

Machbarkeitsstudie für die überregionale Entsorgung von Salzabwasser aus der Kaliproduktion mittels Rohrfernleitungsanlage zur Weser oder Nordsee

Abgabedatum: November 2009

Auftraggeber:

Runder Tisch

„Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion“

Heinrich-Schütz-Allee 29

34131 Kassel

Teil B:

Technischer Planungsbeitrag und Investitionskostenschätzung zur Machbarkeitsstudie für die Überregionale Entsorgung von Salzabwasser aus der Kaliproduktion mittels Rohrfernleitungsanlagen zur Weser oder Nordsee

Dieser Bericht umfasst 150 Seiten.

Erstellt von:

InfraServ Gendorf GmbH & Co KG

Industrieparkstraße 1

84508 Burgkirchen

Teil B

**Technischer Planungsbeitrag und
Investitionskostenschätzung zur Machbarkeits-
studie für die Überregionale Entsorgung von
Salzabwasser aus der Kaliproduktion mittels
Rohrfernleitungsanlagen zur Weser oder
Nordsee
- November 2009 -**

Auftraggeber:

Runder Tisch

„Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion“

Heinrich-Schütz-Allee 29

34131 Kassel

Erstellt von:

InfraServ Gendorf GmbH & Co KG

Industrieparkstraße 1

84508 Burgkirchen

Ansprechpartner:

Wulf Hombergsmeier

Tel.: 0 86 79 7-53 76

E-Mail: wulf.hombergsmeier@InfraServ.Gendorf.de

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	8
TABELLENVERZEICHNIS	11
1. AUFGABENSTELLUNG MACHBARKEITSSTUDIE	12
1.1. BESCHREIBUNG	12
1.2. BASISDATEN – TECHNISCHE AUFGABENSTELLUNG	13
1.3. UMFANG	13
1.4. ZEITPLAN FÜR PHASE 1	14
2. ALLGEMEINE GRUNDLAGEN	15
2.1. GENEHMIGUNGSRECHT	15
2.1.1. <i>Raumordnungsverfahren</i>	15
2.1.2. <i>Planfeststellungsverfahren</i>	17
2.1.3. <i>Eingriffe in Schutzgebiete (Naturschutzrechtlich/ Natura 2000-Gebiete)</i>	21
2.1.3.1. <i>Naturschutzrechtliche Eingriffsregelung</i>	21
2.1.3.2. <i>FFH-Verträglichkeitsprüfung</i>	23
2.1.4. <i>Beteiligte Behörden und Träger öffentlicher Belange</i>	25
2.2. WASSERRAHMENRICHTLINIE	29
2.2.1. <i>Ziele</i>	29
2.2.2. <i>Aufgaben</i>	30
2.2.3. <i>Grundwasserrichtlinie</i>	31
2.2.4. <i>Bewirtschaftung und Koordination in Flussgebieten</i>	32
2.2.5. <i>Kombinierter Ansatz</i>	32
2.2.6. <i>Zeitplan</i>	32
2.2.7. <i>Umsetzung</i>	33
2.2.8. <i>Umsetzung der WRRL im Flussgebiet Weser</i>	34
3. VORSTELLUNG DER TRASSENVARIANTEN	36
3.1. TRASSIERUNGSGRUNDSÄTZE	36
3.1.1. <i>Allgemeine Trassierungsgrundsätze</i>	36
3.1.2. <i>Projektbezogene Trassierungsgrundsätze</i>	37
3.2. TRASSENVERLAUF DER ROHRFERNLEITUNG	38
3.3. SYSTEMANSÄTZE – UNTERTEILUNG DER ABSCHNITTE	40
3.4. KARTOGRAFIE DER TRASSENFÜHRUNG VOM STARTPUNKT ZUR MIDAL TRASSE	41
4. UNTERSUCHUNG ZUR HAUPTVARIANTE 1: EINLEITUNG IN DIE WESER	44
4.1. ALLGEMEINE GRUNDLAGEN UND BESCHREIBUNG ZUR HAUPTVARIANTE 1 WESERTRASSE	44
4.2. VARIANTE 1A: EINLEITSTELLE WÜRGASSEN – UNTERHALB DER DIEMEL	45

4.2.1.	Kartografie der Trassenführung 1A: Einleitstelle „Würgassen“	46
4.2.2.	Technische Auslegung	49
4.2.2.1.	Höhenverlauf / Längsschnitt der Einleitstelle Würgassen	49
4.2.2.2.	Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser.....	50
4.2.3.	Investitionskostenschätzung für die Einzelmaßnahme	51
4.2.3.1.	Massen- und Kostendarstellung - GfK Rohr DN 700 / DN 1000	52
4.2.3.2.	Massen- und Kostendarstellung - Stahlrohr St 37.0, PE- ummantelt DN 700 / DN 1000.	52
4.2.4.	Rückhaltevolumen für 100 Tage Niedrigwasser (exemplarisch).....	53
4.2.5.	Fazit.....	53
4.3.	VARIANTE 1B: EINLEITSTELLE „PETERSHAGEN“ – UNTERHALB DER WERRE.....	54
4.3.1.	Kartografie der Trassenführung 1B: Einleitstelle „Petershagen“	55
4.3.2.	Technische Auslegung	58
4.3.2.1.	Höhenverlauf / Längsschnitt der Einleitstelle Petershagen.....	58
4.3.2.2.	Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser.....	59
4.3.3.	Investitionskostenschätzung für die Einzelmaßnahme	60
4.3.3.1.	Massen- und Kostendarstellung - GfK Rohr DN 800 / DN 1000	61
4.3.3.2.	Massen- und Kostendarstellung - Stahlrohr St 37.0, PE- ummantelt DN 800 / DN 1000	61
4.3.4.	Fazit.....	62
4.4.	VARIANTE 1C: EINLEITSTELLE „LANGWEDEL“ - OBERHALB DER ALLER.....	63
4.4.1.	Kartografie der Trassenführung 1C: Einleitstelle „Langwedel“	64
4.4.2.	Technische Auslegung	67
4.4.2.1.	Höhenverlauf / Längsschnitt der Einleitstelle Langwedel.....	67
4.4.2.2.	Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser.....	68
4.4.3.	Investitionskostenschätzung für die Einzelmaßnahme	69
4.4.3.1.	Massen- und Kostendarstellung - GfK Rohr DN 900 / DN 1000	69
4.4.3.2.	Massen- und Kostendarstellung - Stahlrohr St 37.0, PE- ummantelt DN 900/ DN 1000	70
4.4.4.	Fazit.....	70
5.	UNTERSUCHUNG ZUR HAUPTVARIANTE 2: EINLEITUNG IN DIE NORDSEE.....	71
5.1.	ALLGEMEINE GRUNDLAGEN UND BESCHREIBUNGEN ZUR HAUPTVARIANTE 2: NORDSEE.....	71
5.2.	VARIANTE 2A: EINLEITSTELLE „WILHELMSHAVEN“	72
5.2.1.	Kartografie der Trassenführung 2A: Einleitstelle „Wilhelmshaven“	73
5.2.2.	Technische Auslegung	76
5.2.2.1.	Höhenschnitt / Längsschnitt der Einleitstelle „Wilhelmshaven“.....	76
5.2.2.2.	Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser.....	77
5.2.3.	Investitionskostenschätzung für die Einzelmaßnahme	78
5.2.3.1.	Massen- und Kostendarstellung – GfK- Rohr DN 700 / DN 800.....	79

5.2.3.2.	<i>Massen- und Kostendarstellung – Stahlrohr St 37.0, PE- ummantelt DN 700 / DN 800 .</i>	79
5.2.4.	<i>Fazit</i>	80
5.3.	VARIANTE 2B: EINLEITSTELLE „NORDSEE“	81
5.3.1.	<i>Kartografie der Trassenführung 2B: Einleitstelle „Nordsee“</i>	82
5.3.2.	<i>Technische Auslegung</i>	85
5.3.2.1.	<i>Höhenschnitt / Längsschnitt der Einleitstelle „Nordsee“</i>	85
5.3.2.2.	<i>Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser</i>	86
5.3.3.	<i>Investitionskostenschätzung für die Einzelmaßnahme</i>	87
5.3.3.1.	<i>Massen- und Kostendarstellung – GFK-Rohr DN 700 / DN 800</i>	88
5.3.3.2.	<i>Massen- und Kostendarstellung – Stahlrohr St 37.0, PE- ummantelt DN 700 / DN 800 ..</i>	88
5.3.4.	<i>Einlaufbauwerk an der Nordsee (exemplarisch)</i>	89
5.3.4.1.	<i>Soleauslassbauwerk in einem Seegebiet</i>	89
5.3.4.2.	<i>Anforderungen an ein Bauwerk zur Soleeinleitung</i>	90
5.3.5.	<i>Fazit</i>	90
6.	BAUTECHNIK	91
6.1.	ALLGEMEINE GRUNDLAGEN	91
6.2.	LEITUNGSGRABEN	93
6.2.1.	<i>Allgemein</i>	93
6.2.2.	<i>Regelprofile Leitungsraben</i>	94
6.2.2.1.	<i>Rohrleitung DN 700</i>	94
6.2.2.2.	<i>Rohrleitung DN 800</i>	94
6.2.2.3.	<i>Rohrleitung DN 900</i>	95
6.2.2.4.	<i>Rohrleitung DN 1000</i>	95
6.2.3.	<i>Massenermittlung</i>	96
6.3.	QUERUNGEN/KREUZUNGEN	97
6.3.1.	<i>Allgemein</i>	97
6.3.2.	<i>Regelzeichnungen (einschl. Kosten) verschiedener Querungen</i>	97
6.3.2.1.	<i>Querung einer 4-spurigen Autobahn</i>	98
6.3.2.2.	<i>Querung einer 6-spurigen Autobahn</i>	99
6.3.2.3.	<i>Querung einer 2-spurigen Bundesstraße</i>	100
6.3.2.4.	<i>Querung einer 4-spurigen Bundesstraße</i>	101
6.3.2.5.	<i>Querung einer 1-gleisigen Bahntrasse</i>	102
6.3.2.6.	<i>Querung einer 2-gleisigen Bahntrasse</i>	103
6.3.2.7.	<i>Beispiel für die Kreuzung einer vorhandenen Leitung (z. B. Gas-, Produkten- oder Ölleitung)</i>	104
6.3.3.	<i>Zusammenstellung der Querungen</i>	105
6.4.	MASSEN UND KOSTENERMITTLUNG	106

6.4.1.	Allgemein	106
6.4.2.	Kosten pro lfm – Rohrmaterial GFK	106
6.4.2.1.	Variante 1A: Einleitstelle „Würgassen“	107
6.4.2.2.	Variante 1B: Einleitstelle „Petershagen“	107
6.4.2.3.	Variante 1C: Einleitstelle „Langwedel“	108
6.4.2.4.	Variante 2A: Einleitstelle „Wilhelmshaven“	109
6.4.2.5.	Variante 2B: Einleitstelle „Nordsee“	109
6.4.3.	Kosten pro lfm – Rohrmaterial St 37.0 PE-ummantelt	110
6.4.3.1.	Variante 1A: Einleitstelle „Würgassen“	110
6.4.3.2.	Variante 1B: Einleitstelle „Petershagen“	111
6.4.3.3.	Variante 1C: Einleitstelle „Langwedel“	111
6.4.3.4.	Variante 2A: Einleitstelle „Wilhelmshaven“	112
6.4.3.5.	Variante 2B: Einleitstelle „Nordsee“	112
7.	ANSÄTZE ZUR BETRIEBSKOSTENERMITTLUNG	113
7.1.	ALLGEMEINE GRUNDLAGEN	113
7.2.	BERECHNUNG DER ENERGIEKOSTEN FÜR EIN HAUPTPUMPWERK	114
7.3.	KOSTENANSÄTZE FÜR DEN BETRIEB EINER ROHRFERNLEITUNGSANLAGE GEMÄß TRFL UND BETR.SICHV	115
8.	AUSLEGUNGSGRUNDLAGEN	116
8.1.	ANGABEN ZUM FÖRDERMEDIUM	116
8.1.1.	Stoffeigenschaften	116
8.1.2.	Durchsatzmengen	117
8.2.	ANZUWENDENDE TECHNISCHE REGELWERKE	118
8.3.	MATERIALAUSWAHL	120
8.3.1.	Grundsätzliche Überlegungen zur Materialauswahl	120
8.3.2.	Materialauswahl nach Technische Richtlinie für Rohrfernleitungen (TRFL)	122
9.	VERFAHRENSTECHNIK	123
9.1.	RAHMENBEDINGUNGEN	123
9.2.	AUFBAU EINER ROHRFERNLEITUNG	125
9.3.	HYDRAULISCHE AUSLEGUNG EINER ROHRLEITUNG	126
9.3.1.	Hydraulische Berechnung der Strömungswiderstände	128
9.3.2.	Hydraulische Berechnung der statischen Druckverluste	129
9.3.3.	Hydraulische Berechnung von Q1 und Q2	130
9.3.4.	Hydraulische Berechnung der verschiedenen Rohrdurchmesser	132
9.3.5.	Betrachtung bei Q1 = 1.200 m³/h	132
9.3.6.	Q2 = 2.400 m³/h	134
9.4.	PUMPEN	136
9.4.1.	Variante Mehrstufige trocken aufgestellte Pumpe	137

9.4.2.	<i>Variante nass aufgestellte Rohrpumpe</i>	138
9.5.	SCHIEBERSTATION	140
9.6.	MOLCHSTATIONEN	141
9.6.1.	<i>Verschiedene Molchstationen</i>	142
9.7.	ENTLÜFTUNG, ENTWÄSSERUNG UND BECKEN	143
9.8.	BETRIEBSSCHÄCHTE (BEISPIELHAFT AUS GFK)	143
9.8.1.	<i>Schieberschacht und Messschacht</i>	143
9.8.2.	<i>Flexible Einbindung eines nahe liegenden Rohres</i>	144
9.9.	ZUSÄTZLICHE BETRACHTUNGEN	145
9.9.1.	<i>Druckstöße bei Schieberschluss</i>	145
9.9.2.	<i>Leckageverluste bei Beschädigung der Rohrleitung</i>	146
10.	ZUSAMMENFASSUNG	147
10.1.	TECHNISCHE BEWERTUNG DER VARIANTEN.....	147
10.2.	ZUSAMMENSTELLUNG DER INVESTITIONSKOSTEN.....	148
11.	FAZIT UND AUSBLICK	149
12.	QUELLENVERZEICHNIS	150

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: F+E-Vorhaben des Bundesamtes für Naturschutz - Bestimmung des Verhältnisses von Eingriffsregelung, FFH-VP, UVP und SUP im Vorhabensbereich (FKZ 803 82 060 – K1), Stand 20.05.2005.....	25
Abbildung 2: Übersichtskarte über alle Einleitstellen	39
Abbildung 3: Trassenbeginn – Übersicht	41
Abbildung 4: Trassenbeginn – Übersicht (mit CORINE-Landnutzung)	42
Abbildung 5: Trassenbeginn – vergrößerte Darstellung.....	42
Abbildung 6: Trassenbeginn – vergrößerte Darstellung (mit CORINE-Landnutzung)	43
Abbildung 7: Trassenbeginn – Satellitenansicht	43
Abbildung 8: Übersichtskarte Einleitstelle Würgassen.....	45
Abbildung 9: Trassenverlauf 1A: Einleitstelle „Würgassen“ Übersicht.....	46
Abbildung 10: Trassenverlauf 1A: Einleitstelle „Würgassen“ Übersicht (mit CORINE-Landnutzung) .	47
Abbildung 11: Trassenverlauf 1A: Einleitstelle „Würgassen“ Vergrößerte Darstellung	47
Abbildung 12: Trassenverlauf 1A: Einleitstelle „Würgassen“ Vergrößerte Darstellung (mit CORINE-Landnutzung).....	48
Abbildung 13: Trassenverlauf 1A: Einleitstelle „Würgassen“ Satellitenansicht.....	48
Abbildung 14: Höhenverlauf / Längsschnitt Einleitstelle Würgassen	49
Abbildung 15: Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser - Tabellarische Darstellung .	50
Abbildung 16: Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser - Anlagenkennlinie Durchmesser	51
Abbildung 17: Rückhaltebecken - Karte und Berechnung	53
Abbildung 18: Übersichtskarte Einleitstelle Petershagen.....	54
Abbildung 19: Trassenverlauf 1B: Einleitstelle „Petershagen“ - Übersicht	55
Abbildung 20: Trassenverlauf 1B: Einleitstelle „Petershagen“ - Übersicht (mit CORINE-Landnutzung)	56
Abbildung 21: Trassenverlauf 1B: Einleitstelle „Petershagen“ - vergrößerte Darstellung.....	56
Abbildung 22: Trassenverlauf 1B: Einleitstelle „Petershagen“ - vergrößerte Darstellung (mit CORINE-Landnutzung).....	57
Abbildung 23: Trassenverlauf 1B: Einleitstelle „Petershagen“ Satellitenansicht.....	57
Abbildung 24: Höhenverlauf / Längsschnitt der Einleitstelle Petershagen.....	58
Abbildung 25: Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser - Tabellarische Darstellung .	59
Abbildung 26: Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser - Anlagenkennlinie Durchmesser	60
Abbildung 27: Übersichtskarte Einleitstelle Langwedel.....	63
Abbildung 28: Trassenverlauf 1C: Einleitstelle „Langwedel“ – Übersicht	64
Abbildung 29: Trassenverlauf 1C: Einleitstelle „Langwedel“ – Übersicht (mit CORINE-Landnutzung)	65
Abbildung 30: Trassenverlauf 1C: Einleitstelle „Langwedel“ vergrößerte Darstellung.....	65

Abbildung 31: Trassenverlauf 1C: Einleitstelle „Langwedel“ vergrößerte Darstellung (mit CORINE-Landnutzung).....	66
Abbildung 32: Trassenverlauf 1C: Einleitstelle „Langwedel“ Satellitenansicht	66
Abbildung 33: Höhenverlauf / Längsschnitt der Einleitstelle Langwedel.....	67
Abbildung 34: Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser - Tabellarische Darstellung .	68
Abbildung 35: Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser - Anlagenkennlinie Durchmesser	69
Abbildung 36: Übersichtskarte Einleitstelle Wilhelmshaven.....	72
Abbildung 37: Trassenverlauf 2A: Einleitstelle „Wilhelmshaven“ Übersicht.....	73
Abbildung 38: Trassenverlauf 2A: Einleitstelle „Wilhelmshaven“ Übersicht (mit CORINE-Landnutzung)	74
Abbildung 39: Trassenverlauf 2A: Einleitstelle „Wilhelmshaven“ vergrößerte Darstellung.....	74
Abbildung 40: Trassenverlauf 2A: Einleitstelle „Wilhelmshaven“ vergrößerte Darstellung (mit CORINE-Landnutzung).....	75
Abbildung 41: Trassenverlauf 2A: Einleitstelle „Wilhelmshaven“ Satellitenansicht	75
Abbildung 42: Höhenschnitt / Längsschnitt der Einleitstelle Wilhelmshaven	76
Abbildung 43: Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser - Tabellarische Darstellung .	77
Abbildung 44: Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser - Anlagenkennlinie Durchmesser	78
Abbildung 45: Übersichtskarte Einleitstelle Nordsee	81
Abbildung 46: Trassenverlauf 2B: Einleitstelle „Nordsee“ Übersicht	82
Abbildung 47: Trassenverlauf 2B: Einleitstelle „Nordsee“ Übersicht (mit CORINE-Landnutzung)	83
Abbildung 48: Trassenverlauf 2B: Einleitstelle „Nordsee“ vergrößerte Darstellung.....	83
Abbildung 49: Trassenverlauf 2B: Einleitstelle „Nordsee“ vergrößerte Darstellung (mit CORINE-Landnutzung).....	84
Abbildung 50: Trassenverlauf 2B: Einleitstelle „Nordsee“ Satellitenansicht	84
Abbildung 51: Höhenschnitt / Längsschnitt der Einleitstelle Nordsee.....	85
Abbildung 52: Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser - Tabellarische Darstellung .	86
Abbildung 53: Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser - Anlagenkennlinie Durchmesser	87
Abbildung 54: Soleauslasswerk (Quelle: Fa. De La Motte).....	89
Abbildung 55: Regelprofil Rohrleitung DN 700	94
Abbildung 56: Regelprofil Rohrleitung DN 800	94
Abbildung 57: Regelprofil Rohrleitung DN 900	95
Abbildung 58: Regelprofil Rohrleitung DN 1000	95
Abbildung 59: Regelquerschnitt - Querung einer 4-spurigen Autobahn	98
Abbildung 60: Regelquerschnitt - Querung einer 6-spurigen Autobahn	99
Abbildung 61: Regelquerschnitt - Querung einer 2-spurigen Bundesstraße	100
Abbildung 62: Regelquerschnitt - Querung einer 4-spurigen Bundesstraße	101
Abbildung 63: Regelquerschnitt - Querung einer 1-gleisigen Bahntrasse	102

Abbildung 64: Regelquerschnitt - Querung einer 2-gleisigen Bahntrasse	103
Abbildung 65: Schnittdarstellung Kreuzung einer vorhandenen Leitung	104
Abbildung 66: Draufsicht Kreuzung einer vorhandenen Leitung.....	104
Abbildung 67: Berechnung der Energiekosten für ein Hauptpumpwerk	114
Abbildung 68: Einstufung der Rohrleitung DN 800 nach § 14 BetrSichV	119
Abbildung 69: Hydraulische Berechnung der Strömungswiderstände.....	128
Abbildung 70: Hydraulische Berechnung der statischen Druckverluste	129
Abbildung 71: Hydraulische Berechnung von Q1 und Q2 - Tabellarische Darstellung	130
Abbildung 72: Hydraulische Berechnung von Q1 und Q2 – Anlagenkennlinie Q	131
Abbildung 73: Hydraulische Berechnung von $Q_{nenn}=1.200\text{m}^3/\text{h}$ - Tabellarische Darstellung.....	132
Abbildung 74: Hydraulische Berechnung von $Q_1=1.200\text{m}^3/\text{h}$ - Anlagenkennlinie Durchmesser.....	133
Abbildung 75: Hydraulische Berechnung von $Q_{nenn}=2.400\text{m}^3/\text{h}$ - Tabellarische Darstellung.....	134
Abbildung 76: Hydraulische Berechnung von $Q_2=2.400\text{m}^3/\text{h}$ - Anlagenkennlinie Durchmesser.....	135
Abbildung 77: Hochdruckpumpe in Gliederbauart	137
Abbildung 78: Schematische Darstellung nass aufgestellte Rohrpumpe	138
Abbildung 79: Detail nass aufgestellte Rohrpumpe	138
Abbildung 80: Beispiel nass aufgestellte Rohrpumpe.....	138
Abbildung 81: Beispiel Nass aufgestellte Rohrpumpe von KSB	139
Abbildung 82: Typische Molchstation.....	141
Abbildung 83: Bürstenmolch.....	142
Abbildung 84: Reinigungsmolch mit Plastikmanschette.....	142
Abbildung 85: Molch zur Rissprüfung.....	142
Abbildung 86: Schieberschacht.....	143
Abbildung 87: Messschacht.....	143
Abbildung 88: Flexible Einbindung	144
Abbildung 89: Druckstöße bei Schieberschluss	145
Abbildung 90: Berechnung des Leckageverlustes bei Beschädigung der Rohrleitung.....	146

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einleitstelle Würgassen - Massen/Kostenermittlung Gesamt für GFK-Rohr.....	52
Tabelle 2: Einleitstelle Würgassen - Massen/Kostenermittlung Gesamt für Stahlrohr St 37.0/PE	52
Tabelle 3: Einleitstelle Petershagen - Massen/Kostenermittlung Gesamt für GFK-Rohr	61
Tabelle 4: Einleitstelle Petershagen - Massen/Kostenermittlung Gesamt für Stahlrohr St 37.0/PE	61
Tabelle 5: Einleitstelle Langwedel - Massen/Kostenermittlung Gesamt für GFK-Rohr.....	69
Tabelle 6: Einleitstelle Langwedel - Massen/Kostenermittlung Gesamt für Stahlrohr St 37.0/PE.....	70
Tabelle 7: Einleitstelle Wilhelmshaven - Massen/Kostenermittlung Gesamt für GFK-Rohr	79
Tabelle 8: Einleitstelle Wilhelmshaven - Massen/Kostenermittlung Gesamt für Stahlrohr St 37.0/PE .	79
Tabelle 9: Einleitstelle Nordsee - Massen/Kostenermittlung Gesamt für GFK-Rohr	88
Tabelle 10: Einleitstelle Nordsee - Massen/Kostenermittlung Gesamt für Stahlrohr St 37.0/PE.....	88
Tabelle 11: Kostenschätzung Schutzrohrpressung für eine 4-spurige Autobahn mit Standstreifen.....	98
Tabelle 12: Kostenschätzung Schutzrohrpressung für eine 6-spurige Autobahn mit Standstreifen.....	99
Tabelle 13: Kostenschätzung Schutzrohrpressung für eine 2-spurige Bundes-/ Landstrasse	100
Tabelle 14: Kostenschätzung Schutzrohrpressung für eine 4-spurige Bundes-/ Landstrasse	101
Tabelle 15: Kostenschätzung Schutzrohrpressung für eine 1-gleisige Bahntrasse.....	102
Tabelle 16: Kostenschätzung Schutzrohrpressung für eine 2-gleisige Bahntrasse.....	103
Tabelle 17: Zusammenstellung der vorhandenen Kreuzungen	105
Tabelle 18: Einleitstelle Würgassen - Massen/Kostenermittlung pro lfm GFK-Rohr.....	107
Tabelle 19: Einleitstelle Petershagen - Massen/Kostenermittlung pro lfm GFK-Rohr	107
Tabelle 20: Einleitstelle Langwedel - Massen/Kostenermittlung pro lfm GFK-Rohr	108
Tabelle 21: Einleitstelle Wilhelmshaven - Massen/Kostenermittlung pro lfm GFK-Rohr	109
Tabelle 22: Einleitstelle Nordsee - Massen/Kostenermittlung pro lfm GFK-Rohr	109
Tabelle 23: Einleitstelle Würgassen - Massen/Kostenermittlung pro lfm Stahl-Rohr 37.0/PE.....	110
Tabelle 24: Einleitstelle Petershagen - Massen/Kostenermittlung pro lfm Stahl-Rohr 37.0/PE.....	111
Tabelle 25: Einleitstelle Langwedel - Massen/Kostenermittlung pro lfm Stahl-Rohr 37.0	111
Tabelle 26: Einleitstelle Wilhelmshaven - Massen/Kostenermittlung pro lfm Stahl-Rohr 37.0/ PE.....	112
Tabelle 27: Einleitstelle Nordsee - Massen/Kostenermittlung pro lfm Stahl-Rohr 37.0/ PE	112
Tabelle 28: Betriebs- und Überwachungskosten Prozentuale Ansätze	115
Tabelle 29: Durchschnittliche Zusammensetzung der Inhaltsstoffe, Dichte und Viskosität des zu transportierenden Salzwassers (Mittelwert aus den Jahren 2000 - 2008).....	116
Tabelle 30: Einteilung und Bezeichnung der Stahlsorten	122
Tabelle 31: Zusammenfassung der hydraulischen Durchmesser	147
Tabelle 32: Zusammenstellung der Massen/Kosten	148

5. Untersuchung zur Hauptvariante 2: Einleitung in die Nordsee

5.1. Allgemeine Grundlagen und Beschreibungen zur Hauptvariante 2: Nordsee

Aufgrund der festgelegten Kriterien hinsichtlich der Wahl der Einleitstelle, wie:

- Erzielung eines möglichst hohen Verdünnungseffektes,
- Ausschluss aller Wattflächen (geringer Verdünnungseffekt, temporäres Trockenfallen der Flächen),
- Vermeidung der Beeinträchtigung von Schutzgebieten (z.B. NATURA- 2000- Gebiete, Nationalpark Wattenmeer)
- Keine Aufkonzentration von Einleitstellen (Entzerrung verschiedener Einleitstellen)

wurden folgende potentielle Einleitstellen aufgrund der Nichterfüllung dieser Kriterien in dieser Machbarkeitstudie **nicht** weiter berücksichtigt:

- Einleitung in trockenfallende Bereiche - Wattenmeer
- Einleitung in die Fahrrinnen
- Einleitung in die Ems- Ästuar (Dollart)
- Einleitung in die Weser
- Einleitung in die Elbe

Die ausführlichen Erläuterungen und Begründungen für diese Festlegungen aus umweltfachlicher Sicht sind im Bericht des Planungsbüros Jestaedt + Partner aufgeführt.

