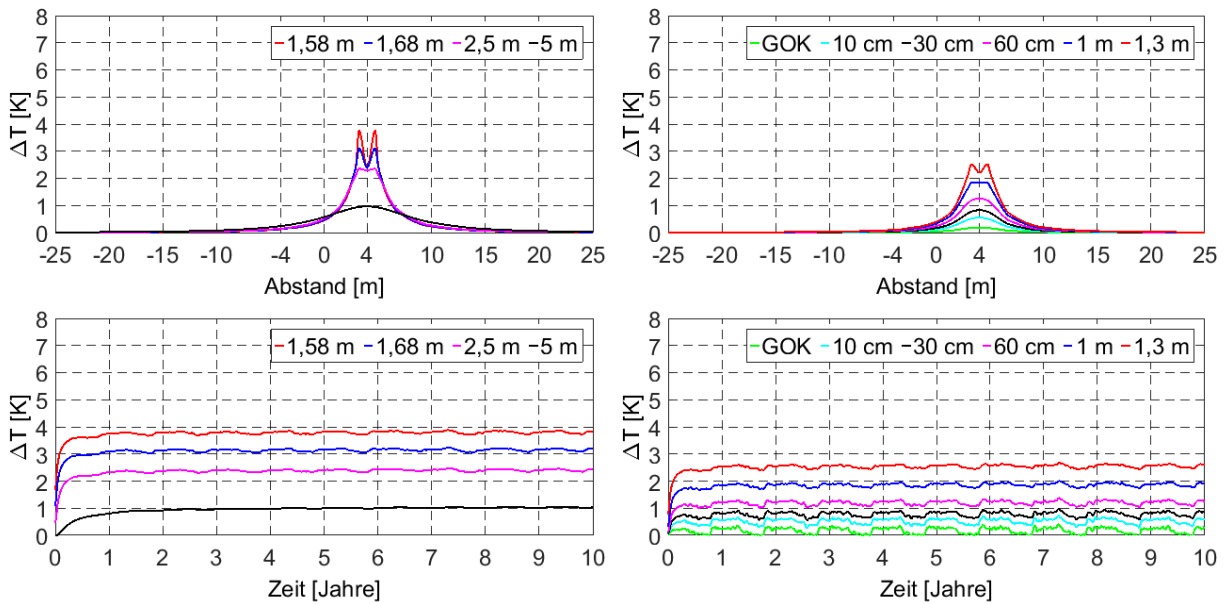


Abbildung 13: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

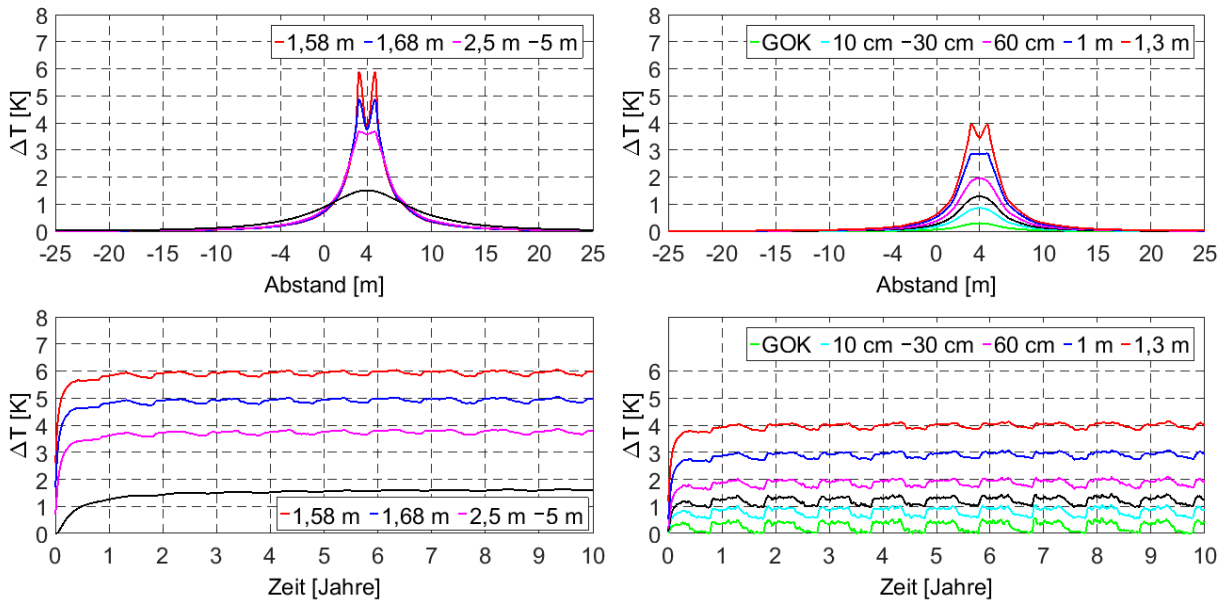


Abbildung 14: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

In den folgenden Tabellen sind die verwendeten Berechnungswerte der Grafiken der Abbildung 13 und Abbildung 14 tabellarisch zusammengefasst.

Tabelle 3: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	0,21	0,24	0,28	0,57	0,94	0,97	0,94
2,5 m	0,12	0,15	0,18	0,51	2,35	2,30	2,35
1,68 m	0,11	0,13	0,16	0,47	3,11	2,41	3,11
1,58 m	0,11	0,12	0,16	0,45	3,76	2,39	3,76
1,3 m	0,08	0,11	0,12	0,40	2,52	2,21	2,52
1 m	0,07	0,09	0,11	0,34	1,84	1,84	1,84
60 cm	0,05	0,06	0,08	0,24	1,19	1,25	1,19
30 cm	0,04	0,04	0,05	0,17	0,77	0,83	0,77
10 cm	0,02	0,03	0,04	0,11	0,51	0,55	0,51
GOK	0,01	0,01	0,01	0,04	0,17	0,19	0,17

Tabelle 4: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	0,32	0,38	0,44	0,89	1,47	1,51	1,47
2,5 m	0,19	0,23	0,28	0,80	3,68	3,59	3,68
1,68 m	0,17	0,20	0,25	0,73	4,86	3,76	4,86
1,58 m	0,17	0,19	0,25	0,70	5,87	3,74	5,87
1,3 m	0,12	0,16	0,19	0,62	3,94	3,45	3,94
1 m	0,11	0,13	0,16	0,52	2,87	2,87	2,87
60 cm	0,08	0,09	0,12	0,38	1,85	1,96	1,85
30 cm	0,05	0,06	0,08	0,26	1,20	1,29	1,20
10 cm	0,04	0,04	0,05	0,17	0,80	0,86	0,80
GOK	0,01	0,02	0,02	0,06	0,27	0,29	0,27

Die Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen eine Änderung in Abhängigkeit vom Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Sättigungsdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m Tiefe übersteigen dabei nicht 2 % bzw. 10 % (Abbildung 15) und 3 % bzw. 16 % (Abbildung 16) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer.

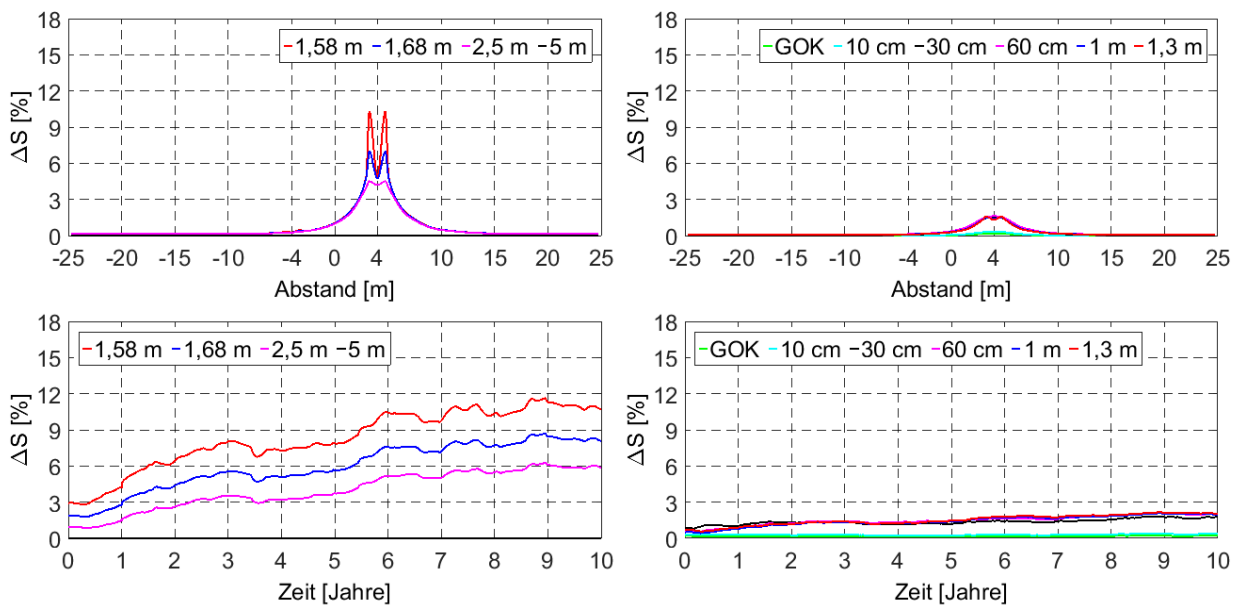


Abbildung 15: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

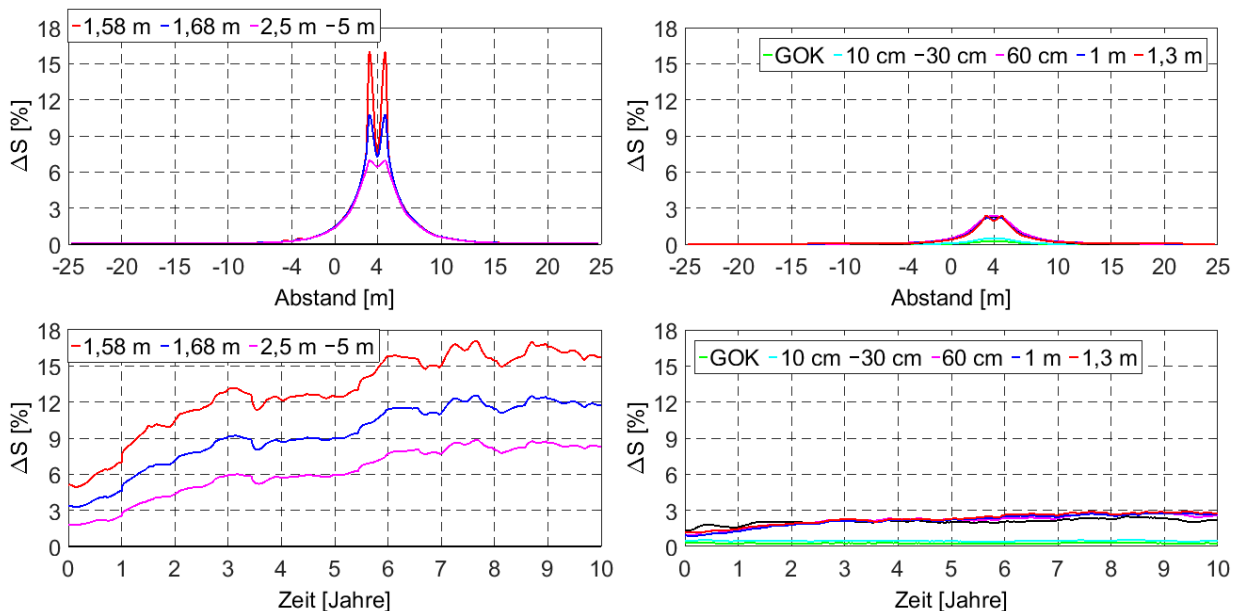


Abbildung 16: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Temperaturdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP eine ausgeprägte Temperaturdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 3,5 K (Abbildung 17) bzw. 5,5 K (Abbildung 18) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. In Richtung der GOK wird die Erwärmung mit Werten ≤ 1 K zunehmend geringer.

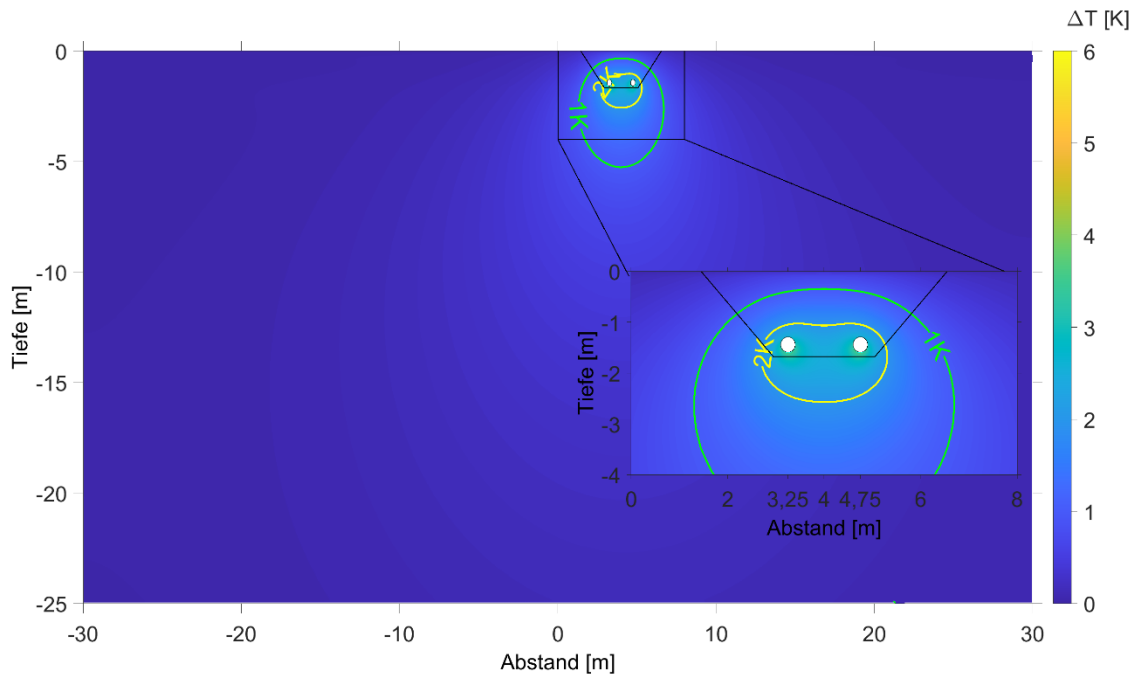


Abbildung 17: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais nach 10 Jahren.

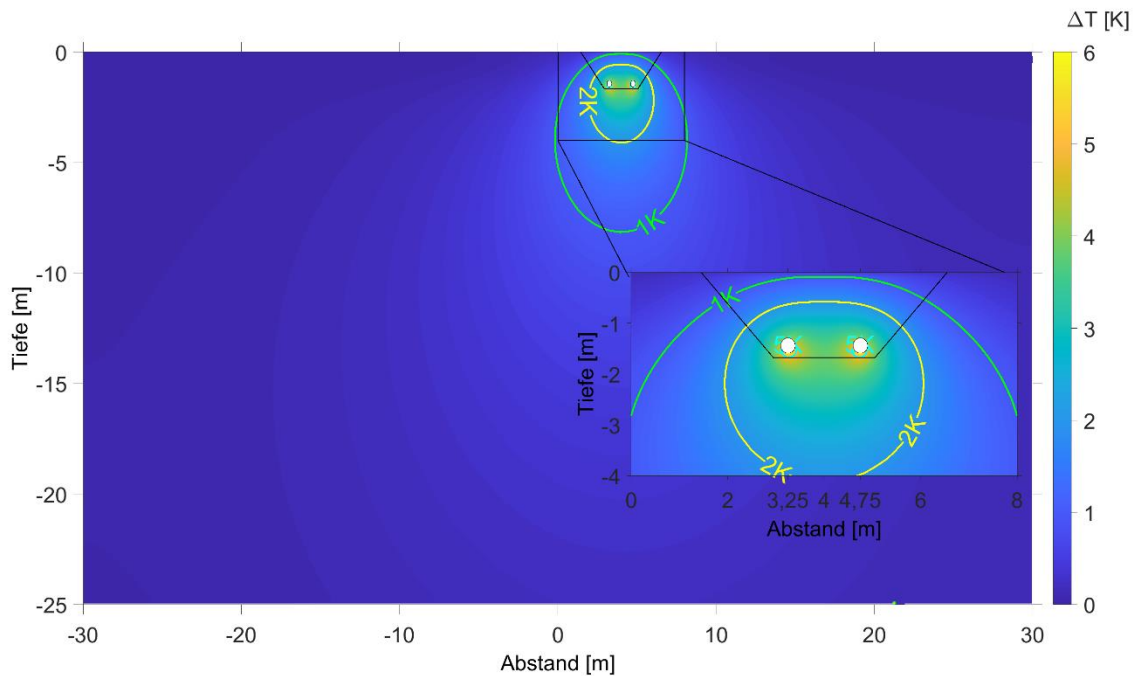


Abbildung 18: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais nach 10 Jahren.

Die 2D-Sättigungsdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP eine Sättigungsdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 8 % (Abbildung 19) bzw. 10 % (Abbildung 20) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb.

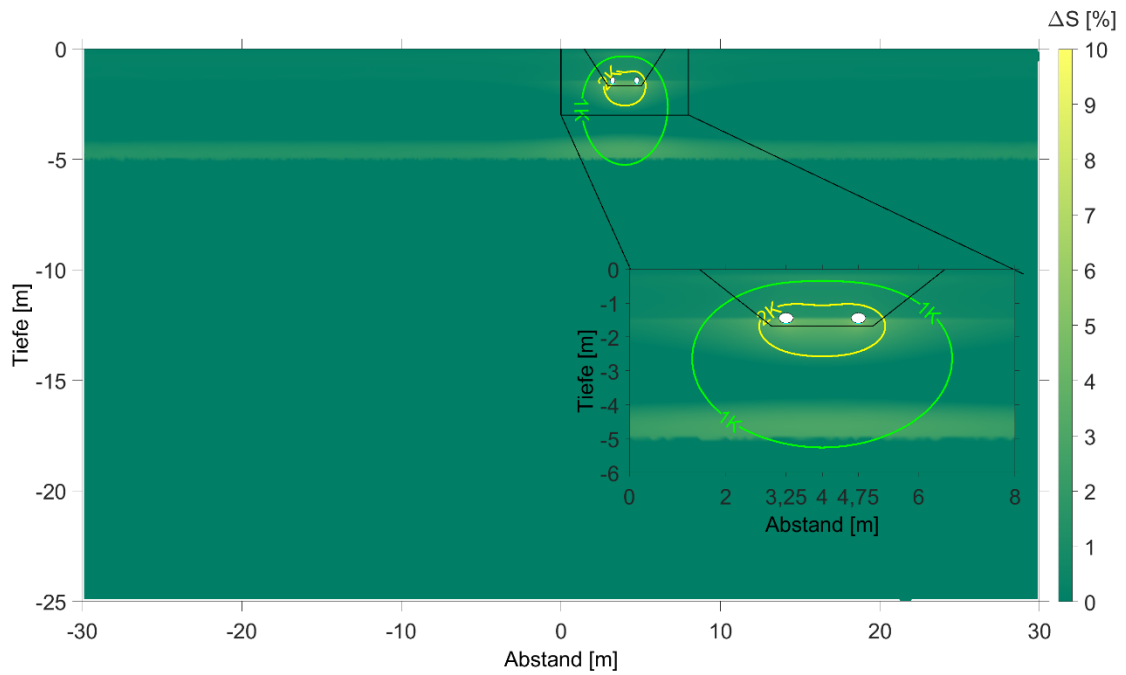


Abbildung 19: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

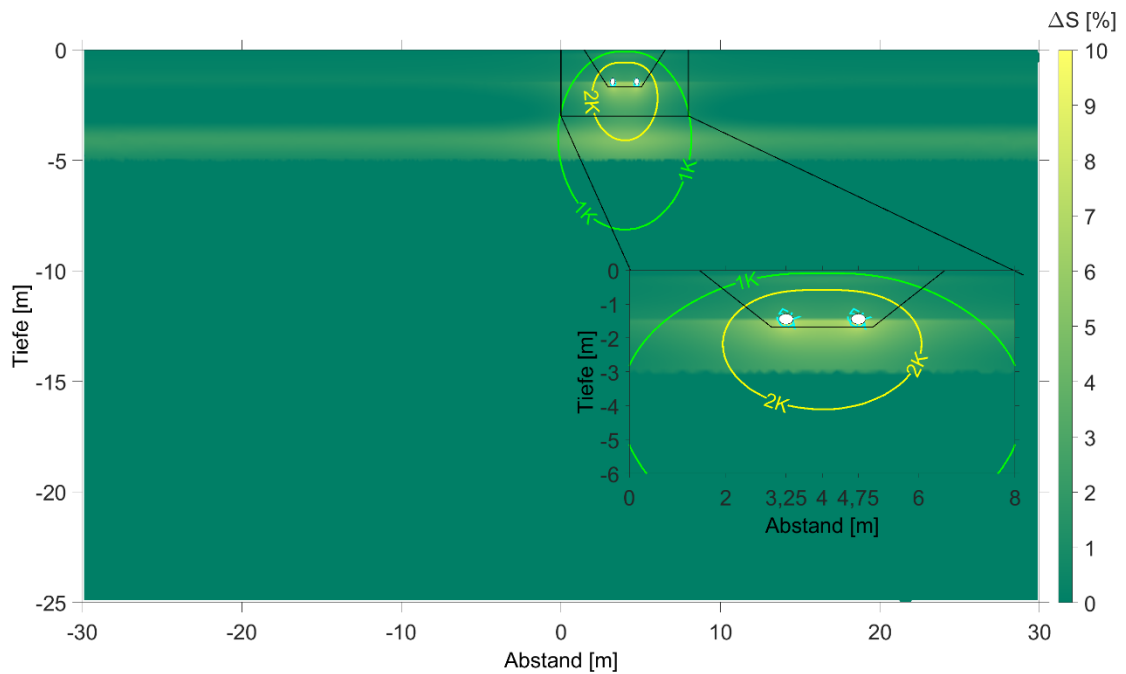


Abbildung 20: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

3.1.2.2 Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme)

Die Temperaturdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie 68 % NEP und 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Temperaturdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m übersteigen dabei nicht 4 K (Abbildung 21) bzw. 6,5 K (Abbildung 22) und in Richtung der GOK wird die Erwärmung zunehmend geringer. In den Abbildungen des Mittelwertes über die Tiefe und die zeitabhängigen Darstellungen können leichte Unterschiede infolge der Mittelung über das betrachtete Jahr aufweisen.

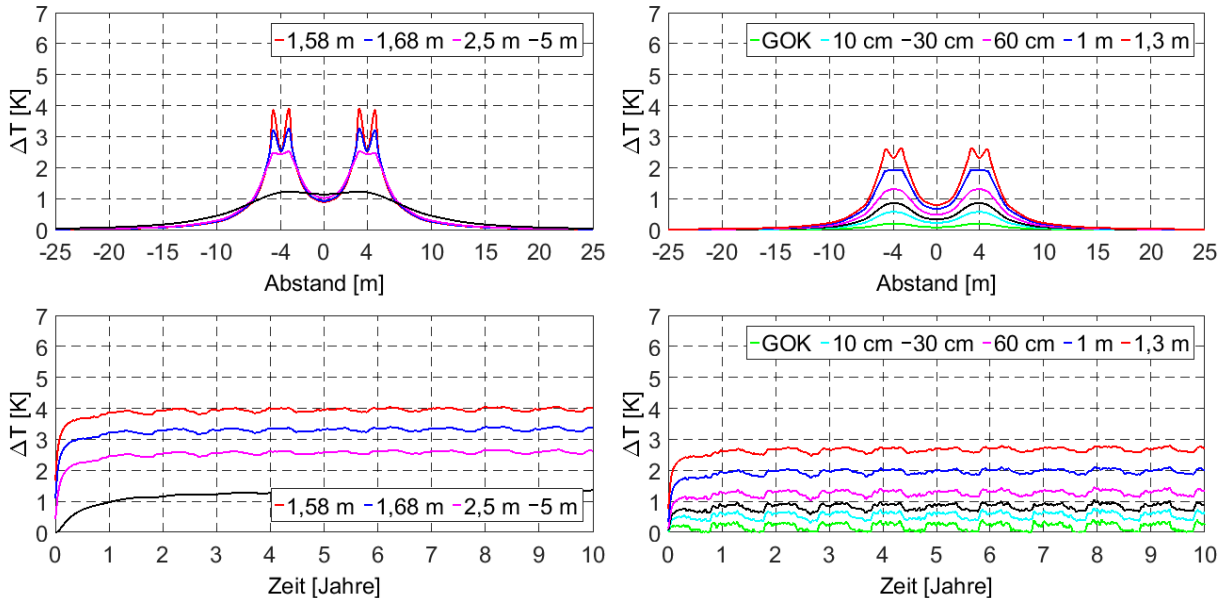


Abbildung 21: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

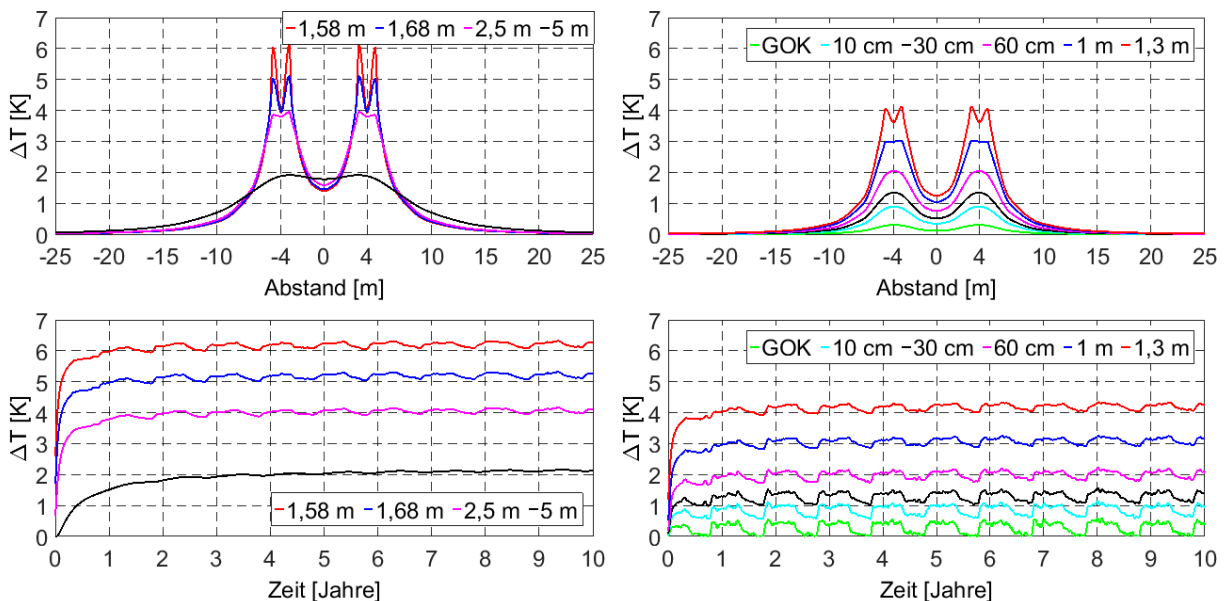


Abbildung 22: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

In den folgenden Tabellen sind die verwendeten Berechnungswerte der Grafiken der Abbildung 21 und Abbildung 22 tabellarisch zusammengefasst.

Tabelle 5: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	1,14	1,20	1,22	1,14	1,22	1,20	1,14
2,5 m	2,47	2,43	2,52	1,02	2,52	2,43	2,46
1,68 m	3,21	2,53	3,26	0,92	3,26	2,52	3,21
1,58 m	3,85	2,51	3,91	0,89	3,91	2,51	3,85
1,3 m	2,59	2,30	2,63	0,79	2,63	2,30	2,59
1 m	1,90	1,91	1,93	0,66	1,93	1,91	1,90
60 cm	1,23	1,31	1,25	0,48	1,25	1,31	1,23
30 cm	0,80	0,86	0,81	0,32	0,81	0,86	0,80
10 cm	0,53	0,57	0,54	0,22	0,54	0,57	0,53
GOK	0,18	0,19	0,18	0,07	0,18	0,19	0,18

Tabelle 6: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	1,79	1,88	1,91	1,78	1,91	1,88	1,79
2,5 m	3,86	3,81	3,95	1,59	3,95	3,81	3,86
1,68 m	5,02	3,95	5,10	1,45	5,10	3,95	5,02
1,58 m	6,03	3,92	6,11	1,40	6,11	3,92	6,03
1,3 m	4,05	3,61	4,12	1,24	4,12	3,61	4,05
1 m	2,97	2,99	3,02	1,04	3,02	2,99	2,97
60 cm	1,92	2,04	1,96	0,75	1,96	2,04	1,92
30 cm	1,25	1,34	1,28	0,51	1,28	1,34	1,25
10 cm	0,83	0,89	0,85	0,34	0,85	0,89	0,83
GOK	0,28	0,30	0,28	0,11	0,28	0,30	0,28

Die Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a und 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Sättigungsdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m Tiefe übersteigen dabei nicht 2 % bzw. 10,5 % (Abbildung 23) und 3 % bzw. 16,5 % (Abbildung 24) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer.

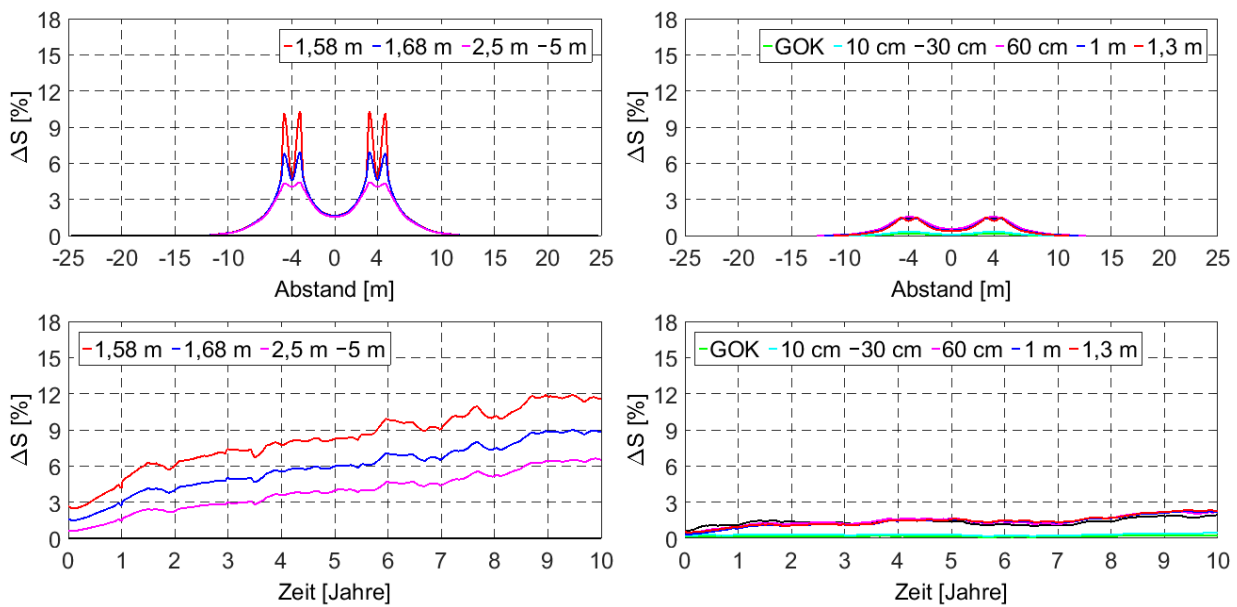


Abbildung 23: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

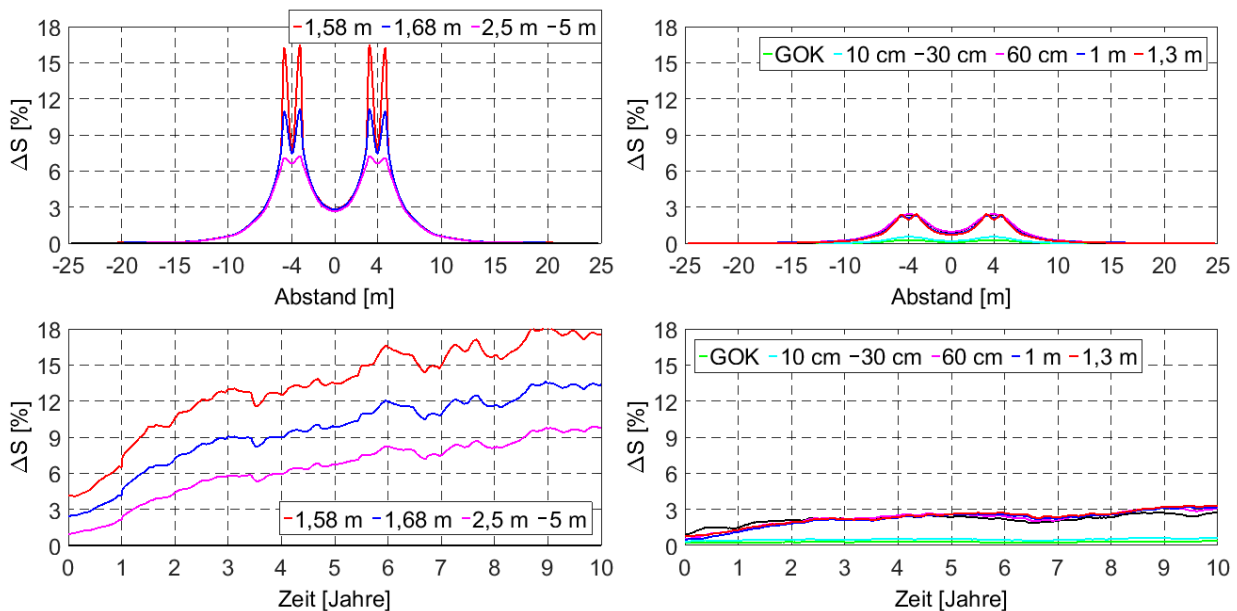


Abbildung 24: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Temperaturdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie 68 % NEP und 85 % NEP eine ausgeprägte Temperaturdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 3,5 K (Abbildung 25) bzw. 5,5 K (Abbildung 26) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. In Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss mit Werten ≤ 1 K zunehmend geringer.

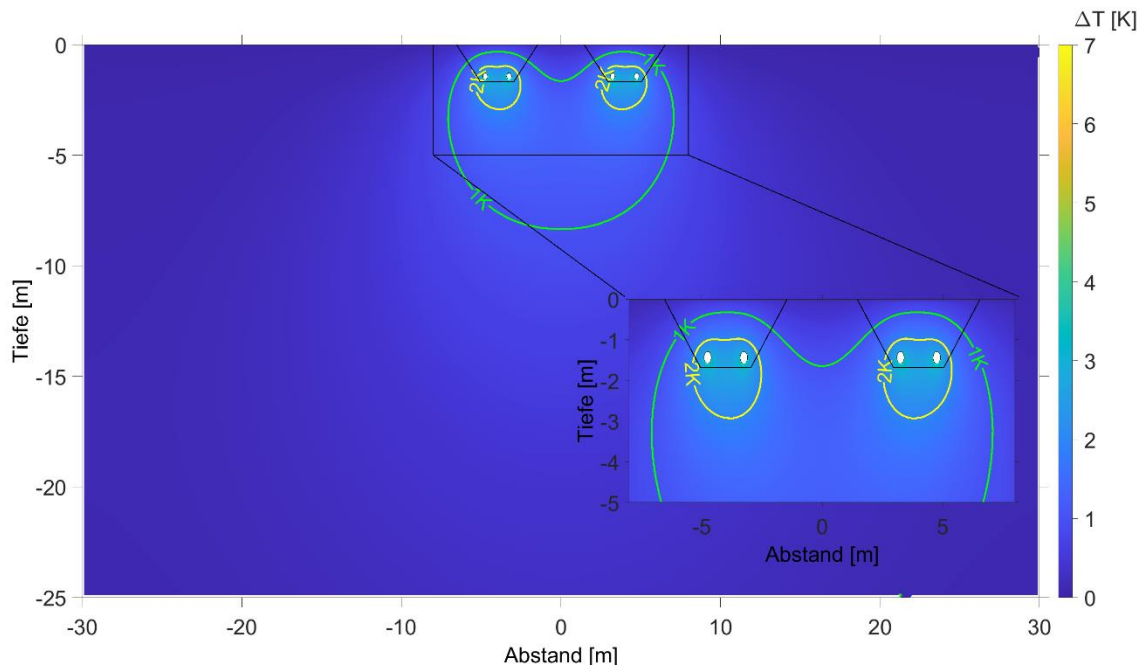


Abbildung 25: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais nach 10 Jahren.

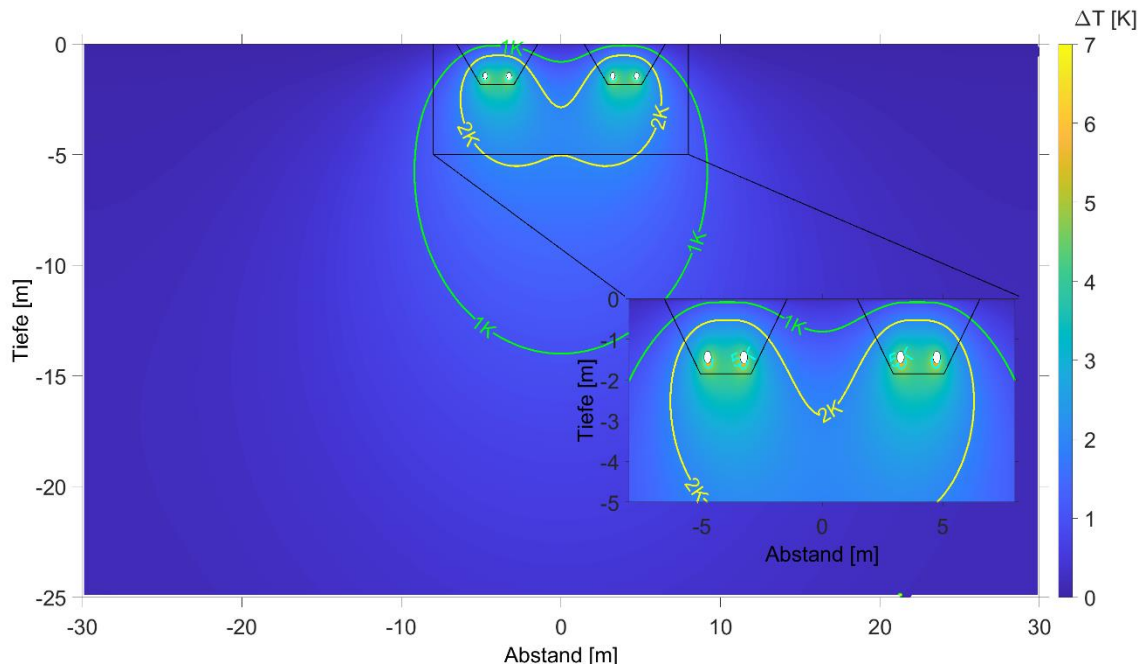


Abbildung 26: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais nach 10 Jahren.

Die 2D-Sättigungsdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie 68 % NEP und 85 % NEP eine Sättigungsänderung in direkter Kabelumgebung von bis zu 8,5 % (Abbildung 27) bzw. 9 % (Abbildung 28). In Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss mit Werten ≤ 1 % zunehmend geringer.