Für die Hauptvariante 2: Einleitung in die Nordsee werden zwei Einleitstellen näher untersucht.

Diese sind:

Variante 2A: Einleitstelle Wilhelmshaven, beschrieben in Kapitel 5.2

Variante 2B: Einleitstelle Nordsee, beschrieben in Kapitel 5.3

5.2. Variante 2A: Einleitstelle „Wilhelmshaven“

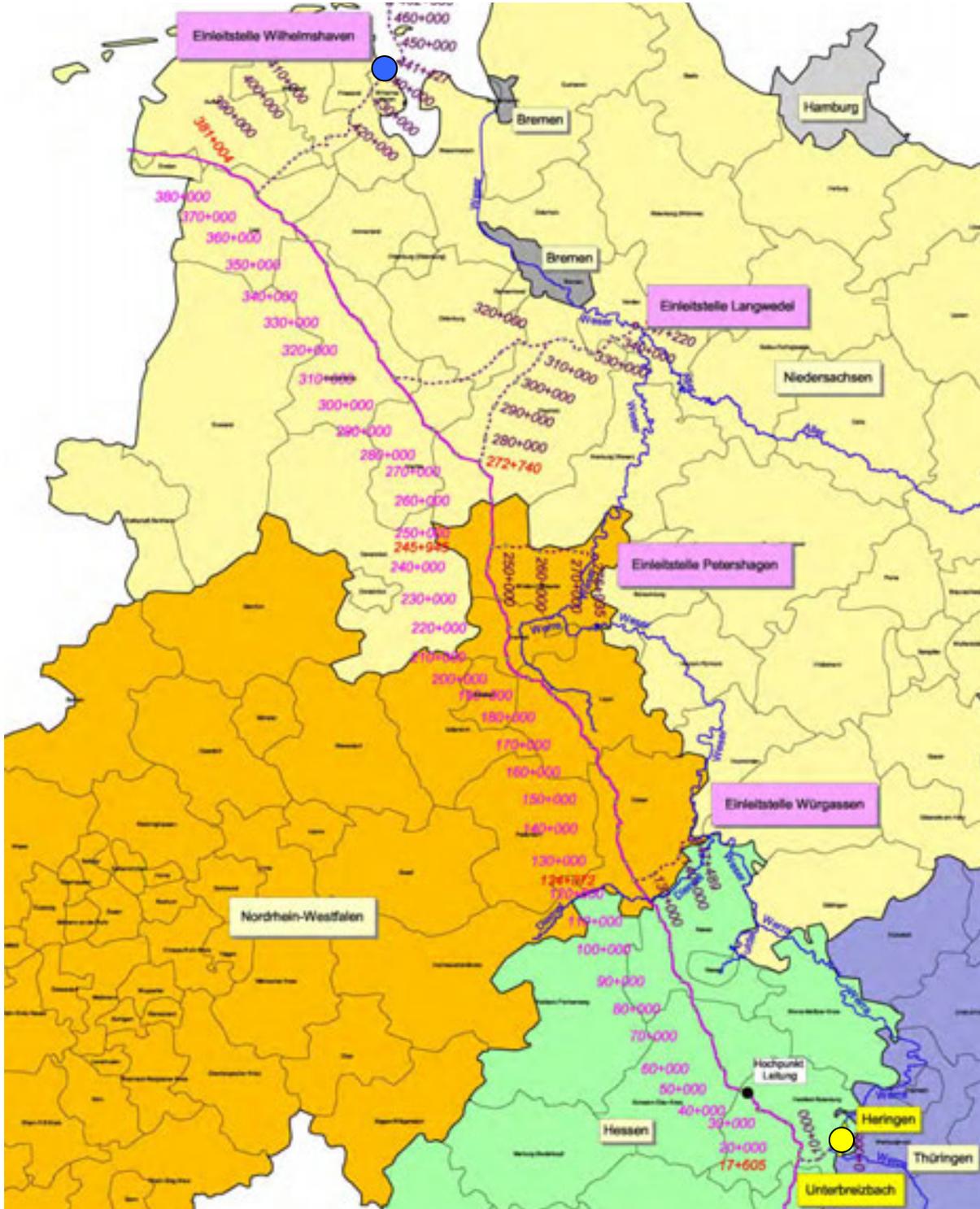


Abbildung 36: Übersichtskarte Einleitstelle Wilhelmshaven

Technische Merkmale Trasse 2A

Höhe Startpunkt: 230 m u. N.N.

Höhe Endpunkt: 0 m ü. N.N.

Höhe maximal: 494 m ü. N.N.

Höhendifferenz: 230 m

Höhendifferenz Gefällestrecke: 494 m

Trassenlänge: 441,43 km

Trassenlänge Gefällestrecke: 393,43 km

Station des Abzweigs an der MIDAL-Trasse: 381 + 004 (± Station 413 + 464 der MIDAL-Trasse)

Länge des Abzweigs: 60,42 km

5.2.1. Kartografie der Trassenführung 2A: Einleitstelle „Wilhelmshaven“

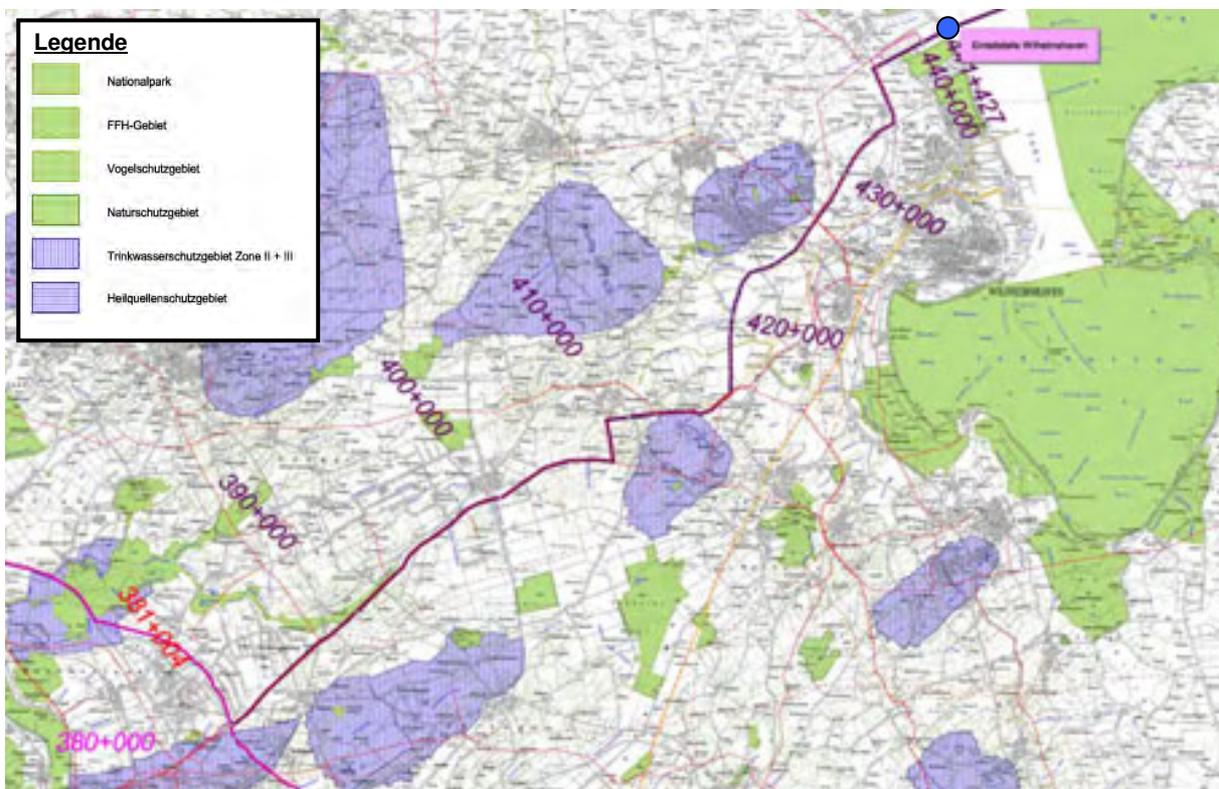


Abbildung 37: Trassenverlauf 2A: Einleitstelle „Wilhelmshaven“ Übersicht

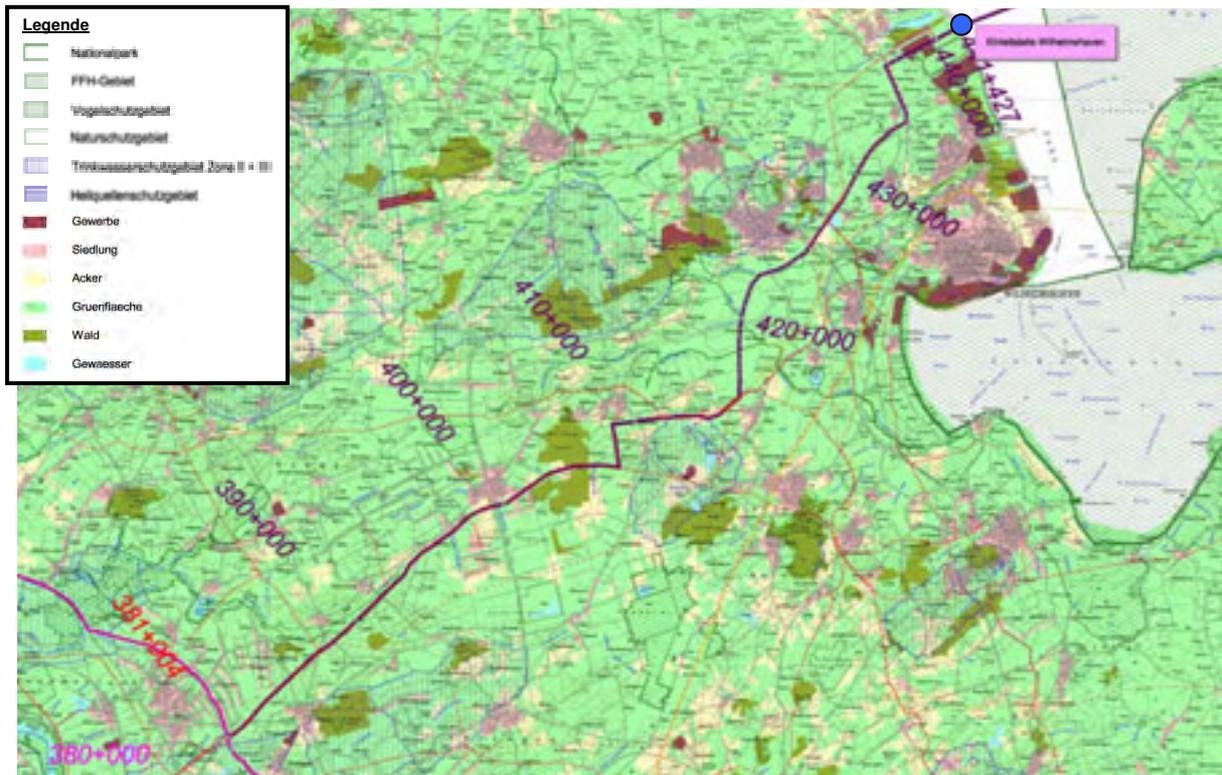


Abbildung 38: Trassenverlauf 2A: Einleitstelle „Wilhelmshaven“ Übersicht (mit CORINE-Landnutzung)

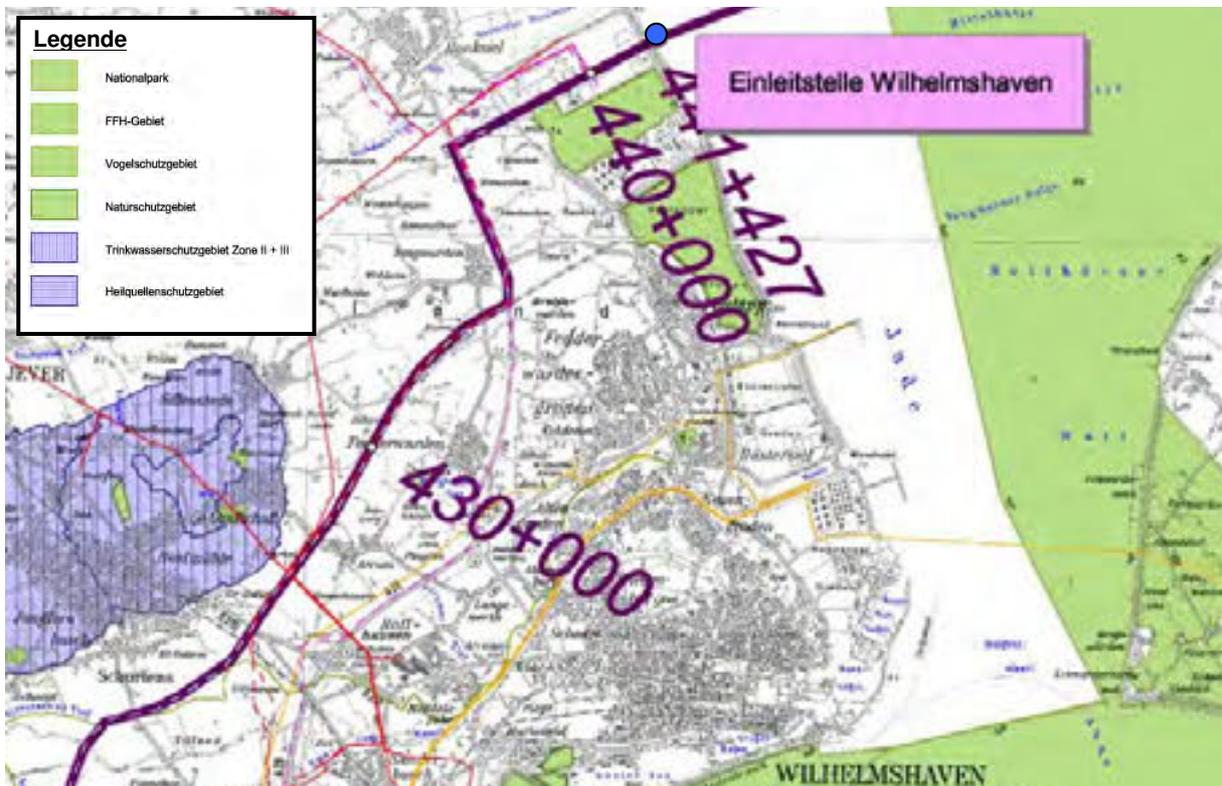


Abbildung 39: Trassenverlauf 2A: Einleitstelle „Wilhelmshaven“ vergrößerte Darstellung

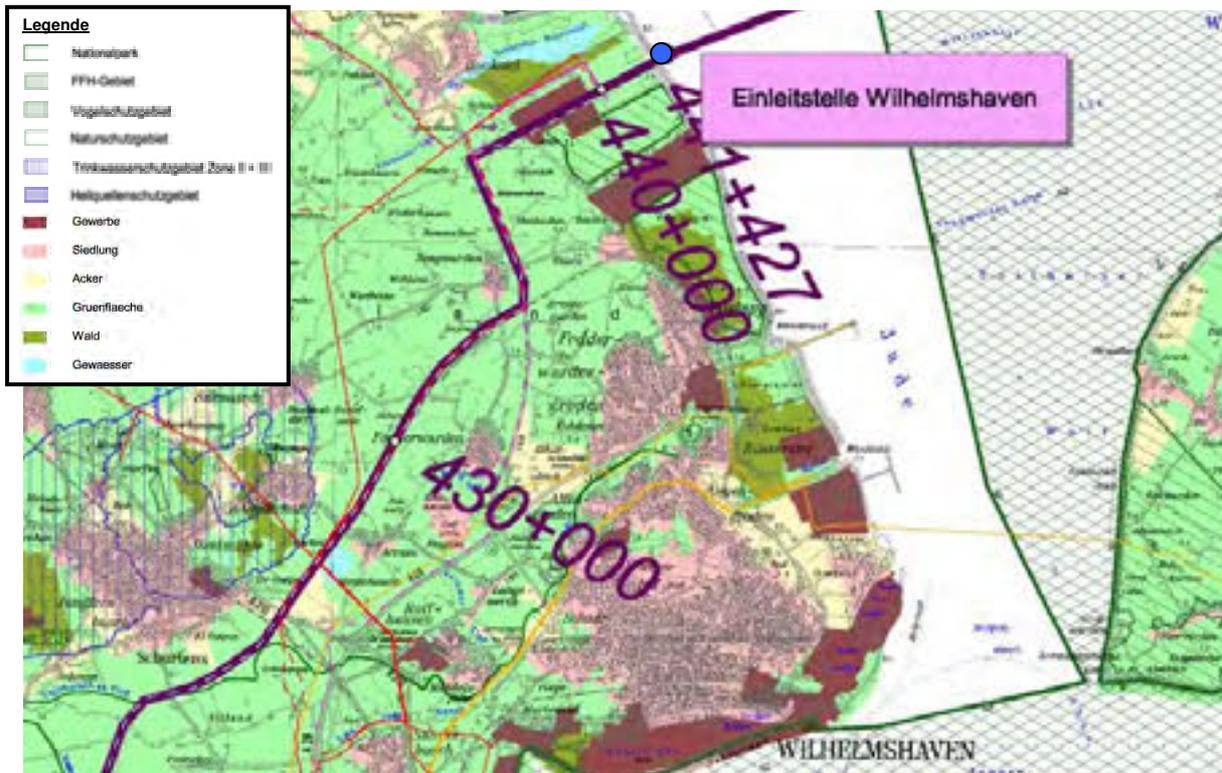


Abbildung 40: Trassenverlauf 2A: Einleitstelle „Wilhelmshaven“ vergrößerte Darstellung (mit CORINE-Landnutzung)



Abbildung 41: Trassenverlauf 2A: Einleitstelle „Wilhelmshaven“ Satellitenansicht

5.2.2. Technische Auslegung

5.2.2.1. Höhenschnitt / Längsschnitt der Einleitstelle „Wilhelmshaven“

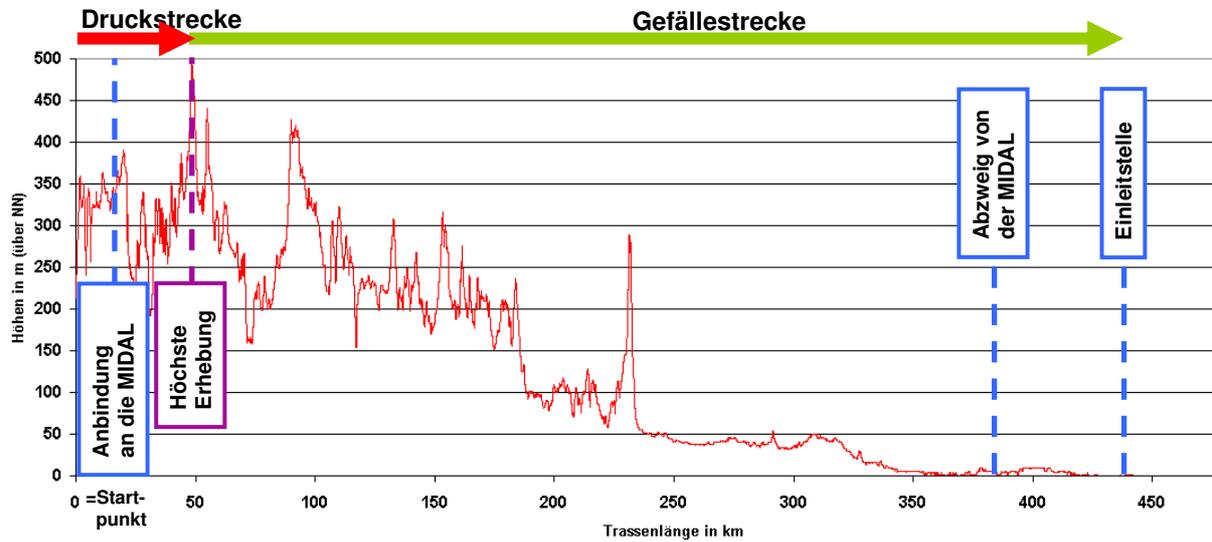


Abbildung 42: Höhenschnitt / Längsschnitt der Einleitstelle Wilhelmshaven

5.2.2.2. Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser

Trassenverlauf 1B: Max. Höhenpunkt – Wilhelmshaven (494m ü.N.N. – 0m ü.N.N.)

Q1 = 1.200 m³/h

X	Y_1	Y_2
Da [mm]	[bar]	P _{el, ges} [kW] =
400,00	966,341	41.296,626
400,0	966,341	41.296,626
450,0	472,625	20.197,644
500,0	239,570	10.238,018
550,0	119,527	5.108,010
600,0	53,277	2.276,812
650,0	14,610	624,354
700,0	-9,028	-385,827
750,0	-24,053	-1.027,897
800,0	-33,925	-1.449,777
850,0	-40,600	-1.735,039
900,0	-45,228	-1.932,805
950,0	-48,507	-2.072,960
1.000,0	-50,877	-2.174,240
1.050,0	-52,620	-2.248,714
1.100,0	-53,921	-2.304,337
1.150,0	-54,907	-2.346,473
1.200,0	-55,664	-2.378,802
1.250,0	-56,251	-2.403,899
1.300,0	-56,712	-2.423,591
1.350,0	-57,077	-2.439,194
1.400,0	-57,369	-2.451,670
1.450,0	-57,604	-2.461,730
1.500,0	-57,796	-2.469,905
1.550,0	-57,952	-2.476,596
1.600,0	-58,081	-2.482,110
1.650,0	-58,188	-2.486,682
1.700,0	-58,278	-2.490,496
1.750,0	-58,352	-2.493,696

Abbildung 43: Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser - Tabellarische Darstellung

Die beispielhafte Darstellung der Hydraulischen Berechnung finden sich in Kapitel 9.3 Hydraulische Auslegung einer Rohrleitung.

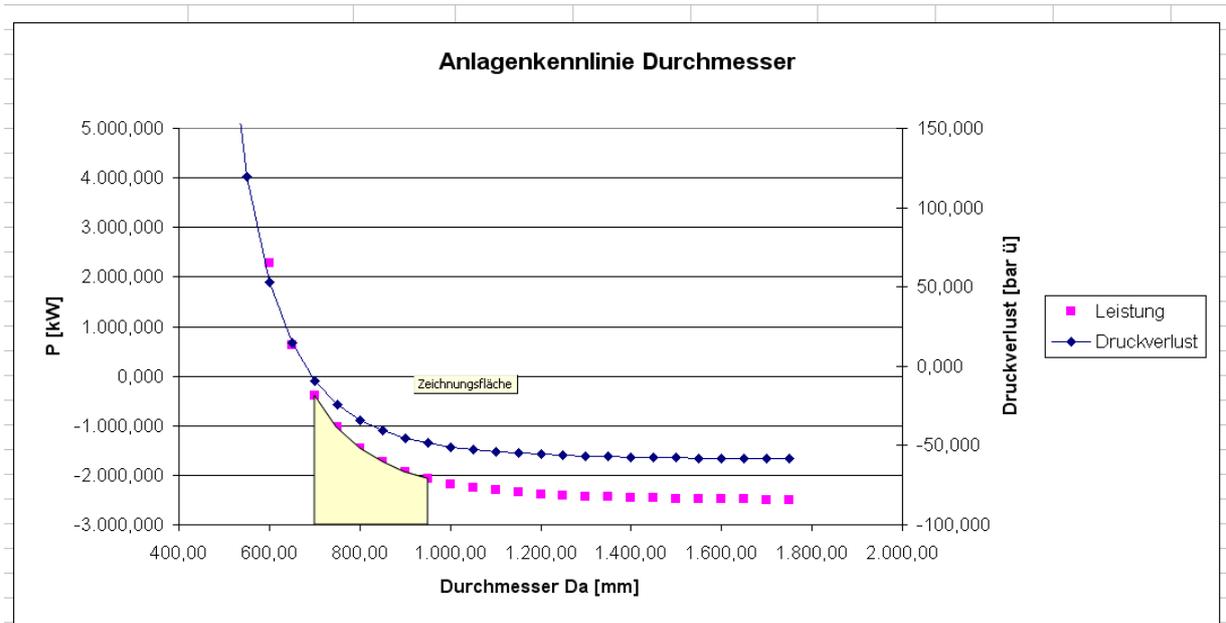


Abbildung 44: Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser - Anlagenkennlinie Durchmesser

Die Gefällestrecke kann kleiner dimensioniert werden als die Druckstrecke.

Zusätzlich insgesamt kleinerer Durchmesser, da nur halber maximaler Durchfluss gegenüber den Wesertrassen.

5.2.3. Investitionskostenschätzung für die Einzelmaßnahme

Die ermittelten Einzelkosten sind in Kapitel 6.4.2 Kosten pro lfm Rohrmaterial - GFK und Kapitel 6.4.3 Kosten pro lfm Rohrmaterial – St 37.0 PE-ummantelt dargestellt.

5.2.3.1. Massen- und Kostendarstellung – GFK- Rohr DN 700 / DN 800

Variante 2A: Einleitstelle Wilhelmshaven - Massen/Kosten Gesamt				
Medienrohr = GFK-Rohr		Länge = 441,43 km		
Annahme: Verlegung in Acker- und Grünflächen				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Oberboden abtragen	2.118.864	m ²	2,00 €	4.237.728,00 €
Oberboden andecken, auflockern, Ansatz	2.118.864	m ²	3,00 €	6.356.592,00 €
Leitungsgraben herstellen, Boden seitlich lagern und wiedereinbauen, überschüssigen Boden entfernen	1.696.634	m ³	16,00 €	27.146.144,00 €
Zulage Montagegruben	44.143	St	70,00 €	3.090.010,00 €
Gründungssohle verdichten	843.517	m ²	0,50 €	421.758,50 €
Feinkies-/Sandumhüllung herstellen	895.133	m ³	30,00 €	26.853.994,61 €
GFK-Rohr DN700, liefern und einbauen	393.430	m	600,00 €	236.058.000,00 €
GFK-Rohr DN800, liefern und einbauen	48.000	m	700,00 €	33.600.000,00 €
Zwischenplanie herstellen	843.517	m ²	0,30 €	253.055,10 €
Leerrohr DN160 herstellen	1.765.720	m	8,50 €	15.008.620,00 €
Zulage Kreuzungen	441.430	St	28,25 €	12.470.397,50 €
Zulage Waldbereiche	26.486	m	200,00 €	5.297.160,00 €
Zulage Siedlungsbereiche	4.414	m	400,00 €	1.765.720,00 €
Schieberstation (alle 10km)	44	St	30.000,00 €	1.324.200,00 €
Summe				373.883.469,71 €
Baustelleneinrichtung			5,0%	18.694.173,49 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares			17,5%	65.429.607,20 €
Kosten netto				458.007.250,39 €

Tabelle 7: Einleitstelle Wilhelmshaven - Massen/Kostenermittlung Gesamt für GFK-Rohr

5.2.3.2. Massen- und Kostendarstellung – Stahlrohr St 37.0, PE- ummantelt DN 700 / DN 800

Variante 2A: Einleitstelle Wilhelmshaven - Massen/Kosten Gesamt				
Medienrohr = Stahlrohr St 37.0, PE-ummantelt		Länge = 441,43 km		
Annahme: Verlegung in Acker- und Grünflächen				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Oberboden abtragen	2.118.864	m ²	2,00 €	4.237.728,00 €
Oberboden andecken, auflockern, Ansatz	2.118.864	m ²	3,00 €	6.356.592,00 €
Leitungsgraben herstellen, Boden seitlich lagern und wiedereinbauen, überschüssigen Boden entfernen	1.696.634	m ³	16,00 €	27.146.144,00 €
Zulage Montagegruben	44.143	St	70,00 €	3.090.010,00 €
Gründungssohle verdichten	843.517	m ²	0,50 €	421.758,50 €
Feinkies-/Sandumhüllung herstellen	895.133	m ³	30,00 €	26.853.994,61 €
Stahlrohr DN700, liefern und einbauen	393.430	m	610,00 €	239.992.300,00 €
Stahlrohr DN800, liefern und einbauen	48.000	m	750,00 €	36.000.000,00 €
Zwischenplanie herstellen	843.517	m ²	0,30 €	253.055,10 €
Leerrohr DN160 herstellen	1.765.720	m	8,50 €	15.008.620,00 €
Zulage Kreuzungen	441.430	St	28,25 €	12.470.397,50 €
Zulage Waldbereiche	26.486	m	200,00 €	5.297.160,00 €
Zulage Siedlungsbereiche	4.414	m	400,00 €	1.765.720,00 €
Schieberstation (alle 10km)	44	St	30.000,00 €	1.324.200,00 €
Summe				380.217.769,71 €
Baustelleneinrichtung			5,0%	19.010.888,49 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares			17,5%	66.538.109,70 €
Kosten netto				465.766.767,89 €

Tabelle 8: Einleitstelle Wilhelmshaven - Massen/Kostenermittlung Gesamt für Stahlrohr St 37.0/PE

5.2.4. Fazit

- Grundsätzlich kann eine Einleitung aus technischer Sicht an der Einleitstelle Wilhelmshaven vorgenommen werden.
- Das vorhandene Höhenprofil und die hydraulische Berechnung der Rohrleitungsdurchmesser ergeben zu verlegende Durchmesser von DN 800 für die Pumpstrecke und DN 700 für die Gefällestrecke.
- Die Länge der zu verlegenden Rohrfernleitungen beträgt ca. 441km.
- Die Kostenschätzung beläuft sich auf ca. 460 Mio. € für die Verlegung von GFK-Rohrleitungen und ca. 466 Mio. € für die Verlegung von Stahlrohr St 37.0, PE-ummantelt.