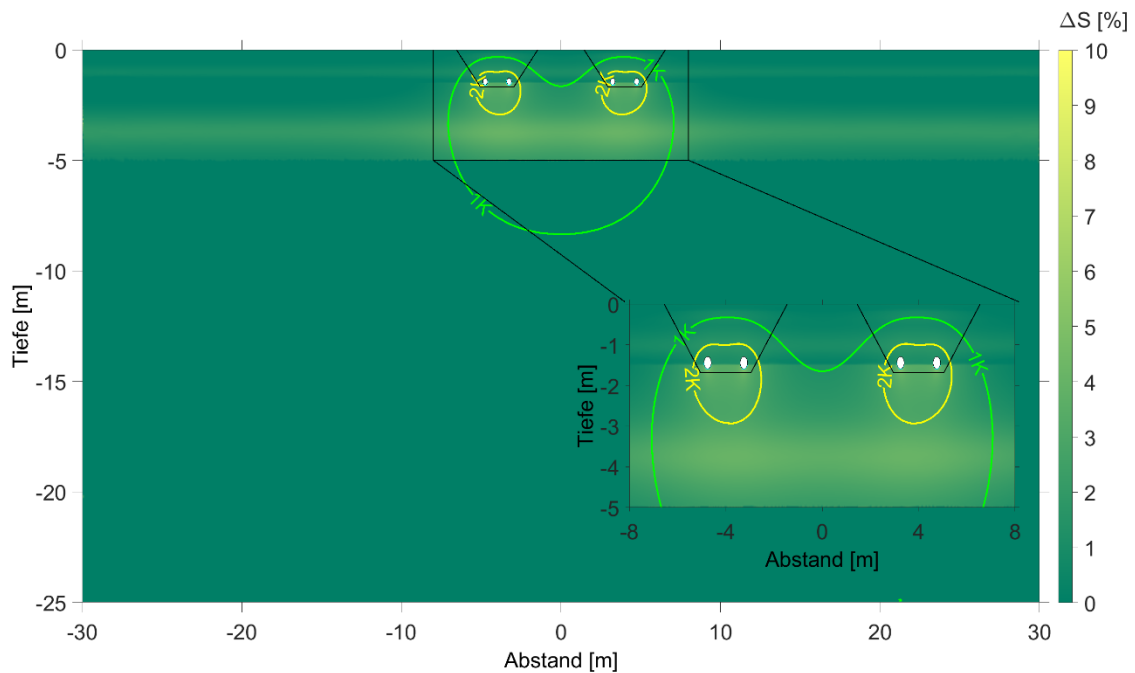


Abbildung 27: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

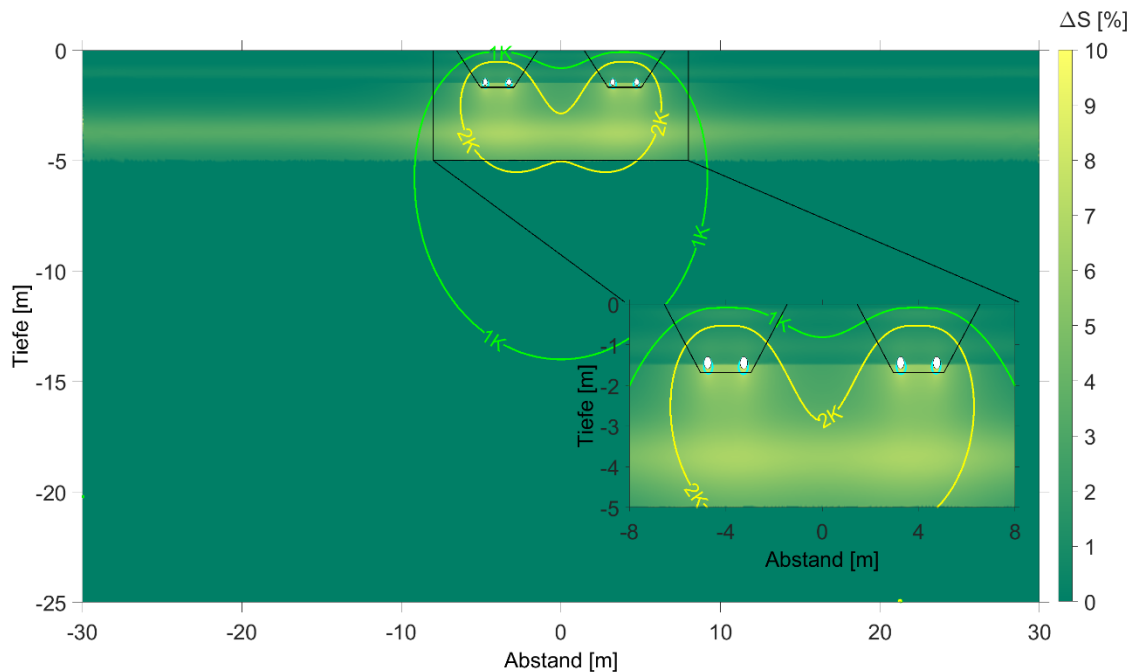


Abbildung 28: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie sowie die 5K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

3.1.3 Standort ohne Kabelbetrieb (Referenzwert im Ausgangszustand) für Grünland

Die Referenzwerte für die Temperatur und die Sättigung im Ausgangszustand ohne Kabelbetrieb und Grünland zeigen jahreszeitlich bedingte Schwankungen zwischen $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ sowie 0,6 und 0,75 an der GOK (Abbildung 29). Mit zunehmender Tiefe nimmt der Schwankungsbereich der Temperatur und der

Sättigung ab und es ist auf einen signifikanten Unterschied zwischen der Bodentemperatur an der GOK und der Lufttemperatur zu verweisen.

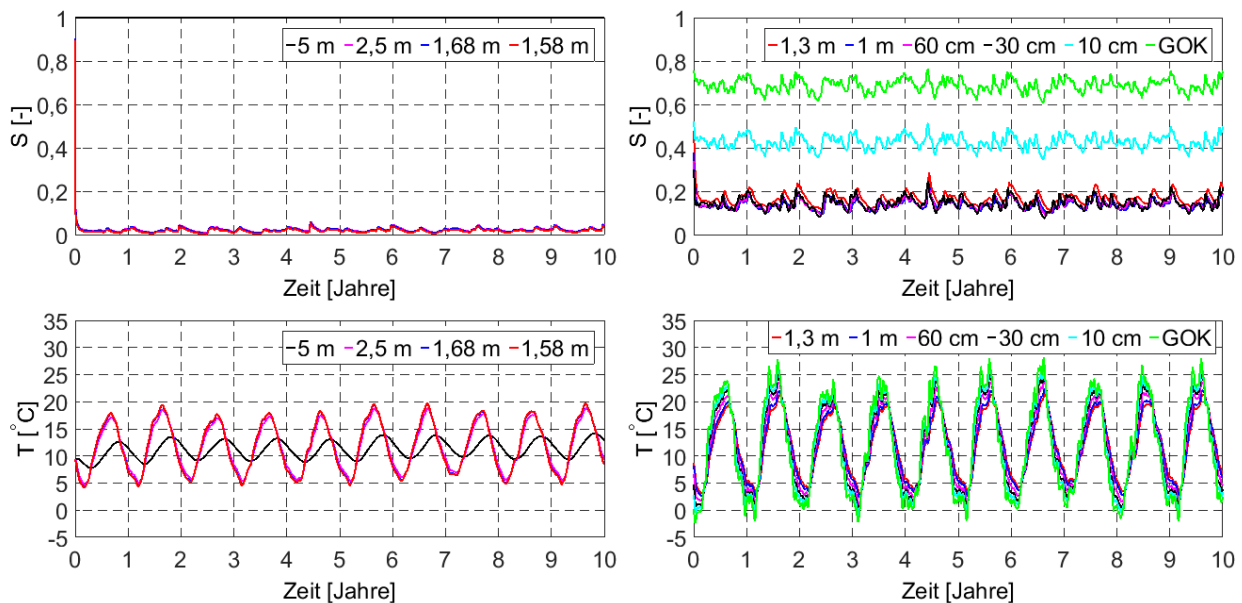


Abbildung 29: Referenzwerte für Sättigung S [-] und Temperatur T [°C] in 5 m, 2,5 m, 1,68 m und 1,58 m (links oben/unten) sowie 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben/unten) von Grünland im Zeitraum von 10 Jahren für das Leitprofil S0128 (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

3.1.4 Ergebnisse unter Kabelbetrieb für Grünland

3.1.4.1 Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem)

Die Temperaturdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Temperaturdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m übersteigen dabei nicht 4 K (Abbildung 30) bzw. 6 K (Abbildung 31) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer. In den Abbildungen des Mittelwertes über die Tiefe und die zeitabhängigen Darstellungen können leichte Unterschiede infolge der Mittelung über das betrachtete Jahr aufweisen.

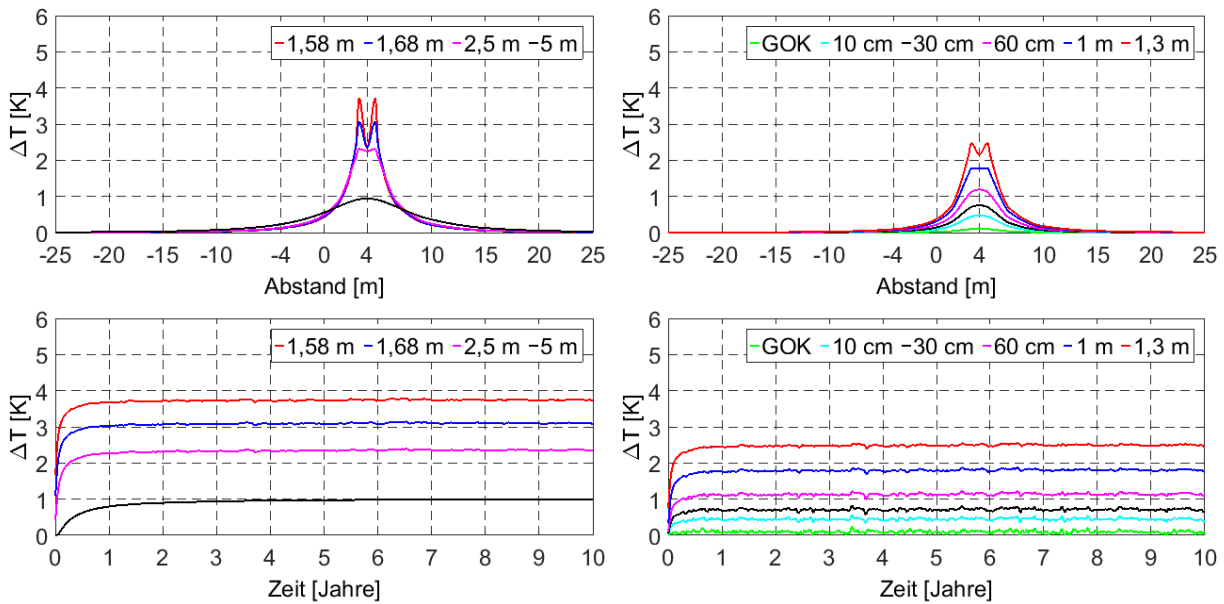


Abbildung 30: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

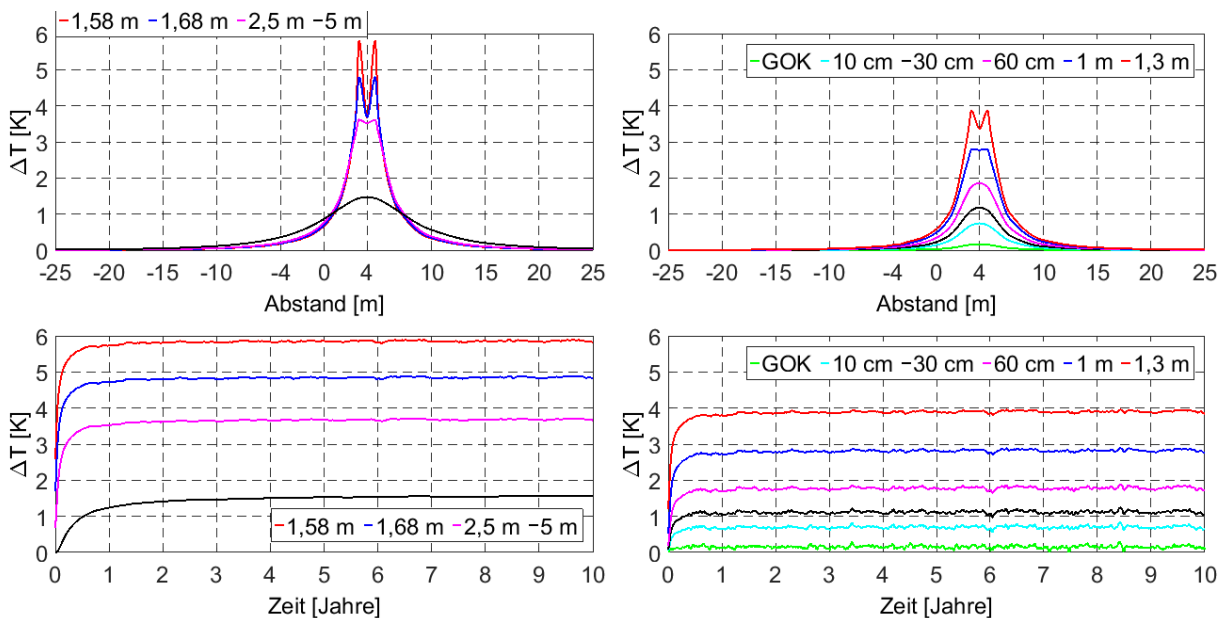


Abbildung 31: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

In den folgenden Tabellen sind die verwendeten Berechnungswerte der Grafiken der Abbildung 30 und Abbildung 31 tabellarisch zusammengefasst.

Tabelle 7: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	0,20	0,23	0,27	0,55	0,92	0,94	0,92
2,5 m	0,11	0,14	0,17	0,49	2,31	2,25	2,31
1,68 m	0,10	0,12	0,15	0,44	3,06	2,36	3,06
1,58 m	0,10	0,11	0,15	0,43	3,71	2,34	3,71
1,3 m	0,07	0,10	0,11	0,38	2,47	2,16	2,47
1 m	0,06	0,08	0,09	0,31	1,78	1,78	1,78
60 cm	0,04	0,05	0,07	0,22	1,12	1,19	1,12
30 cm	0,03	0,03	0,04	0,14	0,71	0,76	0,71
10 cm	0,02	0,02	0,03	0,09	0,44	0,48	0,44
GOK	0,00	0,00	0,00	0,02	0,10	0,10	0,10

Tabelle 8: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	0,31	0,36	0,42	0,87	1,44	1,47	1,44
2,5 m	0,18	0,21	0,26	0,76	3,61	3,52	3,61
1,68 m	0,16	0,19	0,24	0,69	4,79	3,69	4,79
1,58 m	0,15	0,18	0,23	0,67	5,80	3,67	5,80
1,3 m	0,11	0,15	0,17	0,59	3,86	3,37	3,86
1 m	0,10	0,12	0,15	0,49	2,78	2,78	2,79
60 cm	0,07	0,08	0,10	0,34	1,76	1,86	1,76
30 cm	0,04	0,05	0,07	0,23	1,10	1,18	1,10
10 cm	0,03	0,03	0,04	0,14	0,69	0,74	0,69
GOK	0,00	0,01	0,01	0,03	0,15	0,16	0,15

Die Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Sättigungsdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m Tiefe übersteigen dabei nicht 2 % bzw. 10 % (Abbildung 32) und 3 % bzw. 16 % (Abbildung 33) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer.

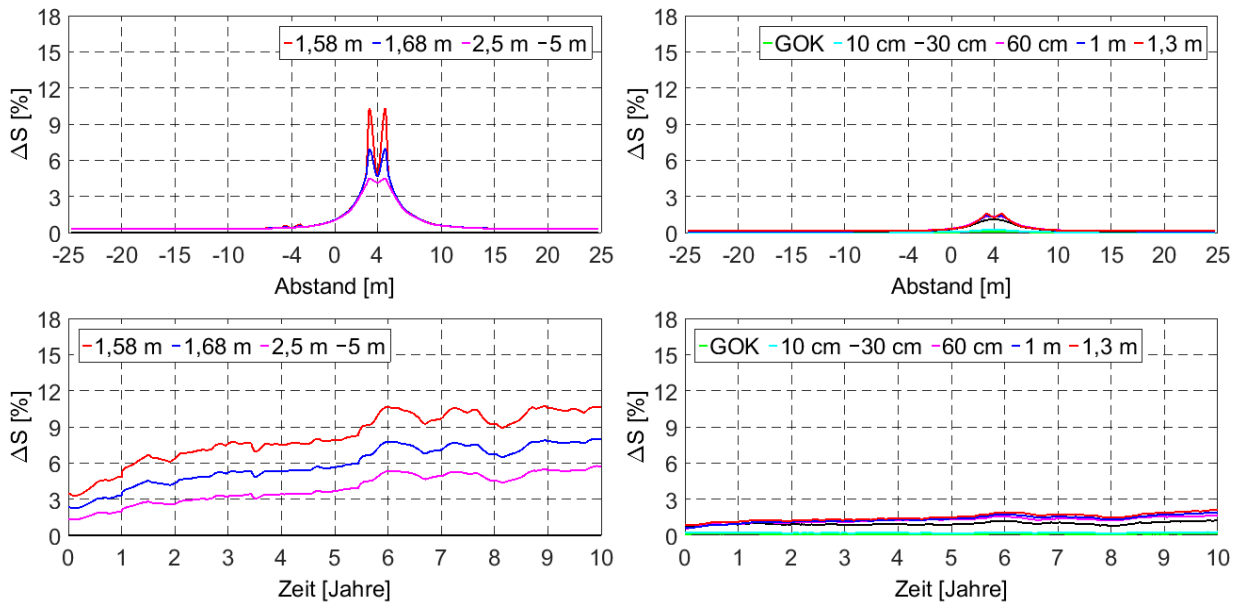


Abbildung 32: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

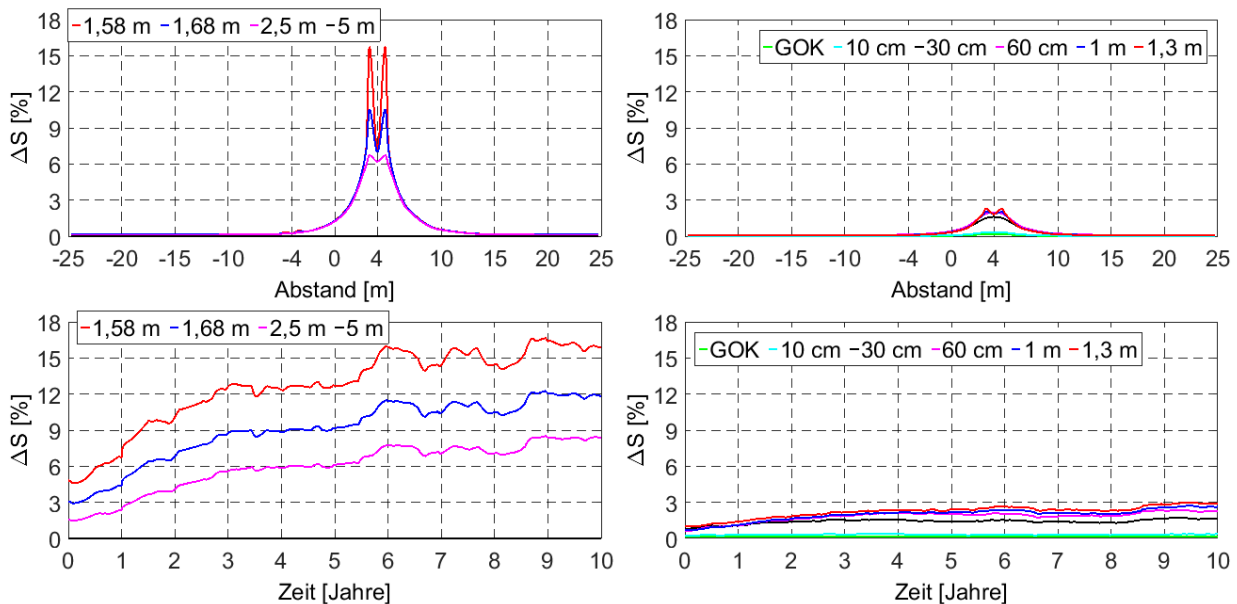


Abbildung 33: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Temperaturdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP eine ausgeprägte Temperaturdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 3,5 K (Abbildung 34) bzw. 4,5 K (Abbildung 35) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. In Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss mit Werten ≤ 1 K zunehmend geringer.

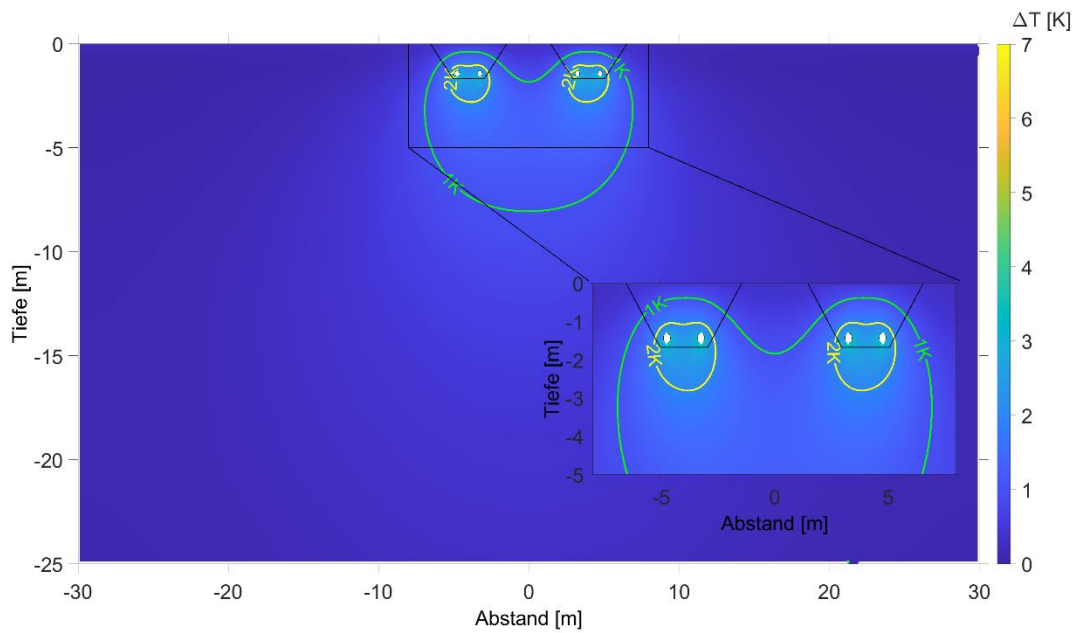


Abbildung 34: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland nach 10 Jahren.

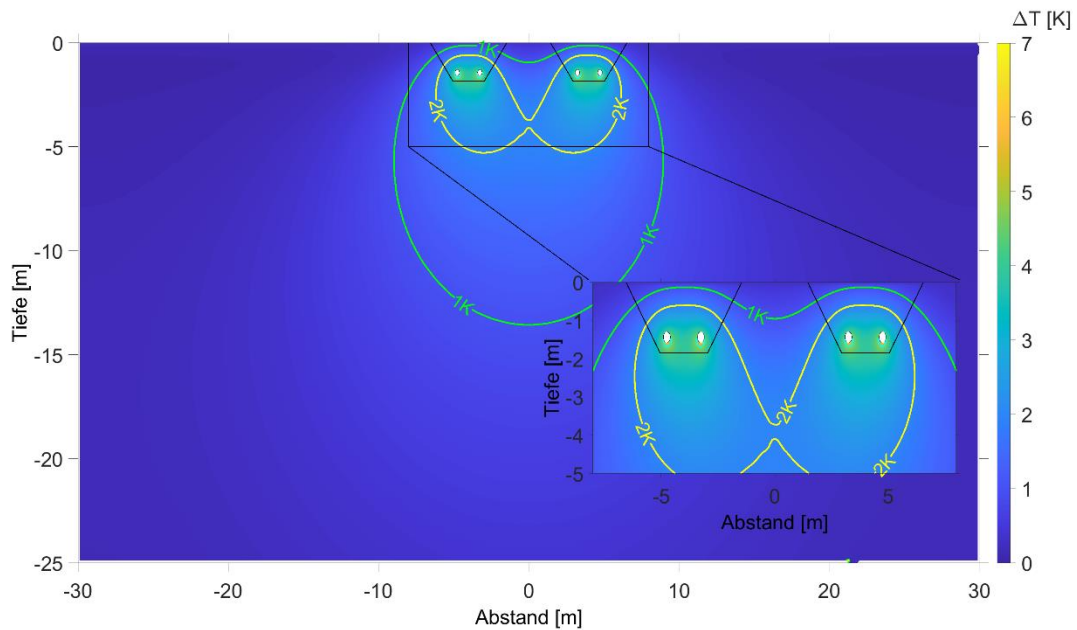


Abbildung 35: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland nach 10 Jahren.

Die 2D-Sättigungsdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP und 85 % NEP eine Sättigungsänderung von bis zu 8,5 % (Abbildung 36) bzw. 9,5 % (Abbildung 37).

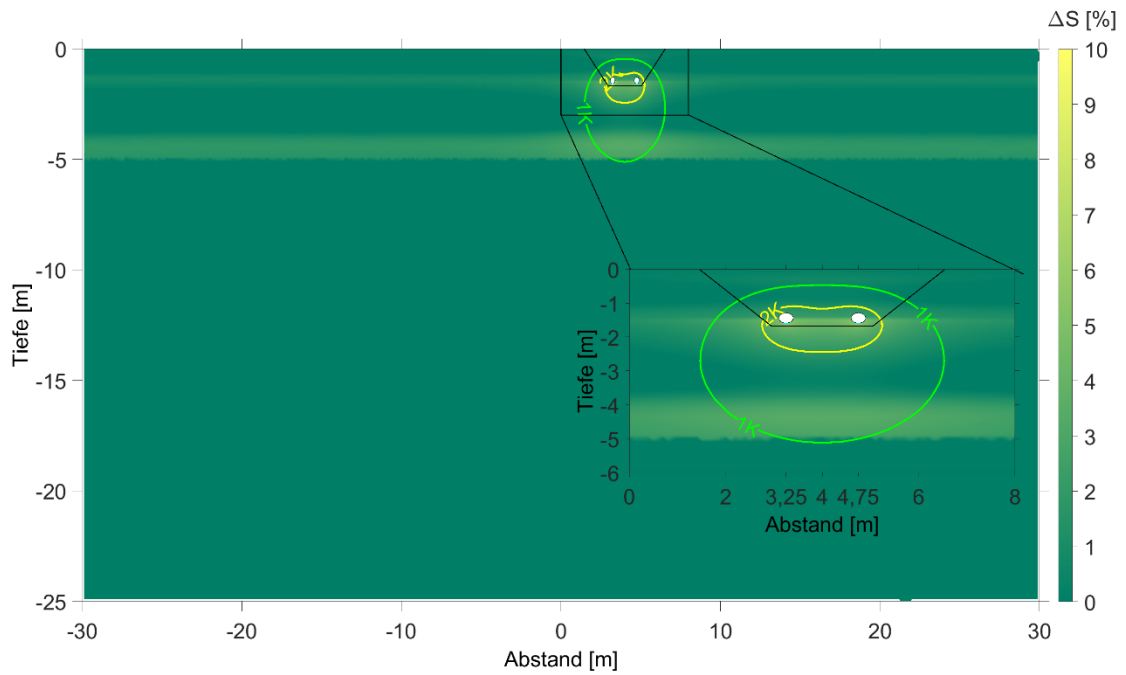


Abbildung 36: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

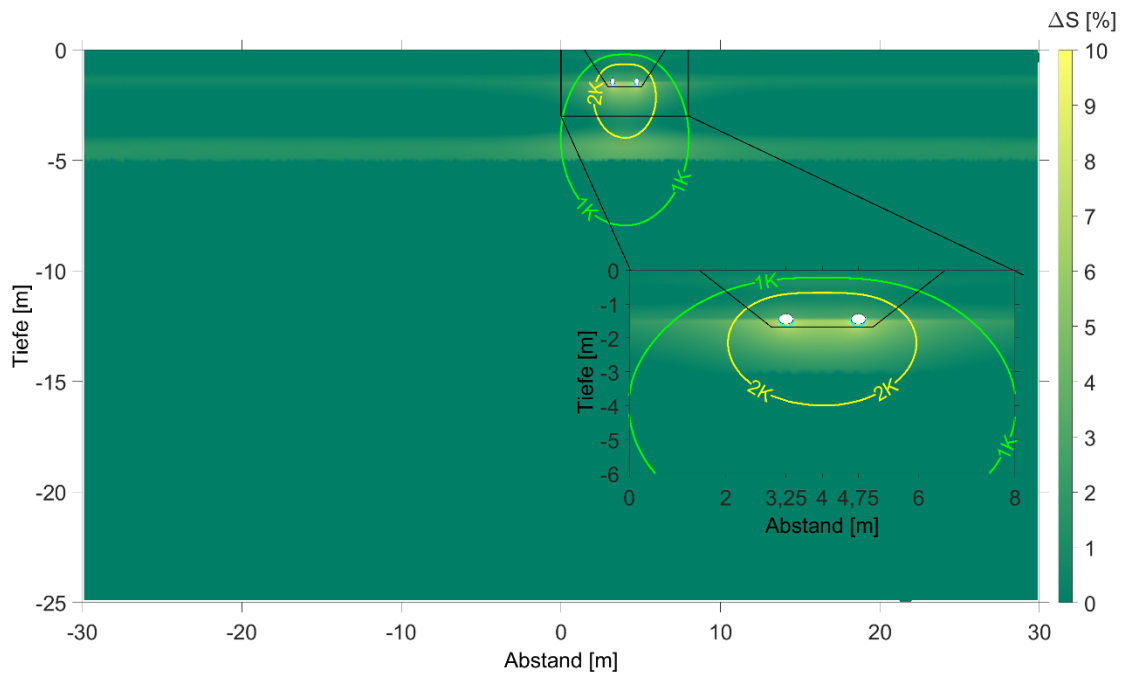


Abbildung 37: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

3.1.4.2 Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme)

Die Temperaturdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie 68 % NEP und 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Temperaturdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m übersteigen dabei nicht 4 K (Abbildung 38) bzw. 6,0 K (Abbildung 39) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer. In den Abbildungen des Mittelwertes über die Tiefe und die zeitabhängigen Darstellungen können leichte Unterschiede infolge der Mittelung über das betrachtete Jahr aufweisen.

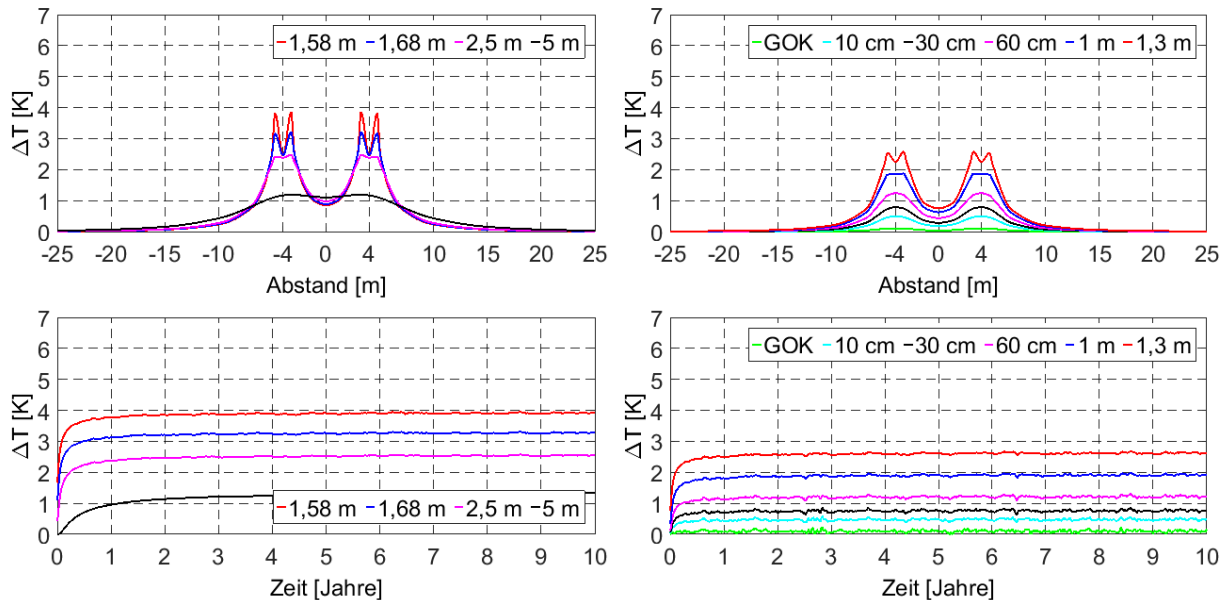


Abbildung 38: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von -4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

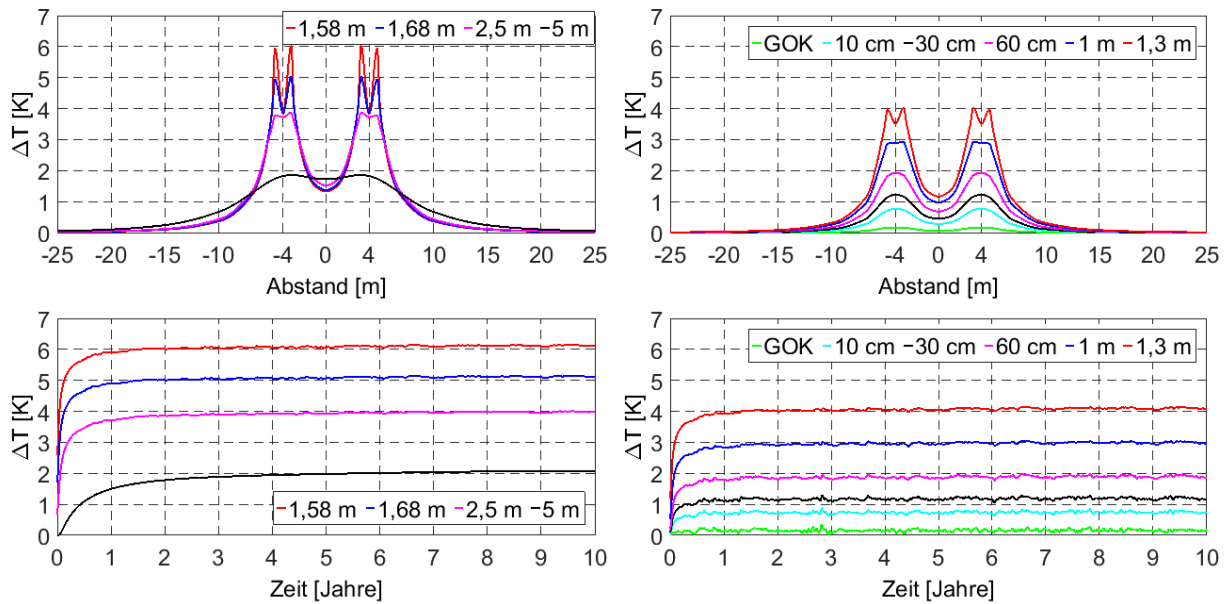


Abbildung 39: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

In den folgenden Tabellen sind die verwendeten Berechnungswerte der Grafiken der Abbildung 38 und Abbildung 39 tabellarisch zusammengefasst.

Tabelle 9: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	1,11	1,17	1,19	1,10	1,19	1,17	1,11
2,5 m	2,42	2,38	2,47	0,97	2,48	2,38	2,42
1,68 m	3,16	2,47	3,21	0,88	3,21	2,47	3,16
1,58 m	3,80	2,45	3,85	0,85	3,85	2,45	3,80
1,3 m	2,54	2,25	2,57	0,75	2,57	2,25	2,54
1 m	1,84	1,85	1,87	0,62	1,87	1,85	1,84
60 cm	1,16	1,24	1,19	0,44	1,19	1,24	1,16
30 cm	0,73	0,79	0,74	0,28	0,74	0,79	0,73
10 cm	0,46	0,49	0,47	0,18	0,47	0,49	0,46
GOK	0,10	0,11	0,10	0,04	0,10	0,11	0,10

Tabelle 10: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	1,74	1,83	1,85	1,72	1,85	1,83	1,74
2,5 m	3,78	3,73	3,86	1,52	3,87	3,72	3,78
1,68 m	4,94	3,86	5,02	1,38	5,02	3,86	4,94
1,58 m	5,94	3,83	6,02	1,33	6,02	3,83	5,94
1,3 m	3,96	3,51	4,02	1,17	4,02	3,51	3,96
1 m	2,87	2,89	2,92	0,97	2,92	2,89	2,87
60 cm	1,82	1,93	1,85	0,68	1,85	1,93	1,82
30 cm	1,14	1,23	1,16	0,44	1,16	1,23	1,14
10 cm	0,71	0,77	0,73	0,28	0,73	0,77	0,71
GOK	0,15	0,17	0,16	0,06	0,16	0,17	0,15

Die Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a und 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Sättigungsdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m Tiefe übersteigen dabei nicht 2 % bzw. 10,5 % (Abbildung 40) und 3 % bzw. 16,5 % (Abbildung 41) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer.

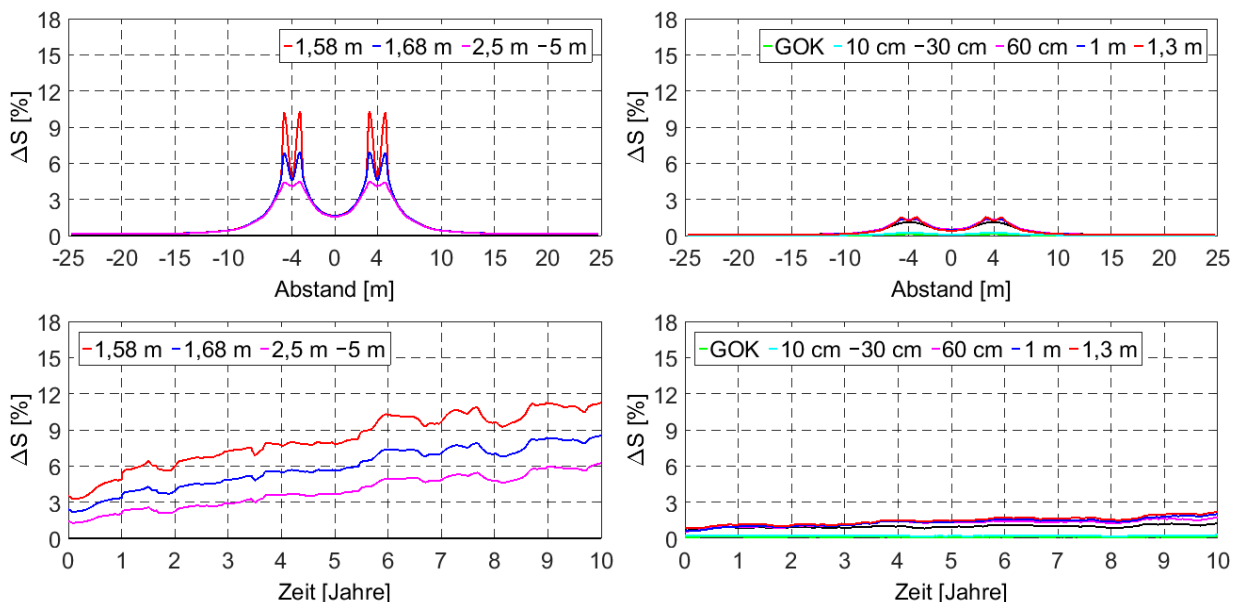


Abbildung 40: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

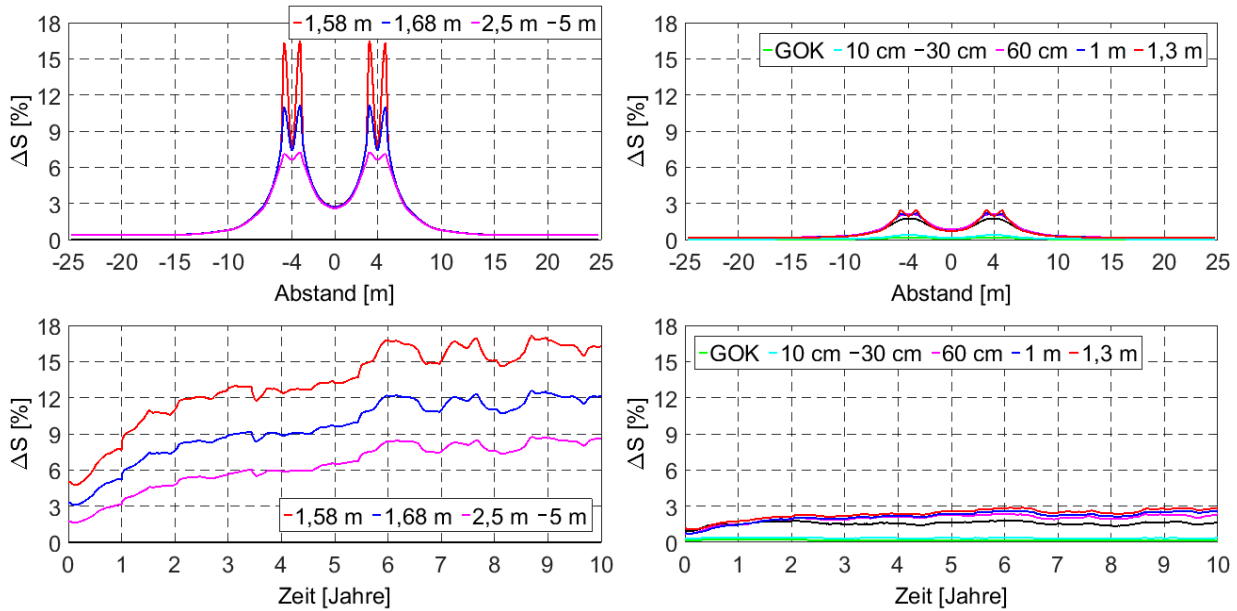


Abbildung 41: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von -4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Temperaturdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie 68 % NEP und 85 % NEP eine ausgeprägte Temperaturdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 3,5 K (Abbildung 42) bzw. 4,5 K (Abbildung 43) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. In Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss mit Werten ≤ 1 K zunehmend geringer.

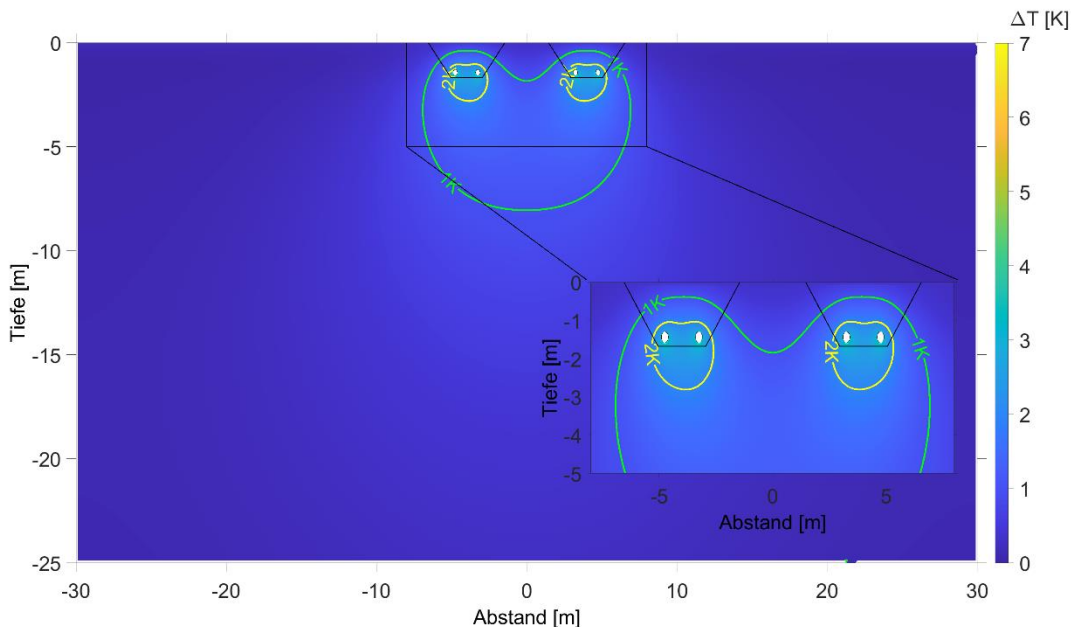


Abbildung 42: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland nach 10 Jahren.

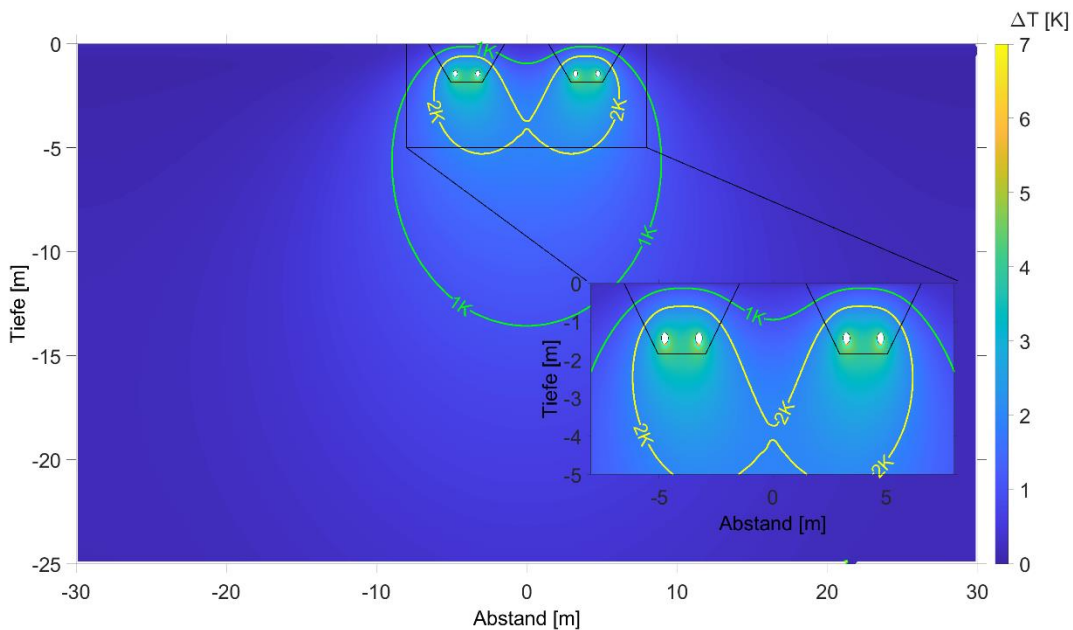


Abbildung 43: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland nach 10 Jahren.

Die 2D-Sättigungsdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie 68 % NEP und 85 % NEP eine Sättigungsänderung in direkter Kabelumgebung von bis zu 8,5 % (Abbildung 44) bzw. 9 % (Abbildung 45).

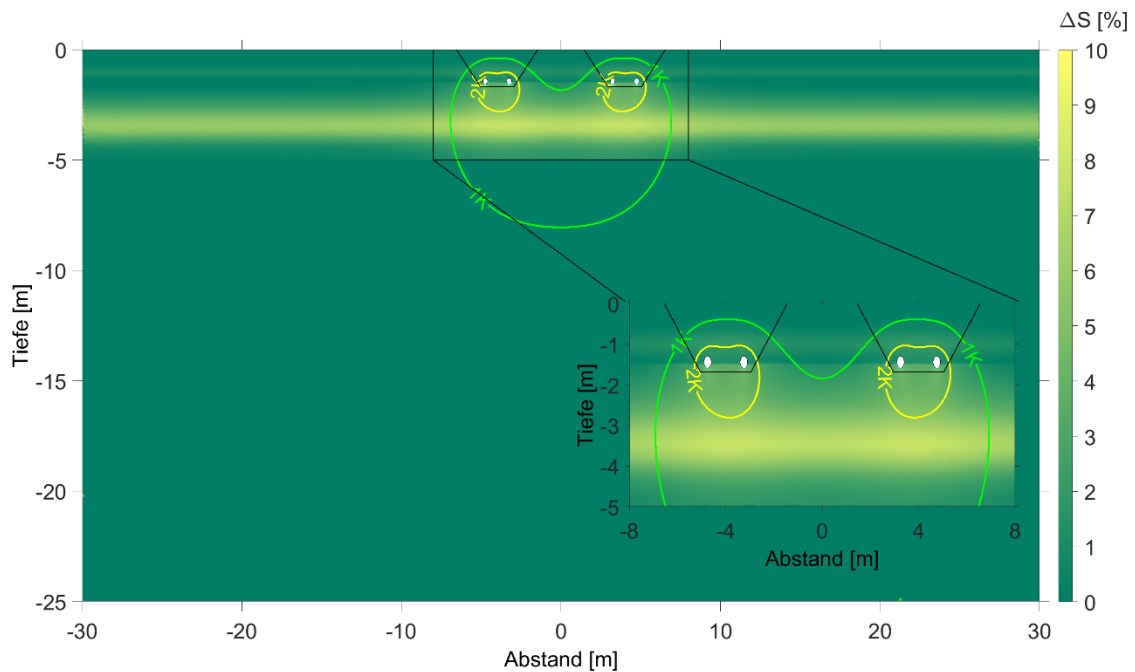


Abbildung 44: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

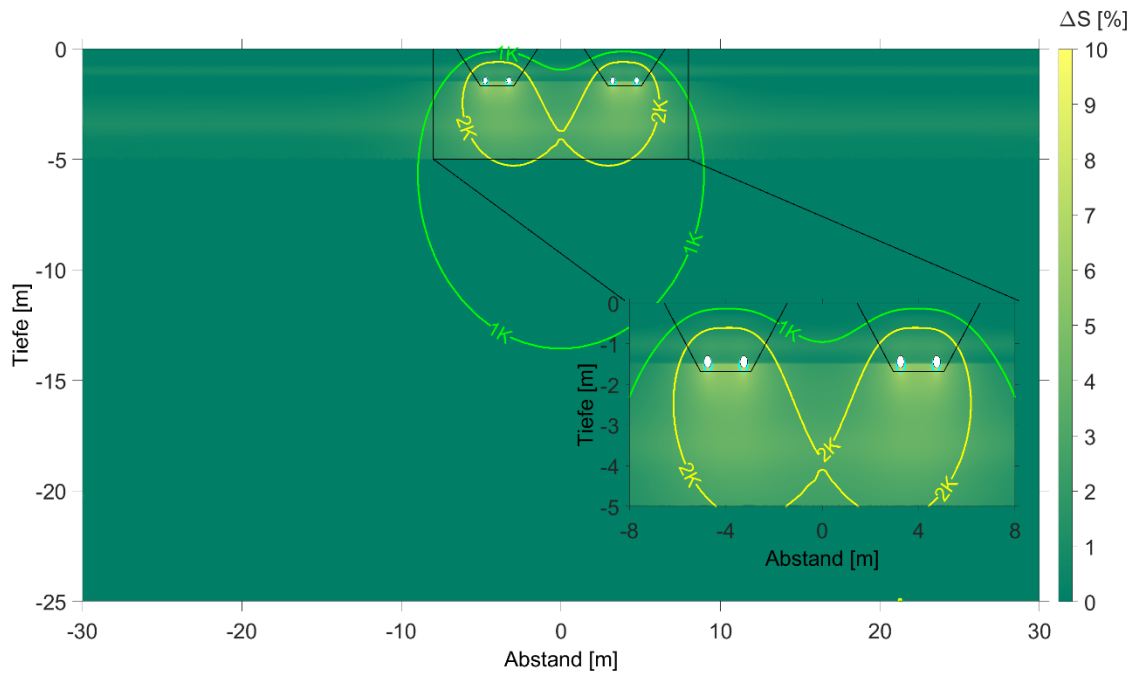


Abbildung 45: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie sowie die 5K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

3.1.5 Standort ohne Kabelbetrieb (Referenzwert im Ausgangszustand) für Winterweizen

Die Referenzwerte für die Temperatur und die Sättigung im Ausgangszustand ohne Kabelbetrieb und Winterweizen zeigen jahreszeitlich bedingte Schwankungen zwischen $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ sowie 0,6 und 0,8 an der GOK (Abbildung 46). Mit zunehmender Tiefe nimmt der Schwankungsbereich der Temperatur und der Sättigung ab und es ist auf einen signifikanten Unterschied zwischen der Bodentemperatur an der GOK und der Lufttemperatur zu verweisen.

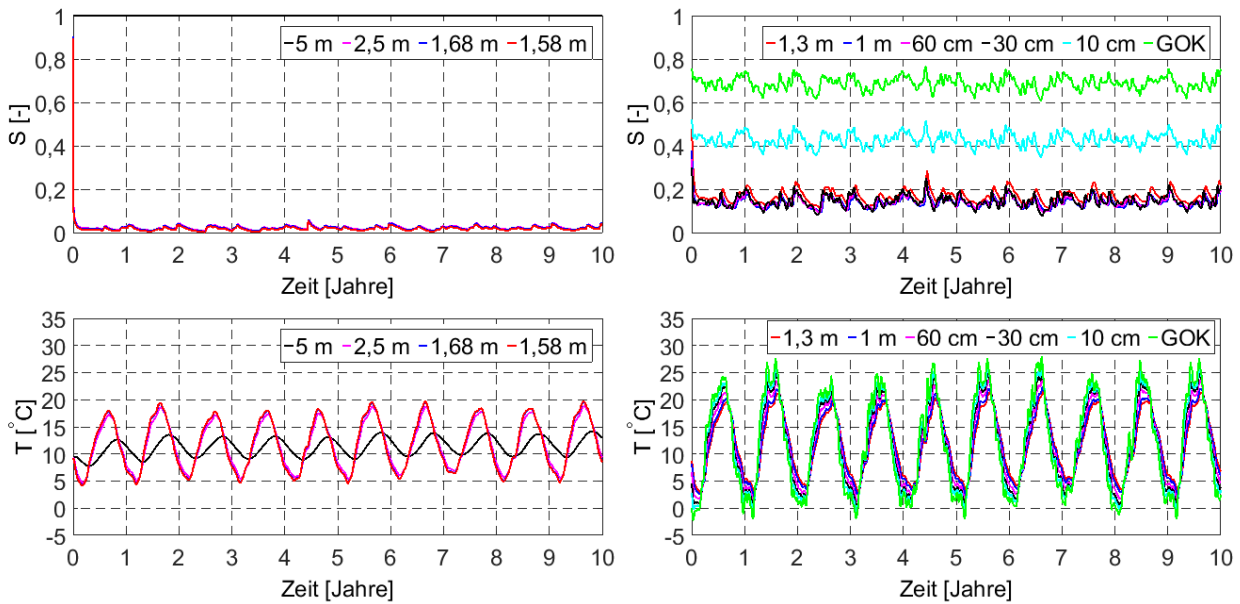


Abbildung 46: Referenzwerte für Sättigung S [-] und Temperatur T [°C] in 5 m, 2,5 m, 1,68 m und 1,58 m (links oben/unten) sowie 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben/unten) von Winterweizen im Zeitraum von 10 Jahren für das Leitprofil S0128 BK (VT) (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

3.1.6 Ergebnisse unter Kabelbetrieb für Winterweizen

3.1.6.1 Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem)

Die Temperaturdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Temperaturdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m übersteigen dabei nicht 4 K (Abbildung 47) bzw. 6 K (Abbildung 48) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer. In den Abbildungen des Mittelwertes über die Tiefe und die zeitabhängigen Darstellungen können leichte Unterschiede infolge der Mittelung über das betrachtete Jahr aufweisen.

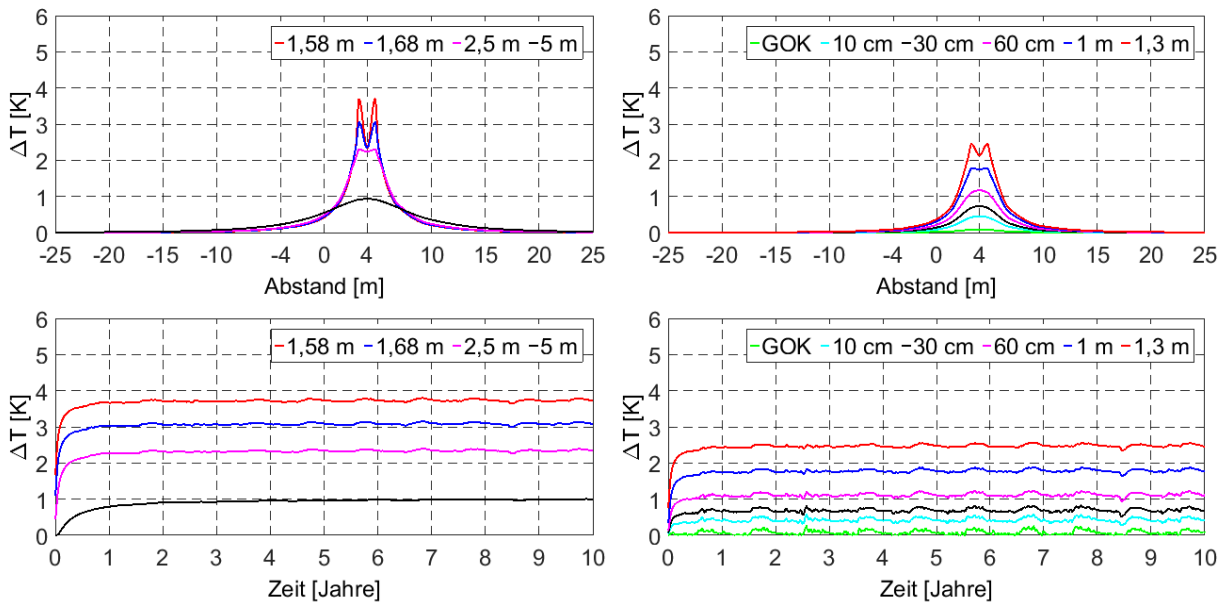


Abbildung 47: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

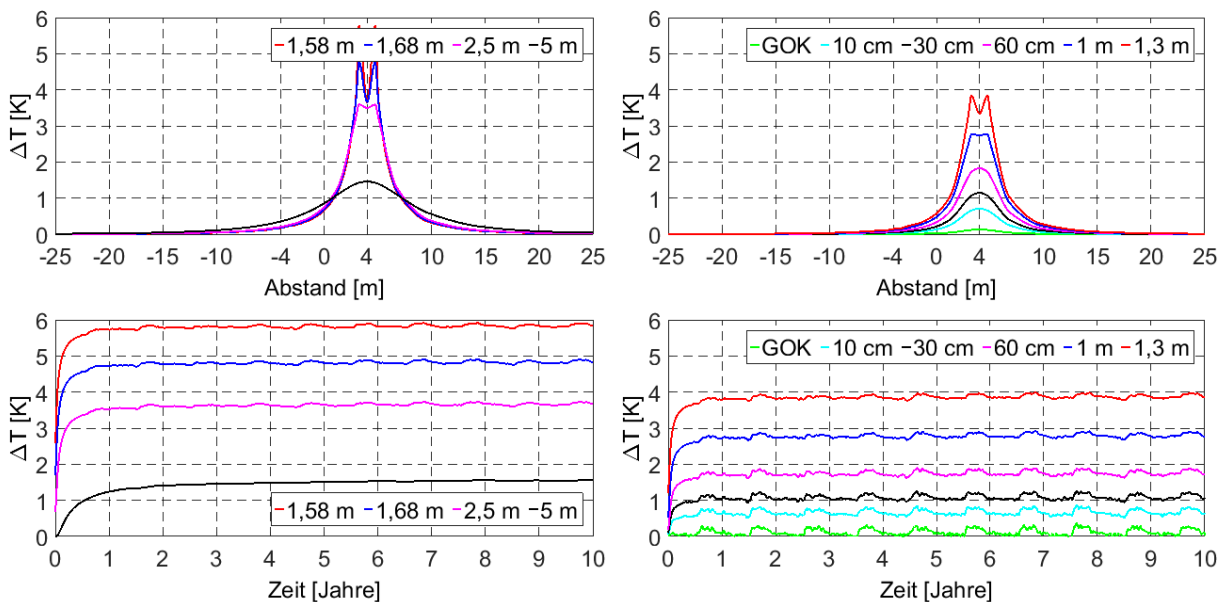


Abbildung 48: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

In den folgenden Tabellen sind die verwendeten Berechnungswerte der Grafiken der Abbildung 47 und Abbildung 48 tabellarisch zusammengefasst.

Tabelle 11: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	0,19	0,23	0,27	0,55	0,91	0,93	0,91
2,5 m	0,11	0,13	0,16	0,48	2,30	2,24	2,30
1,68 m	0,10	0,11	0,15	0,44	3,05	2,34	3,05
1,58 m	0,09	0,11	0,14	0,42	3,69	2,33	3,69
1,3 m	0,07	0,09	0,11	0,37	2,45	2,14	2,45
1 m	0,06	0,07	0,09	0,31	1,76	1,76	1,76
60 cm	0,04	0,05	0,06	0,21	1,11	1,17	1,11
30 cm	0,03	0,03	0,04	0,14	0,69	0,73	0,69
10 cm	0,02	0,02	0,03	0,09	0,42	0,45	0,42
GOK	0,00	0,01	0,01	0,02	0,08	0,08	0,08

Tabelle 12: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	0,30	0,35	0,42	0,85	1,43	1,46	1,43
2,5 m	0,17	0,21	0,25	0,75	3,59	3,50	3,59
1,68 m	0,15	0,18	0,23	0,68	4,77	3,66	4,77
1,58 m	0,15	0,17	0,22	0,65	5,78	3,64	5,77
1,3 m	0,11	0,14	0,17	0,57	3,83	3,34	3,83
1 m	0,09	0,11	0,14	0,48	2,76	2,75	2,76
60 cm	0,06	0,08	0,10	0,33	1,73	1,83	1,73
30 cm	0,04	0,05	0,06	0,21	1,07	1,15	1,07
10 cm	0,02	0,03	0,04	0,13	0,66	0,71	0,66
GOK	0,00	0,00	0,01	0,02	0,12	0,13	0,12

Die Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Sättigungsdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m Tiefe übersteigen dabei nicht 2 % bzw. 9,5 % (Abbildung 49) und 3 % bzw. 15 % (Abbildung 50) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer.

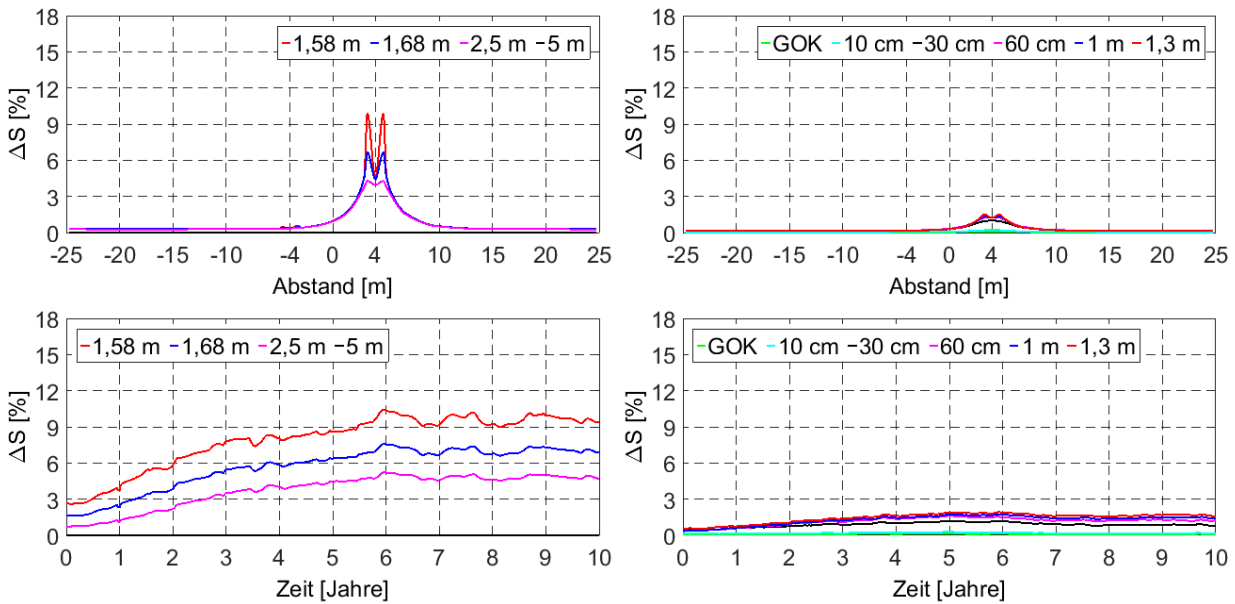


Abbildung 49: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

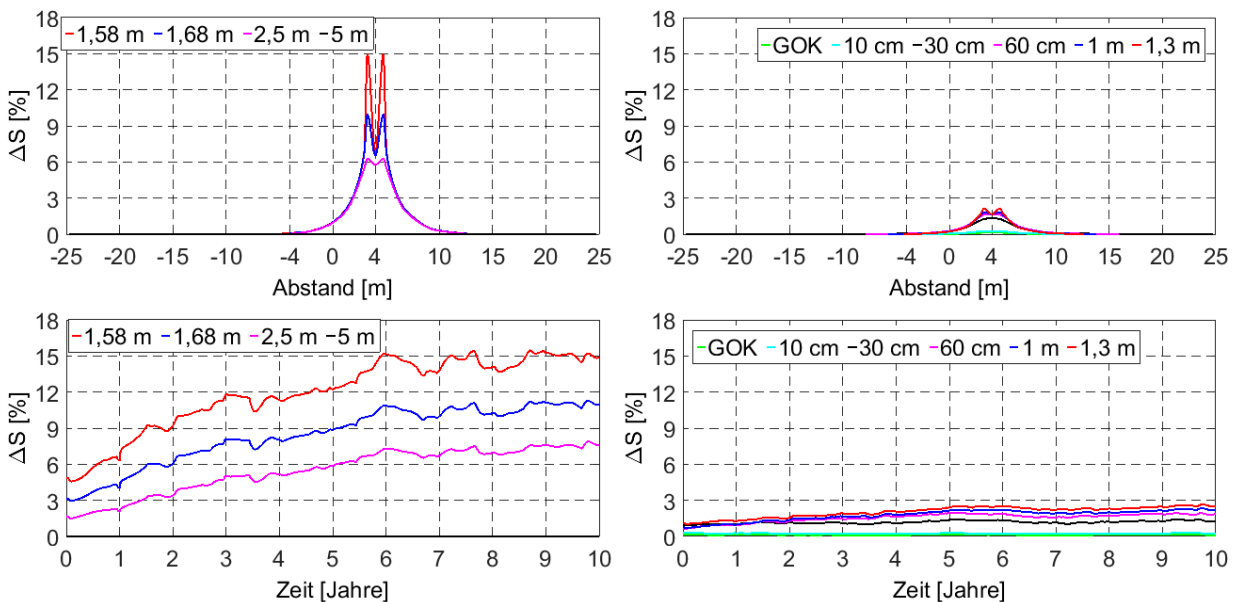


Abbildung 50: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Temperaturdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP eine ausgeprägte Temperaturdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 3,5 K (Abbildung 51) bzw. 4,5 K (Abbildung 52) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. In Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss mit Werten ≤ 1 K zunehmend geringer.

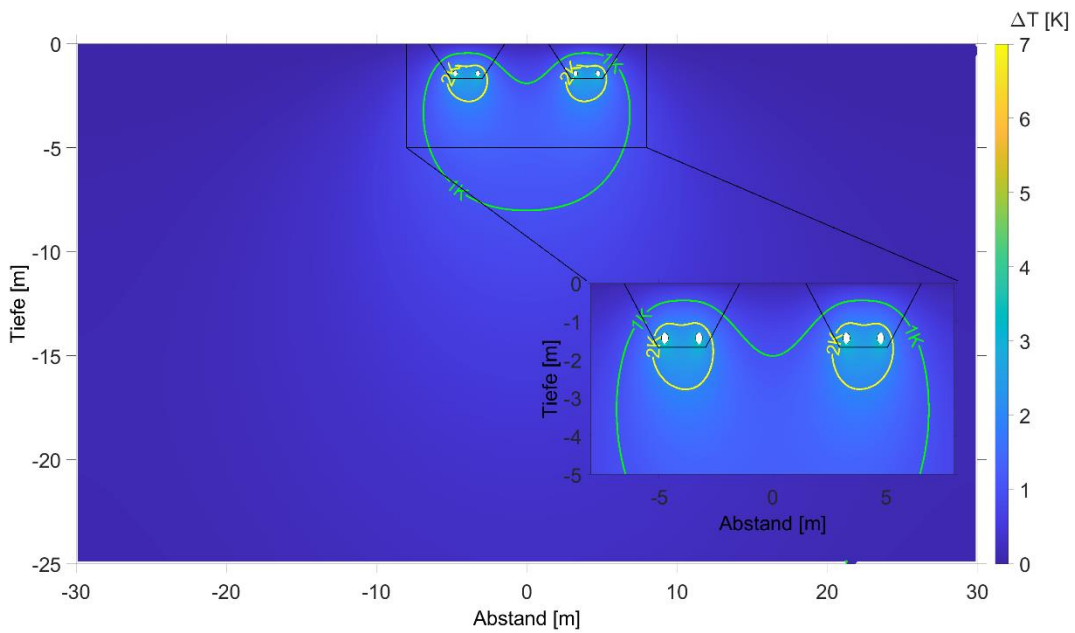


Abbildung 51: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren.

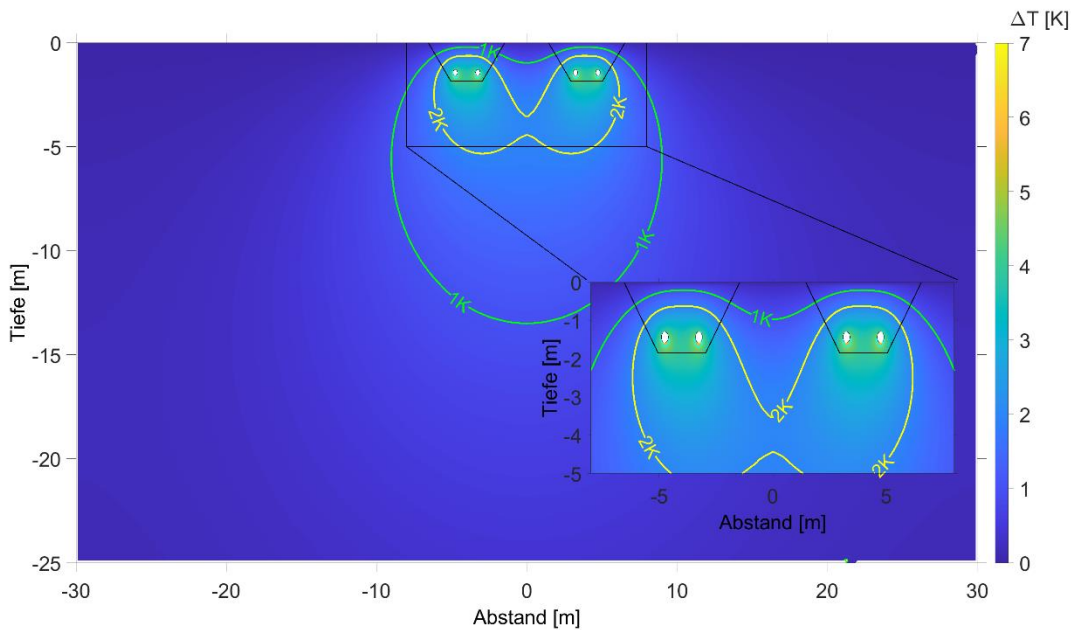


Abbildung 52: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren.

Die 2D-Sättigungsdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP und 85 % NEP eine Sättigungsänderung in direkter Kabelumgebung von bis zu 8 % (Abbildung 53) bzw. 8,5 % (Abbildung 54).

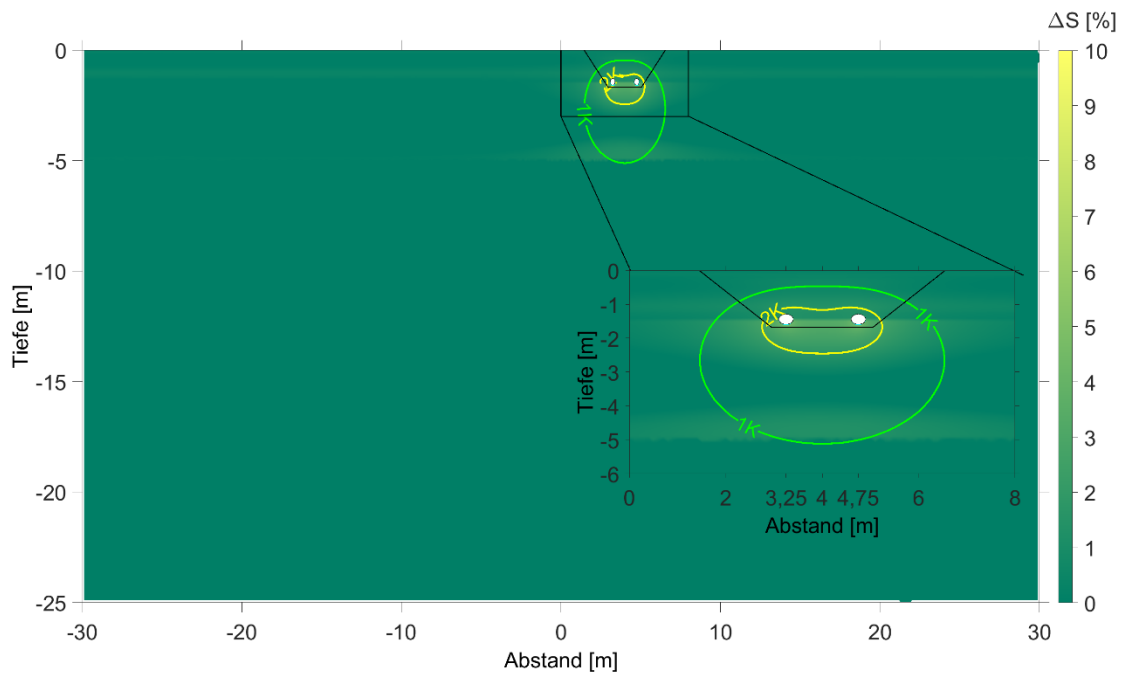


Abbildung 53: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabelast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

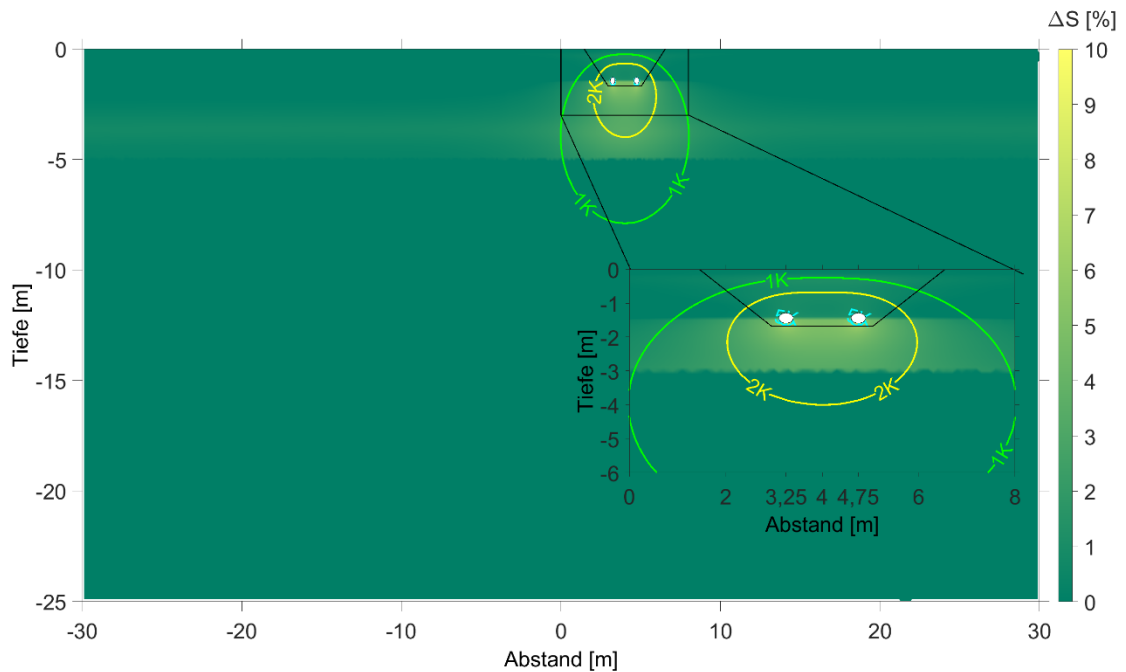


Abbildung 54: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabelast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

3.1.6.2 Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme)

Die Temperaturdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie 68 % NEP und 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Temperaturdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m übersteigen dabei nicht 4,0 K (Abbildung 55) bzw. 6,0 K (Abbildung 56) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer. In den Abbildungen des Mittelwertes über die Tiefe und die zeitabhängigen Darstellungen können leichte Unterschiede infolge der Mittelung über das betrachtete Jahr aufweisen.

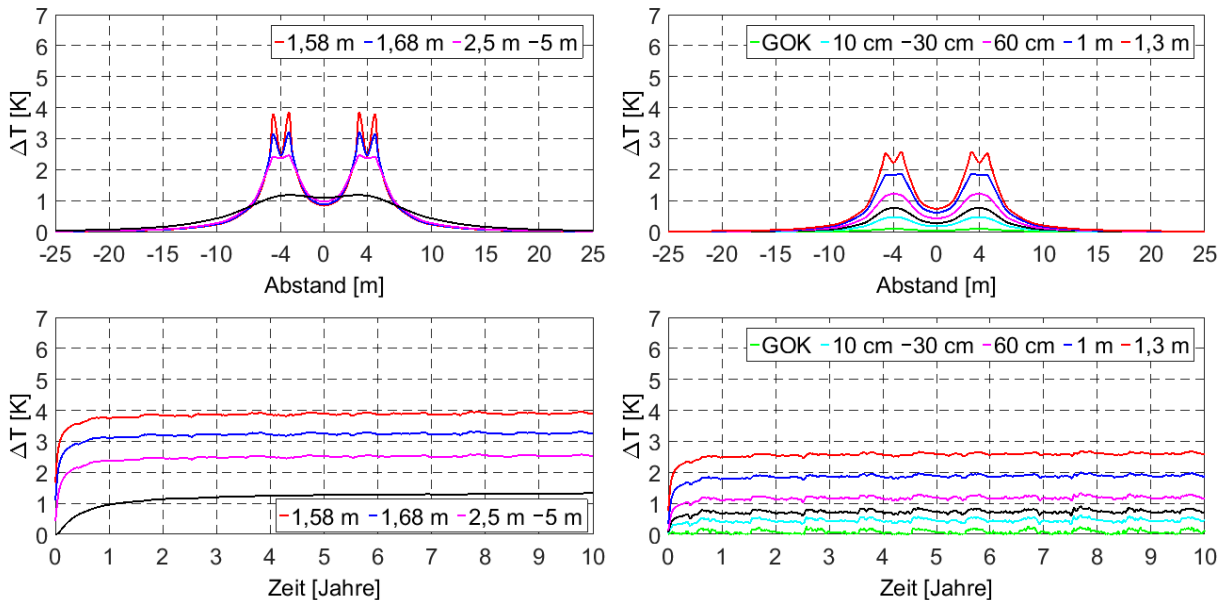


Abbildung 55: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von -4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

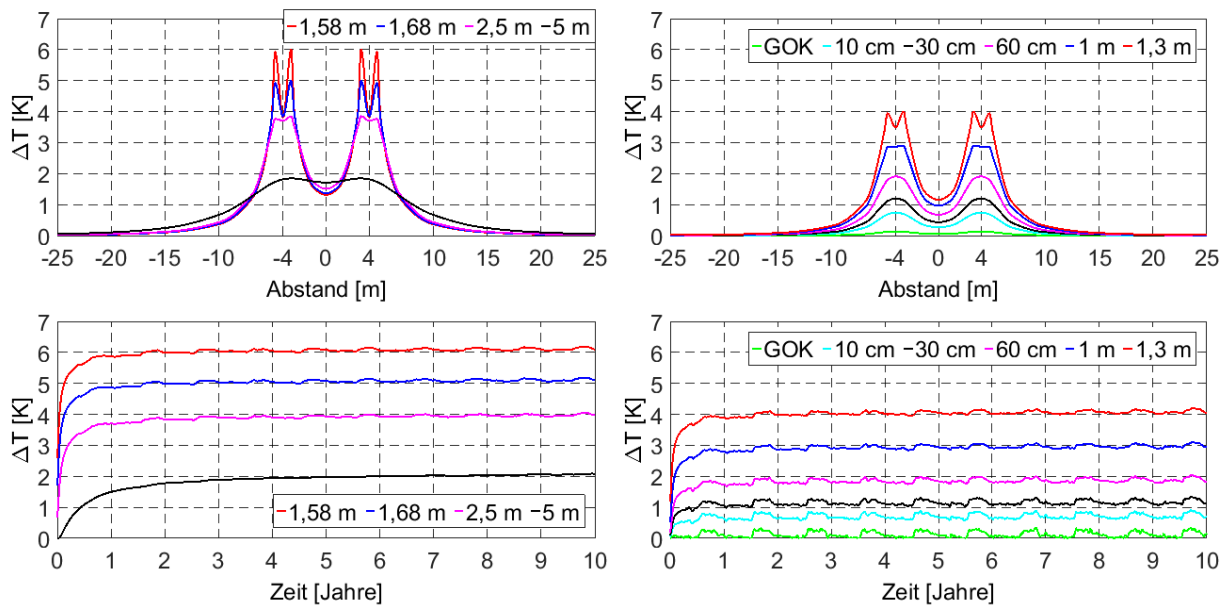


Abbildung 56: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

In den folgenden Tabellen sind die verwendeten Berechnungswerte der Grafiken der Abbildung 55 und Abbildung 56 tabellarisch zusammengefasst.