5.3. Variante 2B: Einleitstelle „Nordsee“

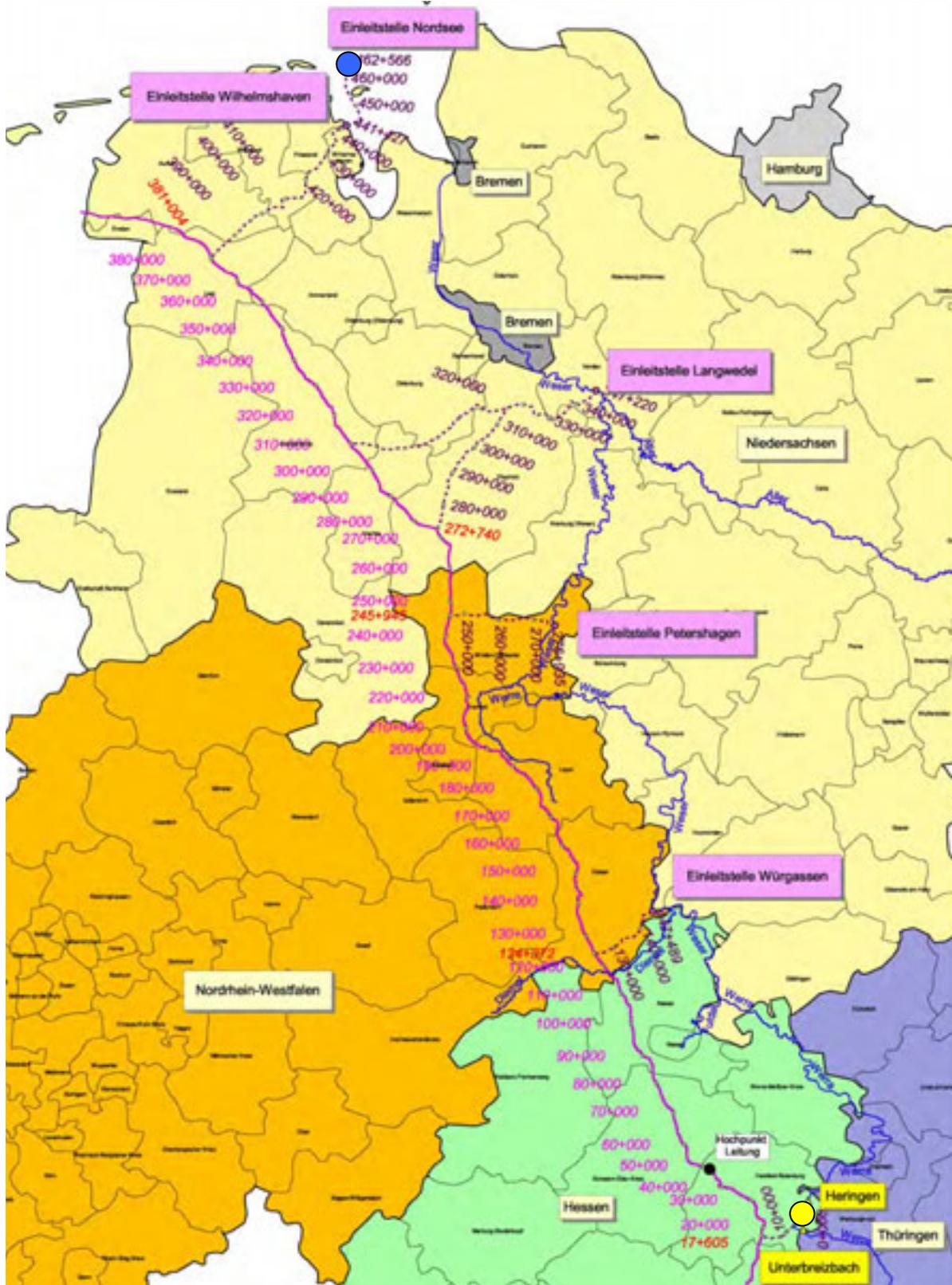


Abbildung 45: Übersichtskarte Einleitstelle Nordsee

Technische Merkmale Trasse 2B

Höhe Startpunkt:	230 m u. N.N.
Höhe Endpunkt:	0 m ü. N.N.
Höhe maximal:	494 m ü. N.N.
Höhendifferenz:	230 m
Höhendifferenz Gefällestrecke:	494 m
Trassenlänge:	462,57 km
Trassenlänge Gefällestrecke:	414,57 km
Station des Abzweigs an der MIDAL-Trasse:	381 + 004 (≙ Station 413 + 464 der MIDAL-Trasse)
Länge des Abzweigs:	81,56 km
Länge innerhalb der Nordsee:	21,14 km

5.3.1. Kartografie der Trassenführung 2B: Einleitstelle „Nordsee“

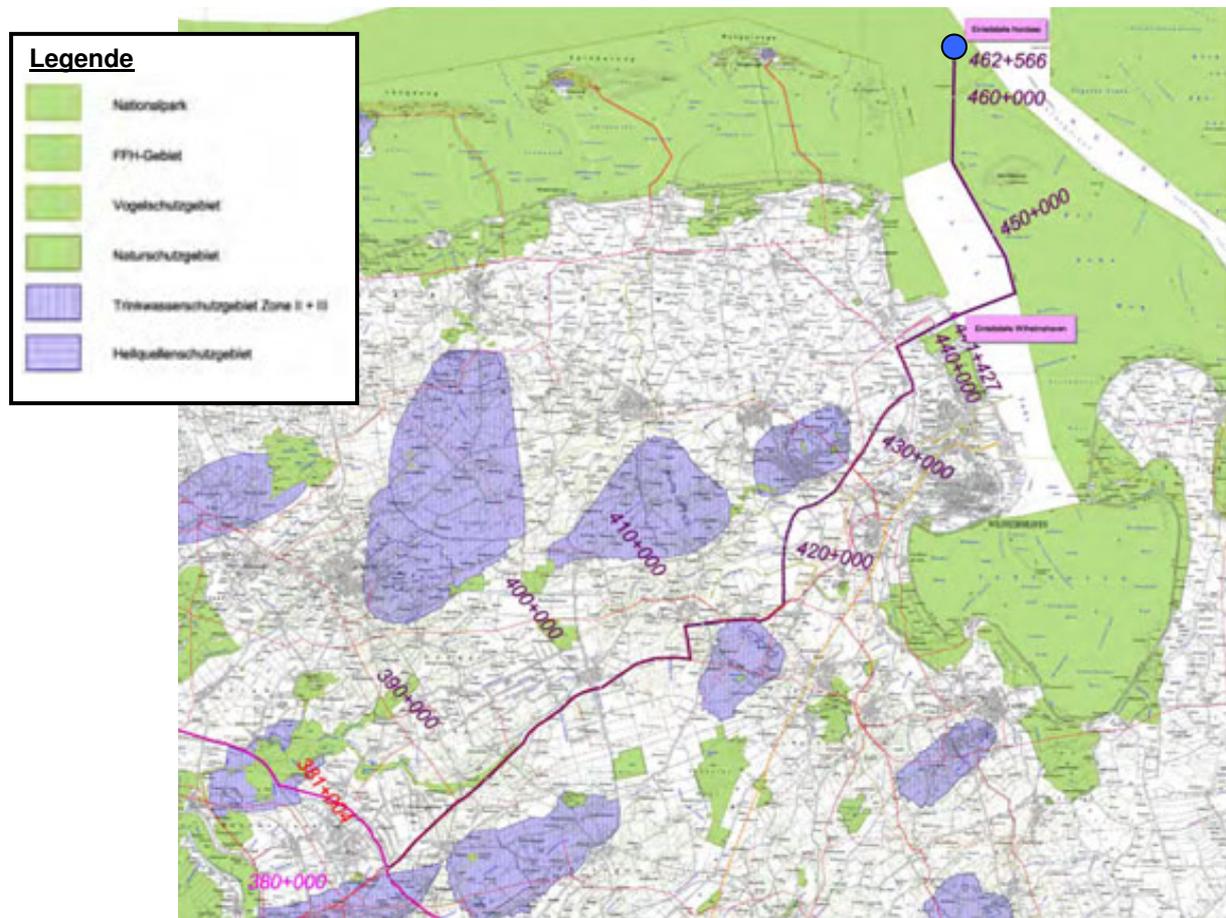


Abbildung 46: Trassenverlauf 2B: Einleitstelle „Nordsee“ Übersicht

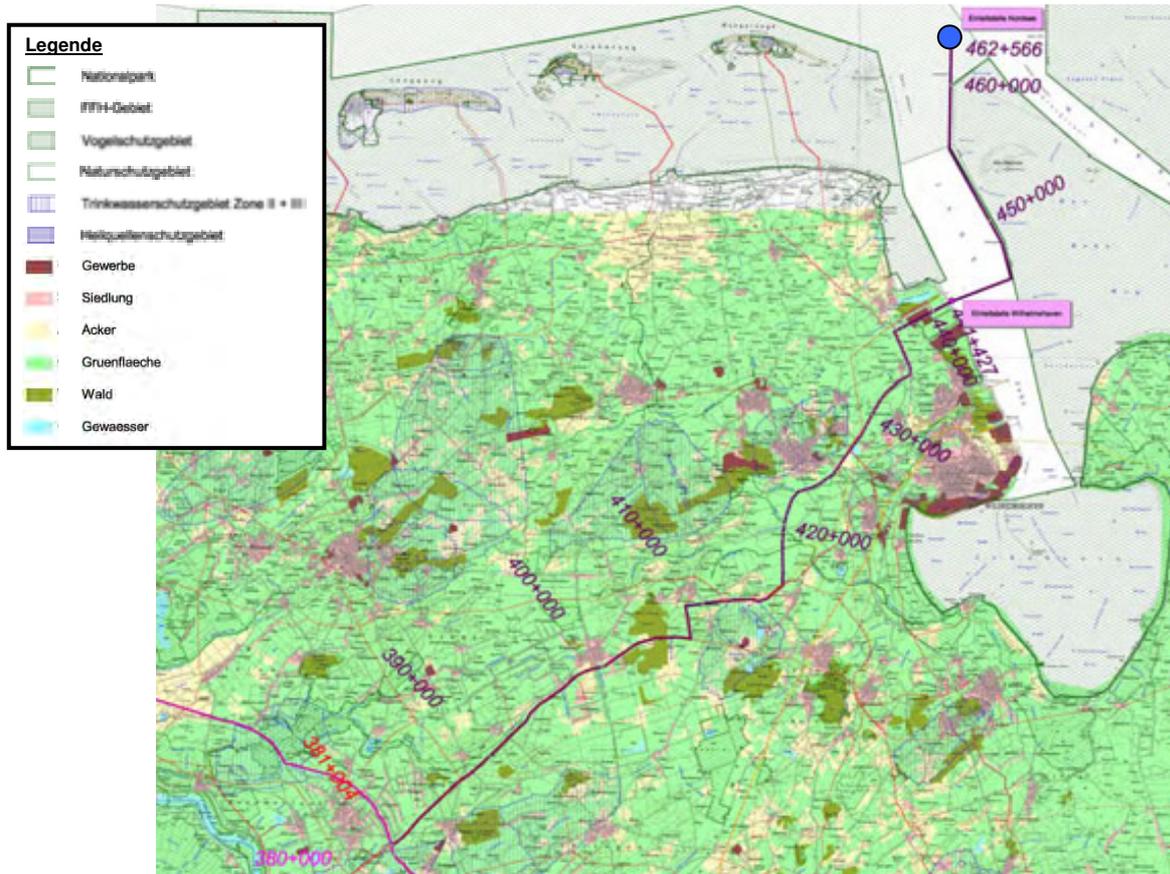


Abbildung 47: Trassenverlauf 2B: Einleitstelle „Nordsee“ Übersicht (mit CORINE-Landnutzung)

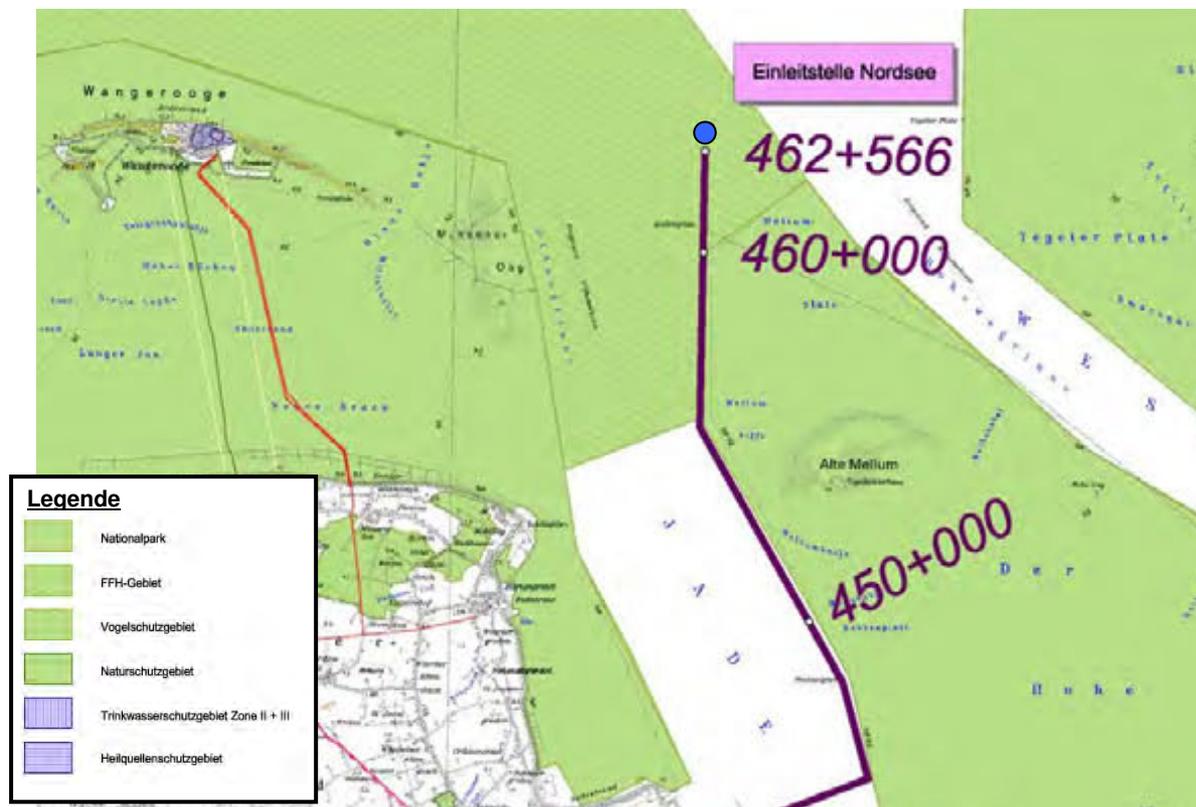


Abbildung 48: Trassenverlauf 2B: Einleitstelle „Nordsee“ vergrößerte Darstellung

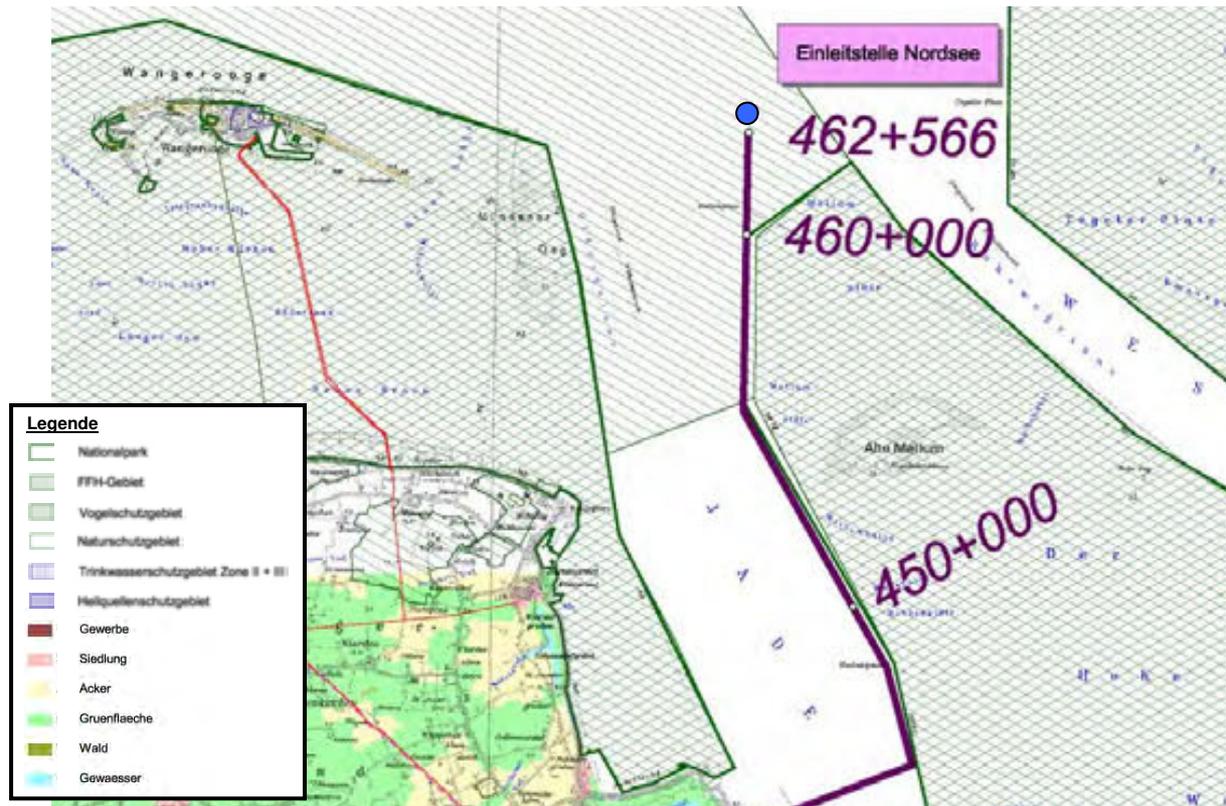


Abbildung 49: Trassenverlauf 2B: Einleitstelle „Nordsee“ vergrößerte Darstellung (mit CORINE-Landnutzung)



Abbildung 50: Trassenverlauf 2B: Einleitstelle „Nordsee“ Satellitenansicht

5.3.2. Technische Auslegung

5.3.2.1. Höhenschnitt / Längsschnitt der Einleitstelle „Nordsee“

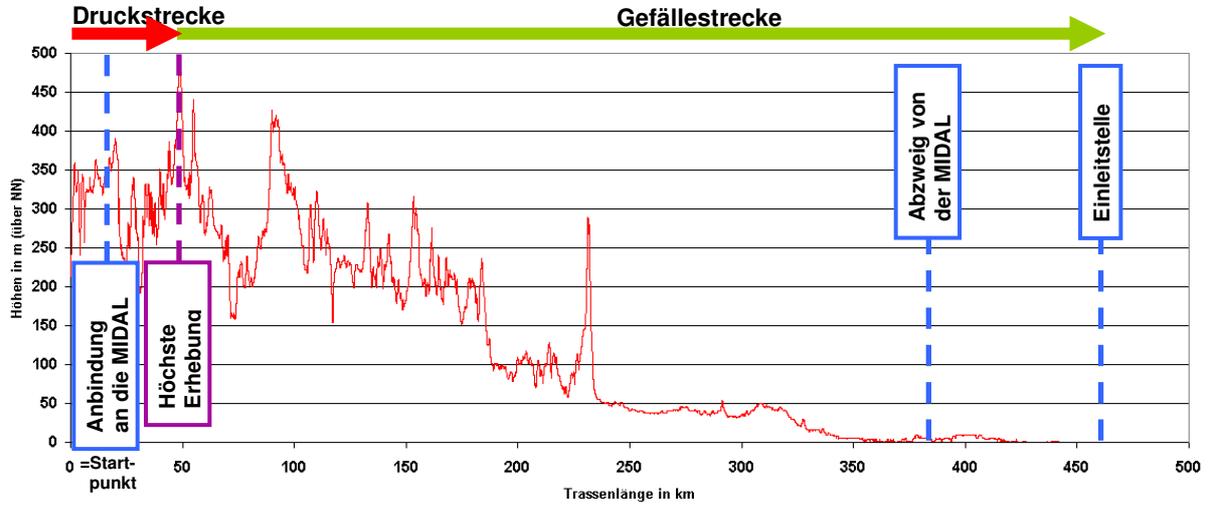


Abbildung 51: Höhenschnitt / Längsschnitt der Einleitstelle Nordsee

5.3.2.2. Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser

Trassenverlauf 1B: Max. Höhenpunkt – nördlich Mellum (494m ü.N.N. – 0m ü.N.N.)

Q1 = 1.200 m³/h

X	Y_1	Y_2
Da [mm]	[bar]	P _{el, ges} [kW] =
400,00	1.029,928	44.014,003
400,0	1.029,928	44.014,003
450,0	505,570	21.605,545
500,0	258,057	11.028,089
550,0	130,572	5.579,999
600,0	60,216	2.573,335
650,0	19,153	818,511
700,0	-5,949	-254,223
750,0	-21,903	-936,033
800,0	-32,386	-1.384,014
850,0	-39,474	-1.686,918
900,0	-44,388	-1.896,910
950,0	-47,870	-2.045,726
1.000,0	-50,386	-2.153,263
1.050,0	-52,237	-2.232,334
1.100,0	-53,619	-2.291,391
1.150,0	-54,665	-2.336,127
1.200,0	-55,469	-2.370,450
1.250,0	-56,092	-2.397,094
1.300,0	-56,581	-2.418,000
1.350,0	-56,969	-2.434,564
1.400,0	-57,279	-2.447,809
1.450,0	-57,529	-2.458,488
1.500,0	-57,732	-2.467,166
1.550,0	-57,898	-2.474,269
1.600,0	-58,035	-2.480,122
1.650,0	-58,148	-2.484,975
1.700,0	-58,243	-2.489,024
1.750,0	-58,323	-2.492,420

Abbildung 52: Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser - Tabellarische Darstellung

Die beispielhafte Darstellung der Hydraulischen Berechnung finden sich in Kapitel 9.3 Hydraulische Auslegung einer Rohrleitung.

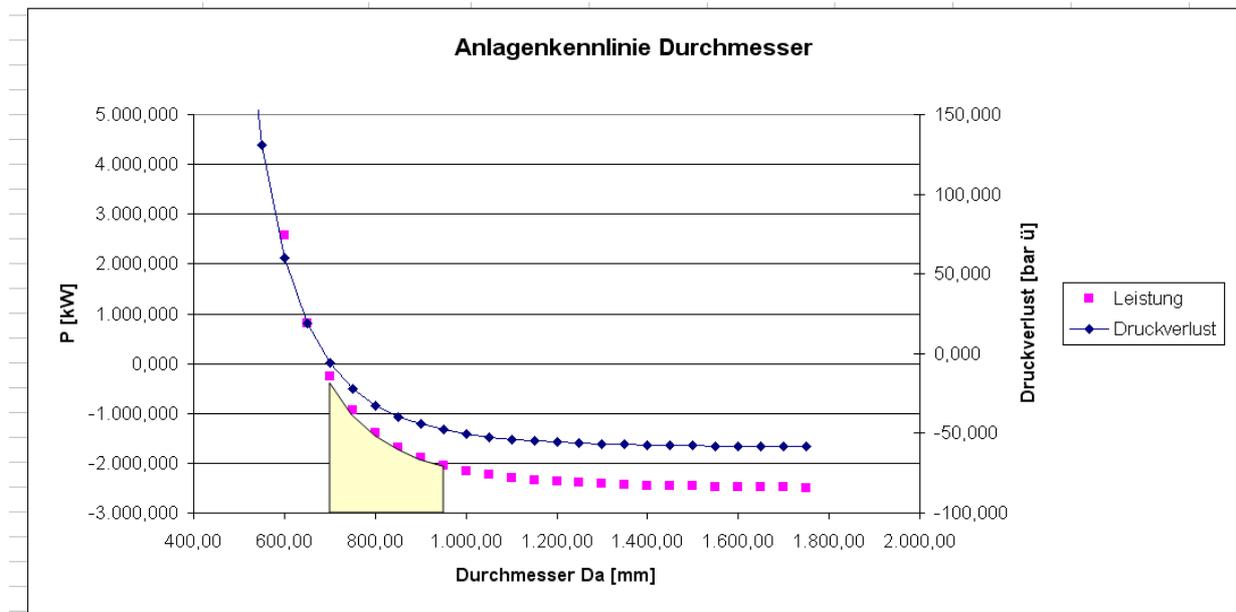


Abbildung 53: Hydraulische Berechnung der versch. Rohrdurchmesser - Anlagenkennlinie Durchmesser

Die Gefällestrecke kann kleiner dimensioniert werden als die Druckstrecke.

Zusätzlich insgesamt kleinerer Durchmesser, da nur halber maximaler Durchfluss gegenüber den Wesertrassen.

5.3.3. Investitionskostenschätzung für die Einzelmaßnahme

Die ermittelten Einzelkosten sind in Kapitel 6.4.2 Kosten pro lfm Rohrmaterial - GFK und Kapitel 6.4.3 Kosten pro lfm Rohrmaterial – St 37.0 PE-ummantelt dargestellt.