Tabelle 13: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	1,11	1,16	1,18	1,09	1,18	1,16	1,11
2,5 m	2,41	2,37	2,46	0,96	2,46	2,37	2,40
1,68 m	3,15	2,46	3,20	0,87	3,20	2,46	3,15
1,58 m	3,79	2,44	3,84	0,84	3,84	2,44	3,79
1,3 m	2,52	2,23	2,56	0,73	2,56	2,23	2,52
1 m	1,82	1,83	1,85	0,61	1,85	1,83	1,82
60 cm	1,14	1,22	1,17	0,42	1,17	1,22	1,14
30 cm	0,71	0,76	0,72	0,27	0,72	0,76	0,71
10 cm	0,44	0,47	0,44	0,17	0,44	0,47	0,44
GOK	0,08	0,08	0,08	0,03	0,08	0,08	0,08

Tabelle 14: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	1,73	1,82	1,84	1,71	1,84	1,82	1,73
2,5 m	3,76	3,71	3,85	1,51	3,85	3,71	3,76
1,68 m	4,92	3,85	5,00	1,36	5,00	3,84	4,92
1,58 m	5,93	3,81	6,00	1,31	6,00	3,81	5,93
1,3 m	3,94	3,49	4,00	1,15	4,00	3,49	3,94
1 m	2,85	2,87	2,90	0,96	2,90	2,87	2,85
60 cm	1,79	1,91	1,83	0,67	1,83	1,91	1,79
30 cm	1,11	1,20	1,14	0,43	1,13	1,20	1,11
10 cm	0,68	0,74	0,70	0,27	0,70	0,74	0,68
GOK	0,12	0,13	0,12	0,05	0,12	0,13	0,12

Die Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a und 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Sättigungsdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m Tiefe übersteigen dabei nicht 2 % bzw. 9,5 % (Abbildung 57) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer.

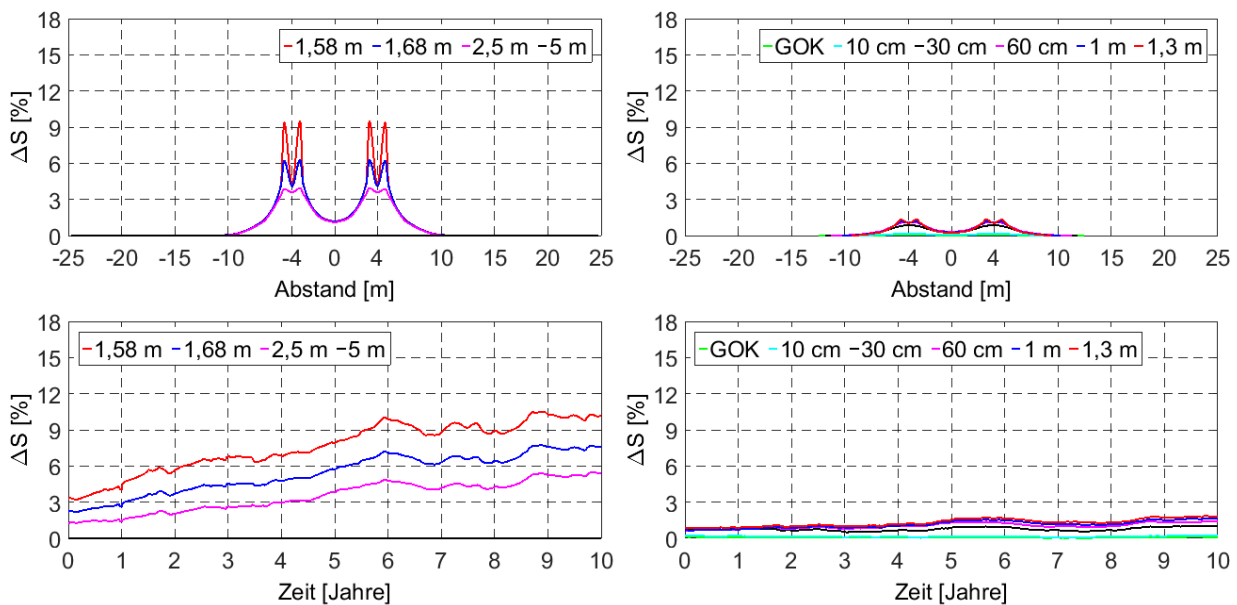


Abbildung 57: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

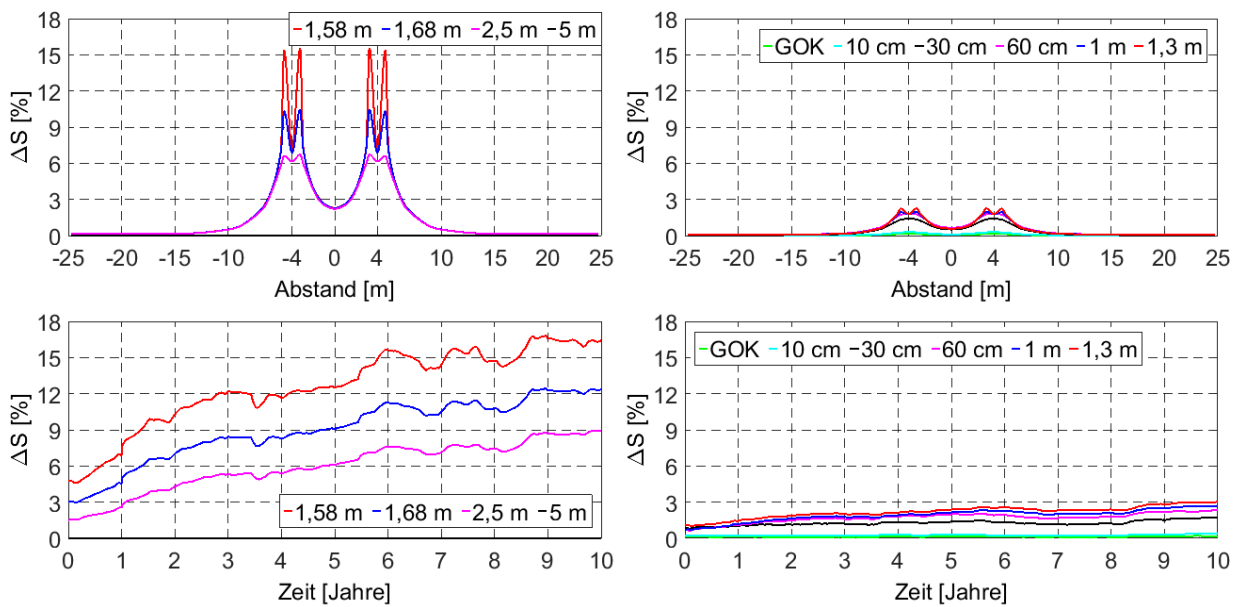


Abbildung 58: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von - 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Temperaturdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie 68 % NEP und 85 % NEP eine ausgeprägte Temperaturdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 3,5 K (Abbildung 59) bzw. 4,5 K (Abbildung 60) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. In Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss mit Werten ≤ 1 K zunehmend geringer.

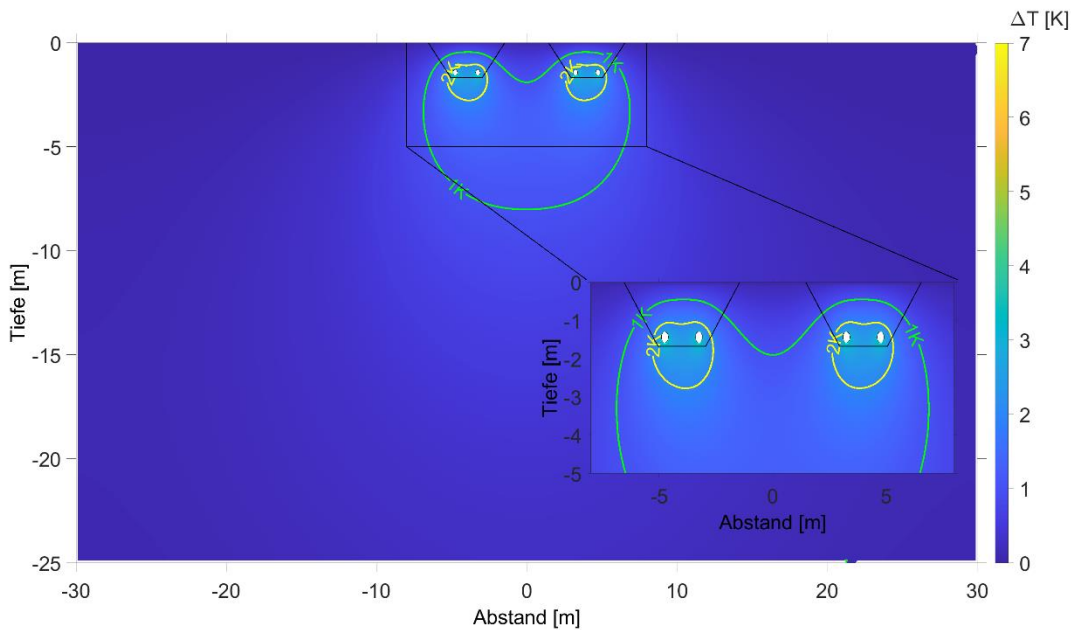


Abbildung 59: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren.

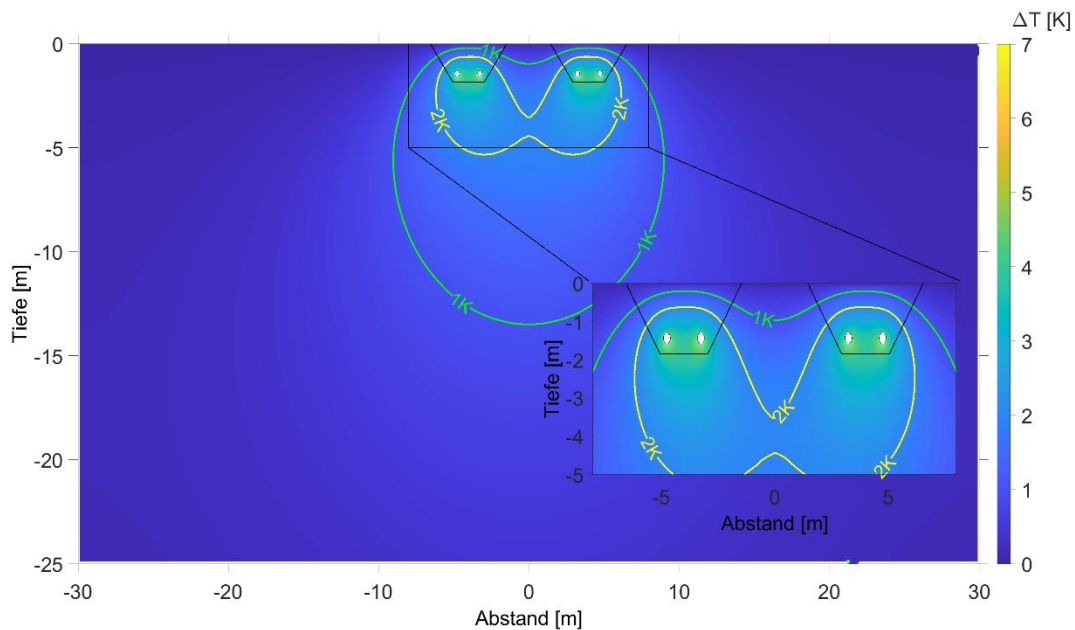


Abbildung 60: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren.

Die 2D-Sättigungsdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie 68 % NEP und 85 % NEP eine Sättigungsänderung in direkter Kabelumgebung von bis zu 8,5 % (Abbildung 61) bzw. 9 % (Abbildung 62). In Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss mit Werten ≤ 1 % zunehmend geringer.

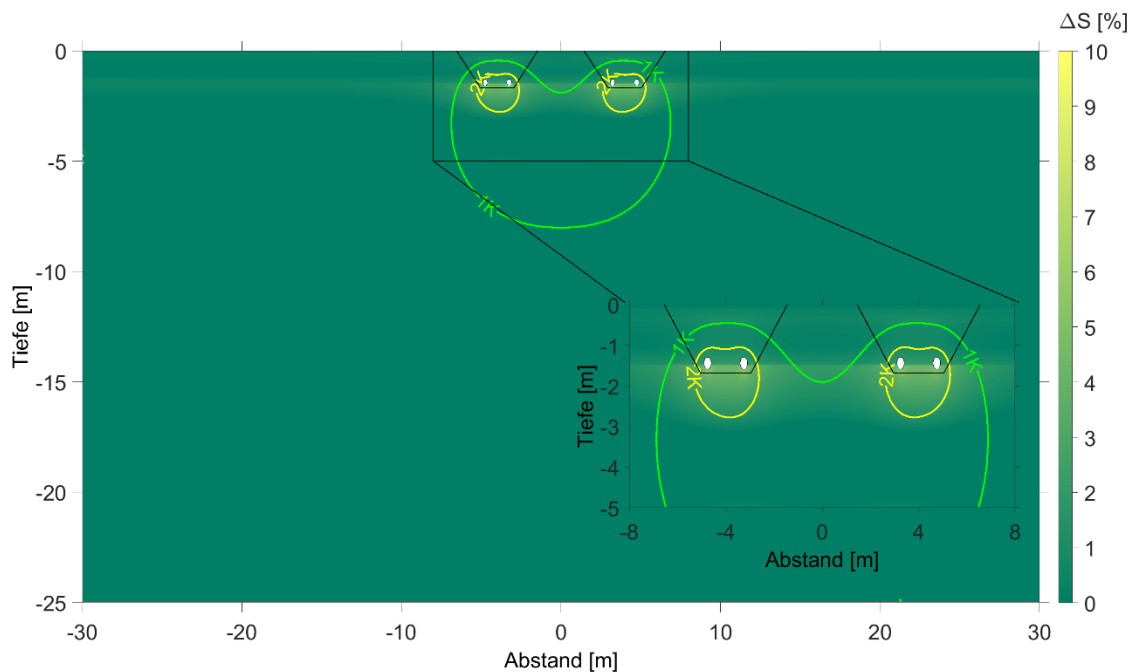


Abbildung 61: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

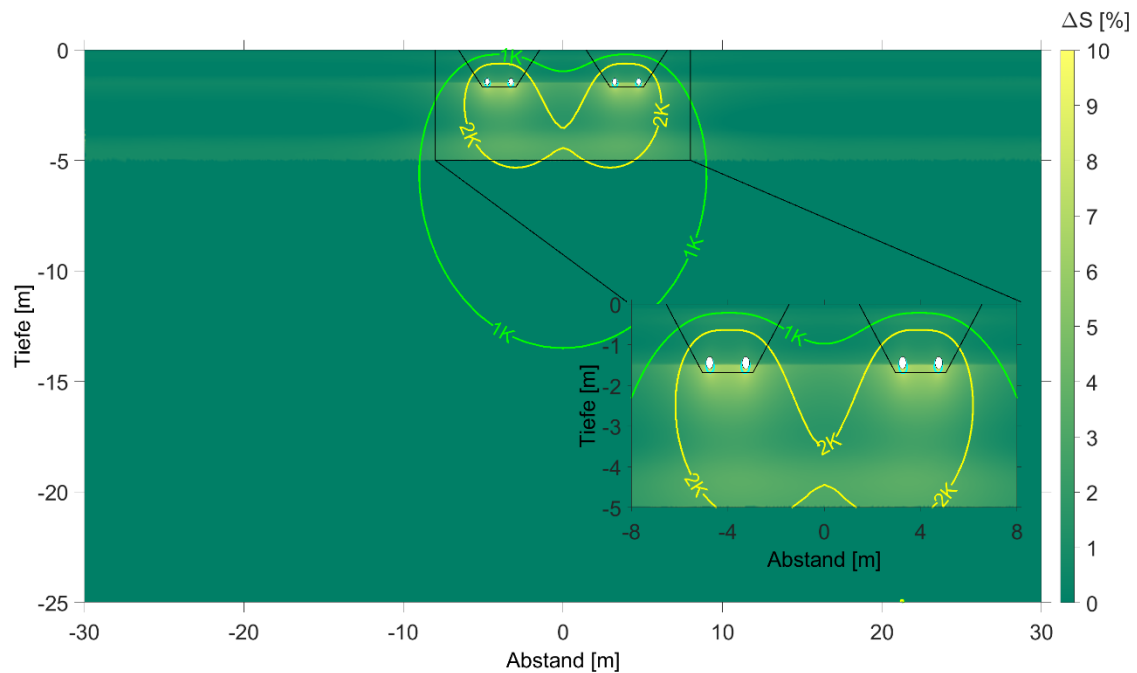


Abbildung 62: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel und zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie sowie die 5K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

3.2 Leitprofil B0204 – Simulationen mit Kabelschutzrohr

3.2.1 Standort ohne Kabelbetrieb (Referenzwert im Ausgangszustand) für Mais

Die Referenzwerte für die Temperatur und die Sättigung im Ausgangszustand ohne Kabelbetrieb und Mais zeigen jahreszeitlich bedingte Schwankungen zwischen -3 °C und 28 °C sowie 0,55 und 0,75 an der GOK (Abbildung 63). Mit zunehmender Tiefe nimmt der Schwankungsbereich der Temperatur und der Sättigung ab und es ist auf einen signifikanten Unterschied zwischen der Bodentemperatur an der GOK und der Lufttemperatur zu verweisen.

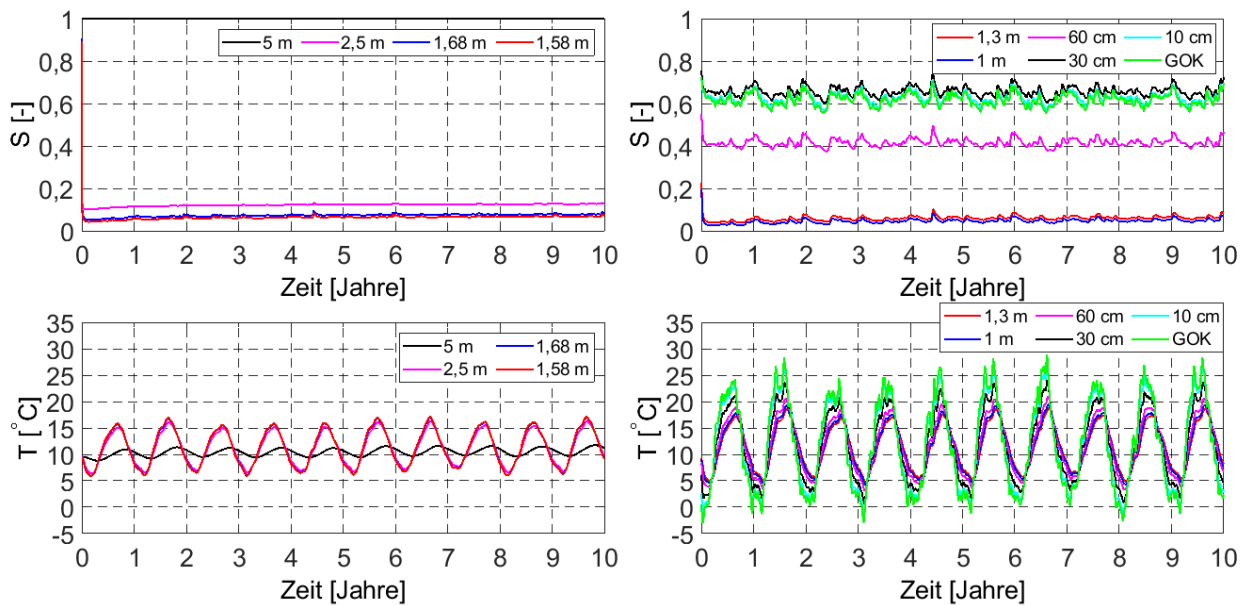


Abbildung 63: Referenzwerte für Sättigung S [-] und Temperatur T [°C] in 5 m, 2,5 m, 1,68 m und 1,58 m (links oben/unten) sowie 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben/unten) von Mais im Zeitraum von 10 Jahren für das Leitprofil B0204 BK (VT) (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

3.2.2 Ergebnisse unter Kabelbetrieb für Mais

3.2.2.1 Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem)

Die Temperaturdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Temperaturdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m übersteigen dabei nicht 4 K (Abbildung 64) bzw. 6 K (Abbildung 65) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer. In den Abbildungen des Mittelwertes über die Tiefe und die zeitabhängigen Darstellungen können leichte Unterschiede infolge der Mittelung über das betrachtete Jahr aufweisen.

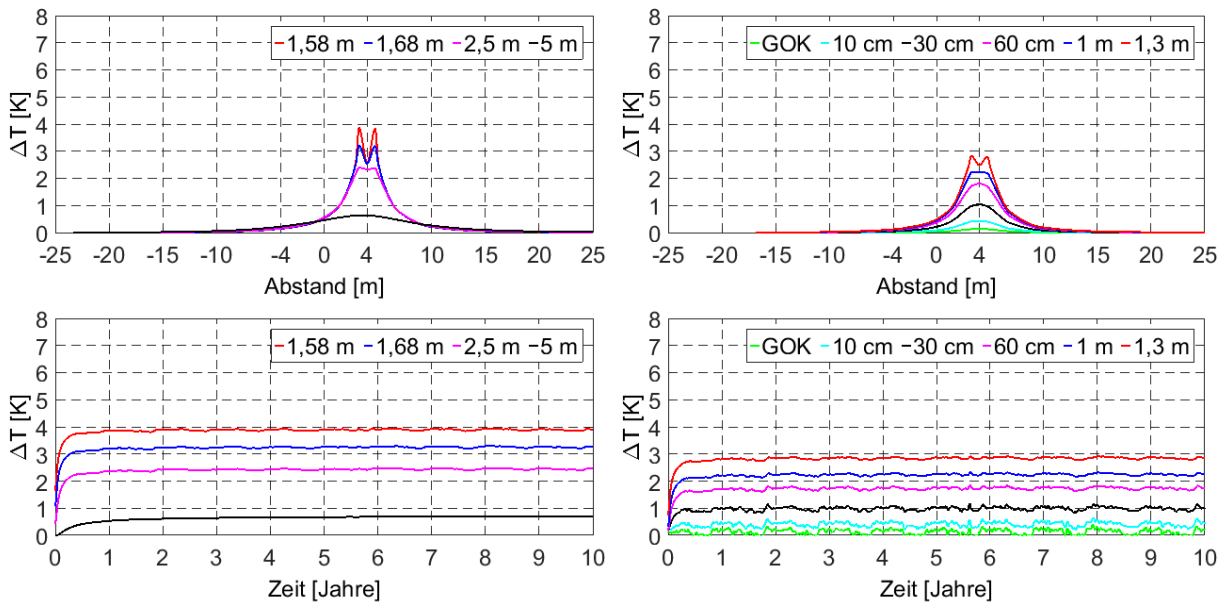


Abbildung 64: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

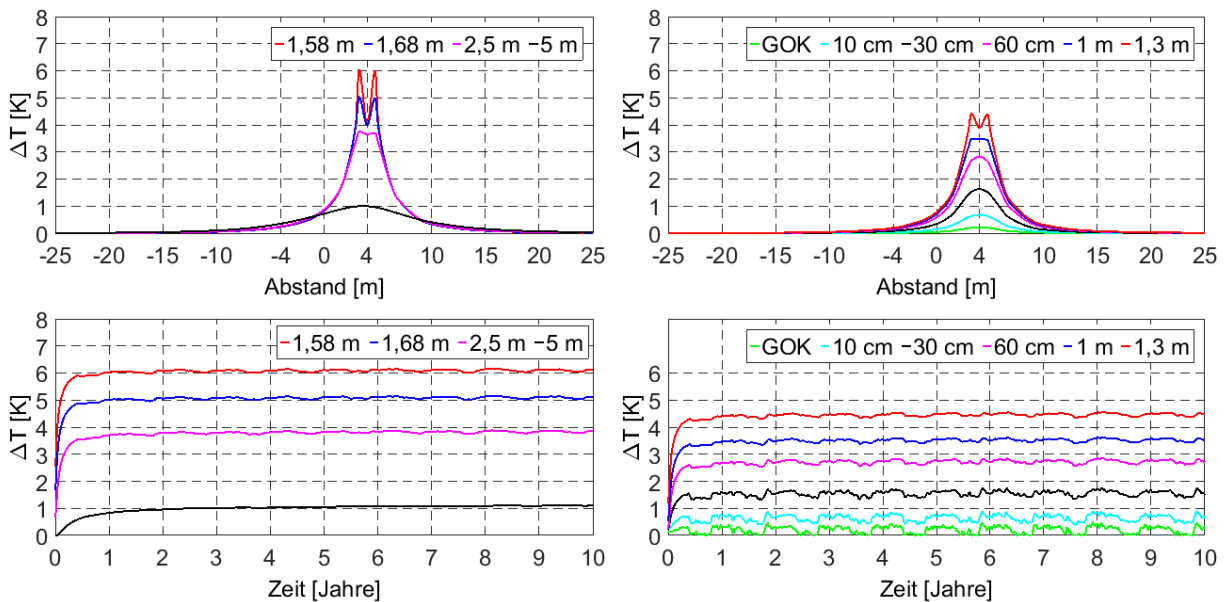


Abbildung 65: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

In den folgenden Tabellen sind die verwendeten Berechnungswerte der Grafiken der Abbildung 64 und Abbildung 65 tabellarisch zusammengefasst.

Tabelle 15: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	0,19	0,22	0,26	0,46	0,63	0,63	0,61
2,5 m	0,13	0,16	0,19	0,55	2,40	2,34	2,36
1,68 m	0,12	0,14	0,18	0,53	3,21	2,55	3,19
1,58 m	0,12	0,14	0,18	0,52	3,86	2,57	3,83
1,3 m	0,09	0,12	0,15	0,49	2,82	2,48	2,80
1 m	0,09	0,11	0,14	0,44	2,21	2,22	2,20
60 cm	0,07	0,09	0,11	0,37	1,71	1,80	1,70
30 cm	0,04	0,05	0,06	0,21	0,97	1,04	0,97
10 cm	0,01	0,02	0,02	0,09	0,40	0,43	0,40
GOK	0,00	0,00	0,01	0,03	0,13	0,13	0,12

Tabelle 16: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	0,30	0,35	0,41	0,72	1,00	1,00	0,96
2,5 m	0,21	0,25	0,31	0,88	3,75	3,66	3,70
1,68 m	0,19	0,23	0,29	0,84	5,03	3,99	4,99
1,58 m	0,19	0,22	0,29	0,82	6,04	4,02	5,99
1,3 m	0,16	0,20	0,24	0,77	4,41	3,89	4,38
1 m	0,14	0,18	0,22	0,70	3,47	3,48	3,44
60 cm	0,12	0,15	0,18	0,58	2,68	2,82	2,66
30 cm	0,07	0,08	0,11	0,34	1,53	1,63	1,52
10 cm	0,03	0,03	0,04	0,14	0,64	0,68	0,63
GOK	0,01	0,01	0,01	0,04	0,20	0,21	0,20

Die Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Sättigungsdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m Tiefe übersteigen dabei nicht 2,0 % bzw. 2,5 % (Abbildung 66) und 3 % bzw. 4 % (Abbildung 67) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer.

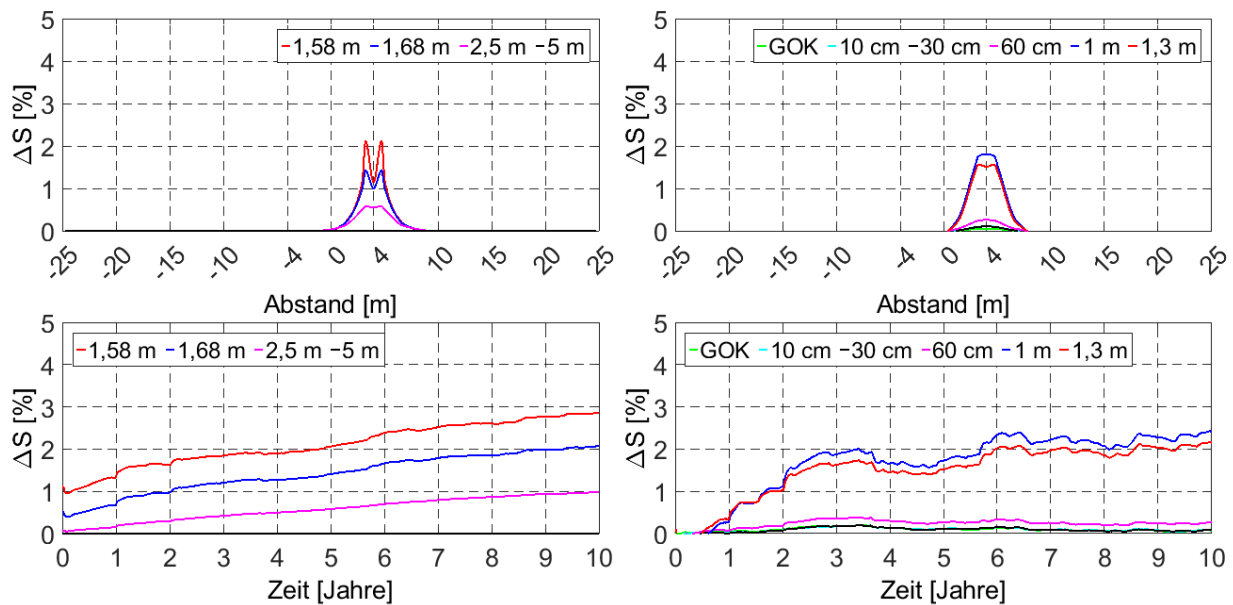


Abbildung 66: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

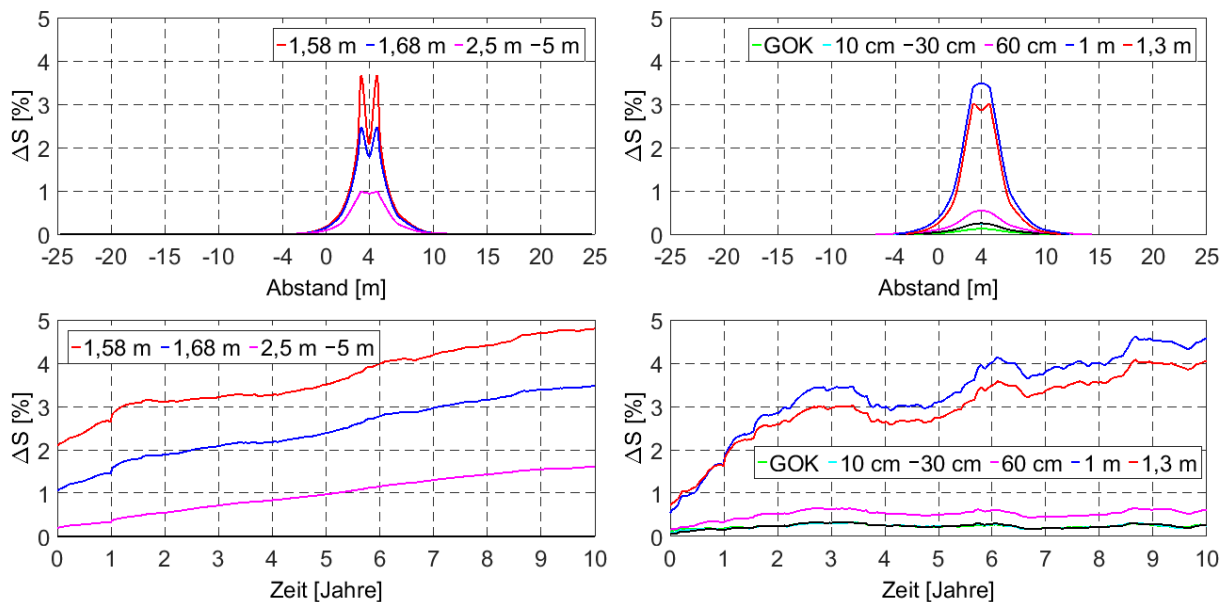


Abbildung 67: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Temperaturdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP eine ausgeprägte Temperaturdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 3,5 K (Abbildung 68) bzw. 5,5 K (Abbildung 69) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. In Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss mit Werten ≤ 1 K zunehmend geringer.

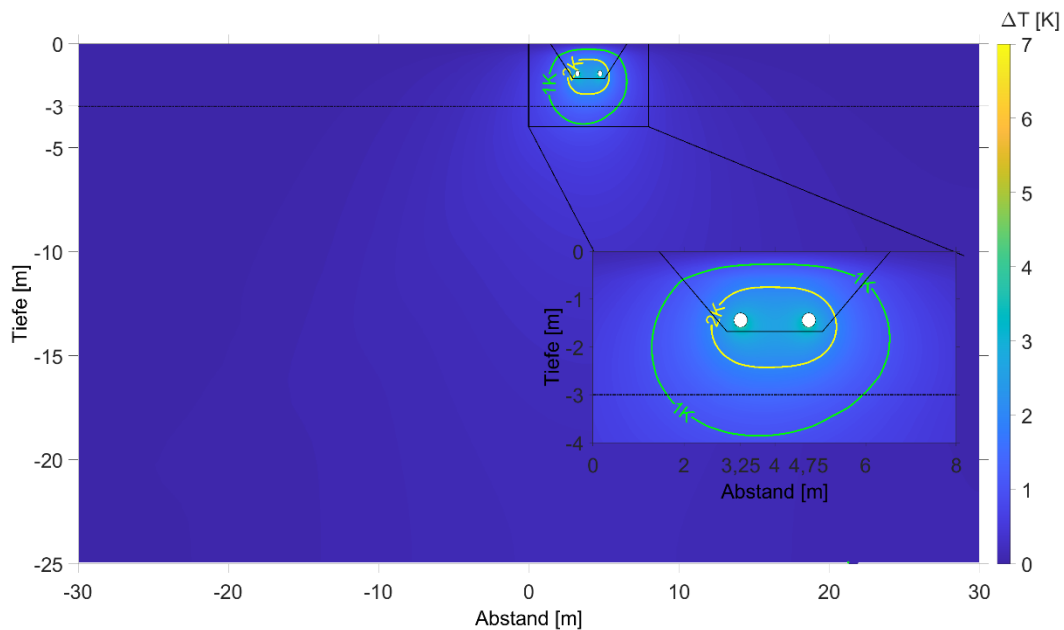


Abbildung 68: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

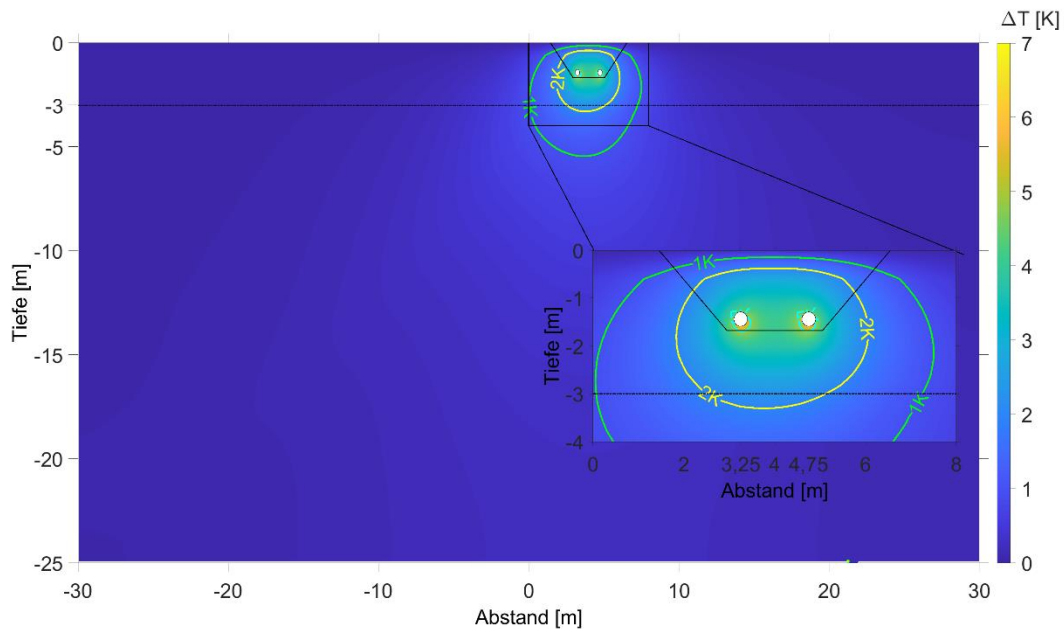


Abbildung 69: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die gestrichelte Linie entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Sättigungsdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP eine Sättigungsdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 3 % (Abbildung 70) bzw. 4 % (Abbildung 71) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb.

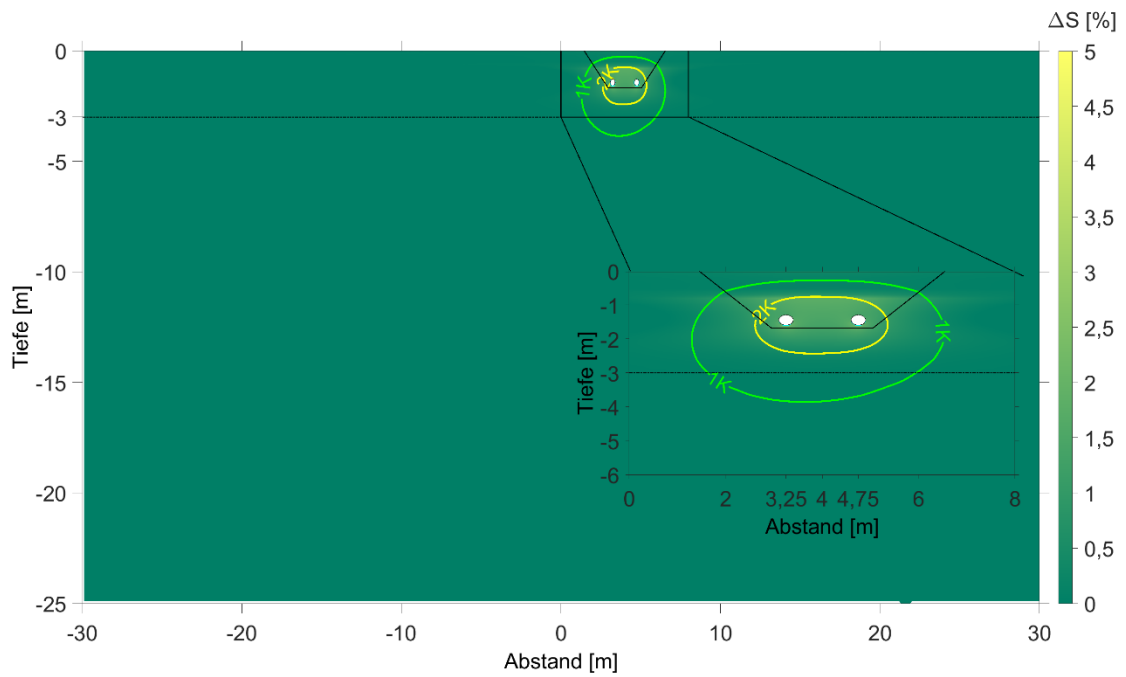


Abbildung 70: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

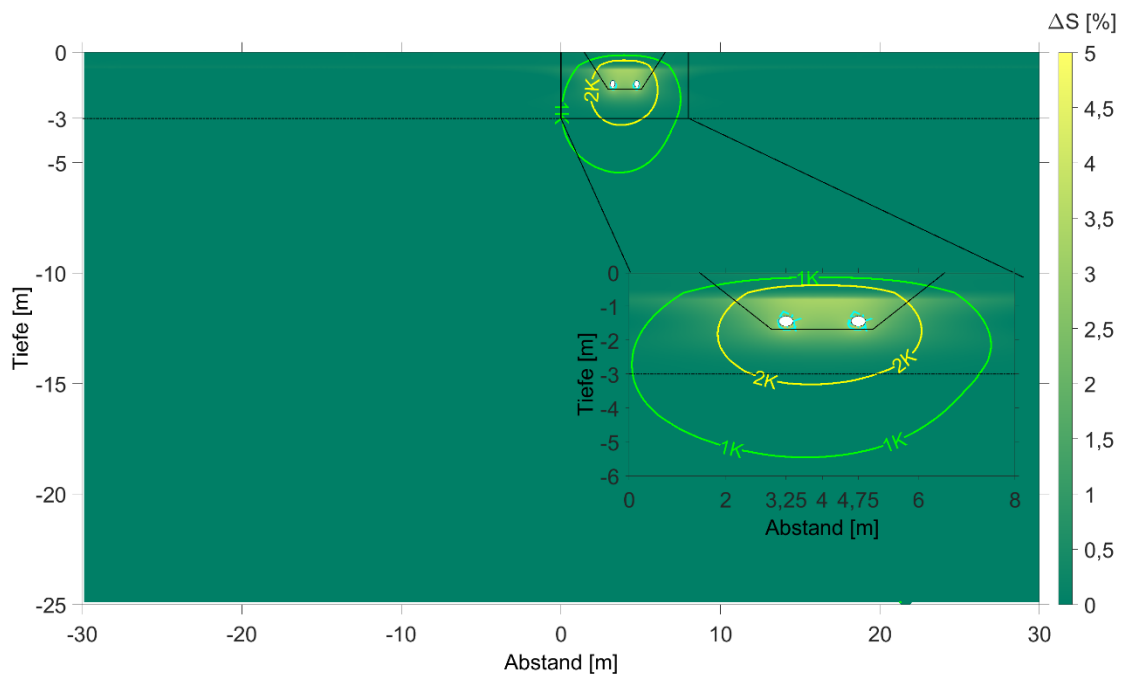


Abbildung 71: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

3.2.2.2 Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme)

Die Temperaturdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie 68 % NEP und 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Temperaturdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m übersteigen dabei nicht 4,5 K (Abbildung 72) bzw. 7 K (Abbildung 73) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer. In den Abbildungen des Mittelwertes über die Tiefe und die zeitabhängigen Darstellungen können leichte Unterschiede infolge der Mittelung über das betrachtete Jahr aufweisen.

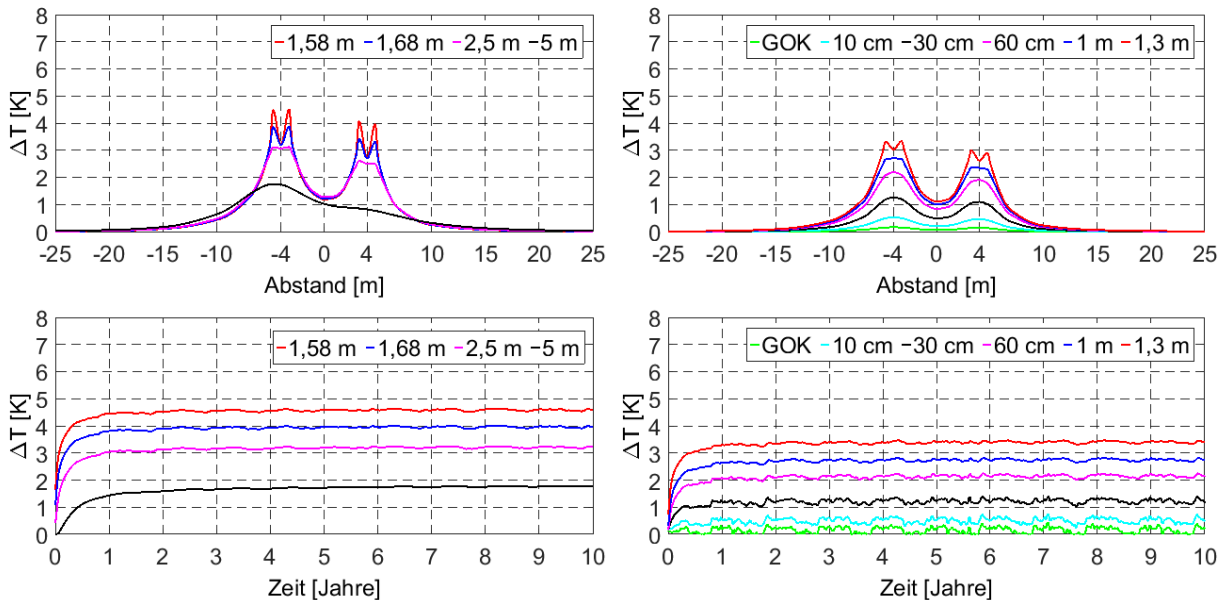


Abbildung 72: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von - 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

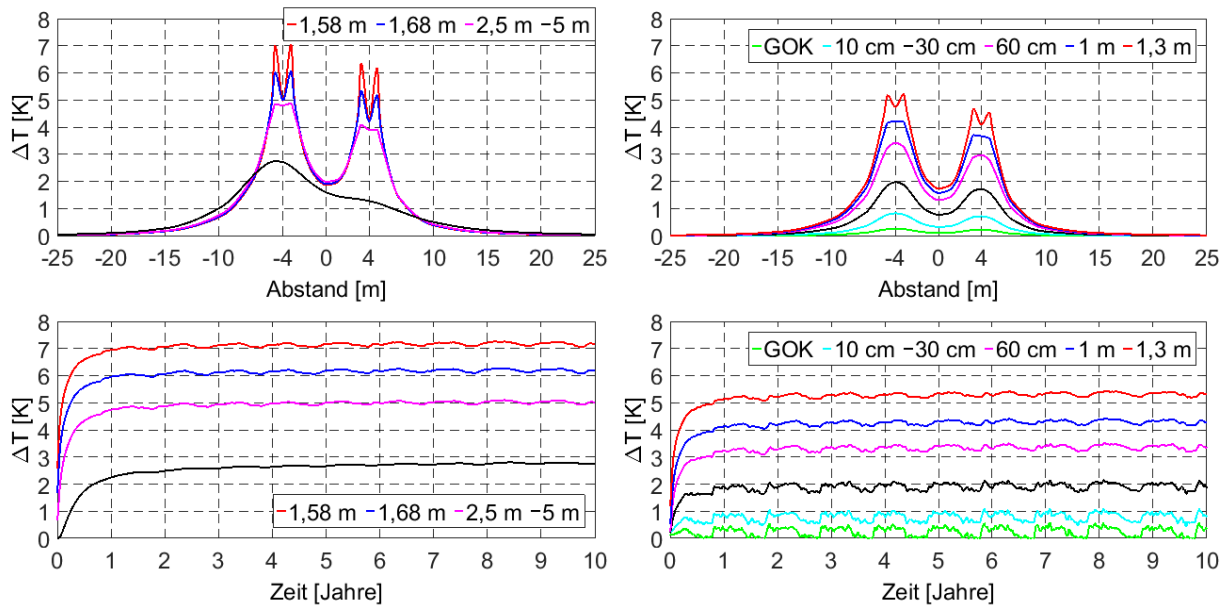


Abbildung 73: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von - 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

In den folgenden Tabellen sind die verwendeten Berechnungswerte der Grafiken der Abbildung 72 und Abbildung 73 tabellarisch zusammengefasst.

Tabelle 17: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	1,76	1,73	1,63	1,02	0,85	0,82	0,77
2,5 m	3,10	3,07	3,11	1,27	2,61	2,50	2,49
1,68 m	3,85	3,20	3,87	1,21	3,41	2,70	3,31
1,58 m	4,48	3,19	4,50	1,19	4,06	2,72	3,95
1,3 m	3,31	3,03	3,33	1,11	2,99	2,62	2,90
1 m	2,66	2,70	2,68	1,01	2,37	2,34	2,29
60 cm	2,07	2,18	2,09	0,84	1,84	1,90	1,77
30 cm	1,18	1,26	1,20	0,49	1,05	1,10	1,01
10 cm	0,49	0,52	0,50	0,20	0,44	0,46	0,42
GOK	0,15	0,16	0,15	0,06	0,13	0,14	0,13

Tabelle 18: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	2,75	2,71	2,55	1,59	1,33	1,28	1,20
2,5 m	4,84	4,80	4,87	1,99	4,07	3,91	3,89
1,68 m	6,01	5,00	6,05	1,90	5,34	4,22	5,17
1,58 m	7,00	4,99	7,04	1,86	6,34	4,25	6,17
1,3 m	5,17	4,74	5,21	1,74	4,67	4,09	4,53
1 m	4,15	4,22	4,19	1,58	3,71	3,66	3,58
60 cm	3,24	3,41	3,27	1,31	2,88	2,97	2,77
30 cm	1,85	1,97	1,87	0,77	1,64	1,71	1,58
10 cm	0,77	0,82	0,78	0,32	0,68	0,71	0,66
GOK	0,24	0,25	0,24	0,10	0,21	0,22	0,20

Die Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Sättigungsdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m Tiefe übersteigen dabei nicht 2,0 % bzw. 2,5 % (Abbildung 74) und 3,0 % bzw. 4,0 % (Abbildung 75) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer.

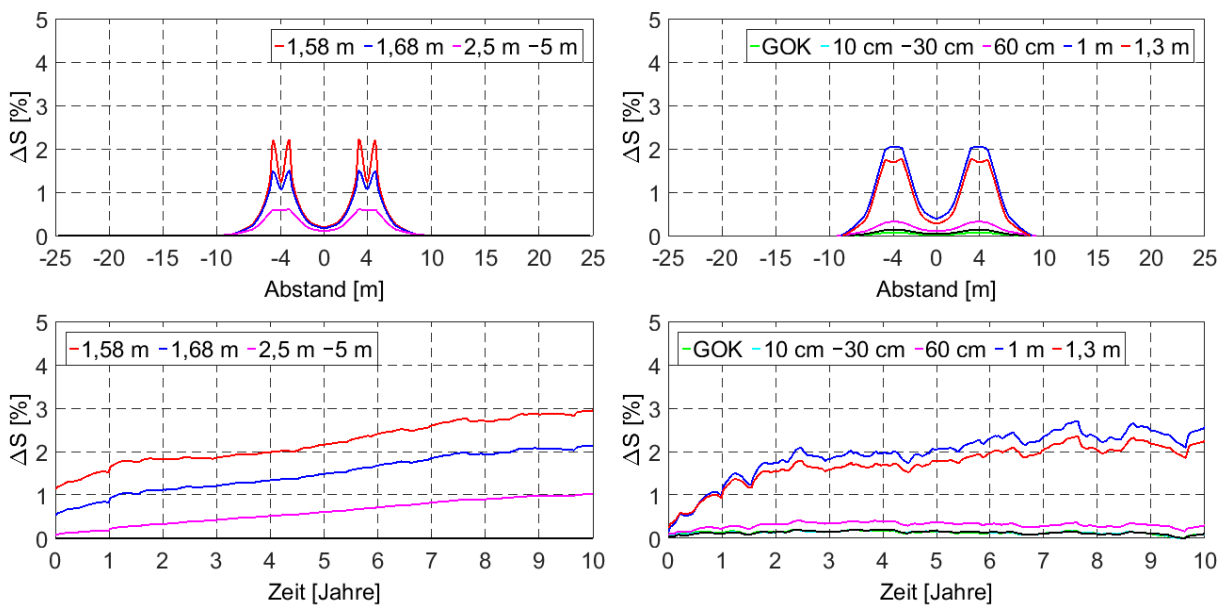


Abbildung 74: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

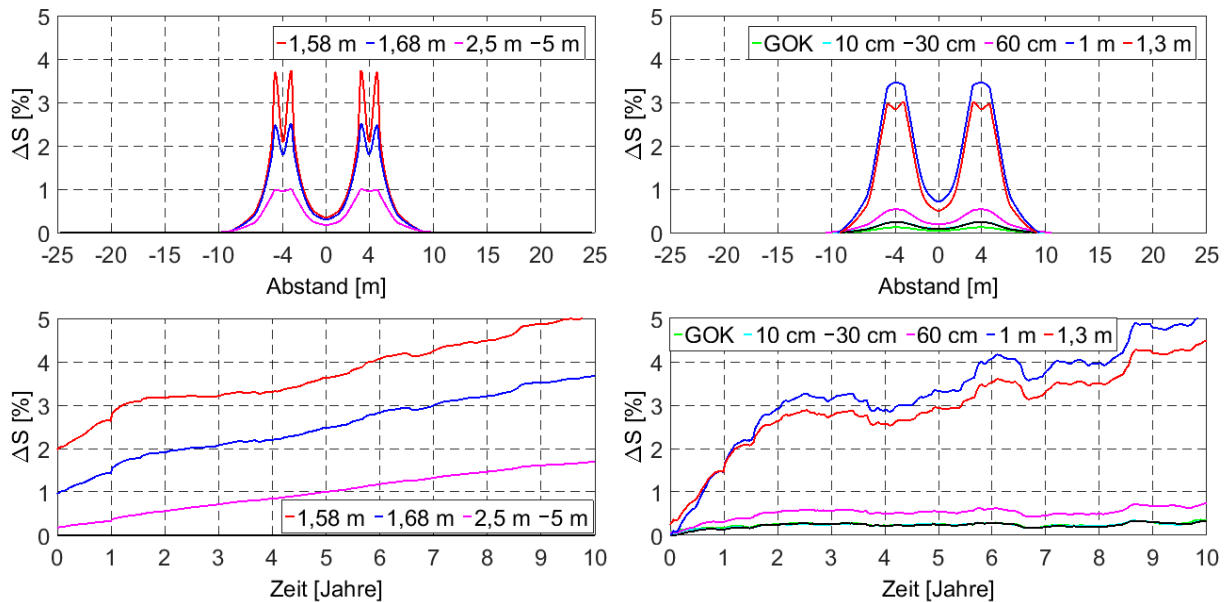


Abbildung 75: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Temperaturdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie 68 % NEP und 85 % NEP eine ausgeprägte Temperaturdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 4 K (Abbildung 76) bzw. 6,5 K (Abbildung 77) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. In Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss mit Werten ≤ 1 K zunehmend geringer. Entsprechend der Grundwassertiefe von 3,0 m unter GOK und der Grundwasserströmung orthogonal zur Kabelachse von 0,864 Meter pro Tag zeigt sich ein Wärmetransport zum linken Kabelsystem hin und von diesem ausgehend in tiefere Bodenschichten.

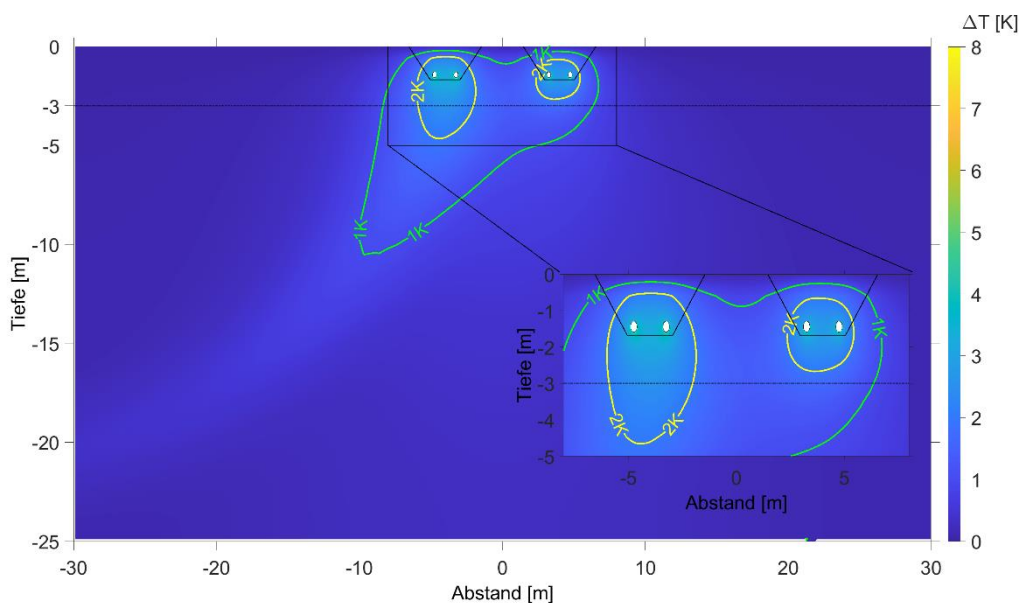


Abbildung 76: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

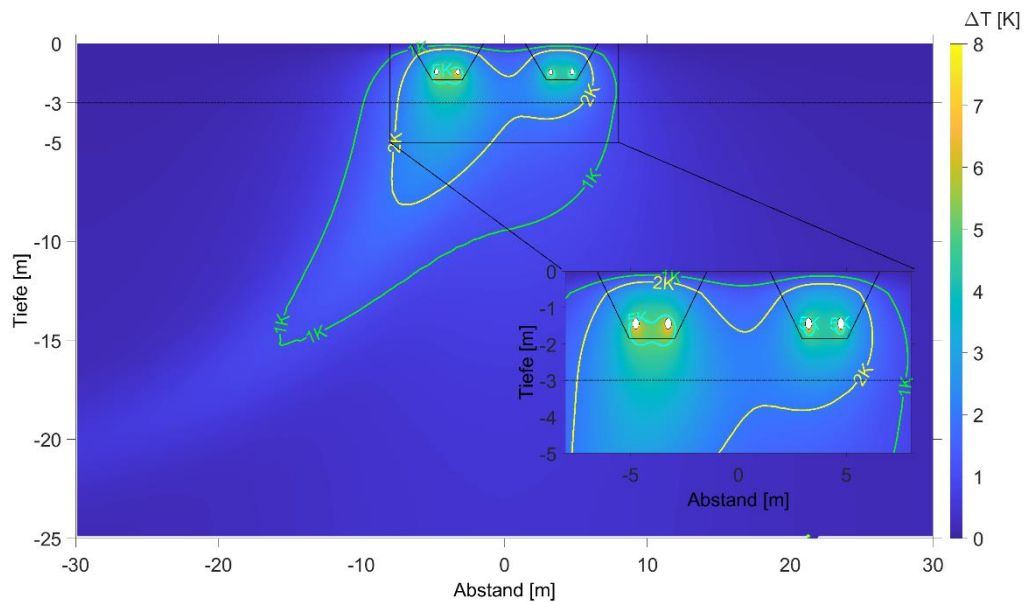


Abbildung 77: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Sättigungsdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP eine Sättigungsdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 2,5 % (Abbildung 78) bzw. 4 % (Abbildung 79) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb.

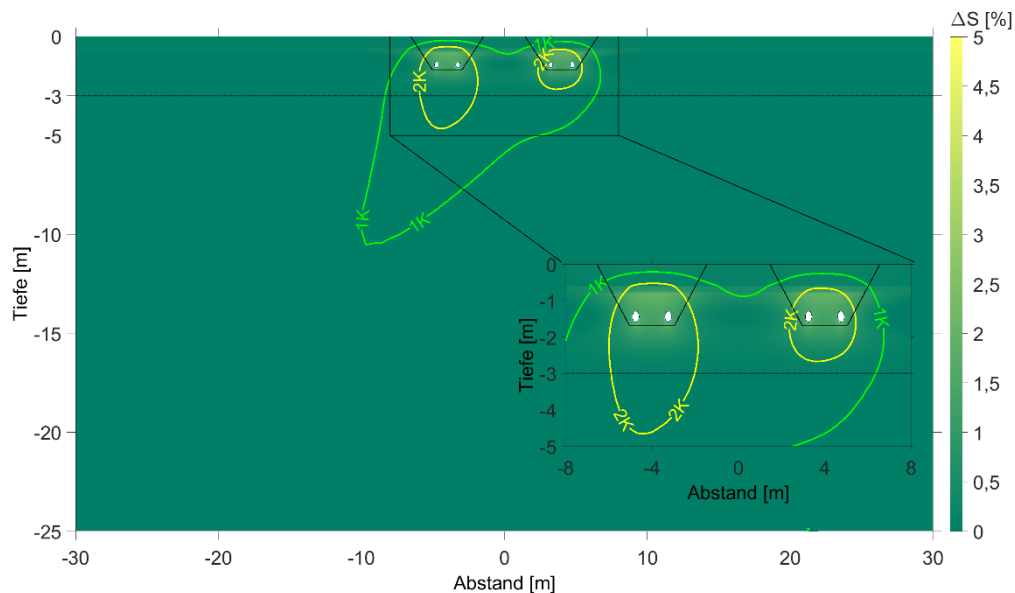


Abbildung 78: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

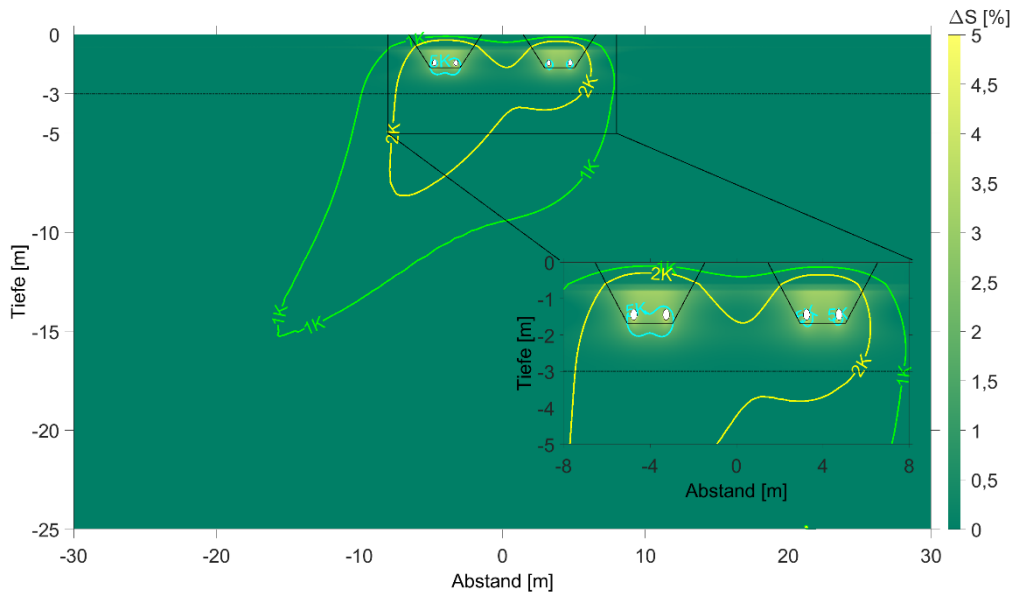


Abbildung 79: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Mais nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie sowie die 5K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

3.2.3 ohne Kabelbetrieb (Referenzwert im Ausgangszustand) für Grünland

Die Referenzwerte für die Temperatur und die Sättigung im Ausgangszustand ohne Kabelbetrieb und Grünland zeigen jahreszeitlich bedingte Schwankungen zwischen $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ sowie 0,55 und 0,75 an der GOK (Abbildung 80). Mit zunehmender Tiefe nimmt der Schwankungsbereich der Temperatur und der Sättigung ab und es ist auf einen signifikanten Unterschied zwischen der Bodentemperatur an der GOK und der Lufttemperatur zu verweisen.

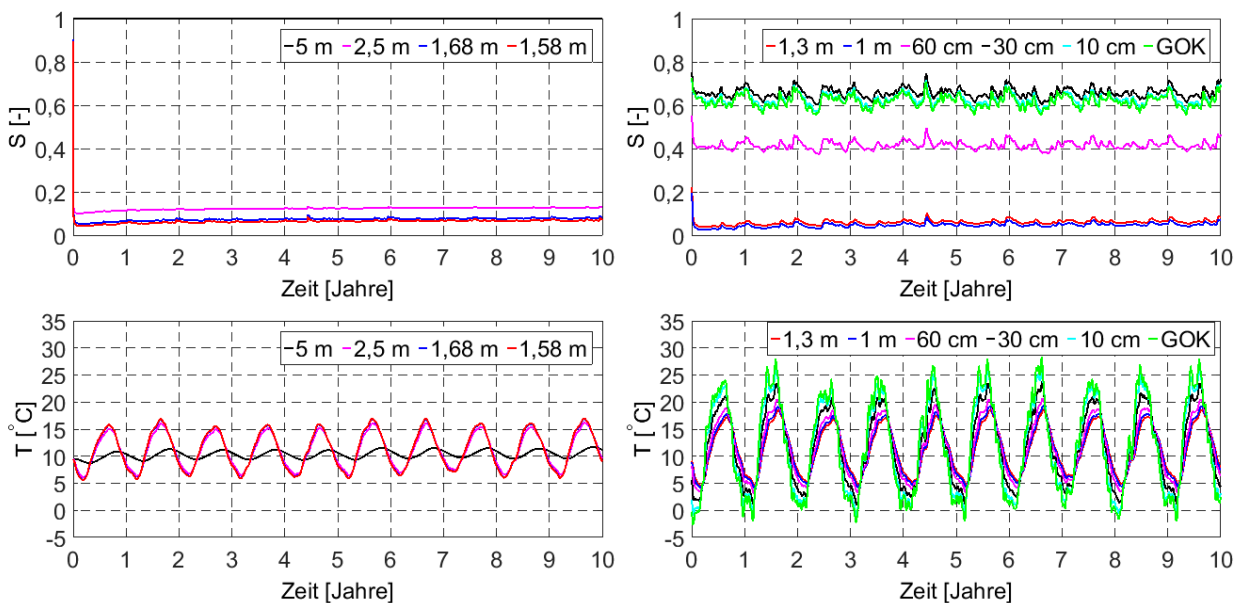


Abbildung 80: Referenzwerte für Sättigung S [-] und Temperatur T [°C] in 5 m, 2,5 m, 1,68 m und 1,58 m (links oben/unten) sowie 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben/unten) von Grünland im Zeitraum von 10 Jahren für das Leitprofil B0204 BK (VT) (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

3.2.4 Ergebnisse unter Kabelbetrieb für Grünland

3.2.4.1 Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem)

Die Temperaturdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Temperaturdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m übersteigen dabei nicht 4 K (Abbildung 81) bzw. 6 K (Abbildung 82) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer. In den Abbildungen des Mittelwertes über die Tiefe und die zeitabhängigen Darstellungen können leichte Unterschiede infolge der Mittelung über das betrachtete Jahr aufweisen.

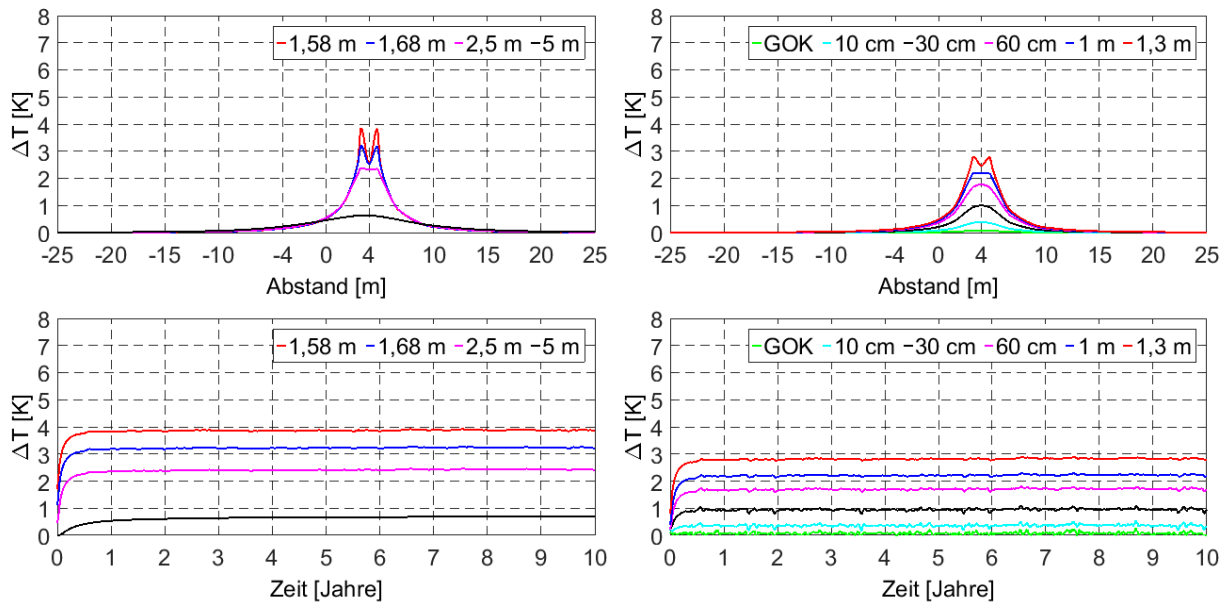


Abbildung 81: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

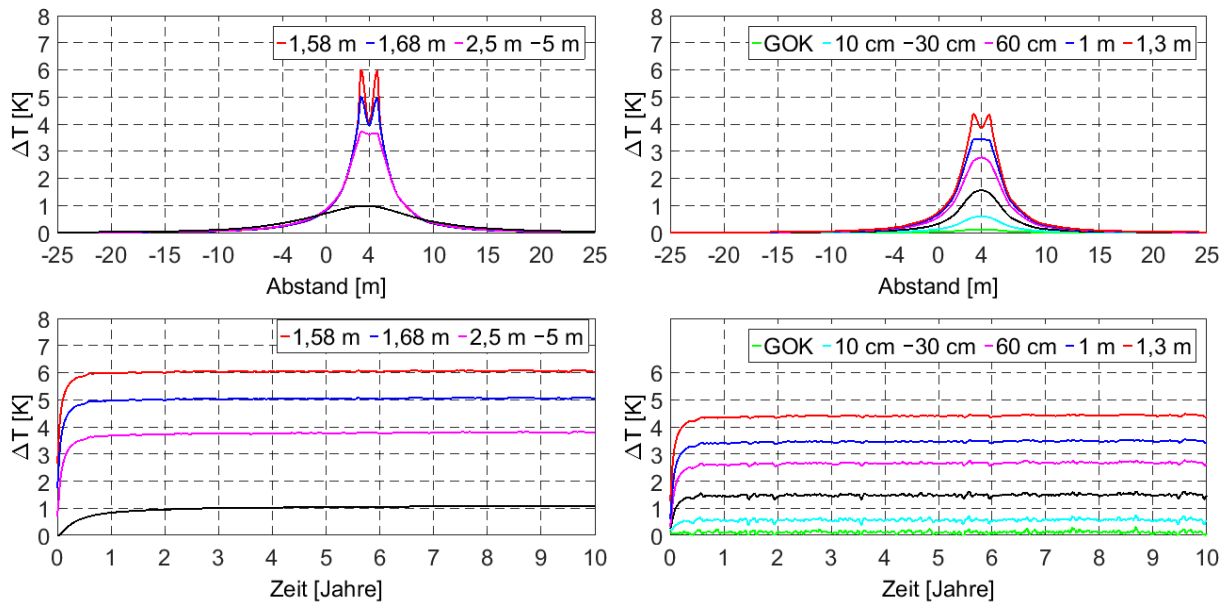


Abbildung 82: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

In den folgenden Tabellen sind die verwendeten Berechnungswerte der Grafiken der Abbildung 81 und Abbildung 82 tabellarisch zusammengefasst.

Tabelle 19: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	0,19	0,22	0,26	0,45	0,63	0,63	0,61
2,5 m	0,13	0,16	0,20	0,55	2,38	2,32	2,35
1,68 m	0,12	0,15	0,18	0,53	3,20	2,53	3,17
1,58 m	0,12	0,14	0,18	0,52	3,84	2,55	3,81
1,3 m	0,10	0,13	0,15	0,48	2,80	2,46	2,78
1 m	0,09	0,11	0,14	0,44	2,19	2,20	2,17
60 cm	0,08	0,09	0,12	0,36	1,68	1,77	1,67
30 cm	0,04	0,05	0,07	0,21	0,94	1,00	0,93
10 cm	0,02	0,02	0,03	0,08	0,36	0,38	0,36
GOK	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07	0,08	0,07

Tabelle 20: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	0,30	0,35	0,41	0,71	0,98	0,98	0,95
2,5 m	0,21	0,25	0,31	0,86	3,72	3,63	3,67
1,68 m	0,19	0,23	0,29	0,82	5,00	3,95	4,95
1,58 m	0,19	0,22	0,29	0,81	6,00	3,98	5,96
1,3 m	0,16	0,20	0,24	0,75	4,37	3,85	4,34
1 m	0,14	0,18	0,22	0,68	3,43	3,44	3,40
60 cm	0,12	0,14	0,18	0,57	2,63	2,77	2,61
30 cm	0,07	0,08	0,10	0,33	1,47	1,56	1,45
10 cm	0,03	0,03	0,04	0,13	0,56	0,60	0,56
GOK	0,00	0,01	0,01	0,03	0,11	0,12	0,11

Die Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Sättigungsdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m übersteigen dabei nicht 2,0 % bzw. 2,5 % (Abbildung 83) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer.

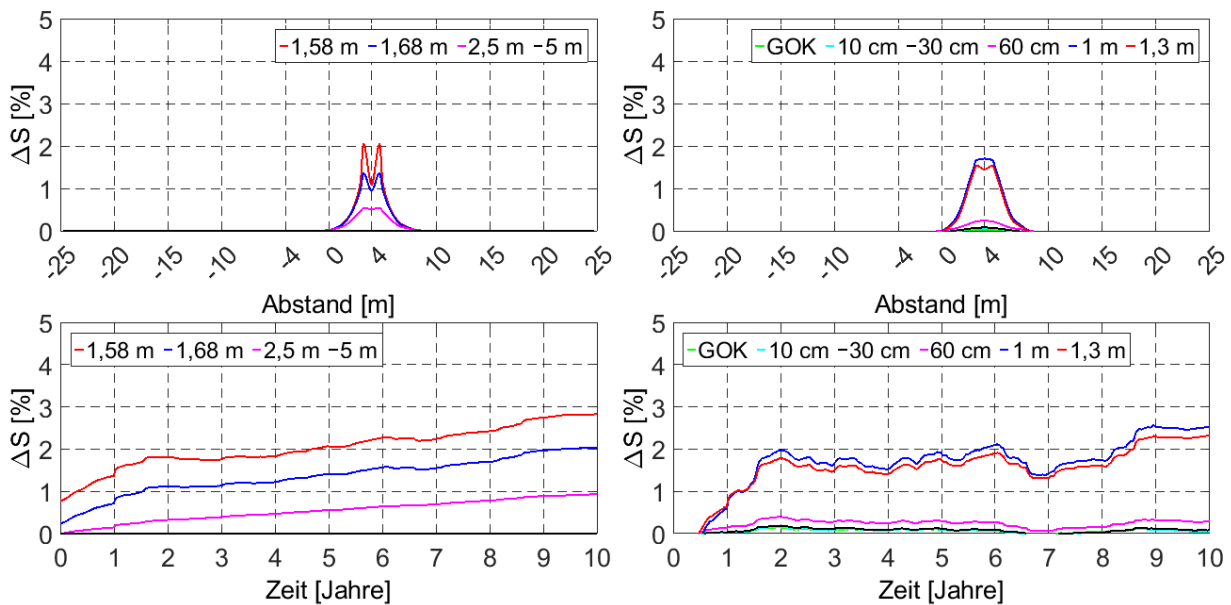


Abbildung 83: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

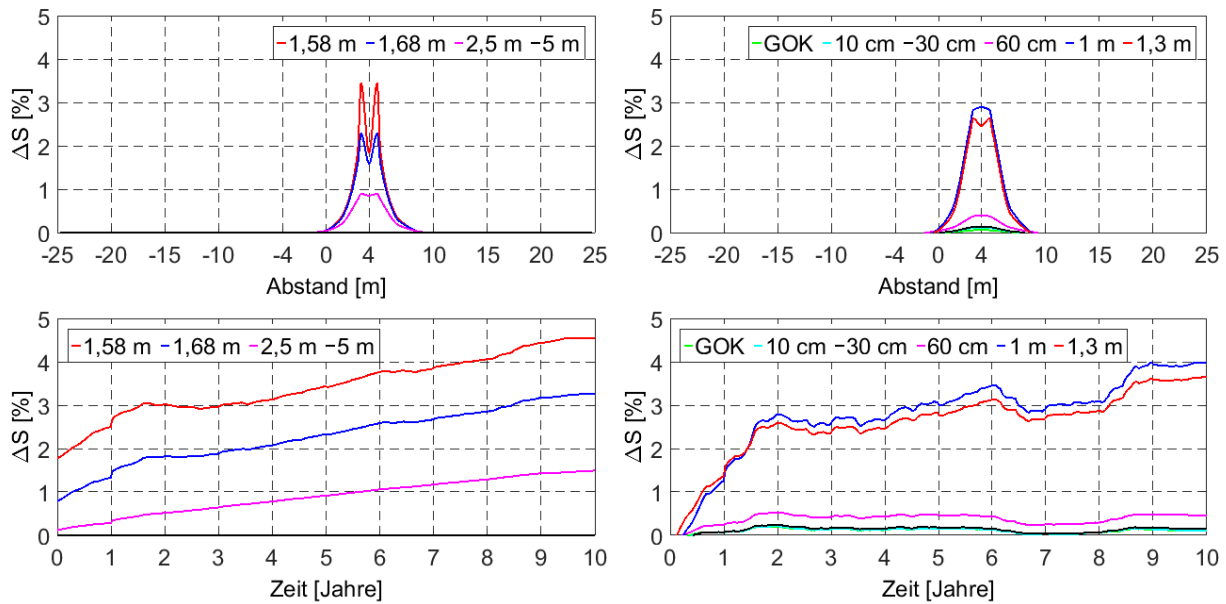


Abbildung 84: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Temperaturdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP eine ausgeprägte Temperaturdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 4 K (Abbildung 85) bzw. 5,5 K (Abbildung 86) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. In Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss mit Werten ≤ 1 K zunehmend geringer.