5.3.3.1. Massen- und Kostendarstellung – GFK-Rohr DN 700 / DN 800

Variante 2B: Einleitstelle Nordsee - Massen/Kosten Gesamt				
Medienrohr = GFK-Rohr			Länge = 462,57 km	
Annahme: Verlegung in Acker- und Grünflächen				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Oberboden abtragen	2.220.336	m ²	2,00 €	4.440.672,00 €
Oberboden andecken, auflockern, Ansatz	2.220.336	m ²	3,00 €	6.661.008,00 €
Leitungsgraben herstellen, Boden seitlich lagern und wiedereinbauen, überschüssigen Boden entfernen	1.776.966	m ²	16,00 €	28.431.456,00 €
Zulage Montagegruben	46.257	St	70,00 €	3.237.990,00 €
Gründungssohle verdichten	883.683	m ²	0,50 €	441.841,50 €
Feinkies-/Sandumhüllung herstellen	937.513	m ²	30,00 €	28.125.394,46 €
GFK-Rohr DN700, liefern und einbauen	414.570	m	600,00 €	248.742.000,00 €
GFK-Rohr DN800, liefern und einbauen	48.000	m	700,00 €	33.600.000,00 €
Zwischenplanie herstellen	883.683	m ²	0,30 €	265.104,90 €
Leerrohr DN160 herstellen	1.850.280	m	8,50 €	15.727.380,00 €
Zulage Kreuzungen	462.570	St	27,25 €	12.605.032,50 €
Zulage Waldbereiche	27.754	m	200,00 €	5.550.840,00 €
Zulage Siedlungsbereiche	4.626	m	400,00 €	1.850.280,00 €
Zulage Verlegung im Küstengewässer	21.140	m	750,00 €	15.855.000,00 €
Schieberstation (alle 10km)	46	St	30.000,00 €	1.387.710,00 €
Summe				406.921.799,36 €
Haustelleneinrichtung			5,0%	20.346.089,47 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares			17,5%	71.211.299,14 €
Kosten netto				498.479.093,96 €

Tabelle 9: Einleitstelle Nordsee - Massen/Kostenermittlung Gesamt für GFK-Rohr

5.3.3.2. Massen- und Kostendarstellung – Stahlrohr St 37.0, PE- ummantelt DN 700 / DN 800

Variante 2B: Einleitstelle Nordsee - Massen/Kosten Gesamt				
Medienrohr = Stahlrohr St 37.0, PE-ummantelt			Länge = 462,57 km	
Annahme: Verlegung in Acker- und Grünflächen				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Oberboden abtragen	2.220.336	m ²	2,00 €	4.440.672,00 €
Oberboden andecken, auflockern, Ansatz	2.220.336	m ²	3,00 €	6.661.008,00 €
Leitungsgraben herstellen, Boden seitlich lagern und wiedereinbauen, überschüssigen Boden entfernen	1.776.966	m ²	16,00 €	28.431.456,00 €
Zulage Montagegruben	46.257	St	70,00 €	3.237.990,00 €
Gründungssohle verdichten	883.683	m ²	0,50 €	441.841,50 €
Feinkies-/Sandumhüllung herstellen	937.513	m ²	30,00 €	28.125.394,46 €
Stahlrohr DN700, liefern und einbauen	414.570	m	610,00 €	252.887.700,00 €
Stahlrohr DN800, liefern und einbauen	48.000	m	750,00 €	36.000.000,00 €
Zwischenplanie herstellen	883.683	m ²	0,30 €	265.104,90 €
Leerrohr DN160 herstellen	1.850.280	m	8,50 €	15.727.380,00 €
Zulage Kreuzungen	462.570	St	27,25 €	12.605.032,50 €
Zulage Waldbereiche	27.754	m	200,00 €	5.550.840,00 €
Zulage Siedlungsbereiche	4.626	m	400,00 €	1.850.280,00 €
Zulage Verlegung im Küstengewässer	21.140	m	750,00 €	15.855.000,00 €
Schieberstation (alle 10km)	46	St	30.000,00 €	1.387.710,00 €
Summe				413.467.409,36 €
Haustelleneinrichtung			5,0%	20.673.370,47 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares			17,5%	72.356.706,64 €
Kosten netto				506.497.576,46 €

Tabelle 10: Einleitstelle Nordsee - Massen/Kostenermittlung Gesamt für Stahlrohr St 37.0/PE

5.3.4. Einlaufbauwerk an der Nordsee (exemplarisch)

5.3.4.1. Soleauslassbauwerk in einem Seegebiet

Nachfolgende Abbildung zeigt eine Konstruktionsmöglichkeit für ein Soleauslassbauwerk, das zurzeit in Norddeutschland hergestellt wird.

Kosten: ca. 1,4 Mio. Euro

- bei küstennaher Ausführung
- ohne Rohrleitungskosten

Brine Outfall Construction for a River joining a Pipe Connection with Land Lines

Brine Outfall Construction:

Height of the Structure: as required
Manhole Diameter: 1600 mm
Brine Flow: 1.2m³/s

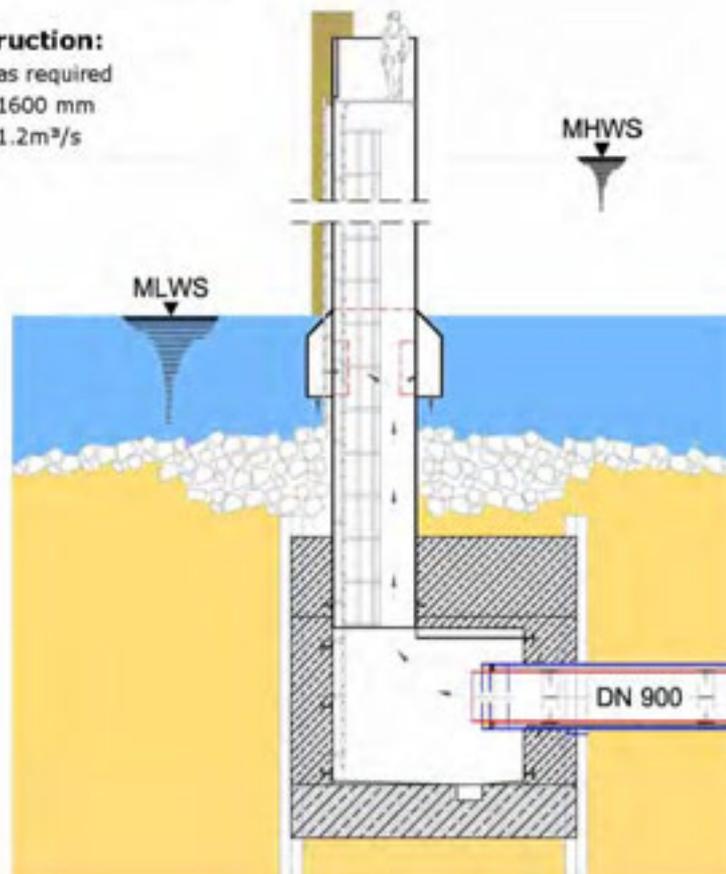


Abbildung 54: Soleauslasswerk (Quelle: Fa. De La Motte)

5.3.4.2. Anforderungen an ein Bauwerk zur Soleeinleitung

Das Soleauslassbauwerk soll die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Die Sole muss dauerhaft oberhalb der Gewässersohle und gleichzeitig unter dem jeweiligen Wasserspiegelstand austreten.
- Die Sole muss mit einer geringeren Strömung als in der Transportleitung in die See eingeleitet werden.
- Das Bauwerk muss dauerhaft gegen Auskolkungen geschützt hergestellt werden.
- Das Bauwerk muss ohne große Schwierigkeiten inspiziert und gewartet werden können.
- Das Bauwerk darf nicht durch Witterungseinflüsse geschädigt werden.
- Das Bauwerk muss Versandung und Eintritt von Fremdkörpern in die Zufuhrleitung verhindern.

5.3.5. Fazit

- Grundsätzlich kann eine Einleitung aus technischer Sicht an der Einleitstelle Nordsee vorgenommen werden.
- Das vorhandene Höhenprofil und die hydraulische Berechnung der Rohrleitungsdurchmesser ergeben zu verlegende Durchmesser von DN 800 für die Pumpstrecke und DN 700 für die Gefällestrecke.
- Die Gesamtlänge der zu verlegenden Rohrfernleitungen beträgt ca. 462km, davon ca. 21km innerhalb der Nordsee.
- Für die Verlegung von Rohrfernleitungen in der Nordsee gibt es bislang keine hinreichenden technischen Erfahrungen.
- Die Kostenschätzung beläuft sich auf ca. 500 Mio. € für die Verlegung von GFK-Rohrleitungen und ca. 507 Mio. € für die Verlegung von Stahlrohr St 37.0, PE-ummantelt.
- Zusätzlich sind die Kosten für ein Soleauslassbauwerk von ca. 1,4 Mio. € zu berücksichtigen.

6. Bautechnik

6.1. Allgemeine Grundlagen

- Die Trassenlängen der Varianten wurden gemäß der Raumordnungsplanung mit Hilfe des GIs-Programms ArcView sowie dem CAD- und Planungsprogramm Card/1 ermittelt.
- Die Massen pro laufendem Meter wurden anhand der dargestellten Regelquerschnitte ermittelt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die Rohrleitung in Acker- und Grünflächen mit Böden der Klasse 3 – 5 verlegt wird.
- Gegebenenfalls erforderliche Bodenverbesserungen, Bodenaustausch, Zulagen für felsigen Untergrund oder Erschwernisse bezüglich der Wasserhaltung sind bisher nicht bzw. nur zu geringen Prozentsätzen in die Kostenschätzung eingeflossen.
- Zusätzlich wurde folgendes angenommen:
 - Baufeldbreite = 16 m
 - Stärke des Oberbodens = 30 cm
 - Rohrüberdeckung = 1,30 m
 - Der Leitungsgrabenaushub wird abzüglich der Verdrängung wieder eingebaut.
- Die Flächennutzung (z.B. Siedlungs- oder Waldbereich) wurde mit Zulagen pro lfm auf Grundlage der vom Ingenieurbüro Jestaedt + Partner ermittelten prozentualen Verhältnisse bei der Kostenschätzung berücksichtigt.
- Die Kostenansätze für Querungen von Verkehrs- und Wasserwegen (Regelzeichnungen siehe nachfolgende Folien) sowie vorhandener Ver- und Entsorgungsleitungen wurden entsprechend der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst und als Zulage pro lfm umgerechnet.
- Als Grundlage für die Ermittlung der Kreuzungen diente vor allem das Bauwerkverzeichnis der MIDAL-Trasse. Zusätzlich wurden die Querungen von Verkehrswegen mit Hilfe des Programms Google Earth ermittelt.
- Der Preis pro laufendem Meter für das GFK- bzw. Stahl-Rohr wurde auf Grundlage von Herstellerrichtpreisen sowie aus Zeitansätzen für die Verlegung ermittelt.

- In dem Punkt „Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares“ der Kostenschätzung sind u. a. die zum momentanen Zeitpunkt nicht erfassten Kostengruppen und Ansätze für z. B. Schutzgebiete, Wasserhaltung und Bodenverhältnisse.
- Der Ansatz für diesen Punkt ist bei den Varianten 2A und 2B um 2,5% höher als bei den Varianten 1A bis 1C, da bei diesen beiden Varianten voraussichtlich mit einem höheren Aufwand für Bodenverbesserungen und bei der Wasserhaltung sowie mit Erschwernissen bei der Verlegung im Küstenbereich zu rechnen ist.
- Grundsätzlich müssen alle Annahmen und Grundlagen für eine belastbare Kostenschätzung in Phase 2 der Machbarkeitstudie überprüft werden.

6.2. Leitungsraben

6.2.1. Allgemein

Bei der hydraulischen Dimensionierung der Rohrdurchmesser der einzelnen Varianten (siehe Tabelle 31: Zusammenfassung der hydraulischen Durchmesser, Seite 141) wurden als mögliche Rohrleitungsdurchmesser DN 700, DN 800, DN 900 und DN 1000 ermittelt. Für diese Durchmesser wurden unter den folgenden Annahmen die entsprechenden Regelprofile für den Leitungsraben erstellt:

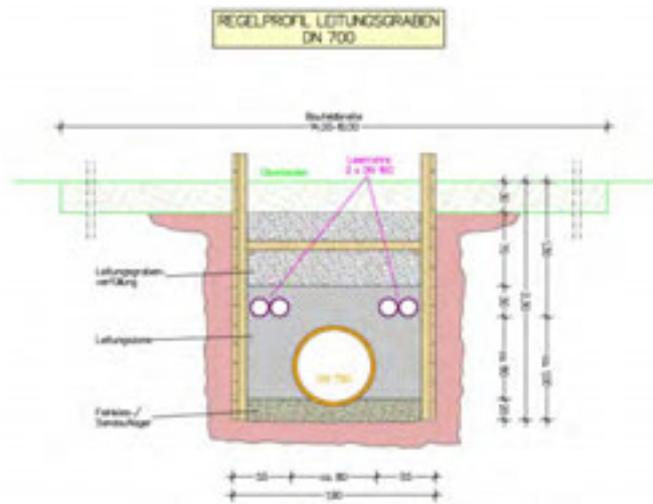
- Für die Herstellung der Rohrleitungen ist eine Baufeldbreite von 14,00 – 16,00 m erforderlich.
- Diese Breite entspricht dem vor dem Leitungsrabenaushub abzutragenden Oberboden. Die abzutragende Stärke des Oberbodens wird im Mittel mit 30 cm angesetzt.
- Die Rohrüberdeckung beträgt bei allen einzubauenden Rohrleitungen 1,30 m und das Feinkies-/Sandauflager 20 cm. Die Gesamttiefe des Leitungsrabens ergibt sich in Abhängigkeit des Rohrdurchmessers (siehe nachfolgende Regelprofile).
- Der Arbeitsraum beidseitig des einzubauenden Rohres wird mit 0,55 m angenommen. Die Breite der Leitungsraben ergibt sich in Abhängigkeit des Rohrdurchmessers (siehe nachfolgende Regelprofile).
- Im Zuge der Wiederverfüllung des Leitungsrabens wird eine Zwischenplanie hergestellt und beidseitig des eingebauten Rohres je zwei Leerrohre DN 160 eingebaut.

Für die Regelprofile wurde von einem verbauten Graben ausgegangen. Aufgrund der Verlegung der Rohrleitung in größtenteils unbefestigten Flächen (Acker- und Grünflächen) besteht auch die Möglichkeit einen geböschten, unverbauten Leitungsraben herzustellen.

6.2.2. Regelprofile Leitungsgraben

Nachfolgend sind die vier verschiedenen Regelprofile der Leitungsgräben entsprechend der oben genannten Annahmen für die einzelnen Rohrdurchmesser dargestellt.

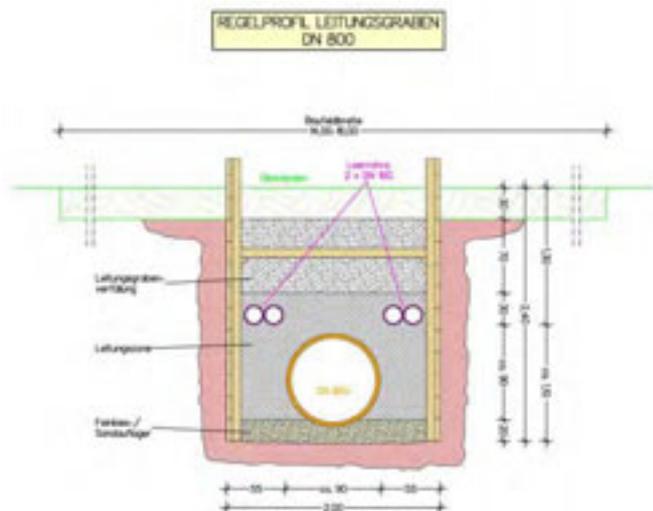
6.2.2.1. Rohrleitung DN 700



Baufeldbreite = 14 – 16 m
Grabenbreite = 1,90 m
Grabentiefe = 2,30 m

Abbildung 55: Regelprofil Rohrleitung DN 700

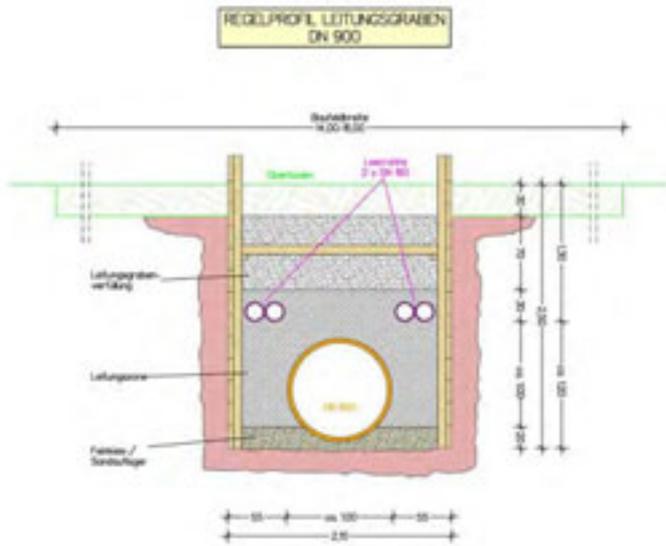
6.2.2.2. Rohrleitung DN 800



Baufeldbreite = 14 – 16 m
Grabenbreite = 2,00 m
Grabentiefe = 2,40 m

Abbildung 56: Regelprofil Rohrleitung DN 800

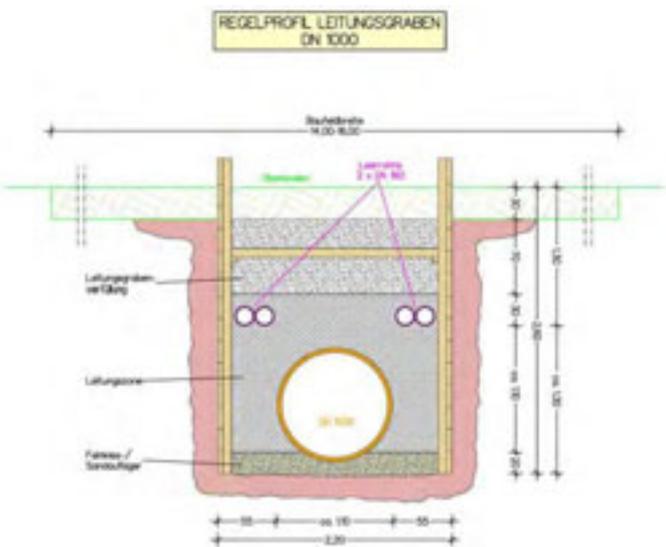
6.2.2.3. Rohrleitung DN 900



Baufeldbreite = 14 – 16 m
Grabenbreite = 2,10 m
Grabentiefe = 2,50 m

Abbildung 57: Regelprofil Rohrleitung DN 900

6.2.2.4. Rohrleitung DN 1000



Baufeldbreite = 14 – 16 m
Grabenbreite = 2,20 m
Grabentiefe = 2,60 m

Abbildung 58: Regelprofil Rohrleitung DN 1000

6.2.3. Massenermittlung

Die Massen der erforderlichen Oberboden- und Erdarbeiten wurden anhand der dargestellten Regelprofile ermittelt. Dabei wurden die Massen unter Berücksichtigung der entsprechenden Rohrdurchmesser der einzelnen Varianten (siehe Kapitel 6.3.3 Zusammenstellung der Querungen) zuerst pro laufendem Meter ermittelt (lfm = laufender Meter). So wird z. B. bei der Variante 1A auf ca. 33 % der Trassenlänge (= 48 km) die Rohrleitung mit einem Durchmesser DN 1000 hergestellt und auf ca. 67 % der Länge (= 99,5 km) mit einem Durchmesser DN 700. Entsprechend dieser Anteile sind die einzelnen Kubaturen für Oberbodenabtrag, Leitungsgrabenaushub usw. ermittelt worden.

Erdarbeiten für gegebenenfalls Bodenverbesserungen wurden aufgrund der unbekanntnen Bodenverhältnisse bisher nicht berücksichtigt.

6.3. Querungen/Kreuzungen

6.3.1. Allgemein

Bei der Herstellung der geplanten Rohrleitungen werden Verkehrswege und Eisenbahnlinien (siehe nachfolgende Regelzeichnungen) sowie verschiedene Ver- und Entsorgungsleitungen und Gewässer gequert bzw. gekreuzt. Als Grundlage für die Zusammenstellung der Kreuzungen diente vor allem das Bauwerksverzeichnis der MIDAL-Trasse. Zudem wurden die Querungen der Verkehrswege (Bundes-, Land- und Kreisstraßen) mit Hilfe des Programms Google Earth ermittelt.

Die Auflistung der Querungen/Kreuzungen für die jeweilige Variante ist unter Kapitel 6.3.2 (Regelzeichnungen einschließlich Kosten) verschiedener Querungen dargestellt.

6.3.2. Regelzeichnungen (einschl. Kosten) verschiedener Querungen

Die nachfolgenden Darstellungen von Querungen sind Regelzeichnungen. Die jeweilige Lage des zu querenden Verkehrsweges (Dammlage, Einschnitt oder Anschnitt) sind dabei nicht berücksichtigt. In Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten kann die Länge der Schutzrohrpressungen sowie der sonstige Aufwand bei der Herstellung der Querungen (Erdarbeiten, Wasserhaltung usw.) stark variieren und sich entsprechend auf die Kosten auswirken.

Die Kostenansätze für die jeweilige Kostenermittlung für die Herstellung der einzelnen Querungen stammen aus Schätzungen bzw. aus der Herstellung vergleichbarer Maßnahmen.

Als Schutzrohr für die Pressung bei den Querungen wurde ein Durchmesser DN 1200 für eine Rohrleitung DN 1000 angenommen. Der Durchmesser des Schutzrohres ist abhängig von dem jeweiligen Durchmesser des Medienrohr und kann variieren, das sich ebenfalls auf die Kosten der Querung auswirkt.

6.3.2.1. Querung einer 4-spurigen Autobahn

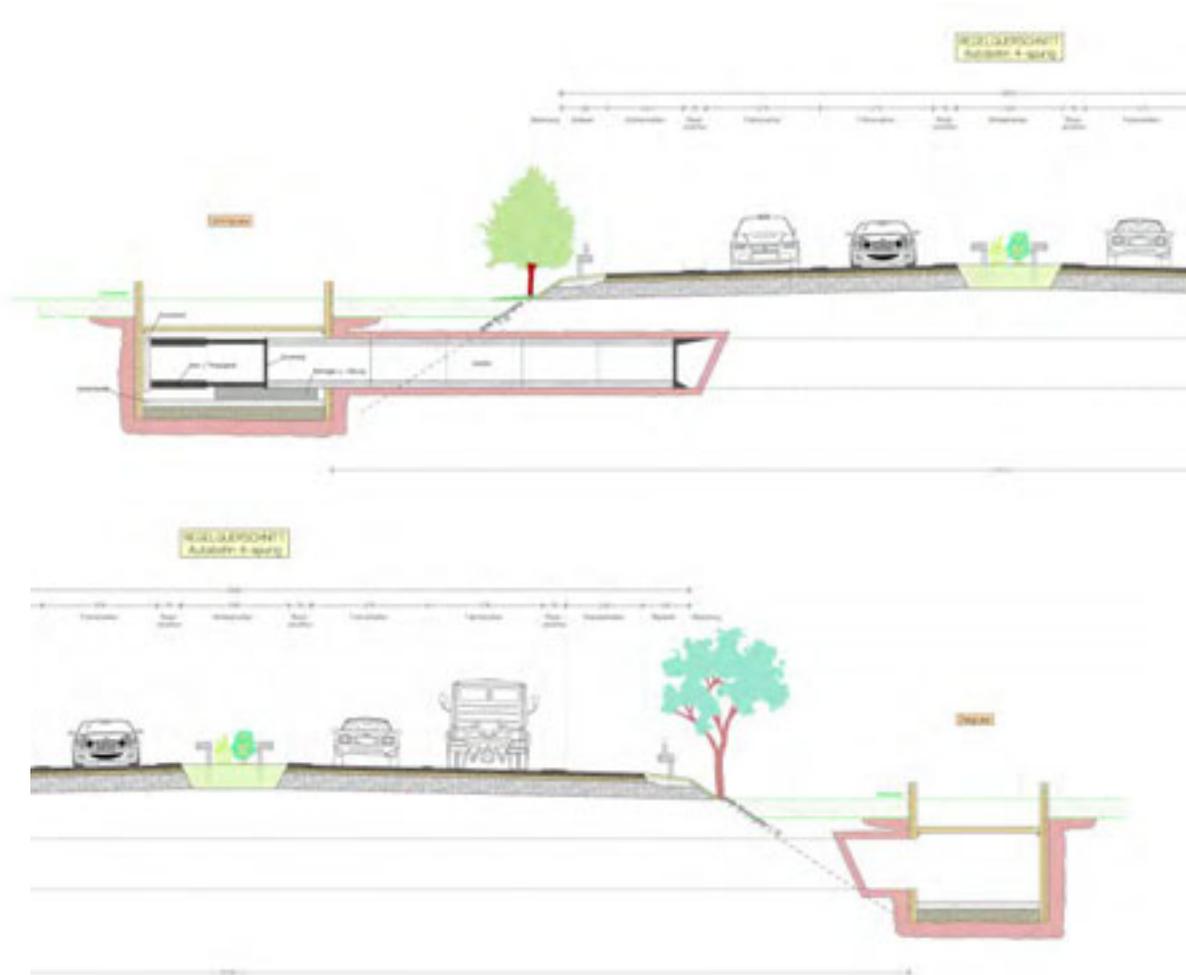


Abbildung 59: Regelquerschnitt - Querung einer 4-spurigen Autobahn

Kostenschätzung Schutzrohrpressung				
4-spurige Autobahn mit Standstreifen				
Annahme: Medienrohrleitung DN 1000				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Startgrube herstellen	100,00	m ³	30,00 €	3.000,00 €
Zielgrube herstellen	60,00	m ³	30,00 €	1.800,00 €
Stahlschutzrohr DN 1200 liefern	45,00	m	550,00 €	24.750,00 €
Stahlschutzrohr DN 1200 vortreiben	45,00	m	400,00 €	18.000,00 €
Zulage Bohrhindernisse	20,00	h	50,00 €	1.000,00 €
Verschließen der Schutzrohrenden	2,00	St	200,00 €	400,00 €
Erdungslasche anbringen	2,00	St	20,00 €	40,00 €
Verfüllstutzen / Entlüftungstutzen	4,00	St	150,00 €	600,00 €
Einbau des Medienrohres	1,00	Psch	9.000,00 €	9.000,00 €
Verfüllbeton zum Einbringen	17,00	m ³	60,00 €	1.020,00 €
Startgrube verfüllen	100,00	m ³	35,00 €	3.500,00 €
Zielgrube verfüllen	60,00	m ³	35,00 €	2.100,00 €
Summe				65.210,00 €
Baustelleneinrichtung		7,5%		4.890,75 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares		10,0%		6.521,00 €
Kosten netto				77.000,00 €

Tabelle 11: Kostenschätzung Schutzrohrpressung für eine 4-spurige Autobahn mit Standstreifen