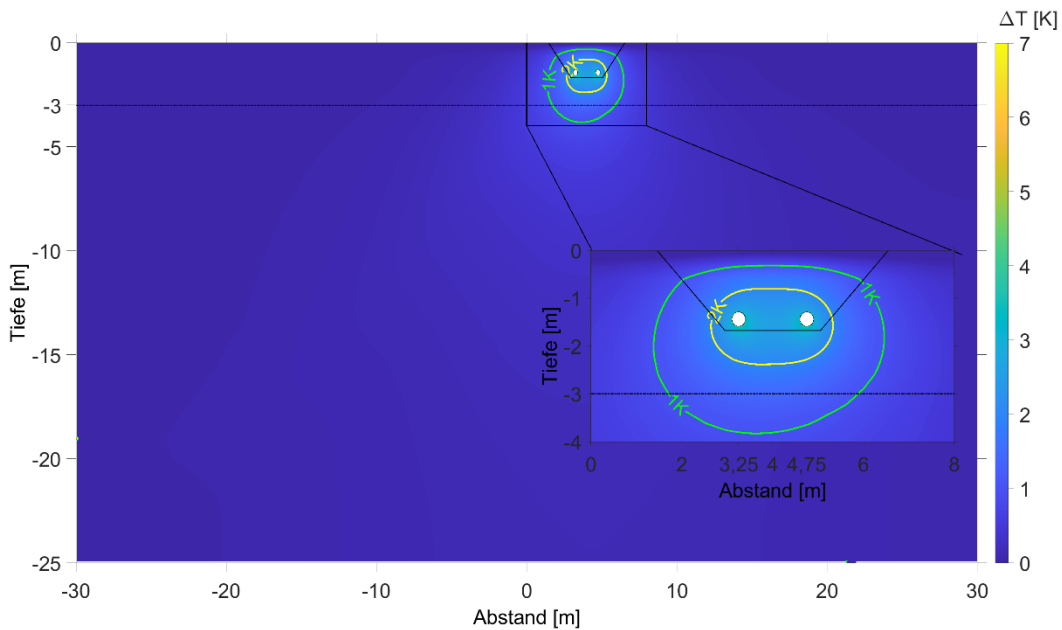


Abbildung 85: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

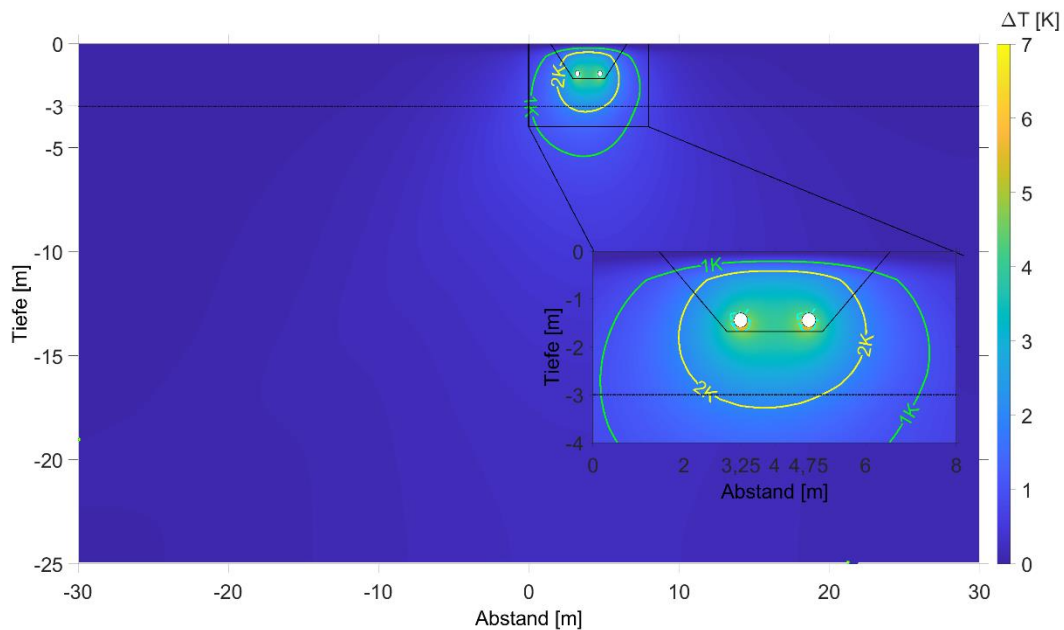


Abbildung 86: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Sättigungsdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP eine Sättigungsdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 2 % (Abbildung 87) bzw. 3 % (Abbildung 88) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb.

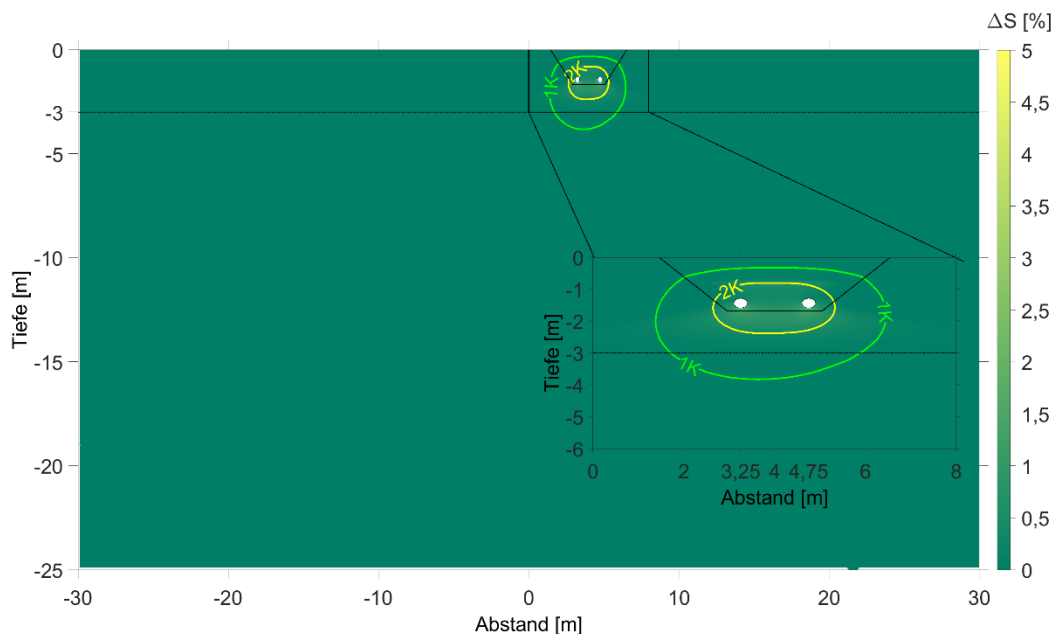


Abbildung 87: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

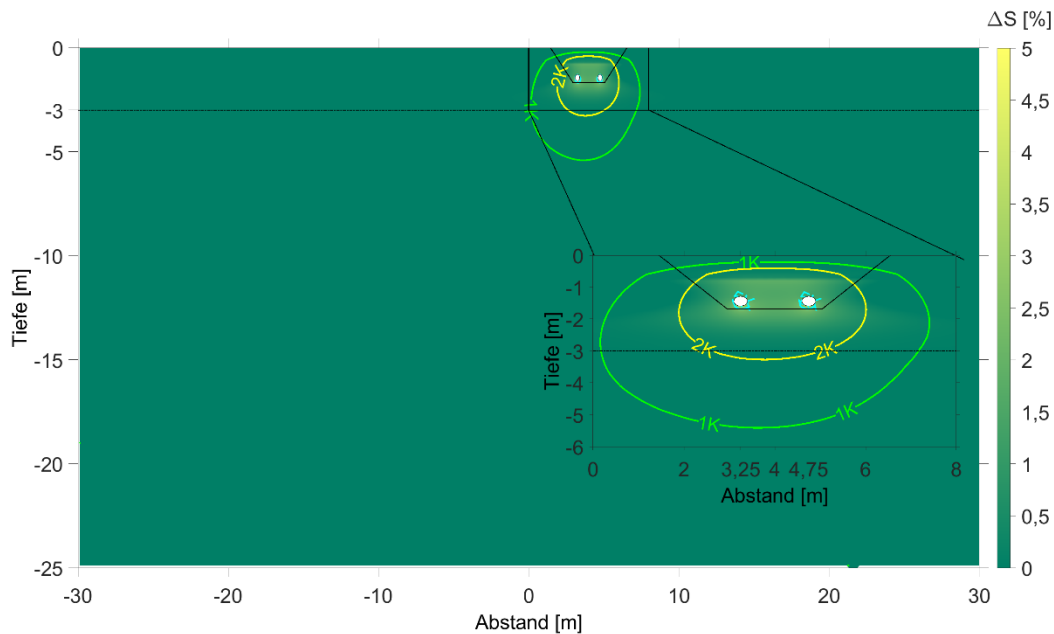


Abbildung 88: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

3.2.4.2 Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme)

Die Temperaturdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie 68 % NEP und 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Temperaturdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m übersteigen dabei nicht 4,5 K (Abbildung 89) bzw. 7 K (Abbildung 90) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer. In den Abbildungen des Mittelwertes über die Tiefe und die zeitabhängigen Darstellungen können leichte Unterschiede infolge der Mittelung über das betrachtete Jahr aufweisen.

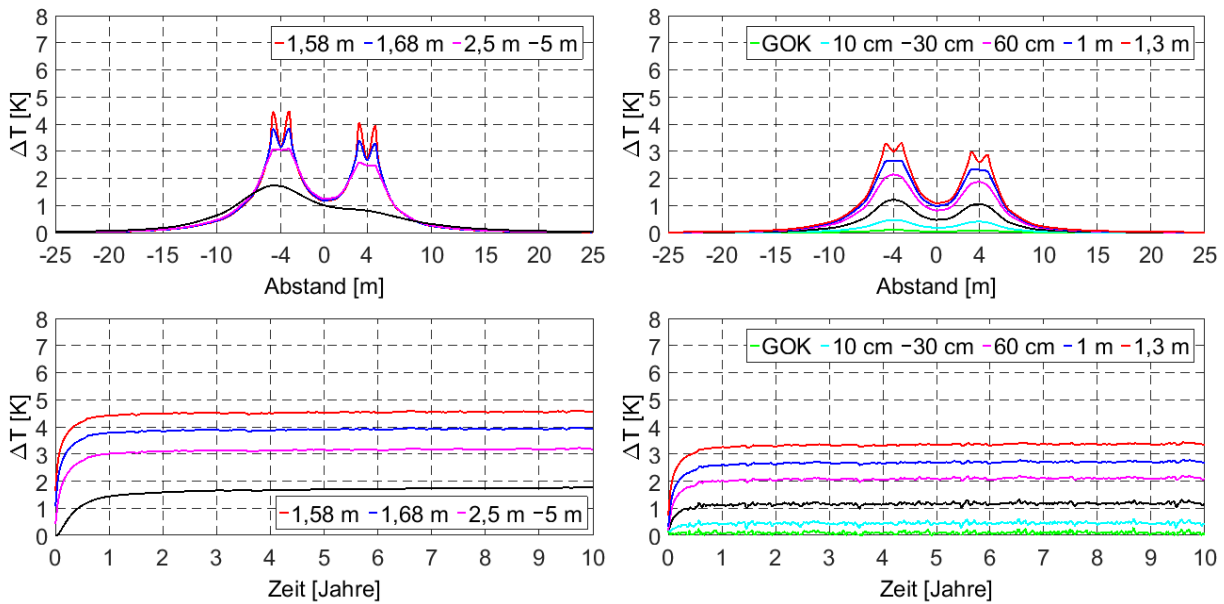


Abbildung 89: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von -4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

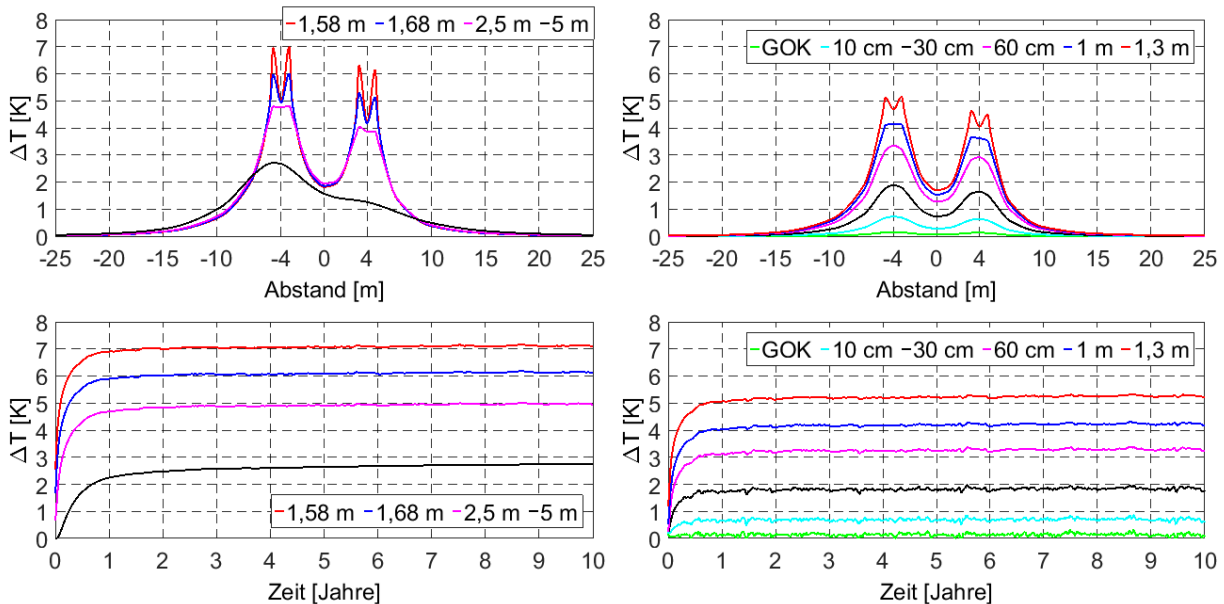


Abbildung 90: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von -4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH). In den Abbildungen des Mittelwertes über die Tiefe und die zeitabhängigen Darstellungen können leichte Unterschiede infolge der Mittelung über das betrachtete Jahr aufweisen.

In den folgenden Tabellen sind die verwendeten Berechnungswerte der Grafiken der Abbildung 89 und Abbildung 90 tabellarisch zusammengefasst.

Tabelle 21: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	1,74	1,71	1,61	1,01	0,84	0,81	0,76
2,5 m	3,07	3,04	3,08	1,25	2,58	2,48	2,47
1,68 m	3,81	3,16	3,84	1,19	3,39	2,67	3,28
1,58 m	4,45	3,16	4,47	1,17	4,03	2,69	3,93
1,3 m	3,27	3,00	3,29	1,09	2,96	2,59	2,87
1 m	2,62	2,66	2,64	0,98	2,34	2,31	2,26
60 cm	2,03	2,14	2,05	0,82	1,81	1,87	1,74
30 cm	1,14	1,21	1,15	0,47	1,01	1,05	0,97
10 cm	0,44	0,46	0,44	0,18	0,39	0,40	0,37
GOK	0,09	0,09	0,09	0,04	0,08	0,08	0,08

Tabelle 22: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	2,71	2,67	2,51	1,57	1,31	1,26	1,18
2,5 m	4,79	4,75	4,82	1,95	4,03	3,87	3,86
1,68 m	5,96	4,94	6,00	1,86	5,29	4,17	5,13
1,58 m	6,95	4,93	6,99	1,82	6,30	4,20	6,13
1,3 m	5,11	4,68	5,15	1,70	4,62	4,05	4,48
1 m	4,09	4,15	4,12	1,53	3,65	3,61	3,53
60 cm	3,17	3,34	3,20	1,27	2,82	2,91	2,72
30 cm	1,77	1,88	1,79	0,73	1,58	1,64	1,52
10 cm	0,68	0,72	0,68	0,28	0,60	0,63	0,58
GOK	0,14	0,15	0,14	0,06	0,12	0,13	0,12

Die Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Sättigungsdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m Tiefe übersteigen dabei nicht 2,0 % bzw. 2,5 % (Abbildung 91) und 3,0 % bzw. 3,5 % (Abbildung 92) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer.

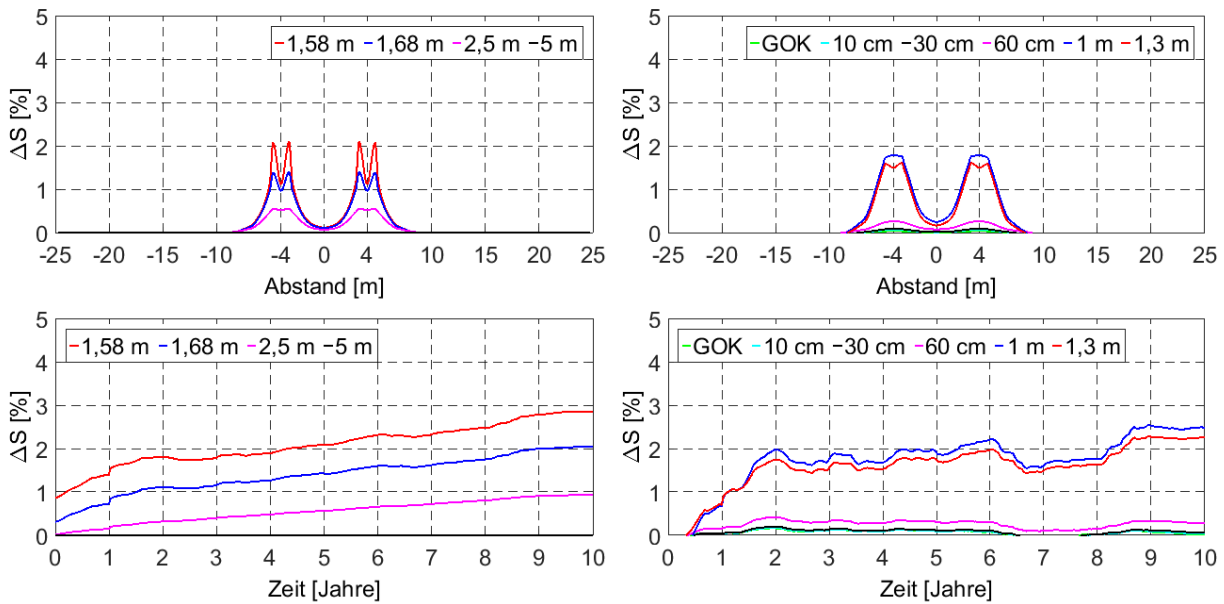


Abbildung 91: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von -4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

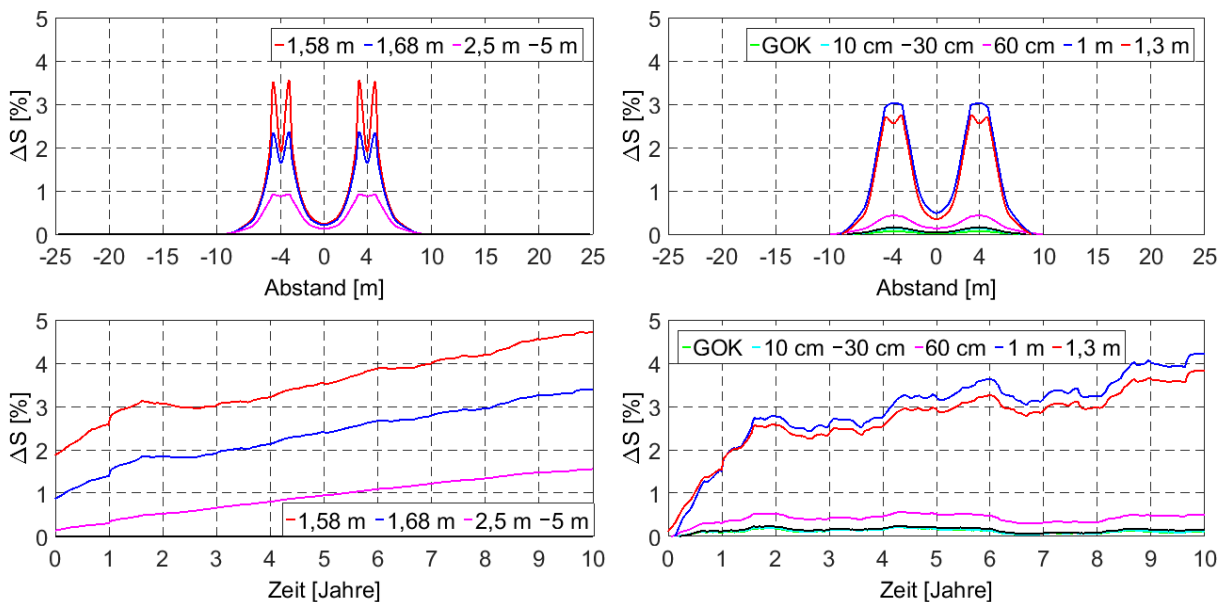


Abbildung 92: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von -4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Temperaturdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie 68 % NEP und 85 % NEP eine ausgeprägte Temperaturdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 4,5 K (Abbildung 93) bzw. 6,5 K (Abbildung 94) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. In Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss mit Werten ≤ 1 K zunehmend geringer. Entsprechend der Grundwassertiefe von 3,0 m

unter GOK und der Grundwasserströmung orthogonal zur Kabelachse von 0,864 Meter pro Tag zeigt sich ein Wärmetransport zum linken Kabelsystem hin und von diesem ausgehend in tiefere Bodenschichten.

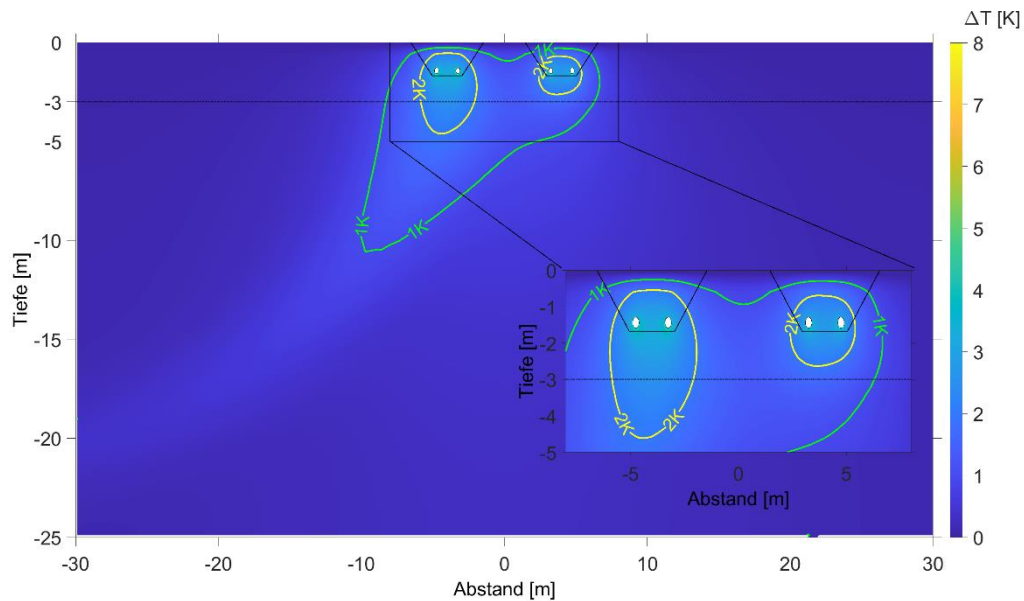


Abbildung 93: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

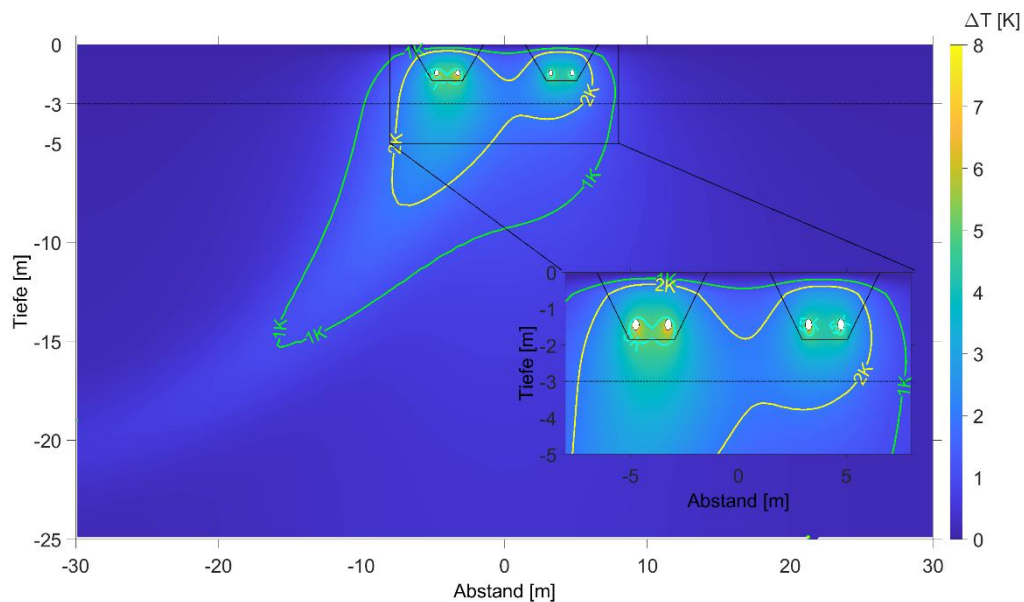


Abbildung 94: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Sättigungsdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP eine Sättigungsdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 2,5 % (Abbildung 95) bzw. 3,5 % (Abbildung 96) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb.

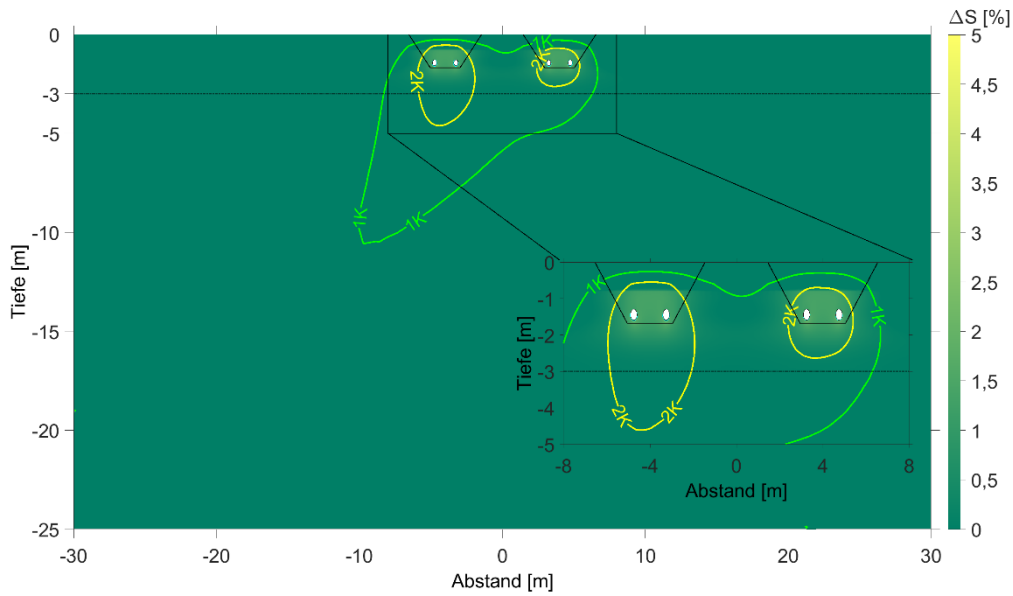


Abbildung 95: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

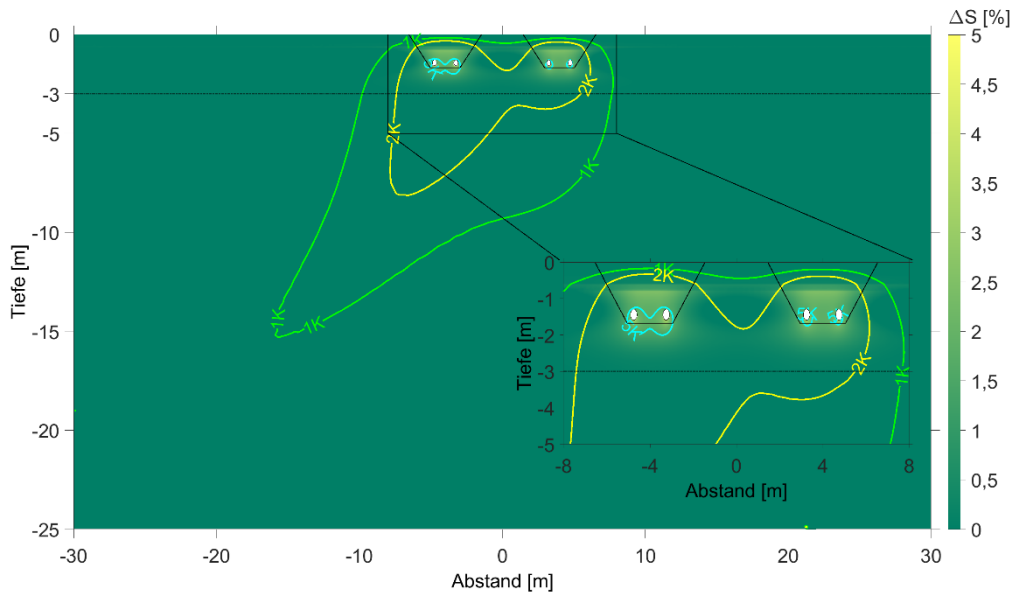


Abbildung 96: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie sowie die 5K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

3.2.5 Standort ohne Kabelbetrieb (Referenzwert im Ausgangszustand) für Winterweizen

Die Referenzwerte für die Temperatur und die Sättigung im Ausgangszustand ohne Kabelbetrieb und Winterweizen zeigen jahreszeitlich bedingte Schwankungen zwischen -3 °C und 28 °C sowie 0,55 und 0,8 an der GOK (Abbildung 97). Mit zunehmender Tiefe nimmt der Schwankungsbereich der Temperatur und der Sättigung ab und es ist auf einen signifikanten Unterschied zwischen der Bodentemperatur an der GOK und der Lufttemperatur zu verweisen.

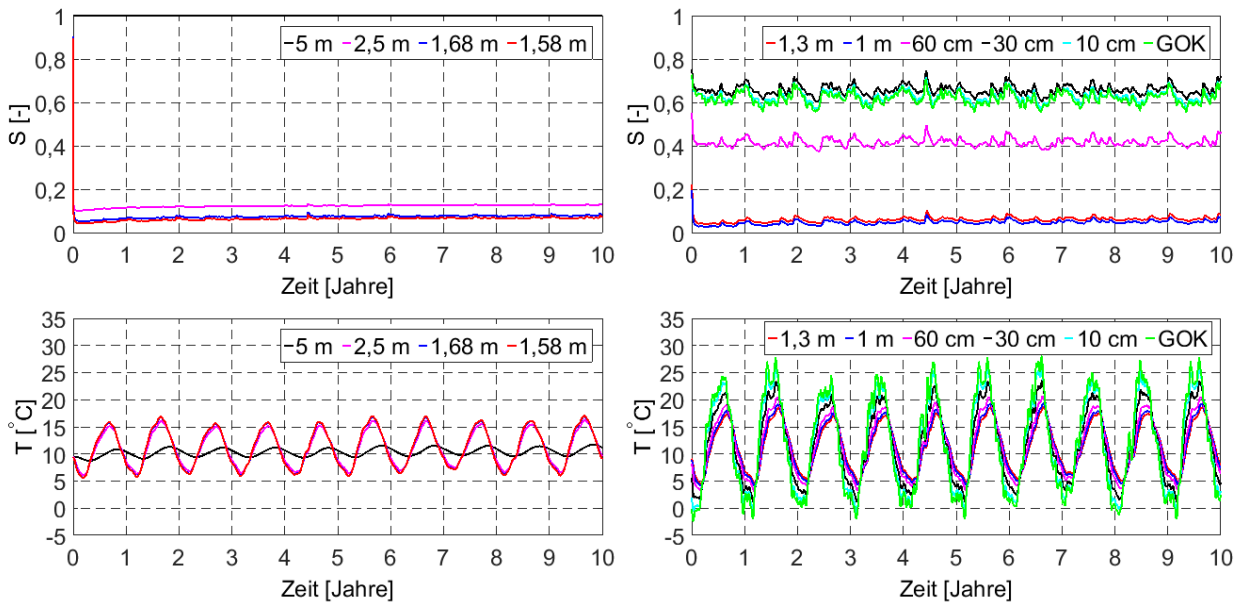


Abbildung 97: Referenzwerte für Sättigung S [-] und Temperatur T [°C] in 5 m, 2,5 m, 1,68 m und 1,58 m (links oben/unten) sowie 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben/unten) von Winterweizen im Zeitraum von 10 Jahren für das Leitprofil B0204 BK (VT) (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

3.2.6 Ergebnisse unter Kabelbetrieb für Winterweizen

3.2.6.1 Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem)

Die Temperaturdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Temperaturdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m übersteigen dabei nicht 4 K (Abbildung 98) bzw. 6 K (Abbildung 99) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer. In den Abbildungen des Mittelwertes über die Tiefe und die zeitabhängigen Darstellungen können leichte Unterschiede infolge der Mittelung über das betrachtete Jahr aufweisen.

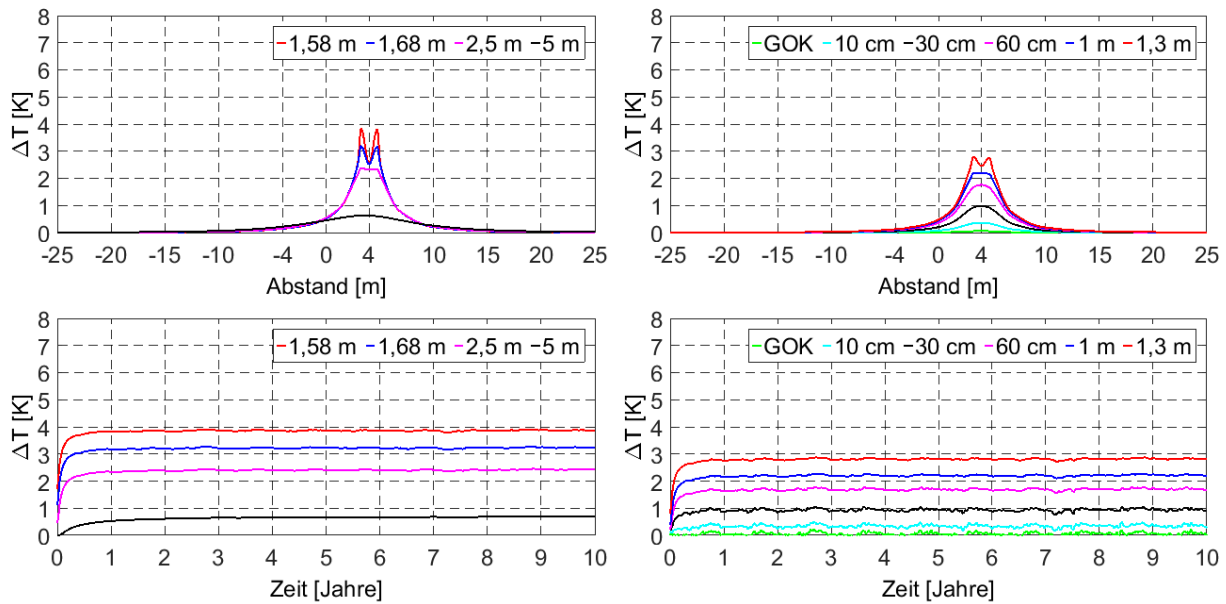


Abbildung 98: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

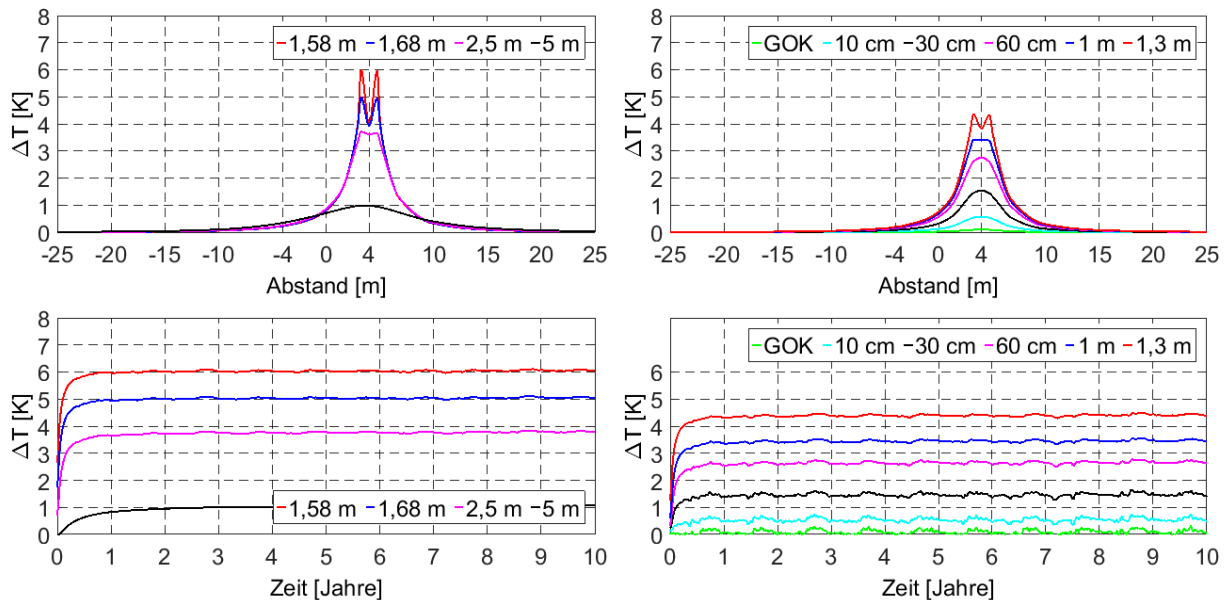


Abbildung 99: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

In den folgenden Tabellen sind die verwendeten Berechnungswerte der Grafiken der Abbildung 98 und Abbildung 99 tabellarisch zusammengefasst.

Tabelle 23: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabelast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	0,19	0,22	0,26	0,45	0,63	0,63	0,60
2,5 m	0,13	0,16	0,19	0,55	2,37	2,31	2,34
1,68 m	0,12	0,14	0,18	0,52	3,19	2,52	3,16
1,58 m	0,12	0,14	0,18	0,51	3,83	2,54	3,80
1,3 m	0,10	0,13	0,15	0,48	2,79	2,45	2,76
1 m	0,09	0,11	0,14	0,43	2,18	2,19	2,16
60 cm	0,07	0,09	0,11	0,36	1,67	1,76	1,66
30 cm	0,04	0,05	0,06	0,20	0,92	0,98	0,92
10 cm	0,01	0,02	0,02	0,07	0,34	0,36	0,34
GOK	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,06	0,05

Tabelle 24: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabelast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	0,30	0,35	0,40	0,70	0,98	0,98	0,94
2,5 m	0,20	0,25	0,30	0,85	3,71	3,62	3,66
1,68 m	0,19	0,23	0,28	0,82	4,99	3,94	4,94
1,58 m	0,19	0,22	0,28	0,80	5,99	3,97	5,95
1,3 m	0,15	0,20	0,23	0,75	4,36	3,84	4,32
1 m	0,14	0,17	0,21	0,68	3,41	3,42	3,38
60 cm	0,12	0,14	0,18	0,56	2,62	2,75	2,59
30 cm	0,07	0,08	0,10	0,32	1,45	1,54	1,43
10 cm	0,02	0,03	0,04	0,12	0,54	0,57	0,53
GOK	0,00	0,00	0,01	0,02	0,09	0,09	0,09

Die Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Sättigungsdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m Tiefe übersteigen dabei nicht 1,5 % bzw. 2,0 % (Abbildung 100) und 3,0 % bzw. 4,0 % (Abbildung 101) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer.