6.3.2.2. Querung einer 6-spurigen Autobahn

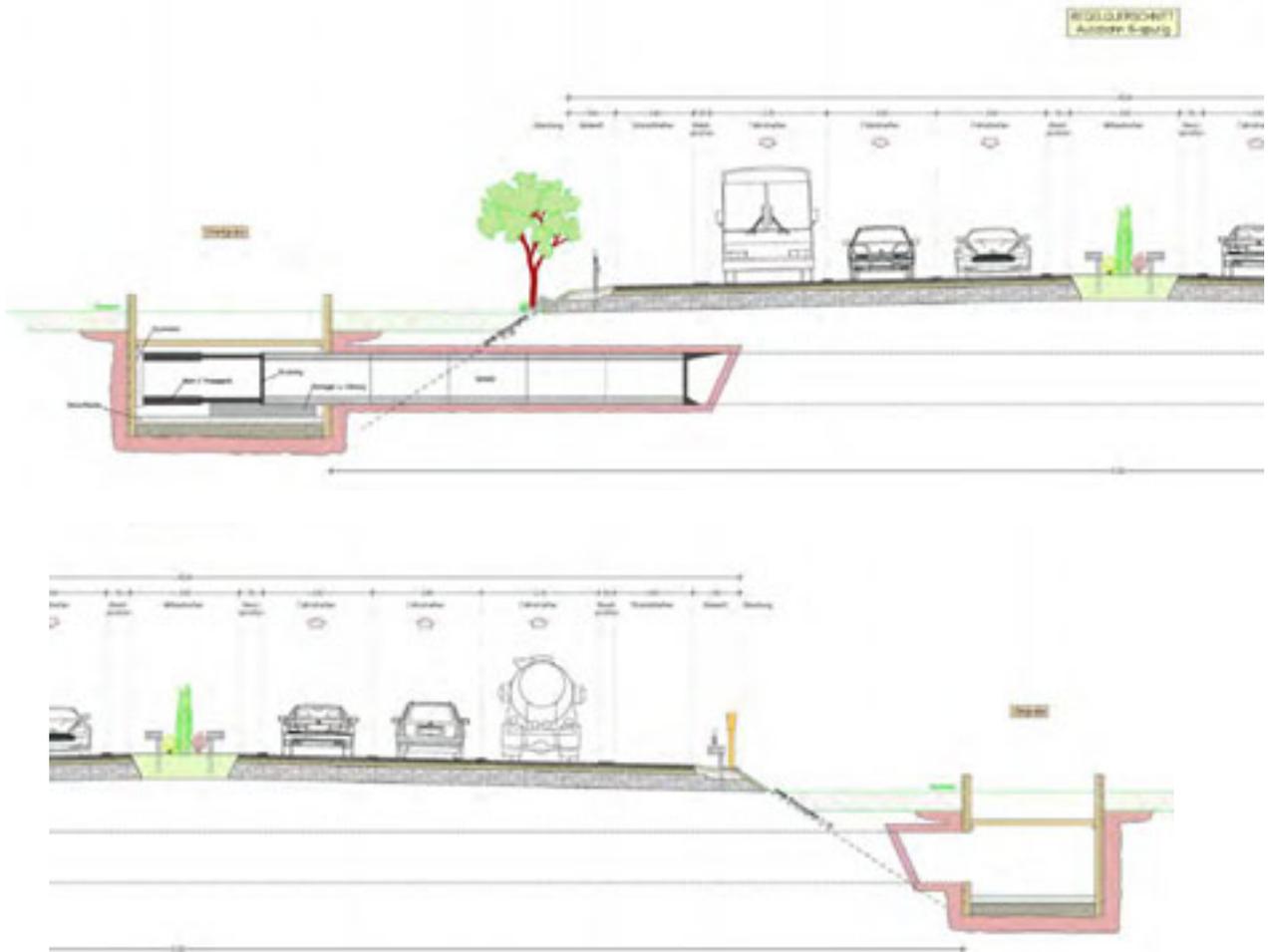


Abbildung 60: Regelquerschnitt - Querung einer 6-spurigen Autobahn

Kostenschätzung Schutzrohrpressung				
6-spurige Autobahn mit Standstreifen				
Annahme: Medienrohrleitung DN 1000				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Startgrube herstellen	100,00	m ³	30,00 €	3.000,00 €
Zielgrube herstellen	60,00	m ²	30,00 €	1.800,00 €
Stahlschutzrohr DN 1200 liefern	55,00	m	550,00 €	30.250,00 €
Stahlschutzrohr DN 1200 vortreiben	55,00	m	400,00 €	22.000,00 €
Zulage Bohrhindernisse	20,00	h	50,00 €	1.000,00 €
Verschließen der Schutzrohrenden	2,00	St	200,00 €	400,00 €
Erdungsglasche anbringen	2,00	St	20,00 €	40,00 €
Verfüllstutzen / Entlüftungsstutzen	4,00	St	150,00 €	600,00 €
Einbau des Medienrohres	1,00	Psch	11.000,00 €	11.000,00 €
Verfüllbeton zum Einbringen	20,00	m ³	60,00 €	1.200,00 €
Startgrube verfüllen	100,00	m ³	35,00 €	3.500,00 €
Zielgrube verfüllen	60,00	m ³	35,00 €	2.100,00 €
Summe				76.890,00 €
Baustelleneinrichtung			7,5%	5.766,75 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares			10,0%	7.689,00 €
Kosten netto				90.000,00 €

Tabelle 12: Kostenschätzung Schutzrohrpressung für eine 6-spurige Autobahn mit Standstreifen

6.3.2.3. Querung einer 2-spurigen Bundesstraße



Abbildung 61: Regelquerschnitt - Querung einer 2-spurigen Bundesstraße

Kostenschätzung Schutzrohrpressung				
2-spurige Bundes-/Landstraße				
Annahme: Medienrohrleitung DN 1000				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Startgrube herstellen	75,00	m ³	30,00 €	2.250,00 €
Zielgrube herstellen	45,00	m ³	30,00 €	1.350,00 €
Stahlschutzrohr DN 1200 liefern	25,00	m	550,00 €	13.750,00 €
Stahlschutzrohr DN 1200 vortreiben	25,00	m	400,00 €	10.000,00 €
Zulage Bohrhindernisse	10,00	h	50,00 €	500,00 €
Verschließen der Schutzrohrenden	2,00	St	200,00 €	400,00 €
Erdungslasche anbringen	2,00	St	20,00 €	40,00 €
Verfüllstutzen / Entlüftungstutzen	4,00	St	150,00 €	600,00 €
Einbau des Medienrohres	1,00	Psch	5.000,00 €	5.000,00 €
Verfüllbeton zum Einbringen	12,00	m ³	60,00 €	720,00 €
Startgrube verfüllen	75,00	m ³	35,00 €	2.625,00 €
Zielgrube verfüllen	45,00	m ³	35,00 €	1.575,00 €
Summe				38.810,00 €
Baustelleneinrichtung		7,5%		2.910,75 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares		10,0%		3.881,00 €
Kosten netto				46.000,00 €

Tabelle 13: Kostenschätzung Schutzrohrpressung für eine 2-spurige Bundes-/ Landstrasse

6.3.2.4. Querung einer 4-spurigen Bundesstraße

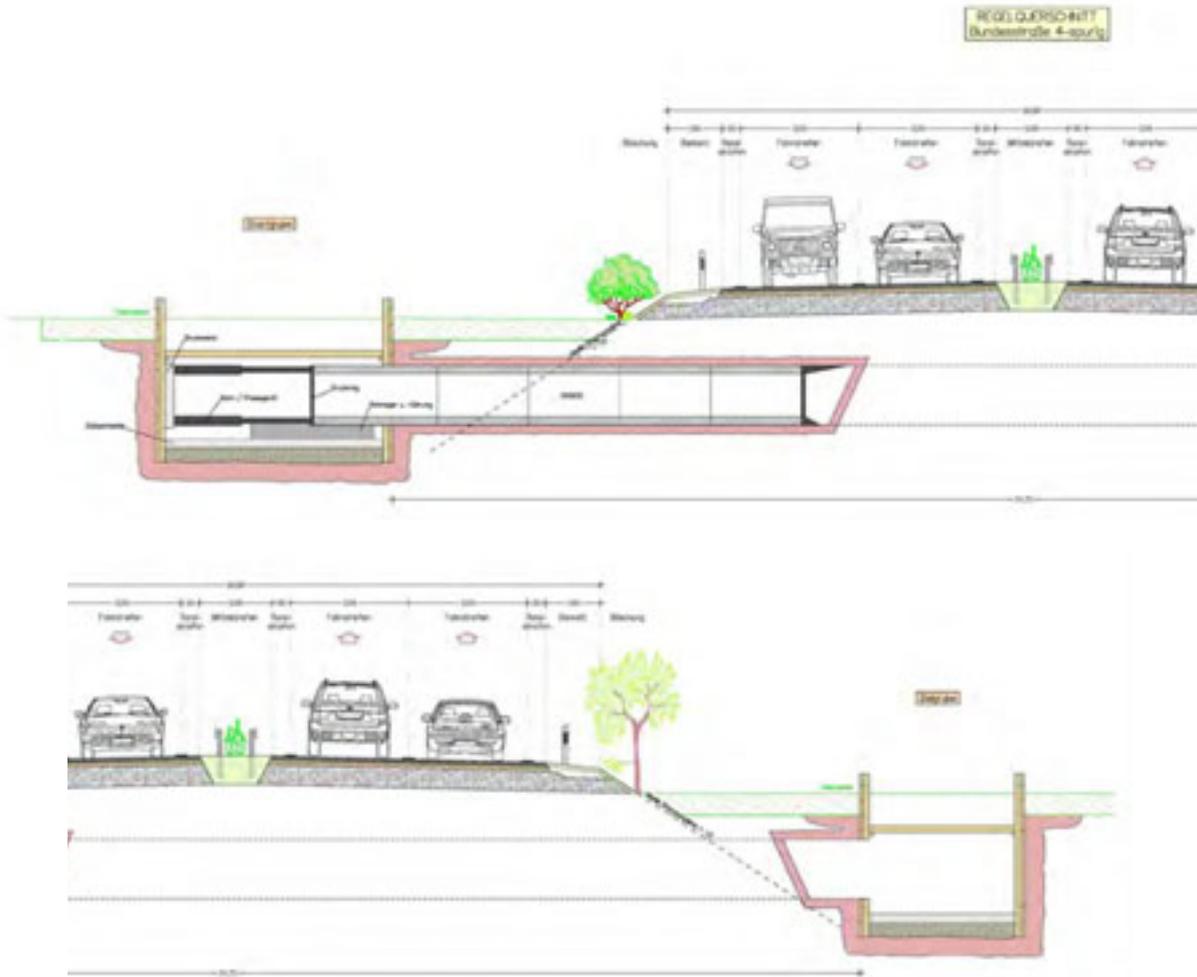


Abbildung 62: Regelquerschnitt - Querung einer 4-spurigen Bundesstraße

Kostenschätzung Schutzrohrpressung				
4-spurige Bundesstraße				
Annahme: Medienrohrleitung DN 1000				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Startgrube herstellen	75,00	m³	30,00 €	2.250,00 €
Zielgrube herstellen	40,00	m³	30,00 €	1.200,00 €
Stahlschutzrohr DN 1200 liefern	35,00	m	550,00 €	19.250,00 €
Stahlschutzrohr DN 1200 vortreiben	35,00	m	400,00 €	14.000,00 €
Zulage Bohrhindernisse	15,00	h	50,00 €	750,00 €
Verschließen der Schutzrohrenden	2,00	St	200,00 €	400,00 €
Erdungslasche anbringen	2,00	St	20,00 €	40,00 €
Verfüllstutzen / Erelüftungsstutzen	4,00	St	150,00 €	600,00 €
Einbau des Medienrohres	1,00	Psch	7.000,00 €	7.000,00 €
Verfüllbeton zum Einbringen	15,00	m³	60,00 €	900,00 €
Startgrube verfüllen	75,00	m³	35,00 €	2.625,00 €
Zielgrube verfüllen	40,00	m³	35,00 €	1.400,00 €
Summe				50.415,00 €
Baustelleneinrichtung		7,5%		3.781,13 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares		10,0%		5.041,50 €
Kosten netto				59.000,00 €

Tabelle 14: Kostenschätzung Schutzrohrpressung für eine 4-spurige Bundes-/ Landstrasse

6.3.2.5. Querung einer 1-gleisigen Bahntrasse

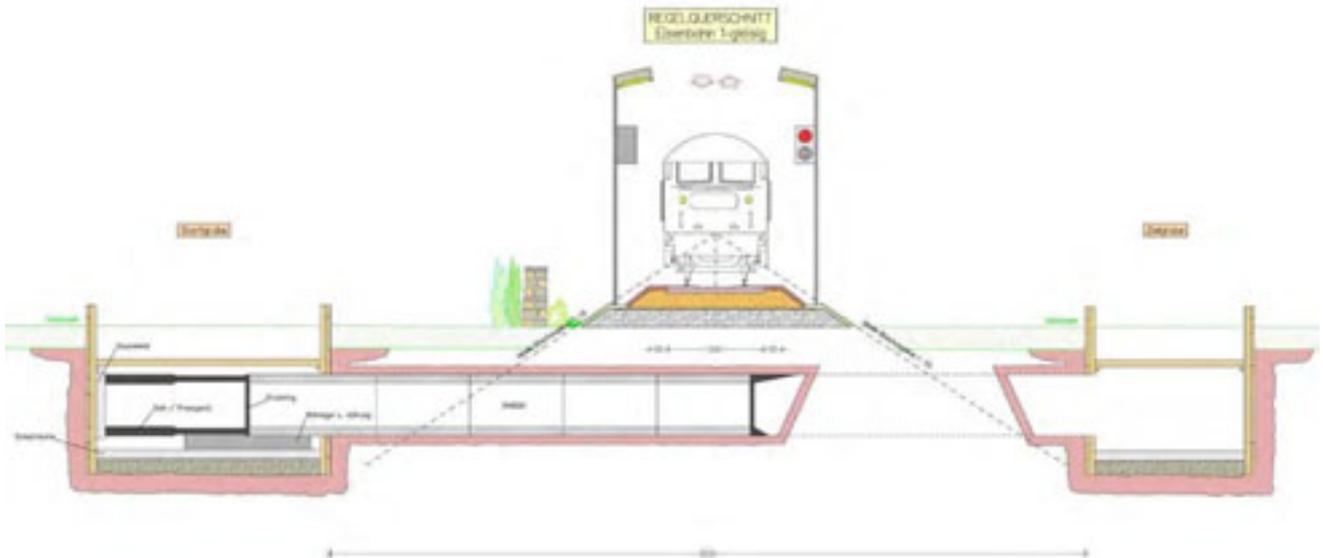


Abbildung 63: Regelquerschnitt - Querung einer 1-gleisigen Bahntrasse

Kostenschätzung Schutzrohrpressung				
1-gleisige Bahnlinie				
Annahme: Medienrohrleitung DN 1000				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Startgrube herstellen	75,00	m³	30,00 €	2.250,00 €
Zielgrube herstellen	45,00	m³	30,00 €	1.350,00 €
Stahlschutzrohr DN 1200 liefern	20,00	m	550,00 €	11.000,00 €
Stahlschutzrohr DN 1200 vortreiben	20,00	m	400,00 €	8.000,00 €
Zulage Bohrhindernisse	15,00	h	50,00 €	750,00 €
Verschließen der Schutzrohrenden	2,00	St	200,00 €	400,00 €
Erdungslasche anbringen	2,00	St	20,00 €	40,00 €
Verfüllstutzen / Entlüftungstutzen	4,00	St	150,00 €	600,00 €
Einbau des Medienrohres	1,00	Psch	4.000,00 €	4.000,00 €
Verfüllbeton zum Einbringen	10,00	m³	60,00 €	600,00 €
Startgrube verfüllen	75,00	m³	35,00 €	2.625,00 €
Zielgrube verfüllen	45,00	m³	35,00 €	1.575,00 €
Summe				33.190,00 €
Baustelleneinrichtung			7,5%	2.489,25 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares			10,0%	3.319,00 €
Kosten netto				39.000,00 €

Tabelle 15: Kostenschätzung Schutzrohrpressung für eine 1-gleisige Bahntrasse

6.3.2.6. Querung einer 2-gleisigen Bahntrasse

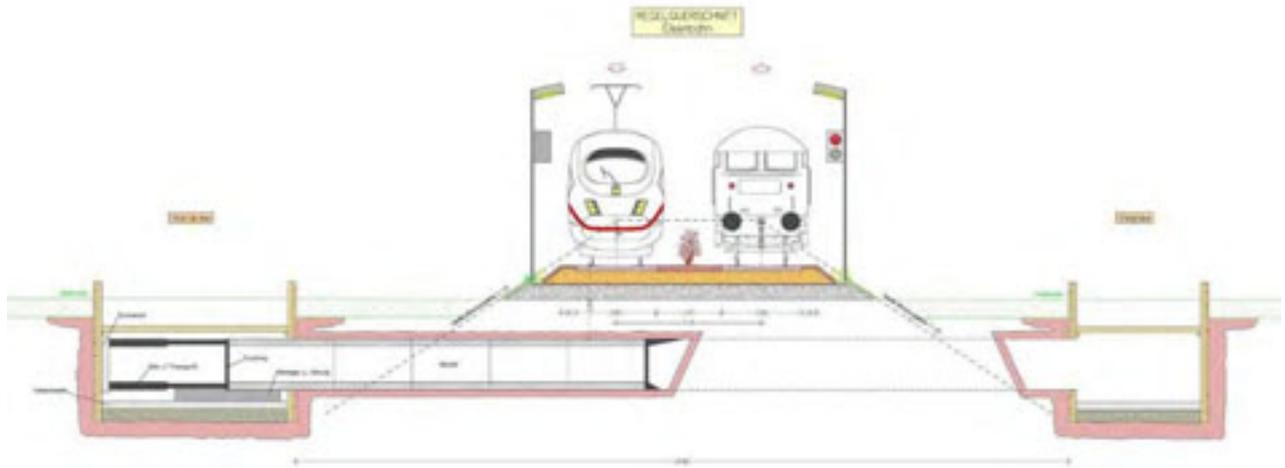


Abbildung 64: Regelquerschnitt - Querung einer 2-gleisigen Bahntrasse

Kostenschätzung Schutzrohrpressung				
2-gleisige Bahnlinie				
Annahme: Medienrohrleitung DN 1000				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Startgrube herstellen	75,00	m³	30,00 €	2.250,00 €
Zielgrube herstellen	45,00	m³	30,00 €	1.350,00 €
Stahlschutzrohr DN 1200 liefern	30,00	m	550,00 €	16.500,00 €
Stahlschutzrohr DN 1200 vortreiben	30,00	m	400,00 €	12.000,00 €
Zulage Bohrhindernisse	15,00	h	50,00 €	750,00 €
Verschließen der Schutzrohrenden	2,00	St	200,00 €	400,00 €
Erdungslasche anbringen	2,00	St	20,00 €	40,00 €
Verfüllstutzen / Entlüftungstutzen	4,00	St	150,00 €	600,00 €
Einbau des Medienrohres	1,00	Psch	6.000,00 €	6.000,00 €
Verfüllbeton zum Einbringen	15,00	m³	60,00 €	900,00 €
Startgrube verfüllen	75,00	m³	35,00 €	2.625,00 €
Zielgrube verfüllen	45,00	m³	35,00 €	1.575,00 €
Summe				44.990,00 €
Baustelleneinrichtung		7,5%		3.374,25 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares		10,0%		4.499,00 €
Kosten netto				53.000,00 €

Tabelle 16: Kostenschätzung Schutzrohrpressung für eine 2-gleisige Bahntrasse

6.3.2.7. Beispiel für die Kreuzung einer vorhandenen Leitung (z. B. Gas-, Produkten- oder Ölleitung)

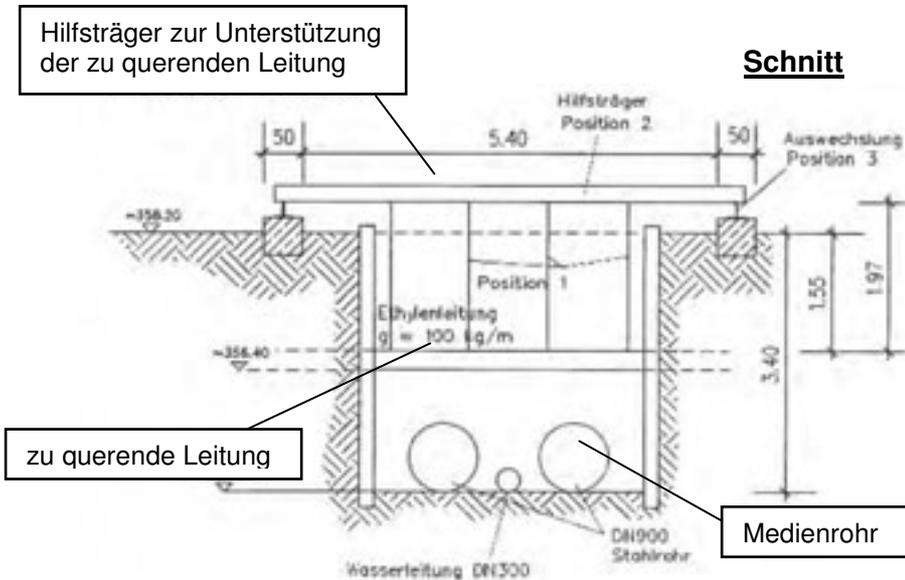


Abbildung 65: Schnittdarstellung Kreuzung einer vorhandenen Leitung

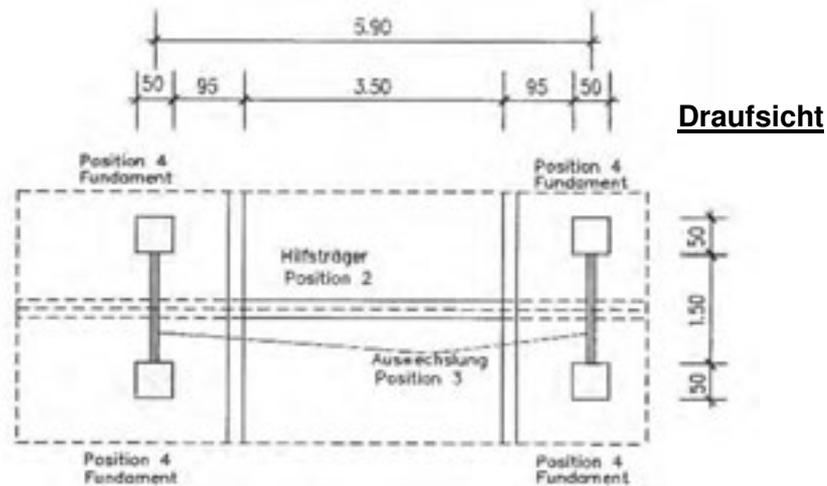


Abbildung 66: Draufsicht Kreuzung einer vorhandenen Leitung

6.3.3. Zusammenstellung der Querungen

Die ermittelten Querungen und Kreuzungen sowie daraus resultierenden Kosten sind in der nachfolgenden Tabelle für jede Variante zusammengestellt.

Für die Berücksichtigung der Querungen und Kreuzungen bei der Kostenermittlung wurde die Gesamtsumme bei der jeweiligen Variante in einem Zuschlag pro laufenden Meter verlegter Rohrleitung umgewandelt. Die Zulage pro laufenden Meter ergibt sich aus der Division der Gesamtsumme mit der entsprechenden Trassenlänge.

Kreuzung/Querung		Variante 1A		Variante 1B		Variante 1C		Variante 2A		Variante 2B	
Art	Kostenansatz	Länge = 147,49 km		Länge = 276,94 km		Länge = 347,22 km		Länge = 441,43 km		Länge = 462,57 km	
		Anzahl	Kosten	Anzahl	Kosten	Anzahl	Kosten	Anzahl	Kosten	Anzahl	Kosten
Bundesautobahn											
4-spurig	77.000,00 €	3,0 St	231.000,00 €	4,0 St	308.000,00 €	5,0 St	385.000,00 €	7,0 St	539.000,00 €	7,0 St	539.000,00 €
6-spurig	90.000,00 €	1,0 St	90.000,00 €	2,0 St	180.000,00 €	2,0 St	180.000,00 €	2,0 St	180.000,00 €	2,0 St	180.000,00 €
Bundesstraße											
2-spurig	46.000,00 €	10,0 St	460.000,00 €	19,0 St	874.000,00 €	25,0 St	1.150.000,00 €	32,0 St	1.472.000,00 €	32,0 St	1.472.000,00 €
4-spurig	59.000,00 €	1,0 St	59.000,00 €	1,0 St	59.000,00 €	2,0 St	118.000,00 €	2,0 St	118.000,00 €	2,0 St	118.000,00 €
Landstraße	25.000,00 €	40,0 St	1.000.000,00 €	55,0 St	1.375.000,00 €	65,0 St	1.625.000,00 €	75,0 St	1.875.000,00 €	75,0 St	1.875.000,00 €
Kreisstraße	7.500,00 €	20,0 St	150.000,00 €	35,0 St	262.500,00 €	50,0 St	375.000,00 €	45,0 St	337.500,00 €	45,0 St	337.500,00 €
Bahnlinie											
1-gleisig	39.000,00 €	1,0 St	39.000,00 €	2,0 St	78.000,00 €	3,0 St	117.000,00 €	8,0 St	312.000,00 €	8,0 St	312.000,00 €
2-gleisig	53.000,00 €	1,0 St	53.000,00 €	2,0 St	106.000,00 €	2,0 St	106.000,00 €	4,0 St	212.000,00 €	4,0 St	212.000,00 €
Gewässer I.Ordnung	175.000,00 €			1,0 St	175.000,00 €	1,0 St	175.000,00 €	4,0 St	700.000,00 €	4,0 St	700.000,00 €
Gewässer II. & III.Ordnung											
offene Querung	5.000,00 €	170,0 St	850.000,00 €	280,0 St	1.400.000,00 €	325,0 St	1.625.000,00 €	375,0 St	1.875.000,00 €	375,0 St	1.875.000,00 €
Pressung	40.000,00 €	21,0 St	840.000,00 €	32,0 St	1.280.000,00 €	37,0 St	1.480.000,00 €	41,0 St	1.640.000,00 €	41,0 St	1.640.000,00 €
Gasleitung											
< DN 250	3.000,00 €	5,0 St	15.000,00 €	45,0 St	135.000,00 €	90,0 St	270.000,00 €	160,0 St	480.000,00 €	160,0 St	480.000,00 €
< DN 500	7.500,00 €	7,0 St	52.500,00 €	15,0 St	112.500,00 €	30,0 St	225.000,00 €	40,0 St	300.000,00 €	40,0 St	300.000,00 €
> DN 500	10.000,00 €			1,0 St	10.000,00 €	8,0 St	80.000,00 €	14,0 St	140.000,00 €	14,0 St	140.000,00 €
Ölleitung	10.000,00 €										
Produktierleitung	10.000,00 €			1,0 St	10.000,00 €	3,0 St	30.000,00 €	5,0 St	50.000,00 €	5,0 St	50.000,00 €
sonstige Leitung	2.000,00 €	25,0 St	50.000,00 €	85,0 St	170.000,00 €	95,0 St	190.000,00 €	105,0 St	210.000,00 €	105,0 St	210.000,00 €
Stromleitung	500,00 €	100,0 St	50.000,00 €	325,0 St	162.500,00 €	435,0 St	217.500,00 €	550,0 St	275.000,00 €	550,0 St	275.000,00 €
Fernmeldeleitung	500,00 €	90,0 St	45.000,00 €	225,0 St	112.500,00 €	285,0 St	142.500,00 €	365,0 St	182.500,00 €	365,0 St	182.500,00 €
Abwasserleitung	2.000,00 €	35,0 St	70.000,00 €	150,0 St	300.000,00 €	170,0 St	340.000,00 €	190,0 St	380.000,00 €	190,0 St	380.000,00 €
Fernwärmeleitung	2.500,00 €	1,0 St	2.500,00 €	1,0 St	2.500,00 €	1,0 St	2.500,00 €	2,0 St	5.000,00 €	2,0 St	5.000,00 €
Wasserleitung	2.500,00 €	75,0 St	187.500,00 €	180,0 St	450.000,00 €	250,0 St	625.000,00 €	335,0 St	837.500,00 €	335,0 St	837.500,00 €
Schutzrohr	2.500,00 €	22,0 St	55.000,00 €	40,0 St	100.000,00 €	52,0 St	130.000,00 €	73,0 St	182.500,00 €	73,0 St	182.500,00 €
Summe Gesamt			4.299.500,00 €		7.662.500,00 €		9.588.500,00 €		12.303.000,00 €		12.303.000,00 €
Summe pro lfm			29,15 €		27,67 €		27,62 €		27,87 €		26,60 €

Tabelle 17: Zusammenstellung der vorhandenen Kreuzungen

Die zusammengestellten Querungen und Kreuzungen wurden mit Hilfe des Bauwerksverzeichnisses der MIDAL-Trasse sowie dem Programm Google Earth erfasst. Die Kostenansätze stammen aus den einzelnen Kostenschätzungen (siehe Regelzeichnungen) oder aus der Herstellung vergleichbarer Querungen und Kreuzungen. Die Summe pro lfm ergibt sich aus der Division der Gesamtsumme mit der jeweiligen Trassenlänge.

6.4. Massen und Kostenermittlung

6.4.1. Allgemein

Die Kosten für die einzelnen Varianten wurden unter Berücksichtigung der oben genannten Punkte zuerst pro laufenden Meter Rohrleitung ermittelt. Zusätzlich wurde bei der Kostenermittlung generell von den in Kapitel 6 Bautechnik, Kapitel 6.1 Allgemeine Grundlagen genannten Punkte ausgegangen bzw. wurden nicht berücksichtigt, da keine entsprechenden Daten vorliegen.

Es wurden ausschließlich Investitionskosten angesetzt.

Die Kosten für Planungsleistungen sind nicht Bestandteil der Kostenschätzung.

6.4.2. Kosten pro lfm – Rohrmaterial GFK

In den nachfolgenden Kapiteln 6.4.2.1 bis 6.4.2.5 werden die Kosten pro lfm Rohrleitung mit dem Rohrmaterial GFK anhand der verschiedenen Varianten dargestellt.

Die Gesamtinvestitionssummen für die betrachteten Varianten finden sich in den einzelnen Kapiteln zur Variantenbetrachtung unter dem jeweiligen Kapitel „Kostenzusammenstellung“.