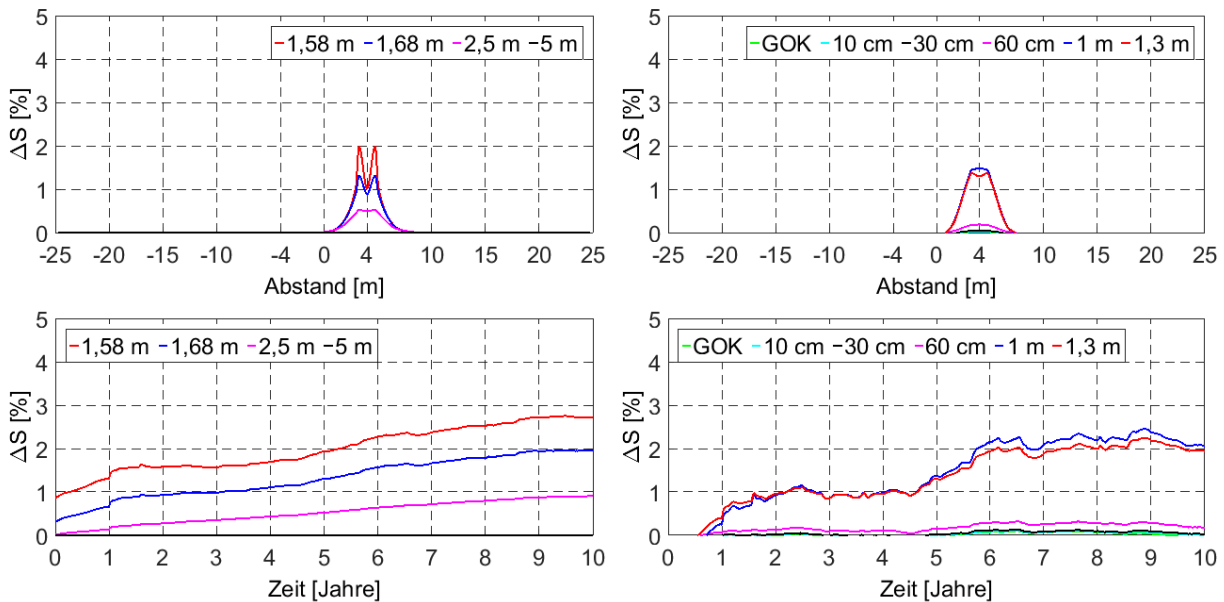


Abbildung 100: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

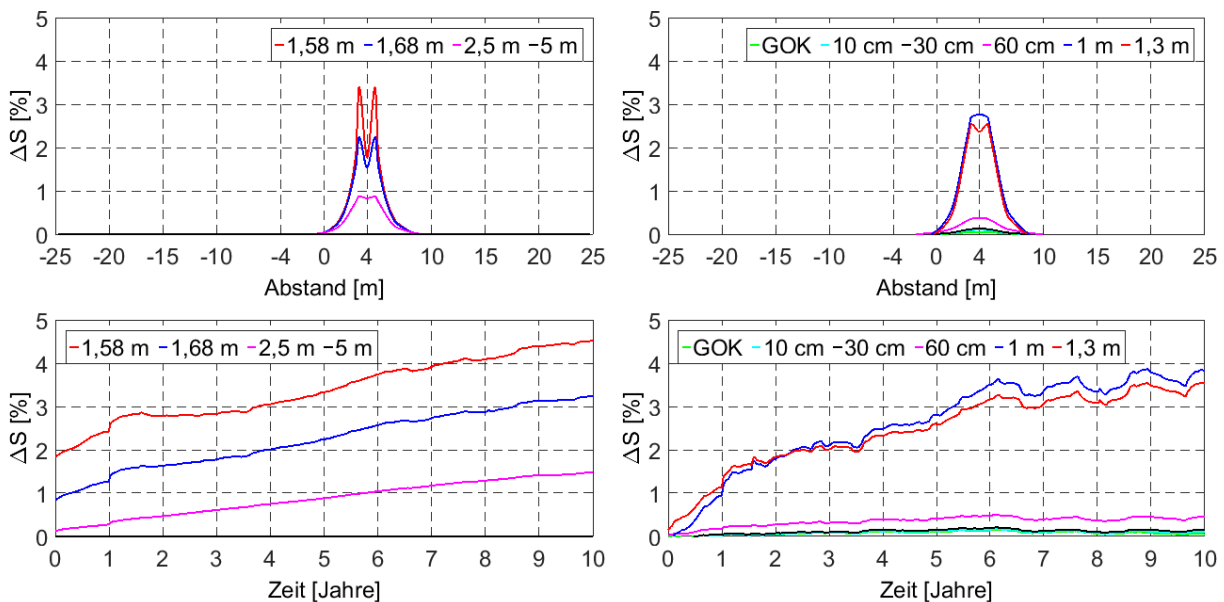


Abbildung 101: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Temperaturdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP eine ausgeprägte Temperaturdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 4 K (Abbildung 102) bzw. 6 K (Abbildung 103) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. In Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss mit Werten ≤ 1 K zunehmend geringer.

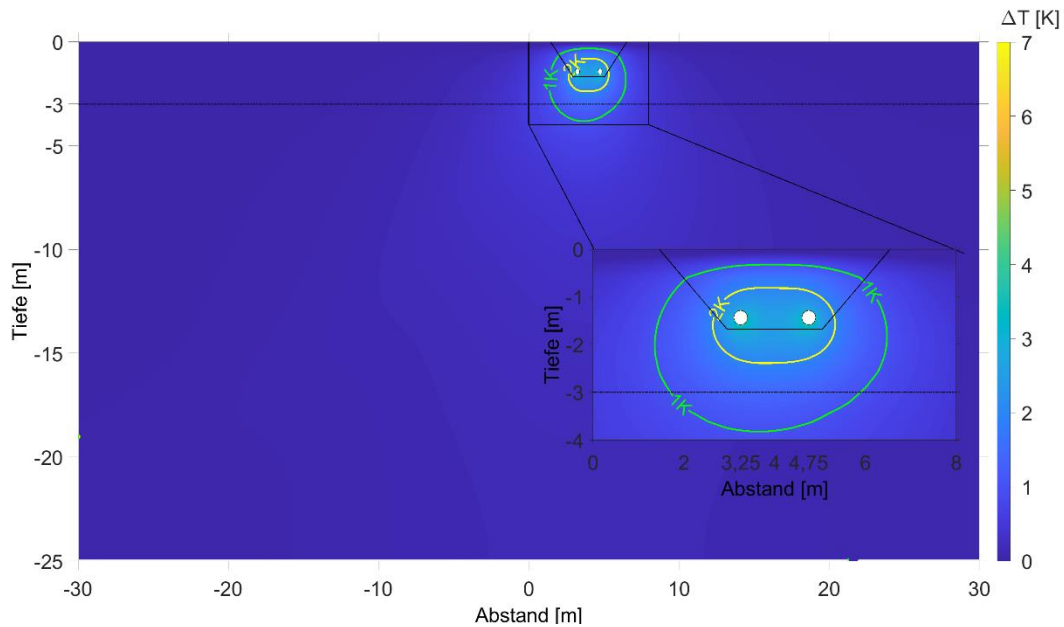


Abbildung 102: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

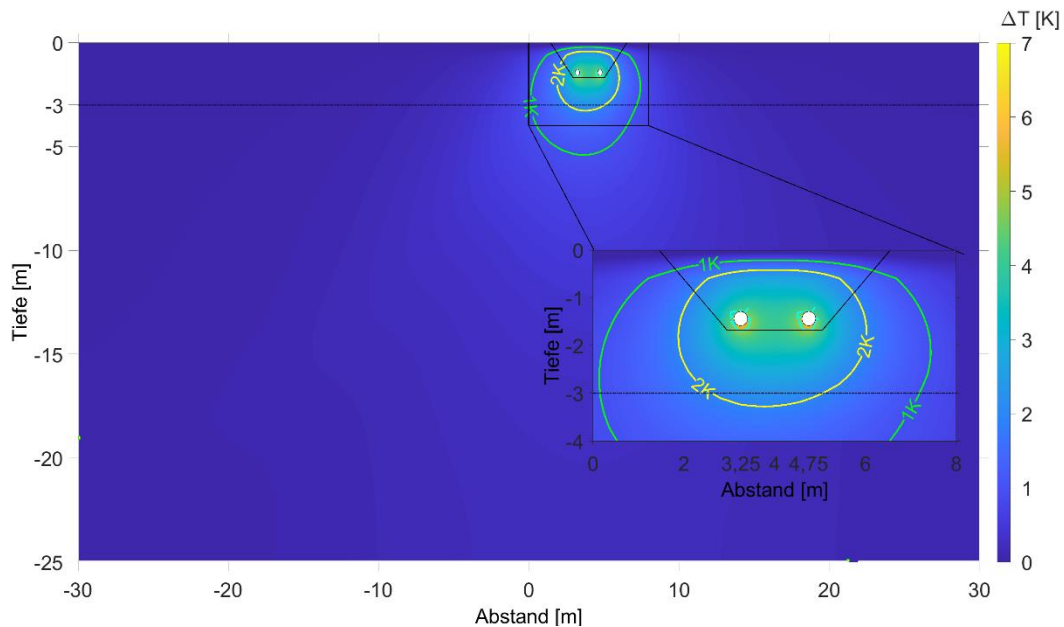


Abbildung 103: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Sättigungsdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP eine Sättigungsdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 2 % (Abbildung 104) bzw. 3,5 % (Abbildung 105) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb.

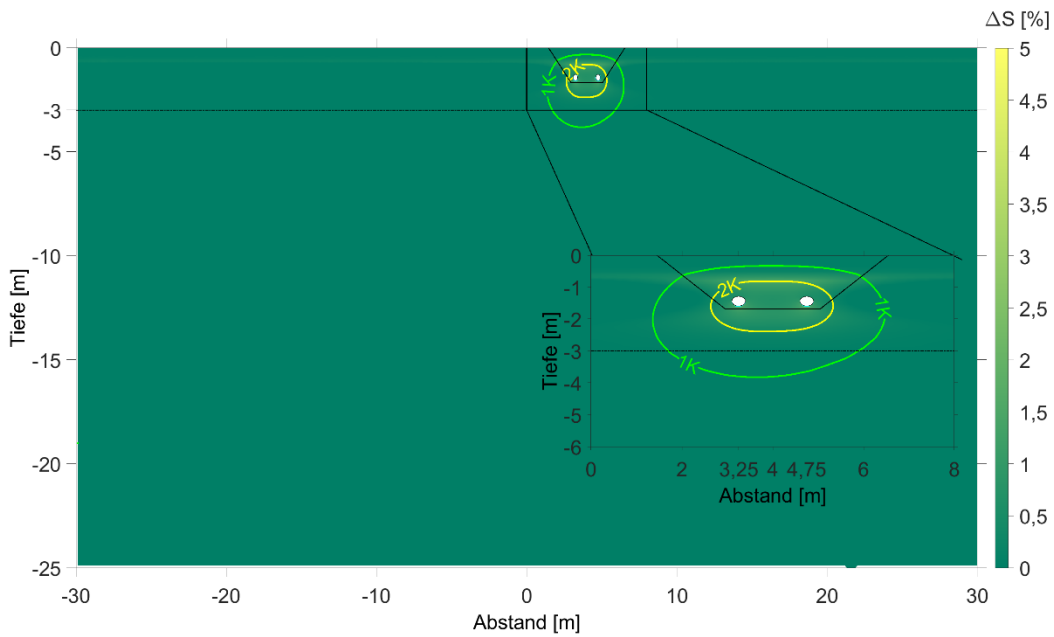


Abbildung 104: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

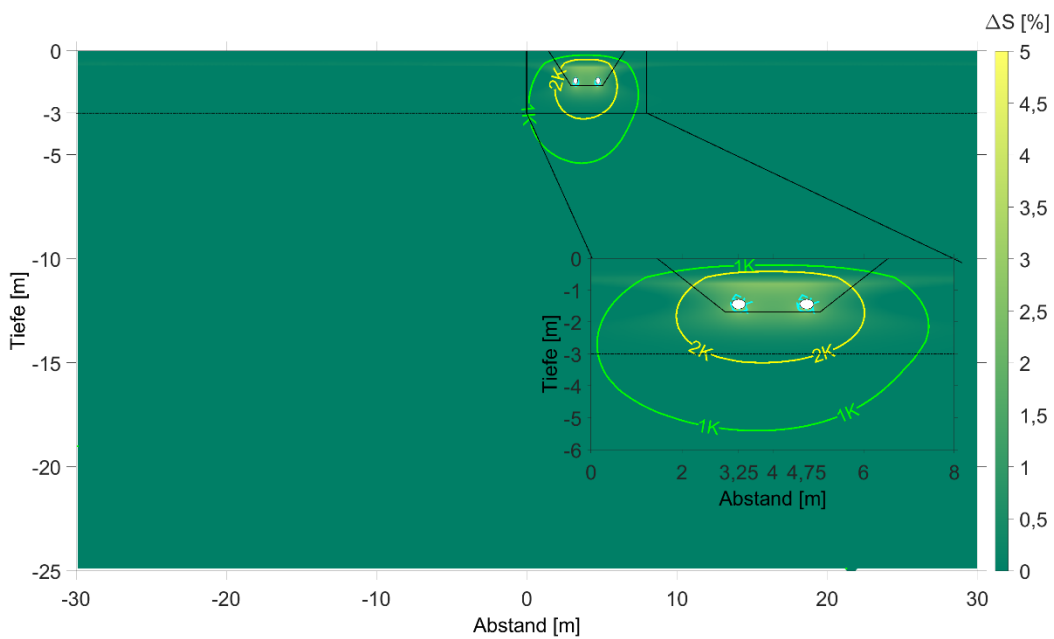


Abbildung 105: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

3.2.6.2 Temperatur- und Sättigungsdifferenzen 1D & 2D für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme)

Die Temperaturdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie 68 % NEP und 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Temperaturdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m übersteigen dabei nicht 4,5 K (Abbildung 106) bzw. 7 K (Abbildung 107) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer. In den Abbildungen des Mittelwertes über die Tiefe und die zeitabhängigen Darstellungen können leichte Unterschiede infolge der Mittelung über das betrachtete Jahr aufweisen.

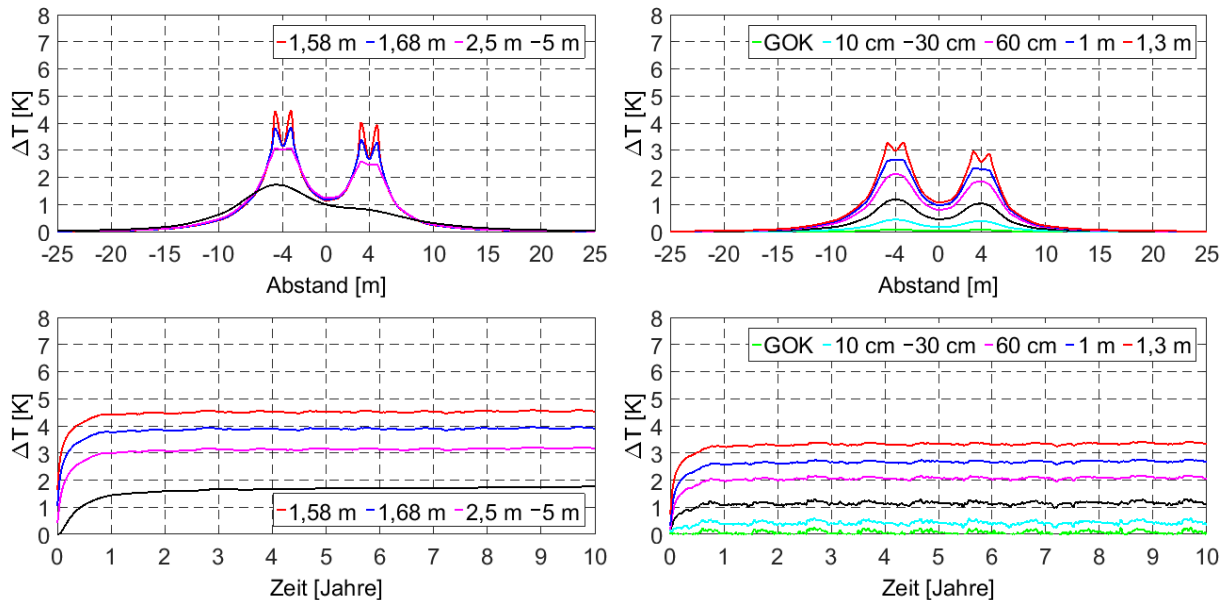


Abbildung 106: Temperaturdifferenzen ΔT [°C] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von - 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

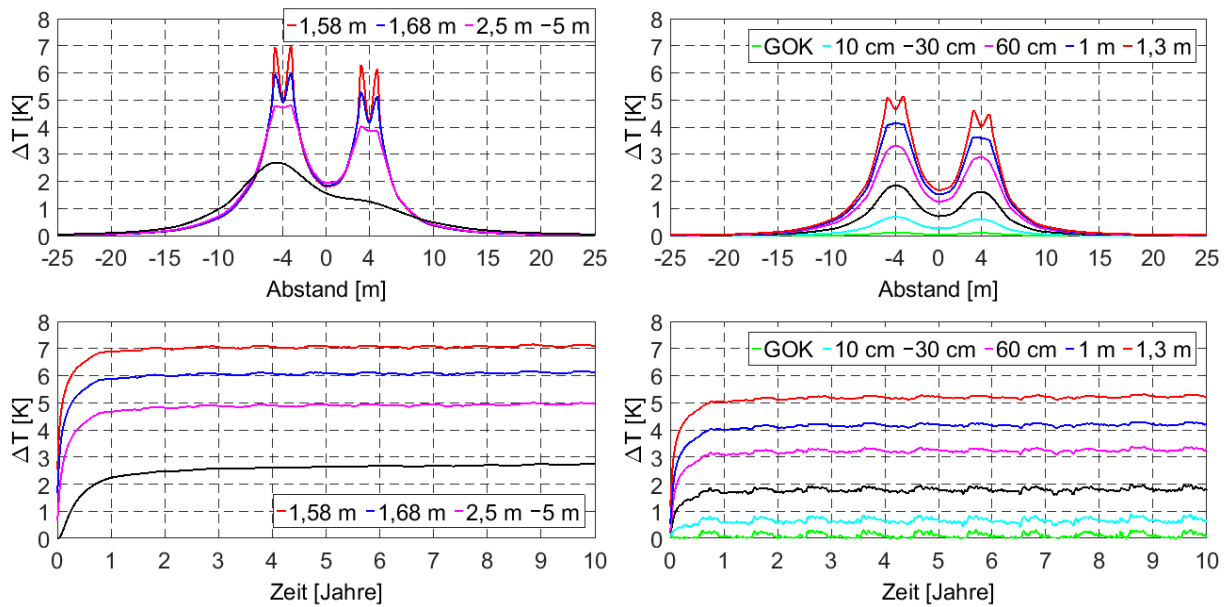


Abbildung 107: Temperaturdifferenzen ΔT [°C] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,58 m, 1,68 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von - 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

In den folgenden Tabellen sind die verwendeten Berechnungswerte der Grafiken der Abbildung 106 und Abbildung 107 tabellarisch zusammengefasst.

Tabelle 25: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	1,73	1,70	1,60	1,00	0,84	0,80	0,75
2,5 m	3,05	3,03	3,07	1,24	2,57	2,47	2,46
1,68 m	3,80	3,15	3,83	1,18	3,38	2,66	3,27
1,58 m	4,43	3,14	4,46	1,16	4,02	2,68	3,92
1,3 m	3,26	2,98	3,28	1,08	2,95	2,58	2,86
1 m	2,60	2,64	2,63	0,97	2,33	2,30	2,25
60 cm	2,01	2,12	2,03	0,80	1,79	1,85	1,73
30 cm	1,12	1,19	1,13	0,46	0,99	1,04	0,96
10 cm	0,41	0,44	0,42	0,17	0,37	0,38	0,35
GOK	0,06	0,07	0,06	0,02	0,06	0,06	0,05

Tabelle 26: Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3) als Mittelwerte im 10. Jahr.

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	2,70	2,66	2,50	1,56	1,31	1,25	1,18
2,5 m	4,77	4,73	4,80	1,93	4,02	3,85	3,84
1,68 m	5,94	4,92	5,98	1,84	5,28	4,16	5,11
1,58 m	6,92	4,91	6,96	1,80	6,28	4,18	6,12
1,3 m	5,08	4,66	5,12	1,68	4,60	4,03	4,47
1 m	4,07	4,13	4,10	1,52	3,63	3,59	3,51
60 cm	3,14	3,31	3,17	1,25	2,80	2,89	2,70
30 cm	1,74	1,85	1,76	0,71	1,55	1,62	1,49
10 cm	0,64	0,69	0,65	0,26	0,57	0,60	0,55
GOK	0,10	0,11	0,10	0,04	0,09	0,09	0,09

Die Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a und 68 % NEP sowie 85 % NEP zeigen einen Temperatureinfluss im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Die maximalen Sättigungsdifferenzen am Übergang des umliegenden Bodens zum Kabel in 1,3 m und 1,58 m Tiefe übersteigen dabei nicht 1,5 % bzw. 2,0 % (Abbildung 108) und 3,0 % bzw. 3,5 % (Abbildung 109) und in Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss zunehmend geringer.

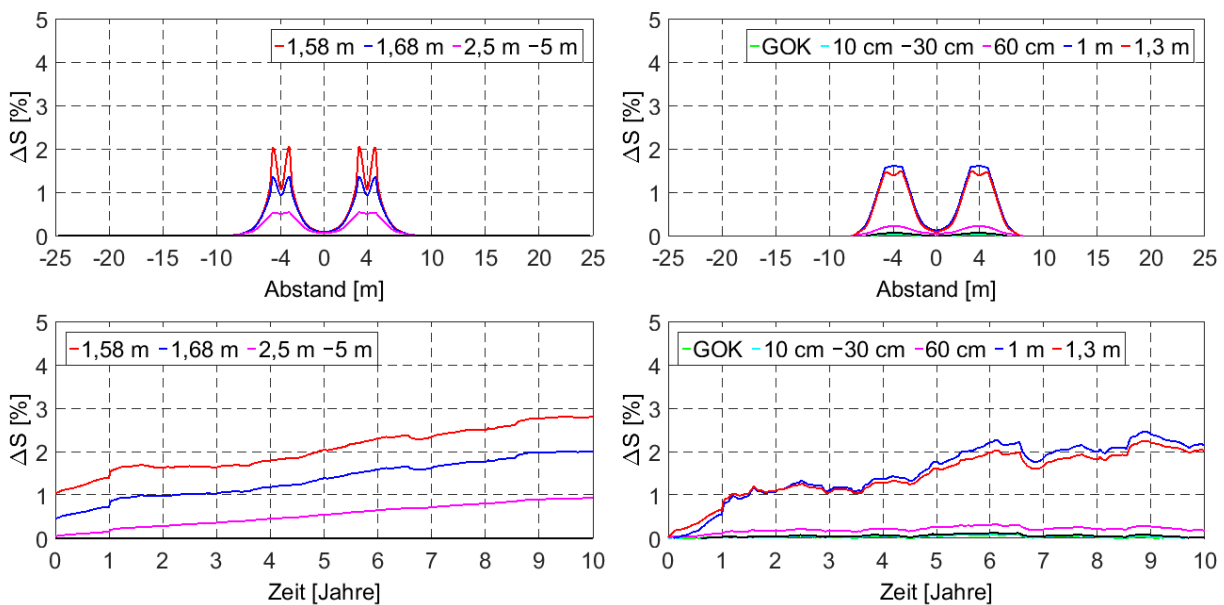


Abbildung 108: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen in 1,58 m, 1,84 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,3 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von -4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

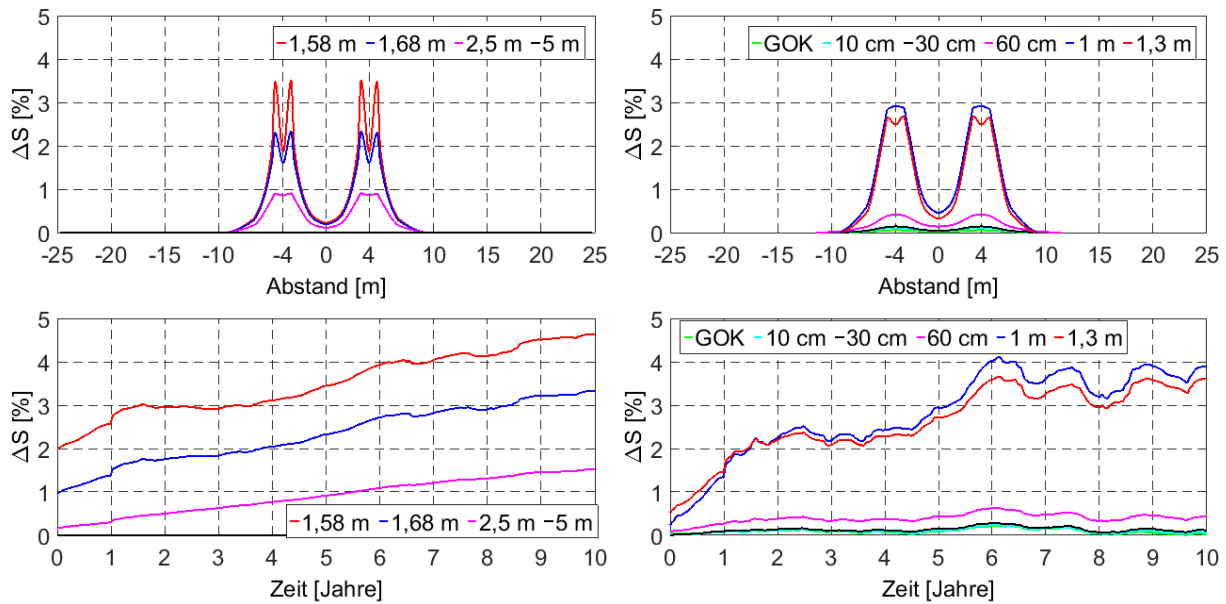


Abbildung 109: Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Grünland in 1,58 m, 1,84 m, 2,5 m und 5 m Tiefe (links oben) und 1,3 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK (rechts oben) als Mittelwerte im 10. Jahr. Gleitende Monatsmittelwerte beim Abstand von – 4 m (links, rechts unten) im Zeitraum von 10 Jahren (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Temperaturdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie 68 % NEP und 85 % NEP eine ausgeprägte Temperaturdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 4,5 K (Abbildung 110) bzw. 6,5 K (Abbildung 111) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. In Richtung der GOK wird der Temperatureinfluss mit Werten ≤ 1 K zunehmend geringer. Entsprechend der Grundwassertiefe von 3,0 m unter GOK und der Grundwasserströmung orthogonal zur Kabelachse von 0,864 Meter pro Tag zeigt sich ein Wärmetransport zum linken Kabelsystem hin und von diesem ausgehend in tiefere Bodenschichten.

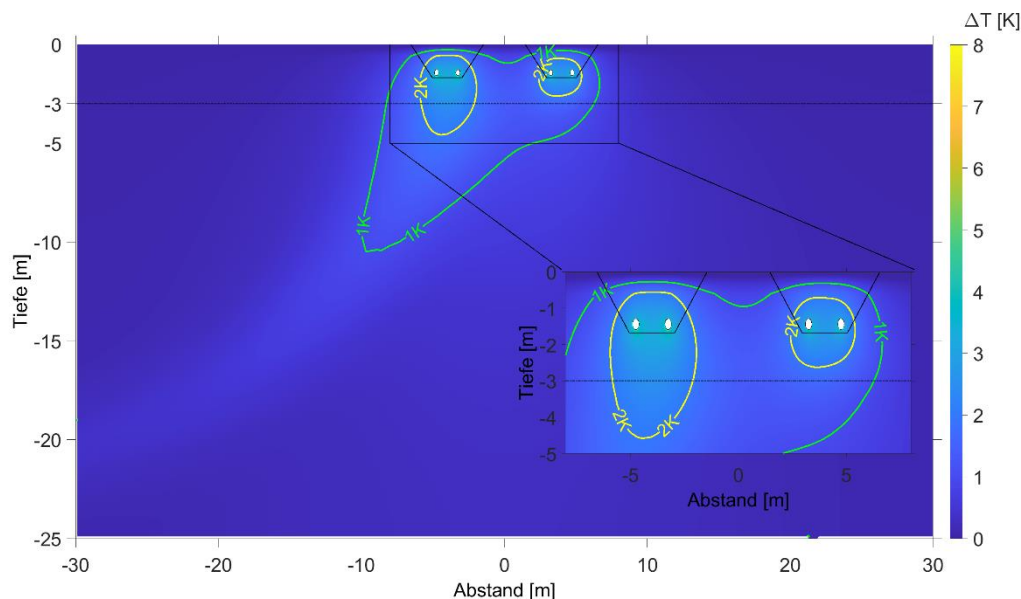


Abbildung 110: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

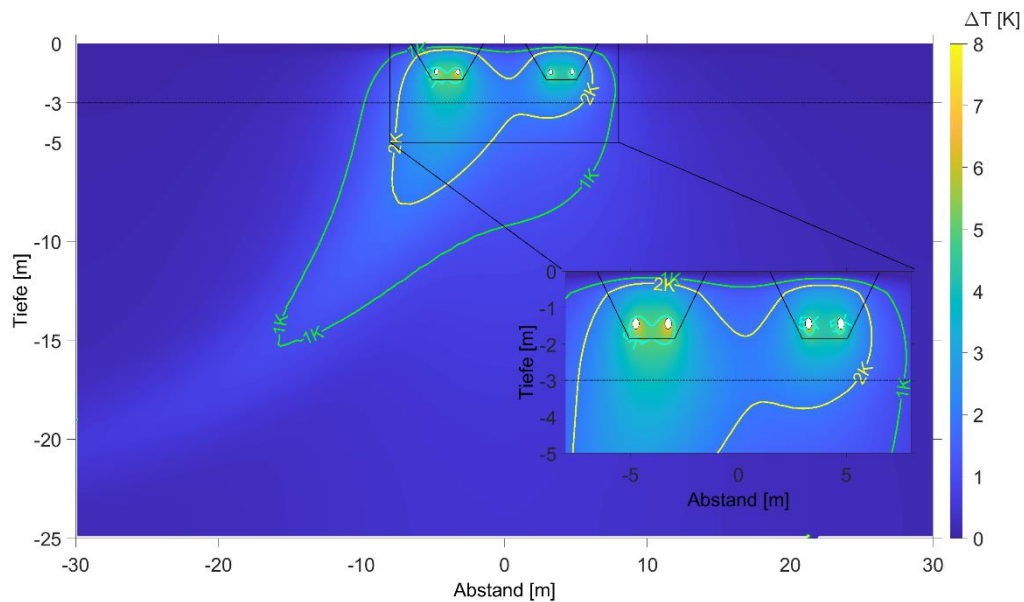


Abbildung 111: 2D-Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

Die 2D-Sättigungsdifferenzfelder zeigen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP sowie 85 % NEP eine Sättigungsdifferenz in direkter Kabelumgebung von bis zu 2 % (Abbildung 112) bzw. 2,5 % (Abbildung 113) im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Entsprechend der Grundwassertiefe von 3,0 m unter GOK und der Grundwasserströmung orthogonal zur Kabelachse von 0,864 Meter pro Tag zeigt sich ein Wärmetransport zum linken Kabelsystem hin und von diesem ausgehend in tiefere Bodenschichten.

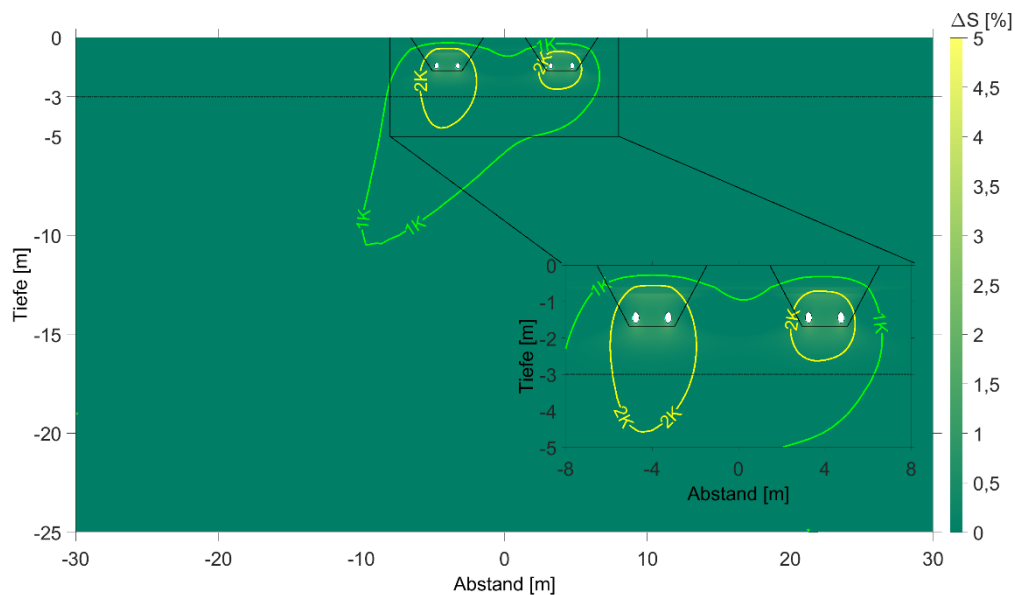


Abbildung 112: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 68 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

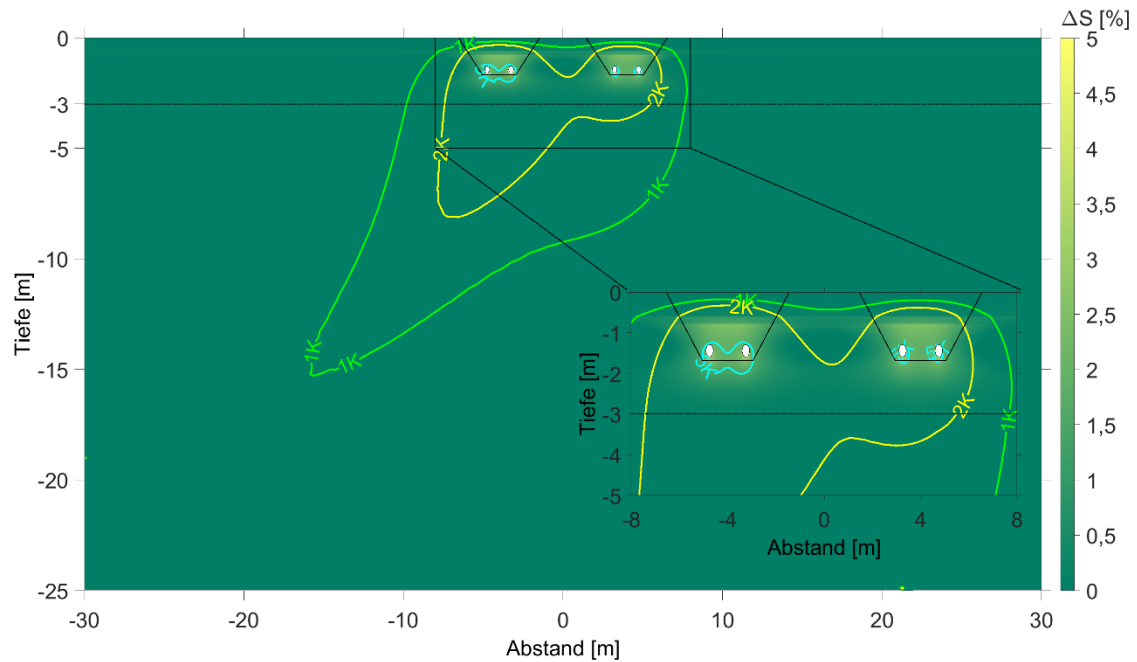


Abbildung 113: 2D-Sättigungsdifferenzen ΔS [%] (Kabellast/Referenz) für 85 % NEP und Winterweizen nach 10 Jahren. Die durchgezogene Linie in 3,0 m Tiefe entspricht dem Grundwasserspiegel. Zur Orientierung sind die 1K- und 2K-Isolinie dargestellt (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

4 Vergleichende Betrachtung

4.1 Leitprofil S0128

Die unterschiedlichen Simulationsvarianten zeigen geringe Unterschiede zwischen den Sättigungs- und Temperaturdifferenzen (Tabelle 27). Entsprechend der höheren Verlustleistung durch den Kabelbetrieb von 22,3 W/m im Vergleich zu 14,28 W/m zeigt 85 % NEP einen stärkeren Einfluss auf den Bodenwasser- und Wärmehaushalt als 68 % NEP.

Tabelle 27: Mittlere Temperaturdifferenzen ΔT [K] und Sättigungsdifferenzen ΔS [%] für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem) sowie Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme) für 68 % NEP und 85 % NEP und die Vegetationsformen Grünland, Mais und Winterweizen in 130 cm, 60 cm und 30 cm Tiefe sowie an der GOK für den vertikalen Abtastpunkt bei + 4 m (Nr. 5) bzw. – 4 m (Nr. 5 und Nr. 5a).

Simulierte Variante Abtastpunkt	Nr. 5 Grünland + 4 m	Nr. 5 und Nr. 5a Grünland - 4 m	Nr. 5 Mais + 4 m	Nr. 5 und Nr. 5a Mais - 4 m	Nr. 5 Winter- weizen + 4 m	Nr. 5 und Nr. 5a Winter- weizen - 4 m
Temperaturdifferenz ΔT [K]						
GOK	68 %: 0,10 85 %: 0,16	68 %: 0,11 85 %: 0,17	68 %: 0,19 85 %: 0,29	68 %: 0,19 85 %: 0,30	68 %: 0,08 85 %: 0,13	68 %: 0,08 85 %: 0,13
30 cm	68 %: 0,76 85 %: 1,18	68 %: 0,79 85 %: 1,23	68 %: 0,83 85 %: 1,29	68 %: 0,86 85 %: 1,34	68 %: 0,73 85 %: 1,15	68 %: 0,76 85 %: 1,20
60 cm	68 %: 1,19 85 %: 1,86	68 %: 1,24 85 %: 1,93	68 %: 1,25 85 %: 1,96	68 %: 1,31 85 %: 2,04	68 %: 1,17 85 %: 1,83	68 %: 1,22 85 %: 1,91
130 cm	68 %: 2,16 85 %: 3,37	68 %: 2,25 85 %: 3,51	68 %: 2,21 85 %: 3,45	68 %: 2,30 85 %: 3,61	68 %: 2,14 85 %: 3,34	68 %: 2,23 85 %: 3,49
Sättigungsdifferenz ΔS [%]						
GOK	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5
30 cm	68 %: <1,5 85 %: <1,5	68 %: <2,0 85 %: <2,0	68 %: <1,5 85 %: <2,0	68 %: <2,5 85 %: <2,5	68 %: <1,5 85 %: <2,0	68 %: <1,5 85 %: <2,0
60 cm	68 %: <1,5 85 %: <1,5	68 %: <2,0 85 %: <2,0	68 %: <1,5 85 %: <2,0	68 %: <2,5 85 %: <2,5	68 %: <1,5 85 %: <2,0	68 %: <1,5 85 %: <2,0
130 cm	68 %: <2,0 85 %: <2,0	68 %: <2,5 85 %: <2,5	68 %: <1,5 85 %: <2,0	68 %: <2,5 85 %: <2,5	68 %: <2,0 85 %: <2,5	68 %: <2,0 85 %: <2,5

4.2 Leitprofil B0204

Die unterschiedlichen Simulationsvarianten zeigen geringe Unterschiede zwischen den Sättigungs- und Temperaturdifferenzen (Tabelle 28). Entsprechend der höheren Verlustleistung durch den Kabelbetrieb von 22,3 W/m im Vergleich zu 14,28 W/m zeigt 85 % NEP einen stärkeren Einfluss auf den Bodenwasser- und Wärmehaushalt als 68 % NEP.

Tabelle 28: Mittlere Temperaturdifferenzen ΔT [K] und Sättigungsdifferenzen ΔS [%] für das Vorhaben NR. 5 (1 Kabelsystem) sowie Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme) für 68 % NEP und 85 % NEP und die Vegetationsformen Grünland, Mais und Winterweizen in 130 cm, 60 cm und 30 cm Tiefe sowie an der GOK für den vertikalen Abtastpunkt bei + 4 m (Nr. 5) bzw. – 4 m (Nr. 5 und Nr. 5a).

Simulierte Variante Abtastpunkt	Nr. 5 Grünland + 4 m	Nr. 5 und Nr. 5a Grünland - 4 m	Nr. 5 Mais + 4 m	Nr. 5 und Nr. 5a Mais - 4 m	Nr. 5 Winter- weizen + 4 m	Nr. 5 und Nr. 5a Winter- weizen - 4 m
Temperaturdifferenz ΔT [K]						
GOK	68 %: 0,08 85 %: 0,12	68 %: 0,09 85 %: 0,15	68 %: 0,13 85 %: 0,21	68 %: 0,16 85 %: 0,25	68 %: 0,06 85 %: 0,09	68 %: 0,07 85 %: 0,11
30 cm	68 %: 1,00 85 %: 1,56	68 %: 1,21 85 %: 1,88	68 %: 1,04 85 %: 1,63	68 %: 1,26 85 %: 1,97	68 %: 0,98 85 %: 1,54	68 %: 1,19 85 %: 1,85
60 cm	68 %: 1,77 85 %: 2,77	68 %: 2,14 85 %: 3,34	68 %: 1,80 85 %: 2,82	68 %: 2,18 85 %: 3,41	68 %: 1,76 85 %: 2,75	68 %: 2,12 85 %: 3,31
130 cm	68 %: 2,46 85 %: 3,85	68 %: 3,00 85 %: 4,68	68 %: 2,48 85 %: 3,89	68 %: 3,03 85 %: 4,74	68 %: 2,45 85 %: 3,84	68 %: 2,98 85 %: 4,66
Sättigungsdifferenz ΔS [%]						
GOK	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5
30 cm	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5
60 cm	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5	68 %: <0,5 85 %: <0,5
130 cm	68 %: <2,0 85 %: <3,0	68 %: <2,0 85 %: <3,0	68 %: <2,0 85 %: <2,5	68 %: <2,0 85 %: <3,0	68 %: <1,5 85 %: <2,5	68 %: <1,5 85 %: <2,5

4.3 Saisonale Veränderungen der Bodentemperaturen für das NEP-Szenario 85 %

Die Abbildung 114 bis Abbildung 117 zeigen die saisonalen Veränderungen der Temperaturdifferenzen für die Leitprofile S0128 und B0204 in den Monaten März und September.