6.4.2.1. Variante 1A: Einleitstelle „Würgassen“

Länge Rohrleitung DN 700 = 99,5 km = 67 %

Länge Rohrleitung DN 1000 = 48,0 km = 33 %

Variante 1A: Einleitstelle Würgassen - Massen/Kosten pro lfm				
Medienrohr = GFK-Rohr				
Annahme: Verlegung in Acker- und Grünflächen				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Oberboden abtragen	4,80	m ²	2,00 €	9,60 €
Oberboden andecken, auflockern, Ansatz	4,80	m ²	3,00 €	14,40 €
Leitungsgraben herstellen, Boden seitlich lagern und wiedereinbauen, überschüssigen Boden entfernen	4,21	m ²	16,00 €	67,36 €
Zulage Montagegruben	0,10	St	70,00 €	7,00 €
Gründungssohle verdichten	2,00	m ²	0,50 €	1,00 €
Feinkies-/Sandumhüllung herstellen	2,22	m ²	30,00 €	66,48 €
GFK-Rohr DN700, liefern und einbauen	0,67	m	600,00 €	404,73 €
GFK-Rohr DN1000, liefern und einbauen	0,33	m	900,00 €	292,90 €
Zwischenplanie herstellen	2,00	m ²	0,30 €	0,60 €
Leerrohr DN160 herstellen	4,00	m	8,50 €	34,00 €
Zulage Kreuzungen	1,00	St	29,75 €	29,75 €
Zulage Waldbereiche	0,12	m	200,00 €	24,00 €
Zulage Siedlungsbereiche	0,01	m	400,00 €	4,00 €
Schieberstation (alle 10km)	0,0001	St	30 000,00 €	3,00 €
Summe				958,83 €
Baustelleneinrichtung		5,0%		47,94 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares		15,0%		143,82 €
Kosten netto				1.150,59 €

Tabelle 18: Einleitstelle Würgassen - Massen/Kostenermittlung pro lfm GFK-Rohr

6.4.2.2. Variante 1B: Einleitstelle „Petershagen“

Länge Rohrleitung DN 800 = 228,9 km = 83 %

Länge Rohrleitung DN 1000 = 48,0 km = 17 %

Variante 1B: Einleitstelle Petershagen - Massen/Kosten pro lfm				
Medienrohr = GFK-Rohr				
Annahme: Verlegung in Acker- und Grünflächen				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Oberboden abtragen	4,80	m ²	2,00 €	9,60 €
Oberboden andecken, auflockern, Ansatz	4,80	m ²	3,00 €	14,40 €
Leitungsgraben herstellen, Boden seitlich lagern und wiedereinbauen, überschüssigen Boden entfernen	4,35	m ²	16,00 €	69,58 €
Zulage Montagegruben	0,10	St	70,00 €	7,00 €
Gründungssohle verdichten	2,03	m ²	0,50 €	1,02 €
Feinkies-/Sandumhüllung herstellen	2,29	m ²	30,00 €	68,78 €
GFK-Rohr DN800, liefern und einbauen	0,83	m	700,00 €	578,67 €
GFK-Rohr DN1000, liefern und einbauen	0,17	m	900,00 €	155,99 €
Zwischenplanie herstellen	2,03	m ²	0,30 €	0,61 €
Leerrohr DN160 herstellen	4,00	m	8,50 €	34,00 €
Zulage Kreuzungen	1,00	St	28,00 €	28,00 €
Zulage Waldbereiche	0,11	m	200,00 €	22,00 €
Zulage Siedlungsbereiche	0,02	m	400,00 €	8,00 €
Schieberstation (alle 10km)	0,0001	St	30 000,00 €	3,00 €
Summe				1.000,66 €
Baustelleneinrichtung		5,0%		50,03 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares		15,0%		150,10 €
Kosten netto				1.200,79 €

Tabelle 19: Einleitstelle Petershagen - Massen/Kostenermittlung pro lfm GFK-Rohr

6.4.2.3. Variante 1C: Einleitstelle „Langwedel“

Länge Rohrleitung DN 900 = 299,2 km = 86 %

Länge Rohrleitung DN 1000 = 48,0 km = 14 %

Variante 1C: Einleitstelle Langwedel - Massen/Kosten pro lfm				
Medienrohr = GFK-Rohr				
Annahme: Verlegung in Acker- und Grünflächen				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Oberboden abtragen	4,80	m ³	2,00 €	9,60 €
Oberboden andecken, auflockern, Ansatz	4,80	m ³	3,00 €	14,40 €
Leitungsgraben herstellen, Boden seitlich lagern und wiedereinbauen, überschüssigen Boden entlernen	4,68	m ³	16,00 €	74,88 €
Zulage Montagegruben	0,10	Stk	70,00 €	7,00 €
Grundungsschle verdichten	2,11	m ³	0,50 €	1,06 €
Feinkies-/Sandumhüllung herstellen	2,48	m ³	30,00 €	73,92 €
GFK-Rohr DN900, liefern und einbauen	0,88	m	800,00 €	688,41 €
GFK-Rohr DN1000, liefern und einbauen	0,14	m	900,00 €	124,42 €
Zwischenplatte herstellen	2,11	m ²	0,30 €	0,63 €
Lochrohr DN160 herstellen	4,00	m	8,50 €	34,00 €
Zulage Kreuzungen	1,00	Stk	28,00 €	28,00 €
Zulage Waldbereiche	0,07	m	200,00 €	14,00 €
Zulage Siedlungsbereiche	0,01	m	400,00 €	4,00 €
Schieberstation (alle 10km)	0,0001	SR	30.000,00 €	3,00 €
Summe				1.078,33 €
Baustelleneinrichtung		5,0%		53,92 €
Regel-Sicherheit für Unvorhersehbares		15,0%		161,75 €
Kosten netto				1.293,99 €

Tabelle 20: Einleitstelle Langwedel - Massen/Kostenermittlung pro lfm GFK-Rohr

6.4.2.4. Variante 2A: Einleitstelle „Wilhelmshaven“

Länge Rohrleitung DN 700 = 393,4 km = 89 %

Länge Rohrleitung DN 800 = 48,0 km = 11 %

Variante 2A: Einleitstelle Wilhelmshaven - Massen/Kosten pro lfm				
Medienrohr = GFK-Rohr				
Annahme: Verlegung in Acker- und Grünflächen				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Oberboden abtragen	4,80	m ²	2,00 €	9,60 €
Oberboden andecken, auflockern, Ansaat	4,80	m ²	3,00 €	14,40 €
Leitungsgraben herstellen, Boden seitlich lagern und wiedereinbauen, überschüssigen Boden entfernen	3,85	m ²	15,00 €	57,72 €
Zulage Montagegruben	0,10	St	70,00 €	7,00 €
Gründungssohle verdichten	1,91	m ²	0,50 €	0,96 €
Feinkies-/Sandumhüllung herstellen	2,03	m ³	30,00 €	60,91 €
GFK-Rohr DN700, liefern und einbauen	0,88	m	600,00 €	528,00 €
GFK-Rohr DN800, liefern und einbauen	0,12	m	700,00 €	84,00 €
Zwischenplanie herstellen	1,91	m ²	0,30 €	0,57 €
Leerrohr DN160 herstellen	4,00	m	8,50 €	34,00 €
Zulage Kreuzungen	1,00	St	28,25 €	28,25 €
Zulage Waldbereiche	0,06	m	200,00 €	12,00 €
Zulage Siedlungsbereiche	0,01	m	400,00 €	4,00 €
Schieberstation (alle 10km)	0,0001	St	30.000,00 €	3,00 €
Summe				844,41 €
Baustelleneinrichtung		5,0%		42,22 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares		17,5%		147,77 €
Kosten netto				1.034,40 €

Tabelle 21: Einleitstelle Wilhelmshaven - Massen/Kostenermittlung pro lfm GFK-Rohr

6.4.2.5. Variante 2B: Einleitstelle „Nordsee“

Länge Rohrleitung DN 700 = 414,6 km = 90 %

Länge Rohrleitung DN 800 = 48,0 km = 10 %

Variante 2B: Einleitstelle Nordsee - Massen/Kosten pro lfm				
Medienrohr = GFK-Rohr				
Annahme: Verlegung in Acker- und Grünflächen				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Oberboden abtragen	4,80	m ²	2,00 €	9,60 €
Oberboden andecken, auflockern, Ansaat	4,80	m ²	3,00 €	14,40 €
Leitungsgraben herstellen, Boden seitlich lagern und wiedereinbauen, überschüssigen Boden entfernen	3,84	m ²	16,00 €	61,44 €
Zulage Montagegruben	0,10	St	70,00 €	7,00 €
Gründungssohle verdichten	1,91	m ²	0,50 €	0,96 €
Feinkies-/Sandumhüllung herstellen	2,03	m ³	30,00 €	60,90 €
GFK-Rohr DN700, liefern und einbauen	0,90	m	600,00 €	537,74 €
GFK-Rohr DN800, liefern und einbauen	0,10	m	700,00 €	72,64 €
Zwischenplanie herstellen	1,91	m ²	0,30 €	0,57 €
Leerrohr DN160 herstellen	4,00	m	8,50 €	34,00 €
Zulage Kreuzungen	1,00	St	27,25 €	27,25 €
Zulage Waldbereiche	0,06	m	200,00 €	12,00 €
Zulage Siedlungsbereiche	0,01	m	400,00 €	4,00 €
Zulage Verlegung im Küstengewässer	0,05	m	750,00 €	34,28 €
Schieberstation (alle 10km)	0,0001	St	30.000,00 €	3,00 €
Summe				879,70 €
Baustelleneinrichtung		5,0%		43,98 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares		17,5%		153,95 €
Kosten netto				1.077,63 €

Tabelle 22: Einleitstelle Nordsee - Massen/Kostenermittlung pro lfm GFK-Rohr

6.4.3. Kosten pro lfm – Rohrmaterial St 37.0 PE-ummantelt

In den nachfolgenden Kapiteln 6.4.3.1 bis 6.4.3.5 werden die Kosten pro lfm Rohrleitung mit dem Rohrmaterial St 37.0 PE-ummantelt anhand der verschiedenen Varianten dargestellt.

Die Kosten für die jeweilige Gesamtmaßnahme finden sich in den einzelnen Kapiteln zur Variantenbetrachtung unter dem jeweiligen Kapitel „Kostenzusammenstellung“.

6.4.3.1. Variante 1A: Einleitstelle „Würgassen“

Länge Rohrleitung DN 700 = 99,5 km = 67 %

Länge Rohrleitung DN 1000 = 48,0 km = 33 %

Variante 1A: Einleitstelle Würgassen - Massen/Kosten pro lfm				
Medienrohr = Stahlrohr St 37.0, PE-ummantelt				
Annahme: Verlegung in Acker- und Grünflächen				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Oberboden abtragen	4,80	m ²	2,00 €	9,60 €
Oberboden andecken, auflockern, Ansaat	4,80	m ²	3,00 €	14,40 €
Leitungsgraben herstellen, Boden seitlich lagern und wiedereinbauen, überschüssigen Boden entfernen	4,21	m ²	16,00 €	67,36 €
Zulage Montagegruben	0,10	St	70,00 €	7,00 €
Grundungssohle verdichten	2,00	m ²	0,50 €	1,00 €
Feinkies-/Sandumhüllung herstellen	2,22	m ²	30,00 €	66,48 €
Stahlrohr DN700, liefern und einbauen	0,67	m	610,00 €	411,48 €
Stahlrohr DN1000, liefern und einbauen	0,33	m	1.050,00 €	344,97 €
Zwischenplane herstellen	2,00	m ²	0,30 €	0,60 €
Leerrohr DN160 herstellen	4,00	m	8,50 €	34,00 €
Zulage Kreuzungen	1,00	St	29,75 €	29,75 €
Zulage Waldbereiche	0,12	m	200,00 €	24,00 €
Zulage Siedlungsbereiche	0,01	m	400,00 €	4,00 €
Schieberstation (alle 10km)	0,0001	SR	30.000,00 €	3,00 €
Summe				1.017,64 €
Baustelleneinrichtung		5,0%		50,88 €
Regie-Sicherheit für Unvorhersehbares		15,0%		152,65 €
Kosten netto				1.221,17 €

Tabelle 23: Einleitstelle Würgassen - Massen/Kostenermittlung pro lfm Stahl-Rohr 37.0/PE

6.4.3.2. Variante 1B: Einleitstelle „Petershagen“

Länge Rohrleitung DN 800 = 228,9 km = 83 %

Länge Rohrleitung DN 1000 = 48,0 km = 17 %

Variante 1B: Einleitstelle Petershagen - Massen/Kosten pro lfm				
Medienrohr = Stahlrohr St 37.0, PE-ummantelt				
Annahme: Verlegung in Acker- und Grünflächen				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Oberboden abtragen	4,80	m ²	2,00 €	9,60 €
Oberboden andecken, auflockern, Ansaat	4,80	m ²	3,00 €	14,40 €
Leitungsgraben herstellen, Boden seitlich lagern und wiedereinbauen, überschüssigen Boden entfernen	4,35	m ³	16,00 €	69,58 €
Zulage Montagegruben	0,10	St	70,00 €	7,00 €
Gründungssohle verdichten	2,03	m ²	0,50 €	1,02 €
Feinkies-/Sandummüllung herstellen	2,29	m ³	30,00 €	68,78 €
Stahlrohr DN800, liefern und einbauen	0,83	m	750,00 €	620,01 €
Stahlrohr DN1000, liefern und einbauen	0,17	m	1.080,00 €	183,72 €
Zwischenplanke herstellen	2,03	m ²	0,30 €	0,61 €
Leerrohr DN160 herstellen	4,00	m	8,50 €	34,00 €
Zulage Kreuzungen	1,00	St	28,00 €	28,00 €
Zulage Waldbereiche	0,11	m	200,00 €	22,00 €
Zulage Siedlungsbereiche	0,02	m	400,00 €	8,00 €
Schleberstation (alle 10km)	0,0001	St	30.000,00 €	3,00 €
Summe				1.069,72 €
Baustelleneinrichtung		5,0%		53,49 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares		15,0%		160,48 €
Kosten netto				1.283,67 €

Tabelle 24: Einleitstelle Petershagen - Massen/Kostenermittlung pro lfm Stahl-Rohr 37.0/PE

6.4.3.3. Variante 1C: Einleitstelle „Langwedel“

Länge Rohrleitung DN 900 = 299,2 km = 86 %

Länge Rohrleitung DN 1000 = 48,0 km = 14 %

Variante 1C: Einleitstelle Langwedel - Massen/Kosten pro lfm				
Medienrohr = Stahlrohr St 37.0, PE-ummantelt				
Annahme: Verlegung in Acker- und Grünflächen				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Oberboden abtragen	4,80	m ²	2,00 €	9,60 €
Oberboden andecken, auflockern, Ansaat	4,80	m ²	3,00 €	14,40 €
Leitungsgraben herstellen, Boden seitlich lagern und wiedereinbauen, überschüssigen Boden entfernen	4,68	m ³	16,00 €	74,89 €
Zulage Montagegruben	0,10	St	70,00 €	7,00 €
Gründungssohle verdichten	2,11	m ²	0,50 €	1,06 €
Feinkies-/Sandummüllung herstellen	2,48	m ³	30,00 €	73,92 €
Stahlrohr DN900, liefern und einbauen	0,88	m	950,00 €	818,87 €
Stahlrohr DN1000, liefern und einbauen	0,14	m	1.080,00 €	146,54 €
Zwischenplanke herstellen	2,11	m ²	0,30 €	0,63 €
Leerrohr DN160 herstellen	4,00	m	8,50 €	34,00 €
Zulage Kreuzungen	1,00	St	28,00 €	28,00 €
Zulage Waldbereiche	0,07	m	200,00 €	14,00 €
Zulage Siedlungsbereiche	0,01	m	400,00 €	4,00 €
Schleberstation (alle 10km)	0,0001	St	30.000,00 €	3,00 €
Summe				1.229,71 €
Baustelleneinrichtung		5,0%		61,49 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares		15,0%		184,45 €
Kosten netto				1.475,65 €

Tabelle 25: Einleitstelle Langwedel - Massen/Kostenermittlung pro lfm Stahl-Rohr 37.0

6.4.3.4. Variante 2A: Einleitstelle „Wilhelmshaven“

Länge Rohrleitung DN 700 = 393,4 km = 89 %

Länge Rohrleitung DN 800 = 48,0 km = 11 %

Variante 2A: Einleitstelle Wilhelmshaven - Massen/Kosten pro lfm				
Medienrohr = Stahlrohr St 37.0, PE-ummantelt				
Annahme: Verlegung in Acker- und Grünflächen				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Oberboden abtragen	4,80	m ²	2,00 €	9,60 €
Oberboden andecken, auflockern, Ansaat	4,80	m ²	3,00 €	14,40 €
Leitungsgraben herstellen, Boden seitlich lagern und wiedereinbauen, überschüssigen Boden entfernen	3,84	m ²	16,00 €	61,50 €
Zulage Montagegruben	0,10	St	70,00 €	7,00 €
Gründungssohle verdichten	1,91	m ²	0,50 €	0,96 €
Feinkies-/Sandumhüllung herstellen	2,03	m ²	30,00 €	60,83 €
Stahlrohr DN700, liefern und einbauen	0,89	m	610,00 €	543,67 €
Stahlrohr DN800, liefern und einbauen	0,11	m	750,00 €	81,55 €
Zwischenplanie herstellen	1,91	m ²	0,30 €	0,57 €
Leerrohr DN160 herstellen	4,00	m	8,50 €	34,00 €
Zulage Kreuzungen	1,00	St	28,25 €	28,25 €
Zulage Waldbereiche	0,06	m	200,00 €	12,00 €
Zulage Siedlungsbereiche	0,01	m	400,00 €	4,00 €
Schieberstation (alle 10km)	0,0001	St	30.000,00 €	3,00 €
Summe				861,33 €
Baustelleneinrichtung		5,0%		43,07 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares		17,5%		150,73 €
Kosten netto				1.055,13 €

Tabelle 26: Einleitstelle Wilhelmshaven - Massen/Kostenermittlung pro lfm Stahl-Rohr 37.0/ PE

6.4.3.5. Variante 2B: Einleitstelle „Nordsee“

Länge Rohrleitung DN 700 = 414,6 km = 90 %

Länge Rohrleitung DN 800 = 48,0 km = 10 %

Variante 2B: Einleitstelle Nordsee - Massen/Kosten pro lfm				
Medienrohr = Stahlrohr St 37.0, PE-ummantelt				
Annahme: Verlegung in Acker- und Grünflächen				
Position	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
Oberboden abtragen	4,80	m ²	2,00 €	9,60 €
Oberboden andecken, auflockern, Ansaat	4,80	m ²	3,00 €	14,40 €
Leitungsgraben herstellen, Boden seitlich lagern und wiedereinbauen, überschüssigen Boden entfernen	3,84	m ²	16,00 €	61,48 €
Zulage Montagegruben	0,10	St	70,00 €	7,00 €
Gründungssohle verdichten	1,91	m ²	0,50 €	0,96 €
Feinkies-/Sandumhüllung herstellen	2,03	m ²	30,00 €	60,80 €
Stahlrohr DN700, liefern und einbauen	0,90	m	610,00 €	546,70 €
Stahlrohr DN800, liefern und einbauen	0,10	m	750,00 €	77,83 €
Zwischenplanie herstellen	1,91	m ²	0,30 €	0,57 €
Leerrohr DN160 herstellen	4,00	m	8,50 €	34,00 €
Zulage Kreuzungen	1,00	St	27,25 €	27,25 €
Zulage Waldbereiche	0,06	m	200,00 €	12,00 €
Zulage Siedlungsbereiche	0,01	m	400,00 €	4,00 €
Zulage Verlegung im Küstengewässer	0,05	m	760,00 €	34,28 €
Schieberstation (alle 10km)	0,0001	St	30.000,00 €	3,00 €
Summe				893,65 €
Baustelleneinrichtung		5,0%		44,69 €
Regie/Sicherheit für Unvorhersehbares		17,5%		156,42 €
Kosten netto				1.094,96 €

Tabelle 27: Einleitstelle Nordsee - Massen/Kostenermittlung pro lfm Stahl-Rohr 37.0/ PE

7. Ansätze zur Betriebskostenermittlung

7.1. Allgemeine Grundlagen

Die Betriebskosten teilen sich folgendermaßen auf

1. Energiekosten durch Pumpwerke und Nebenaggregate
2. Allgemeine Betriebskosten durch Betrieb und Überwachung der Rohrfernleitungsanlage gemäß TRFL und BetrSichV

Für die Betriebskosten werden ausschließlich prozentuale Ansätze genannt da hier Randbedingungen zu berücksichtigen sind, welche ausführlich mit K+S zu diskutieren sind.

Dies sind z.B. Nutzung vorhandener Strukturen, anzusetzende Grunddienstbarkeiten, Art und Weise der kaufmännischen Abwicklung, Betreuung der Grundstücksangelegenheiten (Katasterämter, Privatanfragen, Übertragung der Grunddienstbarkeiten bei Eigentümerwechsel etc.)

In den Ansätzen zur Betriebskostenermittlung sind die Planungskosten nicht enthalten.

Alle Kostenansätze erfolgen netto.

7.2. Berechnung der Energiekosten für ein Hauptpumpwerk

Medium	Sole	SI	g [m/s ²] = 9,80665
Volumenstrom	V_strom_ges [m ³ /h] = 2400	0,66666667 [m ³ /s]	=w_Rohr(V_Strom; d_i)
Innendurchmesser (Startwert notwendig!)	d_innen [mm] = 1.000,00	1 [m]	w [m/s] = 0,849
absolute Rohr-Rauigkeit	k [mm] = 0,10		Re [-] = 3,183E+05
Rohrlänge Druckstück	L [m] = 50.000,0		Re_krit [-] = 2.320,0
Rohrlänge gesamt			Strömungsart = turbulent
Zu überwindender Höhenunterschied	h_End - h_Anfang = Δh [m] = 264,00	-lambda_Rohr(Re;k_per_d)=>	λ [-] = 0,015299
Zu überwindender Druckunterschied	P_End - P_Anfang = Δp [bar] = 0,00	0,000E+00 [Pa]	Δp_v [Pa] = 3,4740E+05 3,474 [bar]
Temperatur	t [°C] = 10,0	<--- NUR für die Stoffwerte!	Δp_gesamt [Pa] = 3,4542E+06 34,542 [bar]
dynamische Viskosität	η [Pa·s] = 3,200E-03		P_el [M] = 2,952E+06
Dichte	ρ [kg/m ³] = 1.200,0		P_el [kW] = 2.952,27
kinematische Viskosität	ν [m ² /s] = 2,667E-06		
Wirkungsgrad der Pumpe	η_ges [-] = 78,0%		

Max. mögliche Stunden pro Jahr	Jahresstunden [h/a] = 8.760
Betriebsstunden pro Jahr	Betriebszeit [h/a] = 4.292
Energiepreis	E-Preis [€/kWh] = 0,08
Energiebedarf der Pumpe	P_el [kW] = 2.952,27
Investitionskosten je Meter	K-Invest_je_m [€/m] = 1.131
Investitionskosten (inkl. Montage)	K-Invest [€] = 166.829.875
Abschreibungsatz (inkl. Kapitaldienst)	Abschreibungs-Satz [%] = 0,00%
Jährliche Abschreibungen	Abschreibungen [€/a] = 0
Jährliche Fixkosten	K-Fix [€/a] = 0,00
Jährliche Energiekosten	E-Kosten [€/a] = 1.013.784

Abbildung 67: Berechnung der Energiekosten für ein Hauptpumpwerk

Die Energiekosten für das Hauptpumpwerk betragen bei den Wesertrassen: 1,01 Mio. €/a und den Nordseetrassen: 1,00 Mio. €/a.

7.3. Kostenansätze für den Betrieb einer Rohrfernleitungsanlage gemäß TRFL und BetrSichV

- Die nachfolgend genannten Kostenansätze sind einer aktuellen Betriebskostenkalkulation der ISG / ISH (InfraServ Höchst) für den Betrieb einer Gasfernleitung entnommen.
- Die Basis des Kostenansatzes sind die Gesamtinvestitionskosten (> 100 Mio. €) für diese Gasfernleitung DN 250.
- Die Organisation des Betriebes und der Überwachung hat im Wesentlichen gemäß der TRFL und BetrSichV zu erfolgen.
- Die benötigten Grunddienstbarkeiten sind nicht in den Kostenansätzen enthalten und gesondert zu kalkulieren.
- Die Überwachung der Rohrfernleitung erfolgt im stationären Betrieb mittels Begehung, Befahrung oder Befliegung.
- Kostenrichtwert für Befliegung: 150 €/km und Jahr. Durchführung 1-mal pro Monat.

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">1. Mitwirkung des Betreibers (K+S AG) bis zur Inbetriebnahme</td> <td style="width: 5%; text-align: right;">0,30%</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> Aufbau einer Organisation f. d. Betrieb u.d. Überwachung Mitwirkung bei der Erstellung v. Alarm- u. Gefahrenabwehrplänen <i>Erstellung der Pläne fällt unter Planungsleistungen</i> </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> Mitwirkung bei der Erstellung eines Betriebshandbuchs <i>Erstellung des Betriebshandbuchs fällt unter Planungsleistungen</i> </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> Mitwirkung an Behördenverfahren, Bauausführungen und bei der Inbetriebnahme <i>Die Erstellung der Detailplanung GIS, Fernmeldetechnik, Korrosionsschutzsystem und Leckageerkennung ist Teil der Planungsleistungen</i> </td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <tr> <td style="width: 20%;">2. Ausrüstung, Systembeschreibung, Leitzentrale Anbindungskosten an Messwerte des Betreibers</td> <td style="width: 5%; text-align: right;">-- %</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Nutzung einer bestehenden Leitzentrale?</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <tr> <td style="width: 20%;">3. Maßnahmen für Betrieb und Überwachung der Rohrfernleitung</td> <td style="width: 5%; text-align: right;">1,20%</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> Instandhaltung der Rohrfernleitung Überwachung der Rohrfernleitung Überwachung der kathodischen Schutzanlagen Wartung der Nachrichtenanlage Maßnahmen für den Fall bei Betriebsstörungen, insbesondere bei Undichtigkeiten (Bereitschaftsdienst) Aufwand Leitzentrale und Überwachung Betriebsbeauftragter Einweisungen und Notfallübungen gem. Alarm u. Gefahrenabwehrplan </td> </tr> </table>	1. Mitwirkung des Betreibers (K+S AG) bis zur Inbetriebnahme	0,30%	Aufbau einer Organisation f. d. Betrieb u.d. Überwachung Mitwirkung bei der Erstellung v. Alarm- u. Gefahrenabwehrplänen <i>Erstellung der Pläne fällt unter Planungsleistungen</i>		Mitwirkung bei der Erstellung eines Betriebshandbuchs <i>Erstellung des Betriebshandbuchs fällt unter Planungsleistungen</i>		Mitwirkung an Behördenverfahren, Bauausführungen und bei der Inbetriebnahme <i>Die Erstellung der Detailplanung GIS, Fernmeldetechnik, Korrosionsschutzsystem und Leckageerkennung ist Teil der Planungsleistungen</i>		2. Ausrüstung, Systembeschreibung, Leitzentrale Anbindungskosten an Messwerte des Betreibers	-- %	Nutzung einer bestehenden Leitzentrale?		3. Maßnahmen für Betrieb und Überwachung der Rohrfernleitung	1,20%	Instandhaltung der Rohrfernleitung Überwachung der Rohrfernleitung Überwachung der kathodischen Schutzanlagen Wartung der Nachrichtenanlage Maßnahmen für den Fall bei Betriebsstörungen, insbesondere bei Undichtigkeiten (Bereitschaftsdienst) Aufwand Leitzentrale und Überwachung Betriebsbeauftragter Einweisungen und Notfallübungen gem. Alarm u. Gefahrenabwehrplan		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">4. Ingenieurtechnische Leistungen / beratendes</td> <td style="width: 5%; text-align: right;">0,25%</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> Wartung, Kontrolle und Instandhaltung Alarm- und Einsatzpläne Behördenengineering Ingenieurtechnische Leistungen und beratendes Engineering während des Betriebs <i>Unterstützung bei Mischungen und Havarien sind im Einzelfall zu kalkulieren und hier nicht enthalten</i> </td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <tr> <td style="width: 20%;">5. Kaufmännische Abwicklung -> entfällt</td> <td style="width: 5%; text-align: right;">-- %</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <i>Transportverträge und Disposition spielen keine Rolle zugehörige Fakturierung, Debitoren, Kreditoren, Finanzen und Bilanzen entfällt ebenso kaufmännisches Reporting?</i> </td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <tr> <td style="width: 20%;">7. Pumpenergiekosten</td> <td style="width: 5%;"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"><i>siehe separate Kalkulation</i></td> </tr> </table> <p style="color: red; margin-top: 10px;">Planungsleistungen sind nicht Teil der Investitionskosten- und Betriebskostenabschätzung</p>	4. Ingenieurtechnische Leistungen / beratendes	0,25%	Wartung, Kontrolle und Instandhaltung Alarm- und Einsatzpläne Behördenengineering Ingenieurtechnische Leistungen und beratendes Engineering während des Betriebs <i>Unterstützung bei Mischungen und Havarien sind im Einzelfall zu kalkulieren und hier nicht enthalten</i>		5. Kaufmännische Abwicklung -> entfällt	-- %	<i>Transportverträge und Disposition spielen keine Rolle zugehörige Fakturierung, Debitoren, Kreditoren, Finanzen und Bilanzen entfällt ebenso kaufmännisches Reporting?</i>		7. Pumpenergiekosten		<i>siehe separate Kalkulation</i>	
1. Mitwirkung des Betreibers (K+S AG) bis zur Inbetriebnahme	0,30%																												
Aufbau einer Organisation f. d. Betrieb u.d. Überwachung Mitwirkung bei der Erstellung v. Alarm- u. Gefahrenabwehrplänen <i>Erstellung der Pläne fällt unter Planungsleistungen</i>																													
Mitwirkung bei der Erstellung eines Betriebshandbuchs <i>Erstellung des Betriebshandbuchs fällt unter Planungsleistungen</i>																													
Mitwirkung an Behördenverfahren, Bauausführungen und bei der Inbetriebnahme <i>Die Erstellung der Detailplanung GIS, Fernmeldetechnik, Korrosionsschutzsystem und Leckageerkennung ist Teil der Planungsleistungen</i>																													
2. Ausrüstung, Systembeschreibung, Leitzentrale Anbindungskosten an Messwerte des Betreibers	-- %																												
Nutzung einer bestehenden Leitzentrale?																													
3. Maßnahmen für Betrieb und Überwachung der Rohrfernleitung	1,20%																												
Instandhaltung der Rohrfernleitung Überwachung der Rohrfernleitung Überwachung der kathodischen Schutzanlagen Wartung der Nachrichtenanlage Maßnahmen für den Fall bei Betriebsstörungen, insbesondere bei Undichtigkeiten (Bereitschaftsdienst) Aufwand Leitzentrale und Überwachung Betriebsbeauftragter Einweisungen und Notfallübungen gem. Alarm u. Gefahrenabwehrplan																													
4. Ingenieurtechnische Leistungen / beratendes	0,25%																												
Wartung, Kontrolle und Instandhaltung Alarm- und Einsatzpläne Behördenengineering Ingenieurtechnische Leistungen und beratendes Engineering während des Betriebs <i>Unterstützung bei Mischungen und Havarien sind im Einzelfall zu kalkulieren und hier nicht enthalten</i>																													
5. Kaufmännische Abwicklung -> entfällt	-- %																												
<i>Transportverträge und Disposition spielen keine Rolle zugehörige Fakturierung, Debitoren, Kreditoren, Finanzen und Bilanzen entfällt ebenso kaufmännisches Reporting?</i>																													
7. Pumpenergiekosten																													
<i>siehe separate Kalkulation</i>																													

Tabelle 28: Betriebs- und Überwachungskosten Prozentuale Ansätze

Die gezeigte Betrachtung liefert lediglich die Ansätze für eine weitergehende Betriebskosten-Betrachtung. Diese kann nur in Zusammenarbeit mit dem späteren Betreiber erfolgen.

8. Auslegungsgrundlagen

8.1. Angaben zum Fördermedium

Transportmedium: Salzwasser, natriumchloridhaltig

Wassergefährdungsklasse: WGK 1 (Festlegung nach VwVwS Anhang 2)

Fischeigiftigkeit: 52 G_{ei}

Quelle: Ingenieur- und Planungsbüro Lange (2009): Umweltverträglichkeitsuntersuchung zur Salzwasserleitung Neudorf – Phillipstal, Kapitel A: Projektbegründung und -beschreibung

8.1.1. Stoffeigenschaften

Die Salzwässer bestehen aus einer schwach sauer reagierenden (pH-Wert 6 bei 20 °C) wässrigen Salzlösung.

H ₂ O	KCl	NaCl	MgSO ₄	MgCl ₂	Dichte	Kin. Viskosität
g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	m ² /s
919	37	122	74	58	1209 (bei 20 °C)	2,9*10 ⁻⁶

Tabelle 29: Durchschnittliche Zusammensetzung der Inhaltsstoffe, Dichte und Viskosität des zu transportierenden Salzwassers (Mittelwert aus den Jahren 2000 - 2008)

Möglicherweise unterschiedliche Zusammensetzung des Salzabwassers resultiert aus der Zwischenspeicherung im Plattendolomit.

Das Salzwasser ist kein Gefahrstoff im Sinne der Gefahrstoffverordnung bzw. der EGGefahrstoff-Richtlinie in den zuletzt gültigen Fassungen.

Hilfsstoffe zur Aufbereitung der Rohsalze sind in den Salzwässern nur im Promillebereich nachweisbar. Sonstige gefährliche Inhaltsstoffe und Reaktionsprodukte sind nicht bekannt.

Quelle: Ingenieur- und Planungsbüro Lange (2009): Umweltverträglichkeitsuntersuchung zur Salzwasserleitung Neudorf – Phillipstal, Kapitel A: Projektbegründung und -beschreibung

8.1.2. Durchsatzmengen

7 Mio. m³/a kontinuierlich anfallendes Soleabwasser sind abzuleiten. Für den Transport werden die Soleabwässer verdünnt, je nach Einleitungsvariante auf 10 Mio. m³/a bzw. 20 Mio. m³/a.

Wesertrasse (Variante 1): Rohrkapazität für 20 Mio. m³/a

Nordseetrasse (Variante 2): Rohrkapazität für 10 Mio. m³/a

Für die Auslegung der Kapazität für die Einleitung in die Wesertrasse wurde die Vorgabe der Nichteinleitung von einem halben Jahr berücksichtigt.

8.2. Anzuwendende technische Regelwerke

Grundsätzlich sind für die Planung und Errichtung einer Rohrfernleitung zum Soletransport die folgenden aufgezählten technischen Regelwerke zu berücksichtigen.

- EG Gefahrstoffrichtlinie
- Gefahrstoffverordnung
- Technische Richtlinie für Rohrfernleitungen (TRFL)
- Druckgeräte richtlinie AD 2000
- Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)
- DVGW GW 301 u.ä.
- Einstufung gemäß BetrSichV
- VAWS kommt nicht zur Anwendung

Nach aktuellem Kenntnisstand liegen seitens K+S keine Werksnormen bzw. Rohrklassen vor die bei der Ausführung zu berücksichtigen sind.

Das folgende Einstufungsprogramm zeigt auf, dass für Rohrleitungen für Flüssigkeiten – ätzende Fluide mit den Auslegungsdaten von max. zul. Druck von 40 bar und einer Nennweite von DN 800 nach § 14 der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) durch den TÜV geprüft werden müssen.

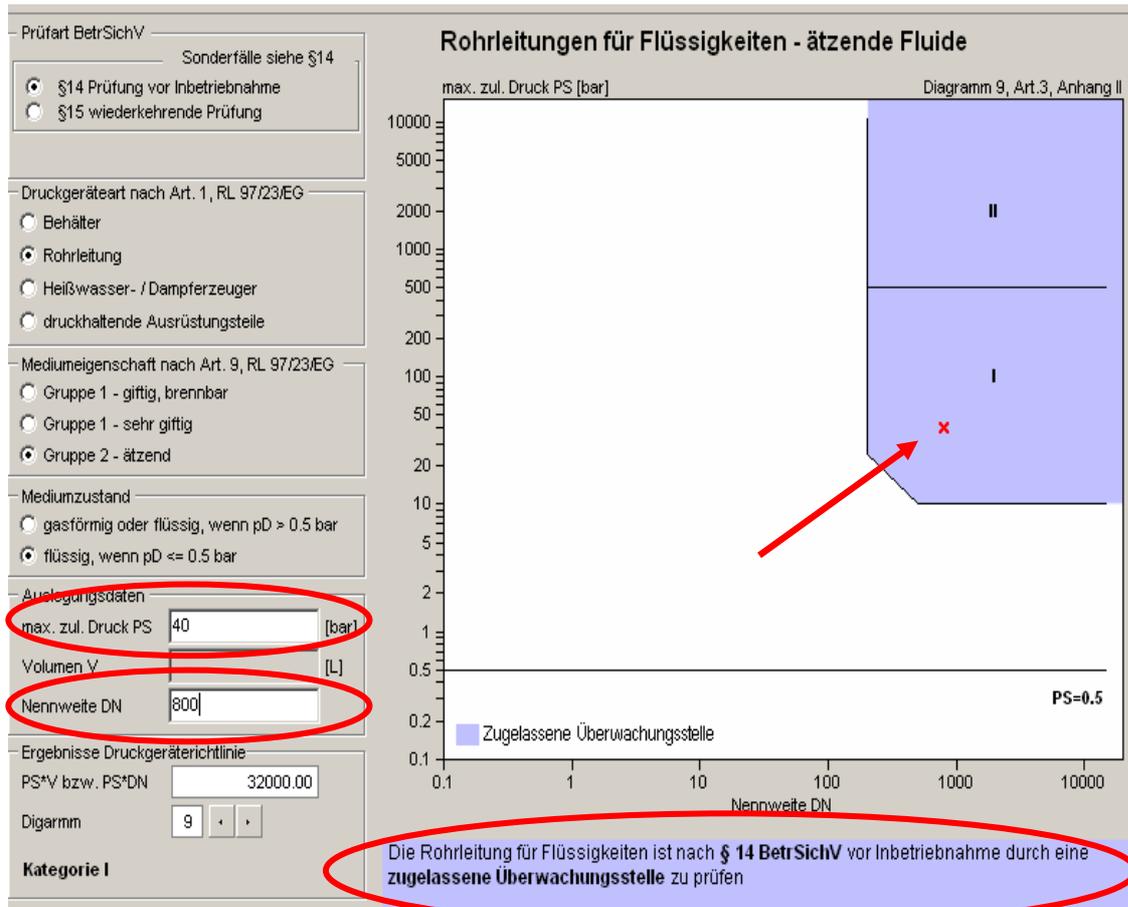


Abbildung 68: Einstufung der Rohrleitung DN 800 nach § 14 BetrSichV

8.3. Materialauswahl

8.3.1. Grundsätzliche Überlegungen zur Materialauswahl

Im ersten Ansatz stehen vier verschiedene Materialien zur Errichtung der Rohrfernleitung zur Verfügung. Diese sind:

1. Stahlrohr L360 MB außen Polyethylen (PE) ummantelt mit elektrischem Kathodenschutz (ähnlich St 37.0)
2. Rohr aus glasfaserverstärktem Kunststoff
3. Stahlrohr, St37.0 außen Polyethylen (PE) ummantelt, ausgekleidet mit Schmelzbasalt als Korrosions- und Verschleißschutz
4. Kunststoffrohr aus HDPE 100

Zu 1. Stahlrohr L360MB, PE ummantelt:

Einfaches Stahlrohr aus L360MB oder vergleichbar stellt eine verhältnismäßig günstige Variante dar. Der äußere Korrosionsschutz ist einwandfrei durch vollständige PE Ummantelung zu erreichen. Der Korrosionsschutz gegen elektrochemischen Angriff wird über elektrischen, kathodischen Korrosionsschutz sowie durch Materialzuschlag (stärkere Wanddicke) erfolgen. Da hierbei kein ausgesprochener Verschleißschutz vorliegt sind möglicherweise zusätzliche Maßnahmen zu treffen, um den Anteil an Feststoffen im transportierten Medium zu minimieren sowie das Auftreten von freiem Sauerstoff zu verhindern.

Zu 2. Glasfaserverstärkter Kunststoff:

GfK ist gegenüber dem eingesetzten Medium beständig. Aktuell werden entsprechende Referenzen im Nordseeraum für die Ableitung von Sole aus Kavernenspülungen errichtet und betrieben.

GfK Rohrleitungen sind zudem auch in Druckstufen bis PN 32 (Standard) und PN 40 (Sonderfertigung) einsetzbar. Die genauen Grenzen sind noch mit den Herstellern abzuklären.

Von Vorteil ist zudem, dass bei entsprechender Menge die Rohrleitung bzgl. des Durchmessers nach Kundenanforderung gebaut werden kann.

Nachteilig ist, dass die Rohrstöße vor Ort per Hand laminiert werden müssen, dies erfordert eine aufwändige Qualitätssicherung und limitiert möglicherweise die Arbeitsgeschwindigkeit.

Zu 3. Stahlrohr L360MB, PE ummantelt und mit Schmelzbasalt ausgekleidet:

Gemäß Aussage eines Herstellers „Kalenborn“ hat das genannte Rohr zwei wesentliche Systemgrenzen:

- Die Schmelzbasaltauskleidung verhindert nicht das Vordringen des Mediums bis zum Stahlmantel, insbesondere an Rohrstößen. Dies bedeutet, dass die Auskleidung keinen Korrosionsschutz bietet.
- Das Rohr kann wirtschaftlich nur bis zu einem Durchmesser von DN 500 gefertigt werden

Bei überschlägiger Berechnung müssten zudem sämtliche Produktionskapazitäten der am deutschen Markt vertretenen Hersteller gebündelt werden, um eine Fernleitung bis zur Nordsee zu realisieren.

Vorteil dieser Bauart ist die hohe Beständigkeit gegenüber Abrasion.

Nachteilig ist, dass die Innenauskleidung keinen Schutz gegen elektrochemische Korrosion darstellt. Reparaturen sind bei diesem System deutlich aufwendiger als mit herkömmlicher Bauweise.

Die hydraulische Auslegung zeigt weiterhin, dass dieser Rohrtyp nicht wirtschaftlich eingesetzt werden kann.

Zu 4. Kunststoffrohr HDPE 100:

Vorteil des Materials ist die vollständige Beständigkeit gegenüber der zu transportierenden Sole. Auch sind solche Rohrleitungen in großem Maßstab industriell zu fertigen und somit leicht verfügbar.

Nachteilig ist, dass PE wenig abrasionsfest ist und nur bis zu Druckstufen von PN16 oder PN 25 bzw. bis zu Rohrdurchmessern von DN 400 bis DN 500 wirtschaftlich einsetzbar ist. Bei größeren Drücken wie sie für die Rohrfernleitung benötigt werden steigen die benötigten Wandstärken überproportional an.

8.3.2. Materialauswahl nach Technische Richtlinie für Rohrfernleitungen (TRFL)

Lieferzustand	Einteilung nach EN 10020	Kurzname	Werkstoffnummer
Normalgeglüht oder normalisierend umgeformt	Unlegierter Qualitätsstahl	L245NB	1.0457
		L290NB	1.0484
		L360NB	1.0582
Vergütet	Legierter Edelstahl	L415NB	1.8972
	Unlegierter Qualitätsstahl	L360QB	1.8948
		L415QB	1.8947
		L450QB	1.8952
		L485QB	1.8955
		L555QB	1.8957
		Thermomechanisch gewalzt	Unlegierter Qualitätsstahl
L290MB	1.0429		
L360MB	1.0578		
Legierter Edelstahl	L415MB		1.8973
	L450MB		1.8975
	L485MB		1.8977
	L555MB		1.8978

Tabelle 30: Einteilung und Bezeichnung der Stahlsorten

Die speziellen Vorgaben der TRFL bezüglich Soleleitungen weisen auf die dargestellte Auswahl hin.

L360MB ist gemäß Rücksprache mit Salzgitter AG (Materialforschungsstelle) als geeignet eingestuft.

Die endgültige Materialauswahl hängt zudem von der aktuellen Preissituation und der Verfügbarkeit bestimmter Stähle ab und muss in Zusammenarbeit mit den Herstellern erarbeitet werden.

9. Verfahrenstechnik

9.1. Rahmenbedingungen

Die Fa. Sydro Consult GmbH hat für die vorliegende Machbarkeitsstudie die hydrologische Bewertung vorgenommen. Im Folgenden erläutert Sydro Consult GmbH die geltenden Rahmenbedingungen, die für die weitere verfahrenstechnische Beurteilung und darauf basierende Kostenschätzung zugrunde gelegt wurden.

Das von der SYDRO Consult GmbH aufgestellte Prognosemodell dient dazu, unter veränderlichen Randbedingungen (Reduzierung der punktförmigen Emissionen, Rückgang der diffusen Einträge, unterschiedliche hydrologische Bedingungen) im Längsverlauf von Werra und Weser die Entwicklung der Chlorid-, Kalium- und Magnesiumkonzentration zu ermitteln. Die Bilanzierung sollte jeweils für einen Zeitraum von einem Jahr erfolgen, um verschiedene Maßnahmen hinsichtlich ihrer ökologischen Auswirkungen vergleichend bewerten zu können.

Das vorhandene Prognosemodell kann für eine Langzeitsimulation verwendet werden, bedarf aber noch der Implementierung von Betriebsregeln. Die Betriebsregeln sollen Handlungsanweisungen definieren, wie in Abhängigkeit der Zustände im Gewässer eine auf lange Sicht bestmögliche Minimierung der Salzbelastung bei gleichzeitiger Maximierung der Einleitung (= Minimierung des erforderlichen Speichervolumens) erfolgen kann. Die Optimierung erfolgt über die Analyse der Historie und anhand generierter hydrologischer Situationen (siehe nachfolgender Absatz).

Als Eingangsdaten für die Dimensionierung eines Speichervolumens stehen Zeitreihen von 1949 bis 2007 (Pegel Gerstungen) zur Verfügung. Um eine hohe Aussagesicherheit zu erreichen, sollte – wie in der Wasserwirtschaft üblich – der beobachtete Zeitraum stochastisch verlängert werden. Die verlängerten Belastungen weisen die gleichen statistischen Merkmale auf wie der tatsächlich beobachtete Zeitraum. Sie enthalten nur neue und auch extremere Bedingungen, wie sie nicht in den Beobachtungsreihen enthalten sind, aber genauso wahrscheinlich hätten auftreten können. Über den verlängerten Zeitraum lassen sich über die Simulation des Speichers statistische Aussagen zu dessen Wirkung ableiten, die allein aus einer 60 Jahre langen Beobachtungsreihe nicht möglich sind.

Über die Optimierung der Steuerstrategie hinsichtlich Befüllung und Entleerung im Zusammenspiel der Stapelbecken und der Situation im Gewässer ergibt sich eine Optimierung/Minimierung des benötigten Speichervolumens bei Einhaltung aller Randbedingungen und Zielkriterien. Der Speicher sollte z.B. für ein 100 jähriges Ereignis ausgelegt sein, d.h. eine Überschreitung der Maximalkonzentration im Gewässer erfolgt

dann, wenn sich hydrologische Bedingungen einstellen, denen eine Eintrittswahrscheinlichkeit von $\geq 100a$ zugewiesen werden kann.

Quelle: Sydro Consult GmbH Ingenieurgesellschaft für Systemhydrologie, Wasserwirtschaft und Informationssysteme (2009): Ergebnisse des Prognosemodells – Szenarienbetrachtung (Cl, K, Mg). Darmstadt.

9.2. Aufbau einer Rohrfernleitung

Im nachfolgenden Kapitel werden die einzelnen Bestandteile einer Rohrfernleitung erläutert. Grundsätzlich können folgende Aggregate zu einer Rohrfernleitung gehören:

- Rohrleitung
- Pumpsysteme
- Schieberstationen
- Molchstationen
- Entlüftungen, Entwässerungen und Becken
- Schachtvarianten

9.3. Hydraulische Auslegung einer Rohrleitung

Die hydraulische Auslegung der Rohrfernleitung ist nachfolgend dargestellt.

Für eine erste überschlägige Auslegung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Maximal zu überwindende Höhendifferenz von 494 m
- Startwert für die Betrachtung Rohrdurchmesser: 400 mm
- Leitungslänge: 450 km
- Volumenstrom: 1.000 m³/h (unterste Grenze; 1.000 x 24 x 365 = 8,76 Mio. m³/a)
- Rohrrauigkeit: 1 mm
- Transporttemperatur: 10 °C

Die Auslegungsannahmen wurden im Weiteren iterativ weiterentwickelt (siehe hydraulische Auslegung).

Die hydraulischen Berechnungen der Strömungswiderstände, die Ermittlung der statischen Druckverluste, sowie die Ermittlung der verschiedenen Durchsätze zur Festlegung der Rohrleitungsnennweiten werden ausführlich anhand einer Beispielrechnung in den nachfolgenden Kapiteln vorgestellt.

Um die benötigte Pumpleistung zu berechnen ist die Berechnung der insgesamt auftretenden Druckverluste im System notwendig. Die Summe der Druckverluste ergibt sich dabei aus den Strömungsdruckverlusten (Rohrrauigkeit, Umlenkungsverluste, etc.) sowie den Druckverlusten aus der geodätischen Höhendifferenz, Differenz der Eingangs- und Ausgangsdrücke sowie der Leistung welche zum Beschleunigen des Mediums notwendig ist.

Für die Berechnung der Druckverluste kommen allgemeine Gleichungen für die Berechnung von inkompressiblen Flüssigkeiten (Newton'sche Fluide) zur Anwendung.

Dies sind speziell die Gleichung nach Colebrook und die Bernoulli Gleichung (Massenerhalt).

Als Eingabeparameter werden benötigt:

- Rohrdurchmesser in [mm]
- Rohrlänge in [m]
- Durchfluss [m³/h]
- Temperatur [°C]
- Rohrrauigkeit [mm]
- dynamische Viskosität des Fluids [Pas]

- Dichte des Fluids
- Näherungsweise der Pumpenwirkungsgrad [%]

Zusätzlich wird die Art und Anzahl der Rohrbauteile benötigt welche zusätzliche Druckverluste hervorrufen (Schieber, Kompensatoren, Bögen, etc.)

Aus diesen Daten kann der Druckverlust in Abhängigkeit des Volumenstroms (dynamischer Druckverlust) berechnet werden.

Hierzu ist der Druckverlust aus der auftretenden Höhendifferenz (1 bar pro 10 m Höhe) zu addieren.

9.3.1. Hydraulische Berechnung der Strömungswiderstände

Trassenabschnitt: Startpunkt – Max. Höhenpunkt (230m ü.N.N. – 494m ü.N.N.)

Q2 = 2.400 m³/h

Druckstück	Medium	Sole	SI	=w_Rohr(V_Strom; d_l) Colebrook-Gleichung:		
Rohr nach DIN	2448		0,6667 [m³/s]	w [m/s] = 0,849	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k/d}{3,71} \right)$	
Volumenstrom	V_Strom [m³/h] = 2.400,00			Re [-] = 3,183E+05		
Außendurchmesser	d_außen [mm] = 1.050,00			Re_vst [-] = 2.320,0	$\lambda = \frac{64}{Re}$	
Wandstärke	s [mm] = 25,00			Strömungsart = turbulent		
Innendurchmesser	d_innen [mm] = 1000		1,000 [m]	λ [-] = 0,014825	$\Delta p_{verlust} = \left(\frac{\lambda \cdot l}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$	
absolute Rohr-Rauigkeit	k [mm] = 0,05			Δp_verlust [Pa] = 3,2388E+05		
Rohrlänge	L [m] = 48.000,00			Δp_verlust [bar] = 3,239	$\Delta p_v = \left(\frac{\lambda \cdot l}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$	
Temperatur	t [°C] = 15,0			P_el [W] = 2,768E+05		
dynamische Viskosität	η [Pa·s] = 3,200E-03			P_el [kW] = 276,83	$\Delta p_v = \left(\frac{\lambda \cdot l}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$	
Dichte des Fluids	ρ [kg/m³] = 1.200,00					
kinematische Viskosität	ν [m²/s] = 2,667E-06				$\Delta p_v = \left(\frac{\lambda \cdot l}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$	
Pumpen-Wirkungsgrad	η_ges [-] = 78,0%					
Widerstände	Anzahl	Bezeichnung	Zeta	Σξ	= Delta_p_v(Lambda;L_Rohr;d_gl;Summe_Zeta;Rho;w)	
1.	15	Schieber	0,5	7,5	Verwendetes Rohrmaterial: Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK) Wandstärke: 25 mm Korrosionsbeständigkeit: nennbar Sole	
2.	15	Knie 120°	0,55	8,25		
3.	100	90°-Bogen R/d = 2	0,15	15		
4.	1	Lyra-Kompensator	0,6	0,6		
5.	8	Verjüngung	0,1	0,8		
6.	1	Eintritt (scharfkantig)	0,5	0,5		
7.	1	Saugkorb + Fußventil	5	5		
8.						
9.						
10.						
11.						
12.						
13.						
14.						
15.						
16.						
17.						
20.						
				Summe aller Widerstände:		37,65

Abbildung 69: Hydraulische Berechnung der Strömungswiderstände

9.3.2. Hydraulische Berechnung der statischen Druckverluste

Trassenabschnitt: Startpunkt – Max. Höhenpunkt (230m ü.N.N. – 494m ü.N.N.)

Q2 = 2.400 m³/h

Dichte des Fluids:	ρ [kg/m³] = 1.000,00	SR	g [m/s²] = 9,80665
Volumenstrom:	V_{Strom} [m³/s] = 2.400,00	SR	0,6667
Pumpen-Wirkungsgrad:	η_{Pump} [%] = 78,0%		
Reibungsverlust:	0,00		
Reibungsverlust:	0,660	* vom LETZTEN Rohrstrang/ Manuell zu aktualisieren!!	
Geodätische Höhenunterschiede:			
Δh_1 [m]	264,00	Δp_{gesam} [Pa] = 3.106.747	$\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta H_{\text{ges}}$
Δh_2 [m]		Δp_{gesam} [bar] = 31,067	$P_{\text{dilat}} = \frac{\Delta p \cdot V}{\eta_{\text{ges}}}$
Δh_3 [m]		P_{a} [MW] = 2,6556+08	
Δh_4 [m]		P_{a} [kW] = 2.655,34	
Summe Höhenunterschiede:	264,00		
Statische Druckdifferenz:			
Umgebungsdruck:	p_0 [bar abs.] = 0,981		
Anfangsdruck:	p_{Anfang} [bar U] = 0	[Oberdruck]	P_{a} [MW] = 0,000E+00
Abzweigdruck:	p_{Abzweig} [bar U] = 0	[Oberdruck]	P_{a} [kW] = 0,00
Druckdifferenz:	$\Delta p_{\text{statisch}}$ [bar] = 0		
Dynamische Druckdifferenz (zwischen Anfang und Ende):			
$\Delta p_{\text{kinetisch}}$:	-432	P_{a} [MW] = -3,695E-02	$\Delta p = \frac{\rho}{2} \cdot (v_{\text{End}}^2 - v_{\text{Anf}}^2)$
$\Delta p_{\text{kinetisch}}$:	0,00	P_{a} [kW] = -0,37	$P_{\text{kinetisch}} = \frac{\Delta p \cdot V}{\eta_{\text{ges}}}$
Δp_{gesamt} [Pa] = 3.431.074			
Δp_{gesamt} [bar] = 34,31			
$P_{\text{el, ges}}$ [kW] = 2.932,54	zur Kontrolle	2.932,54 [kW]	Bernoulli-Gleichung: $P_{\text{Anf}} + \rho \cdot g \cdot h_{\text{Anf}} + \frac{\rho}{2} \cdot v_{\text{Anf}}^2 + \Delta p_{\text{Pump}} = P_{\text{End}} + \rho \cdot g \cdot h_{\text{End}} + \frac{\rho}{2} \cdot v_{\text{End}}^2 + \Delta p_{\text{Reib}} + \Delta p_{\text{Dilat}}$ daraus folgt: $\Delta p_{\text{Pump}} = \Delta p_{\text{Reib}} + \Delta p_{\text{Dilat}} + P_{\text{End}} - P_{\text{Anf}} + \rho \cdot g \cdot (h_{\text{End}} - h_{\text{Anf}}) + \frac{\rho}{2} \cdot (v_{\text{End}}^2 - v_{\text{Anf}}^2)$

Abbildung 70: Hydraulische Berechnung der statischen Druckverluste

Bei einer Höhendifferenz von 264 m ergibt sich somit ein Leistungsbedarf für eine Pumpstation von ca. 3 MW.