Entsprechend der Witterungsentwicklung zeigen sich die sommerlichen Temperaturmaxima im September. Während dieser Zeit können im Oberboden ausgeprägte Tagesgänge beobachtet werden. Demgegenüber ist in größeren Bodentiefen sowohl die saisonale als auch die tägliche Varianz der Bodentemperaturen geringer. Die vertikalen Temperaturprofile zeigen eine regelmäßige Inversion der Temperaturgradienten. Die Temperaturen steigen im Sommer nach oben hin an, während im Winter die Temperaturen zur Bodenoberfläche hin abnehmen. Betriebsbedingt ist der Temperaturunterschied zwischen der Atmosphäre und dem Boden geringer, weshalb weniger Wärme an den Boden abgegeben wird (TRÜBY, 2022).

Die ausgeprägtesten Temperaturanstiege in der technischen Leitungszone und dem umgebenden Boden sind daher im Sommer (vgl. September) zu beobachten, da die gespeicherte Wärme (betriebsbedingte Wärmezufuhr > Wärmeabfuhr an die Atmosphäre) diese induziert. Demgegenüber sind die Temperaturunterschiede zwischen Atmosphäre und Boden im Winter (vgl. März) größer und induzieren einen Wärmeverlust im Oberboden (betriebsbedingte Wärmezufuhr < Wärmeabfuhr an die Atmosphäre).

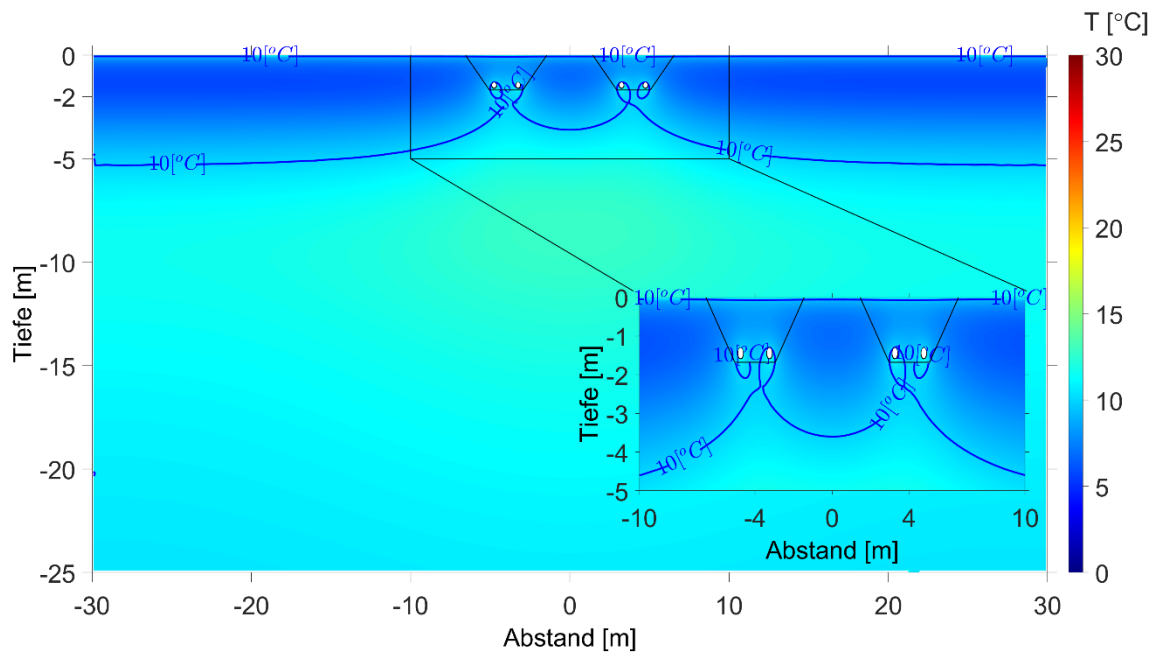


Abbildung 114: 2D-Temperaturfeld T [°C] (Kabellast/Referenz) für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme), 85 % NEP sowie Mais für den Monat März für das Leitprofil S0128 (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

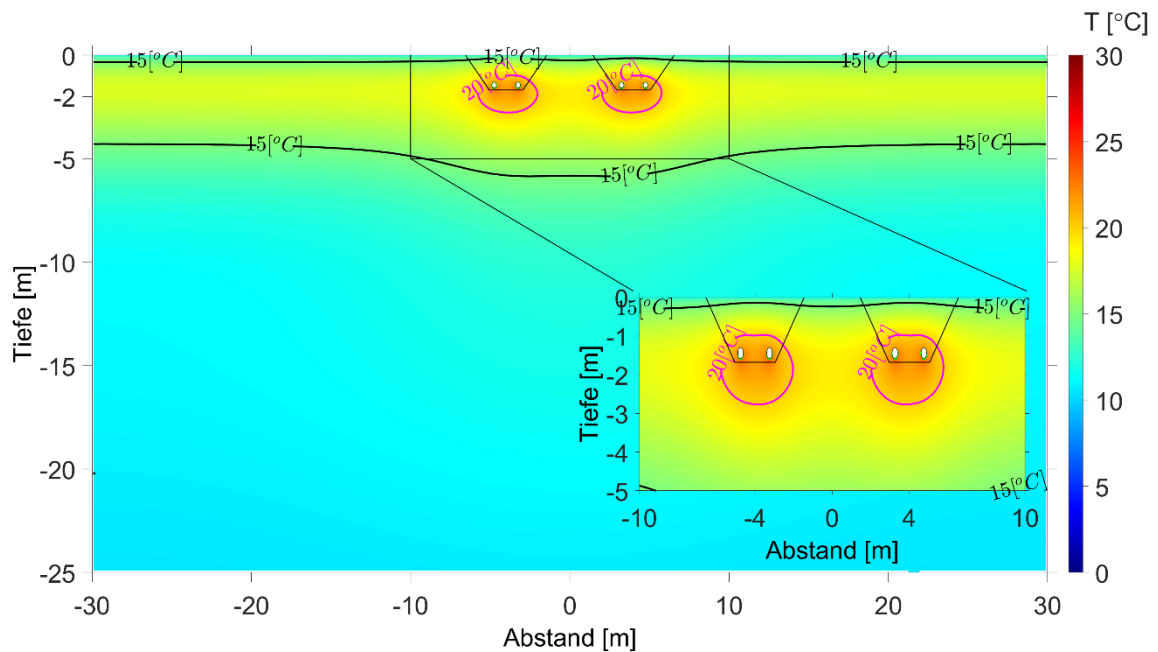


Abbildung 115: 2D-Temperaturfeld T [°C] (Kabellast/Referenz) für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme), 85 % NEP sowie Mais für den Monat September für das Leitprofil S0128 (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH).

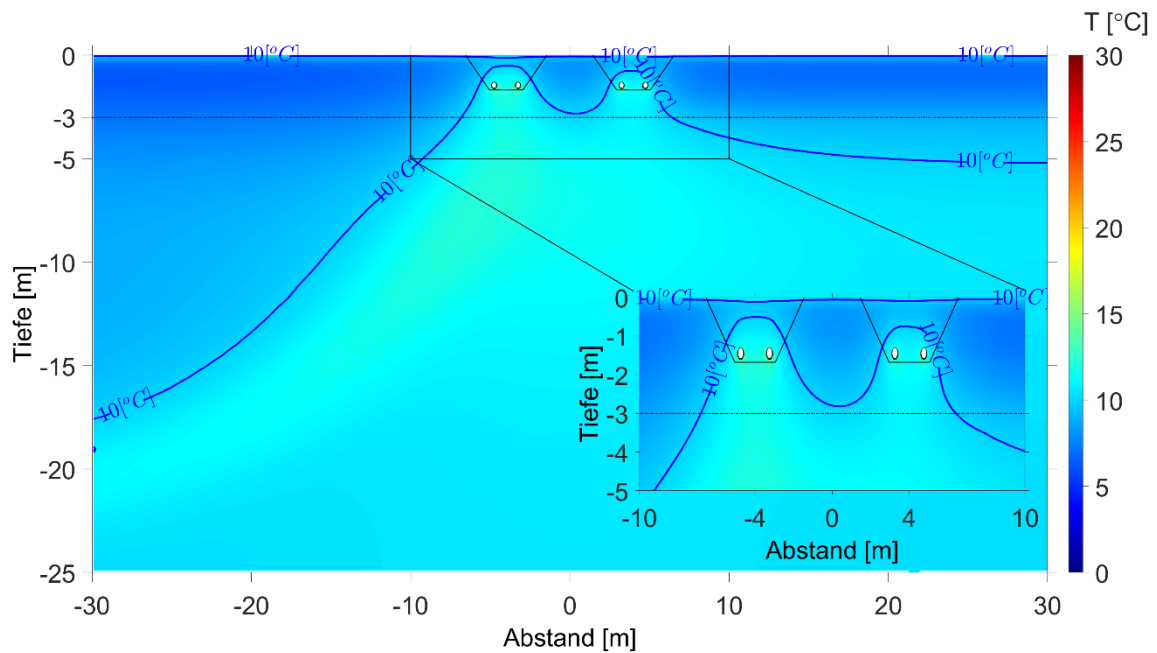


Abbildung 116: 2D-Temperaturfeld T [°C] (Kabellast/Referenz) für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme), 85 % NEP sowie Mais für den Monat März für das Leitprofil B0204 (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH). Die Grundwassertiefe von 3,0 m ist entsprechend gekennzeichnet.

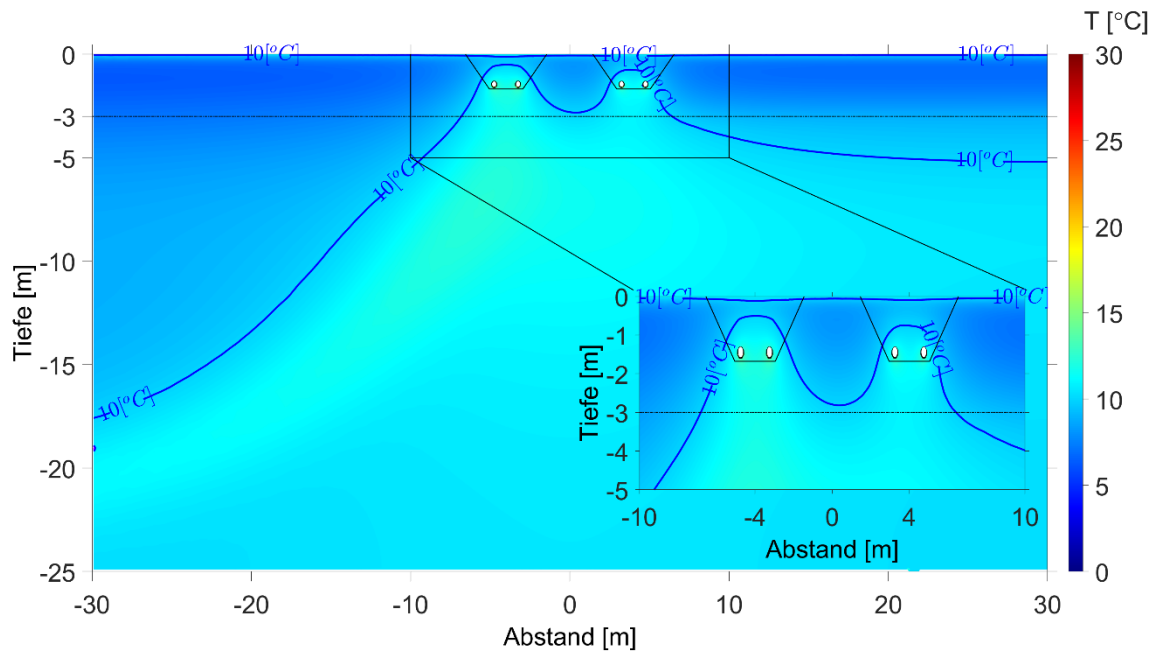


Abbildung 117: 2D-Temperaturfeld T [°C] (Kabellast/Referenz) für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme), 85 % NEP sowie Mais für den Monat September für das Leitprofil B0204 (Quelle: GeoAnalysis-Engineering GmbH). Die Grundwassertiefe von 3,0 m ist entsprechend gekennzeichnet.

4.4 Varianzanalyse unter Berücksichtigung der minimalen und maximalen Wärmeleitfähigkeiten

In den Unterkapiteln 4.4.1 und 4.4.2 wird die Standardabweichung als Wurzel der Varianz genutzt, um zu verdeutlichen, wie sehr die Temperaturdifferenzen unter Berücksichtigung der profil- und horizontspezifischen

minimalen und maximalen Wärmeleitfähigkeiten vom jeweiligen Mittelwert abweichen. Die Standardabweichungen beziehen sich für beide Leitprofile auf das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme) sowie für 68 % NEP und 85 % NEP und Mais (Worst-case-Betrachtung). Die Standardabweichungen für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem) und das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a sowie Grünland und Winterweizen sind deutlich geringer und werden in diesem Kapitel nicht aufgeführt. Die Standardabweichungen in den Tabellen entstammen folgenden Beobachtungspunkten: Kabel 2 Graben links (K2L, – 4,75 m), Mitte Graben links (MGL, – 4,0 m), Kabel 1 Graben links (K1L, – 3,25 m), Mitte zwischen den Gräben (CL, 0 m), Kabel 1 Graben rechts (K1R, 3,25 m), Mitte Graben rechts (MGR, 4,0 m), Kabel 2 Graben rechts (K2R, 4,75 m).

4.4.1 Leitprofil S0128

Beim Leitprofil S0128 zeigen sich für 68 % NEP und 85 % NEP die größten Standardabweichungen von 1,99 K und 3,13 K (K2L, K1L, K1R, K2R) in direkter Kabelumgebung in 1,58 m Tiefe (Tabelle 29, Tabelle 30).

Tabelle 29: Standardabweichungen der Temperaturdifferenzen ΔT [K] (Kabellast/Referenz) für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a, 68 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3).

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	0,49	0,52	0,53	0,47	0,53	0,52	0,49
2,5 m	1,24	1,22	1,26	0,43	1,26	1,22	1,24
1,68 m	1,64	1,27	1,66	0,38	1,66	1,27	1,64
1,58 m	1,97	1,26	1,99	0,37	1,99	1,26	1,97
1,3 m	1,36	1,13	1,38	0,30	1,38	1,13	1,36
1 m	0,88	0,86	0,89	0,22	0,89	0,86	0,88
60 cm	0,43	0,45	0,43	0,11	0,43	0,45	0,43
30 cm	0,14	0,15	0,14	0,02	0,14	0,15	0,14
10 cm	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05
GOK	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabelle 30: Standardabweichungen der Temperaturdifferenzen ΔT [K] für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a, 85 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3).

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	0,78	0,82	0,83	0,75	0,83	0,82	0,78
2,5 m	1,94	1,91	1,98	0,68	1,98	1,91	1,94
1,68 m	2,57	2,00	2,61	0,60	2,61	2,00	2,57
1,58 m	3,09	1,98	3,13	0,58	3,13	1,98	3,09
1,3 m	2,14	1,77	2,16	0,48	2,16	1,77	2,14
1 m	1,38	1,35	1,40	0,35	1,40	1,35	1,38
60 cm	0,67	0,71	0,68	0,17	0,68	0,71	0,67
30 cm	0,22	0,23	0,22	0,04	0,22	0,23	0,22
10 cm	0,08	0,08	0,08	0,05	0,08	0,08	0,08
GOK	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00

4.4.2 Leitprofil B0204

Beim Leitprofil B0204 zeigen sich für 68 % NEP und 85 % NEP die größten Standardabweichungen von 1,64 K und 2,57 K (K2L, K1L) in direkter Kabelumgebung in 1,58 m Tiefe (Tabelle 31, Tabelle 32).

Tabelle 31: Standardabweichungen der Temperaturdifferenzen ΔT [K] für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a, 68 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3).

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	0,46	0,43	0,34	0,04	0,09	0,10	0,10
2,5 m	0,90	0,85	0,89	0,03	0,72	0,67	0,72
1,68 m	1,28	0,86	1,28	0,01	1,14	0,73	1,15
1,58 m	1,64	0,84	1,63	0,02	1,50	0,72	1,51
1,3 m	0,88	0,68	0,87	0,06	0,81	0,61	0,82
1 m	0,44	0,41	0,43	0,11	0,40	0,38	0,42
60 cm	0,07	0,07	0,08	0,19	0,06	0,05	0,04
30 cm	0,07	0,07	0,07	0,12	0,06	0,05	0,05
10 cm	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00
GOK	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02

Tabelle 32: Standardabweichungen der Temperaturdifferenzen ΔT [K] für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a, 85 % NEP und Mais in 5 m, 2,5 m, 1,68 m, 1,58 m, 1,30 m, 1 m, 60 cm, 30 cm, 10 cm Tiefe und GOK entlang der abgetasteten 1D-Punkte (Abbildung 3).

Position	K2L	MGL	K1L	CL	K1R	MGR	K2R
5 m	0,72	0,67	0,54	0,06	0,14	0,15	0,15
2,5 m	1,42	1,34	1,40	0,05	1,13	1,05	1,14
1,68 m	2,01	1,35	2,01	0,01	1,79	1,15	1,80
1,58 m	2,57	1,31	2,56	0,03	2,36	1,13	2,37
1,3 m	1,38	1,07	1,37	0,09	1,28	0,95	1,30
1 m	0,70	0,65	0,69	0,16	0,64	0,59	0,66
60 cm	0,10	0,10	0,11	0,29	0,08	0,06	0,05
30 cm	0,10	0,10	0,11	0,18	0,09	0,07	0,07
10 cm	0,01	0,01	0,01	0,06	0,01	0,00	0,00
GOK	0,04	0,04	0,04	0,01	0,03	0,04	0,03

5 Gutachterliche Wertung der Ergebnisse

5.1 Jahreszeitlich und lastbedingte Schwankungen der Temperatur- und Sättigungsdifferenzen für die Leitprofile S0128 und B0204

Die ermittelten 1D- und 2D-Temperatur- und Sättigungsdifferenzen zeigen im Vergleich zur Referenz ohne Kabellast für beide Kabelsysteme und Grünland sowie Mais einen signifikanten Temperatureffekt zum technischen System (Kabel/Schutzrohr und Bettung) hin. Die effektive Wärmeleitung im Boden wird durch die Wärmeleitfähigkeit der Bodenmatrix (feste Bodensubstanz ohne Porenraum) in Abhängigkeit von der Korngröße und den Kornkontakten sowie das im Porenraum frei bewegliche oder festgehaltene Bodenwasser und den Dampftransport bestimmt. Der Wärmeeintrag des Bodenwärmestroms an der GOK breitet sich mittels Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität des Bodens bei allen drei Leitprofilen in den sanddominierten Horizonten entlang des schnell und langsam beweglichen Sickerwassers in den weiten und engen Grobporen aus. Dementsprechend ist die Reduktion des Wassergehaltes durch Verdampfung der Wassermengen vorrangig in den Grobporen durch die induzierte Wärme eingeschränkt. Die höhere Wärmeleitfähigkeit durch den erhöhten Sand- und Steingehalt bewirkt jedoch ein schnelleres Verteilen der induzierten Wärme in die tieferen Bodenschichten. Demgegenüber resultieren die Sättigungsänderungen in den Schluff- und tondominierten Horizonten aus dem Wasserdampftransport in den Mittel- und Feinporen, die hier die Wärmeverteilung langsamer entlang des pflanzenverfügbaren und nicht pflanzenverfügbaren Haftwassers erfolgt.

Da Wasser im Vergleich zu den anderen Bodenkompartimenten eine höhere Wärmekapazität besitzt (MARKERT et al. 2017), ist die notwendige Energiemenge zur Erwärmung von Böden feuchter Standorte größer als die für Böden trockener Standorte (AHMAD et al. 2021). Folglich gibt der Boden im Sinne der Energiebilanz an der GOK weniger Wärme an die Atmosphäre ab als ein trockener Boden bei vergleichbarer Wärmeleitfähigkeit. Gleichzeitig wird der Bodenwasserhaushalt in den oberen 0,6 m vielmehr durch die atmosphärischen Randbedingungen sowie die Wassermenge im Porenraum des Bodens bestimmt.

Die Temperatur- und Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem) sowie Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme) und den Verlustleistungen 68 % NEP und 85 % NEP zeigen einen Einfluss des Kabelbetriebs auf den Bodenwärmehaushalt im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb. Entsprechend der höheren Verlustleistung durch den Kabelbetrieb von 22,3 W/m im Vergleich zu 14,28 W/m zeigt 85 % NEP einen stärkeren Einfluss auf den Bodenwasser- und Wärmehaushalt als 68 % NEP. Besonders deutlich sind die Unterschiede beim Leitprofil B0204 zwischen dem Betrieb zweier Kabelsysteme (Nr. 5 und Nr. 5a) im Vergleich zum Betrieb eines Kabelsystems (Nr. 5). Ein Grund dafür ist die Grundwasserströmung orthogonal zur Kabelachse. Die Folge ist ein ausgeprägter Wärmetransport zum linken Kabelsystem hin und davon ausgehend in tiefere Bodenschichten.

Im Hinblick auf die oberen und unteren Varianzen der Wärmeleitfähigkeiten in Kap. 4.4 zeigen sich maximale Abweichungen von den gemittelten Temperaturdifferenzen beim Leitprofil S0128 und Leitprofil B0204 in Höhe von $\pm 1,99$ (68 % NEP) und $\pm 3,13$ K (85 % NEP) sowie $\pm 1,64$ K (68 % NEP) und $\pm 2,57$ K (85 % NEP) in jeweils 1,58 m Tiefe.

Die Modellergebnisse werden durch die Ergebnisse des Testfeldes in Raesfeld (380-kV-HGÜ-Erdkabel) untermauert, wobei betriebsbedingte thermische Effekte in einem ausgeprägten Maße nur an der Schutzrohroberfläche und im Bereich der Bettung feststellbar waren (KNAUFF 2021). Gleichzeitig zeigt der „Kabeltest Osterath“, dass die prognostizierte Temperaturerhöhung an der Bodenoberfläche von maximal 2,0 K deutlich unterschritten wird. Diese erhöhten Temperaturen sind aus bodenökologischer Sicht eher von untergeordneter Relevanz und an der Bodenoberfläche (0-30 cm Tiefe) sind die Effekte wie bei den Leitprofilen S0128 und B0204 mit $\Delta T_{30\text{cm}}$ von 1,34 bis 1,97 K (85 % NEP), sehr viel geringer (DEUTSCHER BUNDESTAG, WISSENSCHAFTLICHE DIENSTE 2017).

Die ermittelten Temperatur- und Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem) sowie das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme) sind bei beiden Leitprofilen sowie 68 % NEP und 85 % NEP an der Geländeoberkante (GOK) immer $< 0,5$ K bzw. $< 0,5$ %. Die gilt sowohl für Grünland als auch für Mais und Winterweizen. Dementsprechend ist der Einfluss des Kabelbetriebs als sehr gering anzusehen. In 60 cm Tiefe variieren die Temperatur- und Sättigungsdifferenzen beim Vorhaben Nr. 5 sowie 68 % NEP und 85 % NEP

zwischen $< 1,25$ K und $< 2,0$ K, bzw. $1,5$ % und $2,0$ %. Beim Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a hingegen variieren die Temperatur- und Sättigungsdifferenzen sowie 68 % NEP und 85 % NEP zwischen $< 1,35$ K und $< 2,1$ K bzw. sind $< 2,5$ %. Die Die größten Temperatur- und Sättigungsdifferenzen durch den Kabelbetrieb zeigen sich in $1,30$ m Tiefe. Das Leitprofil S0128 zeigt hier Temperatur- und Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP von $< 2,2$ K und $< 1,5$ % sowie für 85 % NEP von $< 3,5$ K und $< 2,0$ %. Für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a zeigen sich Temperatur- und Sättigungsdifferenzen von $< 2,3$ K und $< 2,5$ % für 68 % NEP sowie Werte $< 3,6$ K und $< 2,5$ % für 85 % NEP. Das Leitprofil B0204 zeigt hier Temperatur- und Sättigungsdifferenzen für das Vorhaben Nr. 5 und 68 % NEP von $< 2,5$ K und $< 2,0$ % sowie für 85 % NEP von $< 4,0$ K und $< 2,5$ %. Für das Vorhaben Nr. 5 und Nr. 5a zeigen sich Temperatur- und Sättigungsdifferenzen von $< 3,0$ K und $< 2,0$ % für 68 % NEP sowie Werte $< 4,8$ K und $< 3,0$ % für 85 % NEP.

Darüber hinaus verdeutlicht sich beim Leitprofil B0204 der positive Einfluss des Grundwassers in $3,0$ m auf den Abtransport der Kabelverlustwärme in den vom Kabelschutzrohr umgebenden Boden. Daraus resultieren keine bis sehr minimale Sättigungsänderungen unterhalb der Kabelsysteme bis in 5 m Tiefe.

Gleichzeitig ist darauf hinzuweisen, dass die eher mittel lehmigen bis schwach schluffigen Sande im Leitprofil S0128 und der sandige Sand des Leitprofils B0204 nicht oder nur zu einer sehr gering austrocknungsbedingten Schrumpfrissbildung neigen (Amelung et al., 2018), sollten die 380 -kV- bzw. 525 -kV-HGÜ-Erdkabel an ihrer thermischen Grenzleistung betrieben werden. Jedoch ist anzuraten, die Erdkabel vor Überhitzung zu schützen (Erwärmung von bis zu 70 - 90 °C bei Maximallast) und unterhalb der thermischen Grenzleistung zu betreiben, um eine Austrocknung in dem der technischen Leitungszone umgebenden Boden zu vermeiden (RASSMUS et al., 2009). Ein Grund dafür ist, das trockene Böden eine deutlich reduzierte Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zu feuchten Böden aufweisen. Die Erwärmung der Erdoberfläche hängt dabei im Wesentlichen von der Bodenart und der Bodenbeschaffenheit ab.

5.2 Einfluss auf Vegetation und Bodenwasserhaushalt

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass sich die Bodenerwärmung infolge des Kabelbetriebs für beide betrachteten Leitprofile nicht bzw. sehr gering auf die Erträge und die Phänologie von Mais, Winterweizen und Grünland auswirkt (siehe Teil E4.3). Dementsprechend ist festzuhalten, dass die atmosphärischen Randbedingungen (Niederschläge, Verdunstung) sowie die Wassermenge im Porenraum des Bodens (pflanzenverfügbaren Wasservorräte) den entscheidenden Einfluss auf die Vegetationsentwicklung haben, während die Bodenerwärmung infolge des Kabelbetriebs eher eine untergeordnete Rolle spielt.

Im betrachteten Simulationszeitraum (10 Jahre) zeigen sich für die Vorhaben Nr. 5 (1 Kabelsystem) sowie Nr. 5 und Nr. 5a (2 Kabelsysteme), 68 % NEP und 85 % NEP sowie jeweils für Grünland, Mais und Winterweizen nutzbare Wassermengen, die beim Leitprofil S0128 zwischen GOK und 30 cm Tiefe 7 Vol.% und beim Leitprofil B0204 6 Vol.% nicht unterschreiten. Das bedeutet, dass bei maximalen Verdunstungsraten von 4 Vol.% pro Tag ($0,04$ cm³/cm³) für Grasvegetation und auch Ackerkulturen (effektive Durchwurzelungstiefe von 80 cm) zumeist ein ausreichender Wasservorrat im Oberboden zur Verfügung steht. Jedoch zeigen sich für beide Leitprofile im betrachteten Zeitraum im Unterboden zwischen 60 cm und 100 cm Tiefe nutzbare Wassermengen, die nur phasenweise $0,05$ Vol.% überschreiten. Folglich steht hier bei maximalen Verdunstungsraten von 4 Vol.% kein ausreichender Wasservorrat in der effektiven Wurzelzone zur Verfügung. Die wesentlichen Gründe dafür sind die hohen Wasserleitfähigkeiten im Bereich von 10^{-4} m/s, weshalb das Niederschlagswasser sehr schnell in den Unterboden infiltrieren kann, ein hoher Sandanteil zwischen 65 % und 90 %, der mit einer geringen pflanzenverfügbaren Wassermenge einher geht, sowie Steingehalte zwischen 70 % und 75 %.

Die phänologische Entwicklung der Pflanzen wird im Wesentlichen durch die atmosphärischen Randbedingungen gesteuert. Jedoch wird die Phase zwischen der Aussaat und dem Auflaufen kulturartenspezifisch stark durch die Bodentemperatur beeinflusst (WESSOLEK UND KERSEBAUM 2020). Im Hinblick auf den Auflauftermin für Mais, Winterweizen und Grünland zeigen die Simulationen nur Unterschiede von ± 1 Tag zwischen der Referenz und dem Kabelbetrieb. Dementsprechend ist der Einfluss des Kabelbetriebs und einem damit verbundenen Bodentemperaturanstieg auf die phänologische Entwicklung der Kulturarten als gering einzustufen.

Die Erträge für Grünland, Mais und Winterweizen zeigen nur kleine Unterschiede zwischen den Leitprofilen und die Grünlanderträge beziehen sich dabei ausschließlich auf den 1. Schnitt im Frühjahr und entsprechen nicht dem Jahresertrag. Die Simulationsergebnisse zeigen vegetationsübergreifend einen sehr geringen Einfluss der Bodenerwärmung auf den Ertrag und sogar einen positiven Effekt auf den Maisertrag von bis zu +3,3 dt/ha. Der Weizenenertrag unter Kabelbetrieb schwankt bei allen drei Leitprofilen zwischen +0,3 dt/ha und +0,4 dt/ha und der Grünlandertrag zwischen -0,01 dt/ha und -0,02 dt/ha im Vergleich zur Referenz ohne Kabelbetrieb.

5.2.1 Auswirkungen des Kabelbetriebs auf die Makrofauna im Boden

Die Lebensraumfunktion des Bodens und die durch die Temperaturerhöhung (u. a. Verzögerung der Geschlechtsreife) betroffenen Tiergruppen der Bodenfauna umfassen insbesondere die Makrofauna (2-20 mm) wie z. B. Schnecken und Spinnen sowie die Megafauna (20-200 mm) wie z. B. Regenwürmer (SCHICKHOFF AND ESCHENBACH 2018). Die Bodenfauna hat einen optimalen Temperaturbereich zwischen 5 °C und 25 °C. Innerhalb dieses Temperaturbereiches kann eine Erwärmung die Aktivitäts- und Vermehrungsphase der Bodenorganismen positiv beeinflussen, gleichzeitig laufen jedoch mikrobielle Prozesse schneller ab (AMELUNG et al. 2018). Dementsprechend ist zu untersuchen, inwiefern sich eine stärkere lokale Erwärmung der Kabelumgebung durch den Kabelbetrieb mit Temperaturen > 25 °C das Bodenleben negativ beeinflussen. So könnte zum Beispiel die Individuendichte der Makrofauna durch Abwanderung/Vergrämung (zeitweise) vermindert sein. Es ist damit zu rechnen, dass die Regenwürmer während der Bauphase verdrängt und erst nach zwei bis drei Jahren in den Boden zurückkehren (FRY 2022). Untersuchungen entlang des Testfeldes in Raesfeld haben gezeigt, dass sich der Regenwurmbestand bereits in weniger als einen Jahr nach der standörtlichen Rückverfüllung des Kabelgrabens auf dem Niveau vor der Baumaßnahme befindet (KNAUFF 2021).

Mit Blick auf die Betriebsphase zeigen sich für die Leitprofile S0128 und B0204 in den Sommermonaten maximale Bodentemperaturen von 25,1 °C bzw. 24,0 °C in 30 cm Tiefe und 21,0 °C bzw. 18,7 °C in 1,30 m Tiefe. Die maximalen Temperaturdifferenzen für das Leitprofil S0128 betragen ca. 0,9 K (68 % NEP) und ca. 1,3 K (85 % NEP) in 30 cm Tiefe und ca. 2,3 K (68 % NEP) und ca. 3,6 K (85 % NEP) in 1,30 m Tiefe. Die Werte für das Leitprofil B0204 betragen ca. 1,3 K (68 % NEP) und ca. 2,0 K (85 % NEP) in 30 cm Tiefe und ca. 3,1 K (68 % NEP) und ca. 4,67 (85 % NEP) in 1,30 m Tiefe. Dementsprechend wird der Optimalbereich von 25 °C zumindest im Oberboden beider Leitprofile leicht überschritten. Insgesamt kann jedoch geschlussfolgert werden, dass der Einfluss des Kabelbetriebs auf die Regenwurmpopulation im rekultivierten Grabenbereich gering ist.

5.3 Unsicherheiten

In einem ersten Schritt ist darauf hinzuweisen, dass die in den Simulationen verwendeten Mess- und Schätzwerten (u. a. Wärmeleitfähigkeiten, Diffusionskoeffizienten, Wasserdampfdiffusionswiderstände, Wasserhaushaltskenngößen), statistisch signifikant (stichpunktartige Kartierung und Beprobung) und heterogenitätsbedingt von den tatsächlichen vor-Ort-Bedingungen bzw. möglichen Labormessungen abweichen können. Dies bedeutet gleichzeitig eine gewisse Unsicherheit hinsichtlich der zu treffenden Aussagen, so dass die Simulationen von den tatsächlich auftretenden Amplituden zu Temperatur und Sättigung abweichen können.

6 Literaturverzeichnis

- AD-HOC AG BODEN 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung, 5., verb. und erw. Aufl. ed. Schweizerbart, Stuttgart.
- AMELUNG, W., BLUME, H.-P., FLEIGE, H., KANDELER, E., KÖGEL-KNABNER, I., KRETZSCHMAR, R., STAHR, K., WILKE, B.-M. 2018. Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-55871-3>
- CASSEL, D.K., 1987. Soil physics with BASIC. Transport models for soil-plant systems: G.S. Campbell. (Developments in soil science, 14), Elsevier, Amsterdam, 1985, xvi + 150 pp. Journal of Hydrology 90, 359–360.
- CÔTÉ, J., KONRAD, J.-M., 2005. A generalized thermal conductivity model for soils and construction materials. Canadian Geotechnical Journal 42, 443–458. <https://doi.org/10.1139/t04-106>
- DEUTSCHER BUNDESTAG, WISSENSCHAFTLICHE DIENSTE, 2017. Auswirkungen der Erdverkabelung auf den Pflanzenbau. Berlin.
- FAROUKI, O.T., 1981. The thermal properties of soils in cold regions. Cold Regions Science and Technology 5, 67–75. [https://doi.org/10.1016/0165-232X\(81\)90041-0](https://doi.org/10.1016/0165-232X(81)90041-0)
- FRY, J., 2022. Energiewende: Das bedeuten die Erdkabel für den Acker Agrarheute.
- KERSTEN, M.S., 1952. Thermal Properties of Soils. Highway Research Board Special Report.
- KNAUFF, U., 2021. Gesamtgutachterliche Beurteilung der Boden- und Ertragsuntersuchungen innerhalb der Erdkabeltrasse Raesfeld.
- KROENER, E., VALLATI, A., BITTELLI, M., 2014. Numerical simulation of coupled heat, liquid water and water vapor in soils for heat dissipation of underground electrical power cables. Applied Thermal Engineering 70. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.05.033>
- MARKERT, A., BOHNE, K., FACKLAM, M., WESSOLEK, G., 2017. Pedotransfer Functions of Soil Thermal Conductivity for the Textural Classes Sand, Silt and Loam. Soil Science Society of America Journal 81. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.02.0062>
- RASSMUS et al., J., 2009. Naturschutzfachliche analyse von küstennahen Stromleitungen. FuE-Vorhaben FKZ 806 82 070. Bericht.
- SCHICKHOFF, U., ESCHENBACH, A., 2018. Terrestrische und semiterrestrische Ökosysteme, in: von Storch, H., Meinke, I., Claußen, M. (Eds.), Hamburger Klimabericht – Wissen Über Klima, Klimawandel Und Auswirkungen in Hamburg Und Norddeutschland. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 109–145. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55379-4_6
- UmweltAtlas Bayern, 2022. UmweltAtlas Bayern. Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- VAN GENUCHTEN, M., 1980. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils1. Soil Science Society of America Journal 44. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>
- WESSOLEK, G., KERSEBAUM, K.C., 2020. Bodenkundliche Bewertung der Bodenerwärmung im Bereich der 380-kV-Zwischenverkabelung “Henstedt-Ulzburg” und Kisdorferwohld. Studie Teil II.

7 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
AG	Auftraggeber
ATV-DVWK	Abwassertechnische Vereinigung-Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBPIG	Bundesbedarfsplangesetz
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BImSchVVwV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Durchführung der Verordnung über elektromagnetische Felder
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BNetzA	Bundesnetzagentur
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
FAU	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
FEM	Finite-Elemente-Methode
HAItBodSchG	Hessisches Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes und zur Altlastensanierung
HDD	Horizontal Directional Drilling (Horizontalspülbohrverfahren)
HGÜ	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung
LBodSchG	Landesbodenschutzgesetz
NABEG	Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz
NBodSchG	Niedersächsisches Bodenschutzgesetz
NEP	Netzentwicklungsplan
PFA	Planfeststellungsabschnitt
SOL	SuedOstLink
TTG	TenneT TSO GmbH
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
TV	Trassenvorschlag
VHT	Vorhabensträger

8 Symbolverzeichnis

Symbol	Physikalische Bedeutung
k [m/s]	gesättigte hydraulische Leitfähigkeit
g (m/s ²)	Erdbeschleunigung
z (hPa)	hydraulisches Potential
qw (m ³ /s)	Wasserfluss
ψm (hPa)	Matrixpotential
θ (Vol.%)	volumetrische Wassergehalt
qv (J/kg)	gesamte strömende Wasserdampf
Dv [m ² /s]	effektive Dampf-Diffusionskoeffizient
cv (ml/m ³)	gesättigte Dampfkonzentration
w (g/m ³)	Dampfsättigungs-Konzentration zur Feuchtigkeit
δair (kg/m ² *s)	Dampf-Permeabilitätskoeffizient in der Luft
h [%]	relative Luftfeuchtigkeit
psat (hPa)	gesättigte Dampfdruck
μ [-]	Dampfdiffusionswiderstand
λ [W/m*K]	thermische Leitfähigkeit
L [°C]	latente Verdampfungswärme von Wasser
cw (J/kg,K)	Volumetrische spezifische Wärmekapazität
wφ [kg/m ³]	Feuchtigkeits-Speicherfunktion
Rn (W/m ²)	Nettostrahlung von der Bodenoberfläche
H (W/m ²)	Sensibler Wärmefluss
E (mm/d)	Evapotranspiration

Symbol	Physikalische Bedeutung
G_0 (W/m ²)	Bodenwärmefluss
R_{sun} (W/m ²)	kurzwellige Strahlung der Sonne
R_{soil} (W/m ²)	Langwellige Strahlung von der Bodenoberfläche
R_{atm} (W/m ²)	Langwellenstrahlung aus der Atmosphäre
ρ_{air} [kg/m ³]	Luftdichte
Δ (kg/cm ³)	gesättigte Dampfdruck-Temperaturbeziehung
r_s (s/m)	Oberflächenwiderstand
r_a [m/s]	Windgeschwindigkeit
LAI [-]	Blattflächen-Index