9.3.3. Hydraulische Berechnung von Q1 und Q2

Q1 ist der Nennvolumenstrom von 1.200 m³/h bei kontinuierlicher Förderung des Abwassers.

Q2 ist der maximal zu fördernde Volumenstrom von 2.400 m³/h, wenn nur während eines halben Jahres gefördert werden darf.

Trassenabschnitt: Startpunkt – Max. Höhenpunkt (230m ü.N.N. – 494m ü.N.N.)

D_{iRohr} = 1.000 mm

Eingabefeld hier!!! V_Strom [m ³ /h] =	X [m ³ /h]	Y_1 [bar]	Y_2 P _{el, ges} [kW] =
	300,00	31,142	332,713
	800,0	31,502	897,495
	1.000,0	31,719	1.129,602
Q1	1.200,0	31,976	1.366,497
	1.400,0	32,272	1.608,983
	1.600,0	32,605	1.857,849
	1.800,0	32,976	2.113,873
	2.000,0	33,385	2.377,824
	2.200,0	33,830	2.650,462
Q2	2.400,0	34,311	2.932,542
	2.600,0	34,828	3.224,814
	2.800,0	35,381	3.528,023
	3.000,0	35,970	3.842,910
	3.200,0	36,594	4.170,212
	3.400,0	37,253	4.510,664
	3.600,0	37,947	4.864,997
	3.800,0	38,676	5.233,941
	4.000,0	39,440	5.618,222
	4.200,0	40,238	6.018,566
	4.400,0	41,071	6.435,696
	4.600,0	41,939	6.870,334
	4.800,0	42,841	7.323,199
	5.000,0	43,777	7.795,010
	5.200,0	44,747	8.286,486
	5.400,0	45,751	8.798,342
	5.600,0	46,790	9.331,294
	5.800,0	47,862	9.886,057
	6.000,0	48,968	10.463,344
	6.200,0	50,109	11.063,868

Abbildung 71: Hydraulische Berechnung von Q1 und Q2 - Tabellarische Darstellung

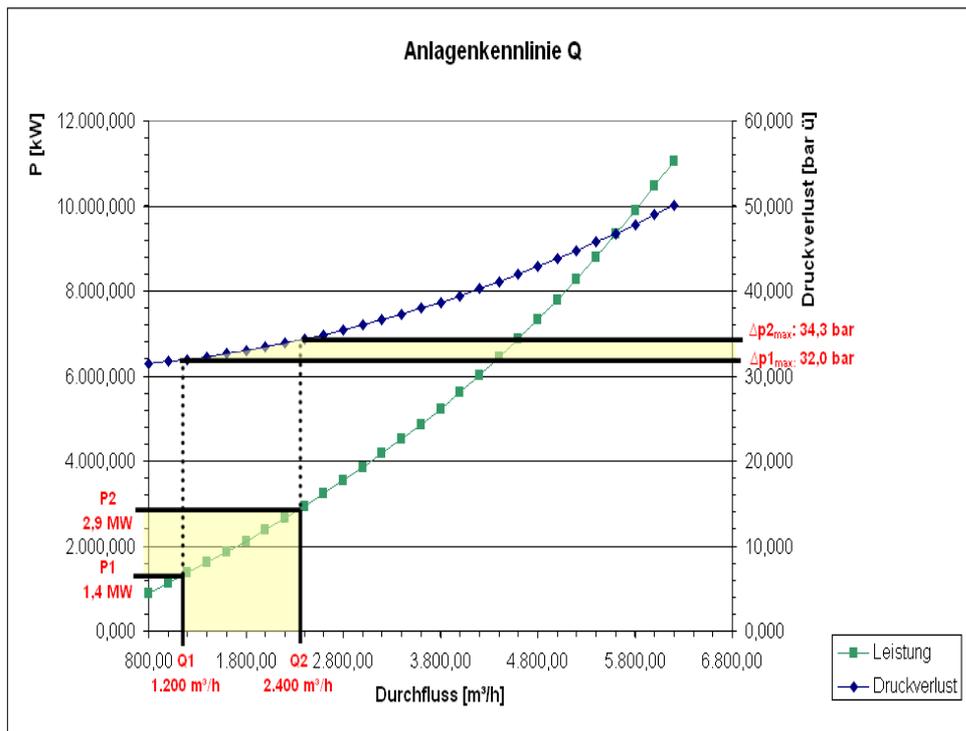


Abbildung 72: Hydraulische Berechnung von Q1 und Q2 – Anlagenkennlinie Q

Q1: 10 Mio. m³/a = 1.142 m³/h; gewählt: 1.200 m³/h

Q2: 20 Mio. m³/a = 2.283 m³/h; gewählt: 2.400 m³/h

Obige Tabelle ist die Datenbasis für die dargestellten Kurven.

Die blaue Kurve stellt die auftretenden Druckverluste in Abhängigkeit des Volumenstroms dar.

Die grüne Kurve stellt die benötigte Pumpleistung bei verschiedenen Volumenströmen bzw. davon abhängigen dynamischen Druckverlusten dar.

Der Durchmesser der Rohrleitung wird konstant gesetzt.

Die Kurven zeigen somit den Betriebsbereich bzgl. Druckverlust und aufzuwendender Leistung innerhalb der vorgegebenen Volumenströme.

9.3.4. Hydraulische Berechnung der verschiedenen Rohrdurchmesser

Im zweiten Schritt wird jetzt umgekehrt verfahren:

- Der Volumenstrom wird konstant gesetzt
- Der Rohrleitungsdurchmesser wird variiert.
- Aus dieser Betrachtung ergeben sich Ansätze für den wirtschaftlich sinnvollen Rohrdurchmesser.

9.3.5. Betrachtung bei Q1 = 1.200 m³/h

Trassenabschnitt: Startpunkt – Max. Höhenpunkt (230m ü.N.N. – 494m ü.N.N.)

	X	Y_1	Y_2
Eingabefeld hier!!!	Da [mm]	[bar]	P _{el, ges} [kW] =
V_Strom [m³/h] =	400,00	182,321	7.791,501
	400,0	182,321	7.791,501
	450,0	109,144	4.664,275
	500,0	74,771	3.195,333
Schmelzbasalt	550,0	57,133	2.441,589
	600,0	47,428	2.026,816
	650,0	41,775	1.785,261
	700,0	38,325	1.637,834
	750,0	36,135	1.544,238
	800,0	34,697	1.482,789
	850,0	33,725	1.441,260
	900,0	33,052	1.412,476
	950,0	32,575	1.392,079
	1.000,0	32,230	1.377,338
	1.050,0	31,976	1.366,497
	1.100,0	31,786	1.358,397
	1.150,0	31,643	1.352,258
	1.200,0	31,533	1.347,546
	1.250,0	31,447	1.343,886
	1.300,0	31,380	1.341,012
	1.350,0	31,326	1.338,734
	1.400,0	31,284	1.336,911
	1.450,0	31,249	1.335,440
	1.500,0	31,221	1.334,244
	1.550,0	31,198	1.333,264
	1.600,0	31,179	1.332,456
	1.650,0	31,164	1.331,785
	1.700,0	31,151	1.331,225
	1.750,0	31,140	1.330,755

Abbildung 73: Hydraulische Berechnung von Q_{nenn}=1.200m³/h - Tabellarische Darstellung

Bereits bei Betrachtung der Tabelle zeigt sich, dass der Einsatz von Schmelzbasaltrohren zu keiner wirtschaftlichen Betriebsweise führen kann.

- Die Rohrleitung bietet deutliche Kostennachteile bei Produktion und Verlegung
- Zusätzlich ist der Betrieb durch den beschränkten Durchmesser um den Faktor 1,5 bis 2 aufwendiger.

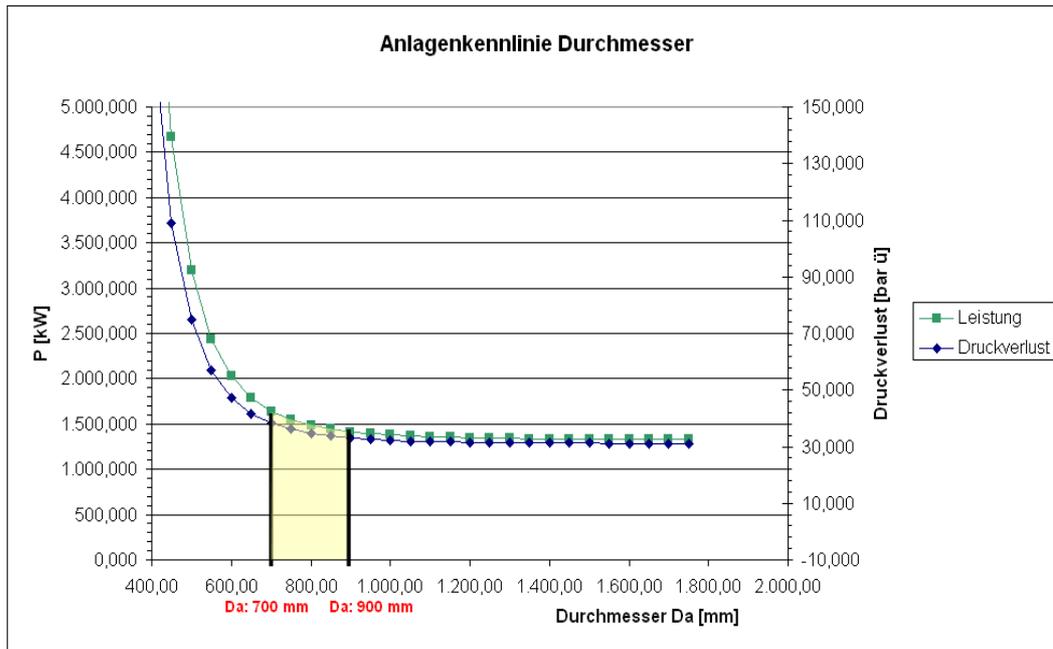


Abbildung 74: Hydraulische Berechnung von $Q_1=1.200\text{m}^3/\text{h}$ - Anlagenkennlinie Durchmesser

Um die optimale Leistung unter den gegebenen Voraussetzungen zu ermitteln wurde der Rohrdurchmesser in 50 mm Schritten vergrößert und über dem Druckverlust sowie der benötigten Leistung aufgetragen.

Es zeigt sich, dass der optimale Rohrdurchmesser voraussichtlich zwischen DN 700 und DN 900 zu finden ist. Die Druckdifferenz aus der geodätischen Höhe ist in diesem Bereich ausreichend, um den Transport des Mediums in Gang zu halten. Bei Verringerung des Rohrdurchmessers um 100 mm steigt die benötigte elektrische Leistung an der Pumpstation überproportional an.

Bei Vergrößerung des Rohrdurchmessers (rechts vom gelb markierten Bereich) kann keine wesentliche Energieeinsparung mehr erzielt werden, die Materialkosten steigen jedoch kontinuierlich an.

9.3.6. Q2 = 2.400 m³/h

Trassenabschnitt: Startpunkt – Max. Höhenpunkt (230 m ü.N.N. – 494 m ü.N.N.)

	X	Y_1	Y_2
Eingabefeld hier!!!	Da [mm]	[bar]	P _{el, ges} [kW] =
V _{Strom} [m³/h] =	400,00	599,624	51.249,919
	400,0	599,624	51.249,919
	450,0	322,124	27.531,951
	500,0	192,822	16.480,505
Schmelzbasalt	550,0	126,950	10.850,446
	600,0	90,932	7.771,941
	650,0	70,072	5.989,058
	700,0	57,403	4.906,221
	750,0	49,394	4.221,715
	800,0	44,156	3.774,000
	850,0	40,627	3.472,423
	900,0	38,189	3.264,012
	950,0	36,465	3.116,707
	1.000,0	35,223	3.010,496
	1.050,0	34,311	2.932,542
	1.100,0	33,631	2.874,406
	1.150,0	33,116	2.830,423
	1.200,0	32,722	2.796,710
	1.250,0	32,416	2.770,561
	1.300,0	32,176	2.750,056
	1.350,0	31,986	2.733,816
	1.400,0	31,834	2.720,835
	1.450,0	31,711	2.710,371
	1.500,0	31,612	2.701,869
	1.550,0	31,530	2.694,910
	1.600,0	31,463	2.689,175
	1.650,0	31,408	2.684,419
	1.700,0	31,361	2.680,451
	1.750,0	31,322	2.677,121

Abbildung 75: Hydraulische Berechnung von Q_{enn}=2.400m³/h - Tabellarische Darstellung

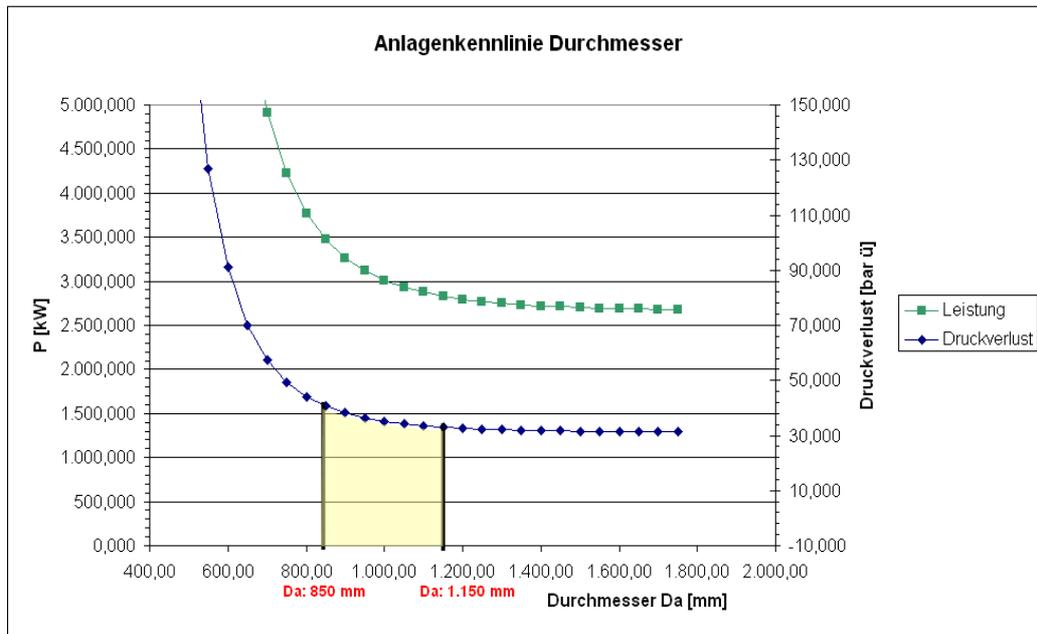


Abbildung 76: Hydraulische Berechnung von Q2=2.400m³/h - Anlagenkennlinie Durchmesser

Um die optimale Leistung unter den gegebenen Voraussetzungen zu ermitteln wurde der Rohrdurchmesser in 50 mm Schritten vergrößert und über dem Druckverlust sowie der benötigten Leistung aufgetragen.

Es zeigt sich, dass der optimale Rohrdurchmesser voraussichtlich zwischen DN 900 und DN1.100 zu finden ist.

Der Einsatz von Rohrleitungen mit Schmelzbasaltauskleidungen im Bereich DN 500 können nicht wirtschaftlich eingesetzt werden.

9.4. Pumpen

Die Auslegung der Pumpen ist abhängig von den benötigten Drücken und den Aufstellungsmöglichkeiten zu wählen.

Grundsätzlich bieten sich folgende Pumpentypen an:

- Mehrstufige trocken aufgestellte Pumpen: Diese Pumpen können trocken aufgestellt werden. Zudem kann mit diesem Pumpentyp die Anforderung an Druck und Durchflussmenge erfüllt werden.
- Bohrlochpumpen: Dieser Typ wird vielfach im „mining“ Sektor eingesetzt. Dort sind Pumpmedien mit hohen Feststoffanteilen, hohem Durchfluss sowie verhältnismäßig hohen Drücken zu bewältigen. Dieser Pumpentyp wird direkt getaucht in eine Kaverne o.ä. eingesetzt. kann.
- Standard Kreiselpumpen: können ebenfalls trocken aufgestellt werden, sind jedoch nur in bestimmten Auslegungsgrenzen standardisiert. Vorteil ist der günstige Investitionspreis
- Tauchpumpen: Tauchpumpen können direkt in die Vorlagebecken installiert werden, haben gute Wirkungsgrade und laufen durch die nasse Aufstellung sehr ruhig. Nachteilig ist jedoch der höhere Aufwand bei der Wartung der Gleitringdichtungen.

Die genauen Einsatzmöglichkeiten ergeben sich durch Erkenntnisse aus der verfeinerten hydraulischen Berechnung nach Vorliegen der topografischen Karten. Für die Studie haben sich in Zusammenarbeit mit einem Pumpenhersteller (KSB) die mehrstufige sowie die Bohrlochpumpe als wahrscheinlichste und wirtschaftlichste Lösung ergeben.

Um genaue Ansätze für ein Pumpwerk bzw. die vorgeschaltete Aufbereitungsanlage zu benennen müssen die Grundlagen eingehend mit K+S diskutiert und festgelegt werden.

Die Kosten für die benötigten Pumpen belaufen sich auf ca. 500.000 €. Diese Kosten sind in den Kalkulationen enthalten. Dazu sind Kosten für Gebäude, Elektrotechnik und Infrastruktur anzusetzen. Da nicht bekannt ist, ob eine Integration in die bestehenden Anlagen der K+S möglich ist besteht hier weiterer Untersuchungsbedarf.

Zum jetzigen Stand wird davon ausgegangen, dass das Medium voll aufbereitet an einem Übergabepunkt zur Verfügung steht (Aufbereitung seitens K+S).

9.4.1. Variante Mehrstufige trocken aufgestellte Pumpe

Hochdruckpumpe in Gliederbauart:

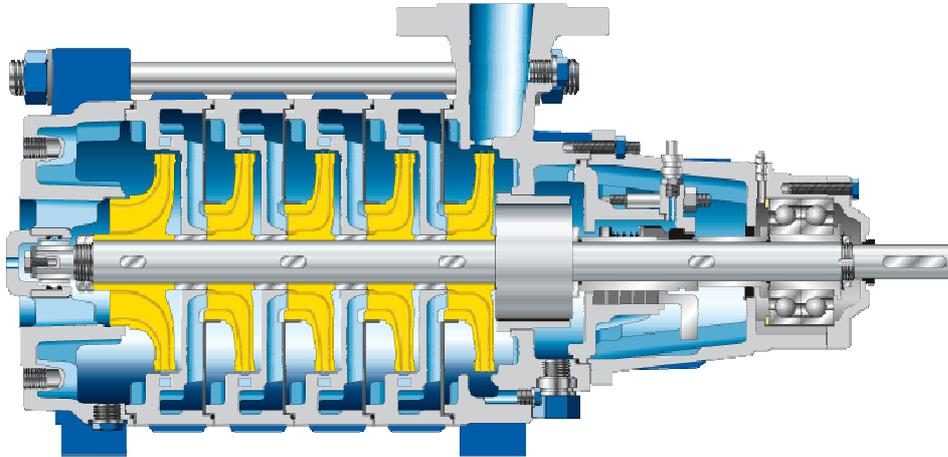


Abbildung 77: Hochdruckpumpe in Gliederbauart

Technische Daten:

Baugröße:	DN 32 bis 400
Fördermenge:	bis 850 m³/h
Förderhöhe:	630 m
Förderguttemperatur:	-10 °C bis +200 °C
Pumpendruck:	bis 63 bar

Einsatzgebiete:

- Wasserversorgung
- Trinkwasserversorgung (ACS)
- Industrie (ATEX)
- Bewässerung
- Kraftwerke
- Heizungs-, Filter-, Feuerlösch-, Umkehrosmose-, Schnee- und Waschanlagen

Werkstoffe:

Grauguss, Bronze, Stahlguss, legierter Stahlguss, Duplex

9.4.2. Variante nass aufgestellte Rohrpumpe

typischerweise im „Mining Sektor“ eingesetzt

Kavernen Anwendung von KSB getauchten Bohrlochwellenpumpen

Produktumpen für Propan, Butan und Öl

Leckwasserpumpen

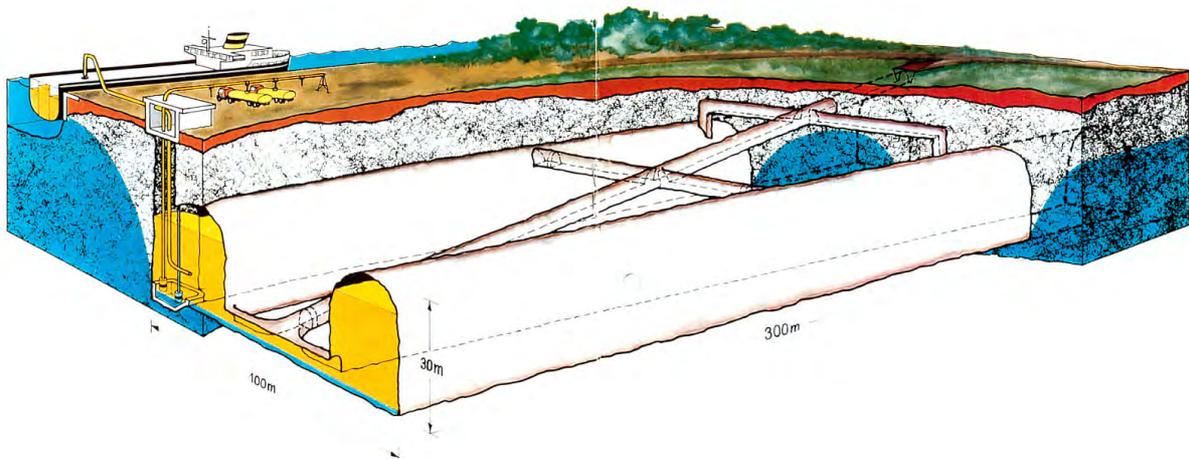


Abbildung 78: Schematische Darstellung nass aufgestellte Rohrpumpe

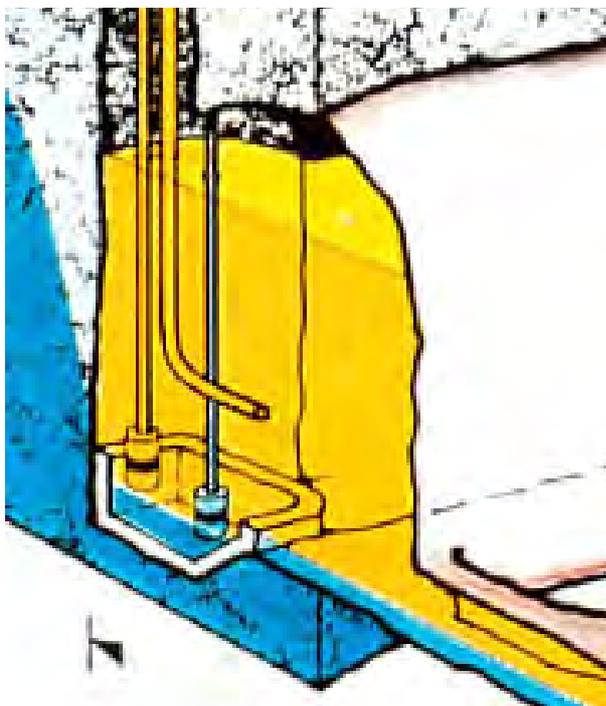


Abbildung 79: Detail nass aufgestellte Rohrpumpe



Abbildung 80: Beispiel nass aufgestellte Rohrpumpe



Abbildung 81: Beispiel Nass aufgestellte Rohrpumpe von KSB

Bohrlochpumpen mit Duplex Edelstahl um Feststoffbeladene Wässer aus Kavernen zu fördern.

Einsatz z.B. Kohleliene in Kailuan / China

Pumpe: UPZ 250 - 440 / 12a

Motor: KLD TV 26 - 605

Fördermenge: $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$

Druck: $H = 650 \text{ m}$

Motorleistung: $P_2 = 2600 \text{ kW}$

Spannung: $U = 6000 \text{ V}$

Kosten: ca. $150 \text{ T€} * 3 \text{ Pumpen} = 450 \text{ T€}$ bis 500 T€ gemäß Richtpreisangebot der Firma KSB.

9.5. Schieberstation

Es wird davon ausgegangen, dass ca. alle 10 km eine Schieberstation errichtet werden muss. Dies ist jedoch von den genauen topografischen Bedingungen sowie betrieblichen als auch behördlichen Vorgaben abhängig.

Es ist darüber hinaus zu prüfen, ob hinsichtlich der maximal zulässigen auslaufenden Volumina im Falle einer Havarie Vorschriften oder gesetzliche Regelungen einzuhalten sind.

9.6. Molchstationen

Typische Darstellung einer Molchstation DN 800:

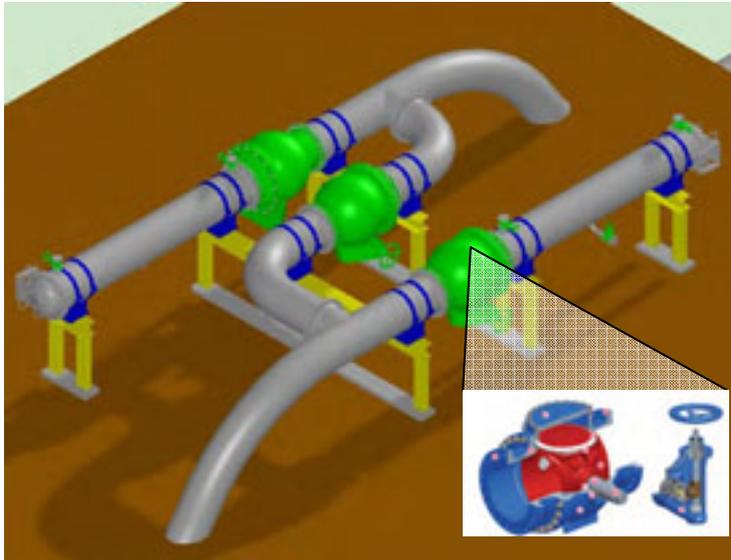


Abbildung 82: Typische Molchstation

Molchstationen sind notwendig um die Rohrfernleitung mittels „Molchen“ zu reinigen, zu prüfen und ggf. zu reparieren (z.B.: Konturenschleifen).

Die typische Distanz zwischen zwei Molchstationen beträgt ca. 100 km, der maximale Abstand zwischen zwei Molchstationen liegt bei 280 km.

Dies ist abhängig von dem benötigten Einsatzzweck des Molchsystems. Die maximale Einsatzlänge wird begrenzt von der Laufzeit der benötigten Eigenenergie (Stromversorgung durch Batterie) des Molchsystems

Das Molchen erfolgt während des kontinuierlichen Betriebes. Dabei ist das Betriebsmedium gleichzeitig für den Vortrieb des Molchs zuständig.

Die Kosten für eine Molchstation betragen ca. 150 T€ - 200 T€ alle 100 km, je nach Ausführung.

9.6.1. Verschiedene Molchstationen



Abbildung 83: Bürstenmolch



Abbildung 84: Reinigungsmolch mit Plastikmanschette



Abbildung 85: Molch zur Rissprüfung

9.7. Entlüftung, Entwässerung und Becken

Entlüftungseinrichtungen müssen an den jeweiligen Hochpunkten der Rohrfernleitung eingebaut werden. Die Entlüftung der Rohrleitung ist notwendig da Luft im Rohrsystem wie ein Verschluss wirkt und einen freien Abfluss des Mediums behindert.

Entwässerungsschächte sind an den jeweiligen Tiefpunkten vorzusehen. Entwässerungspunkte sind vorzusehen um die Rohrfernleitung im Revisionsfall kontrolliert entleeren zu können.

9.8. Betriebsschächte (Beispielhaft aus GFK)

Betriebsschächte sind notwendig um den Einsatz verschiedener Betriebseinrichtungen zu ermöglichen. Dies sind:

- Schieber um Teilabschnitte schließen zu können
- Messeinrichtungen
- Überwachungseinrichtungen (Druck, Temperatur)
- Probenahmeeinrichtungen (behördliche Überwachung)

9.8.1. Schieberschacht und Messschacht



Abbildung 86: Schieberschacht

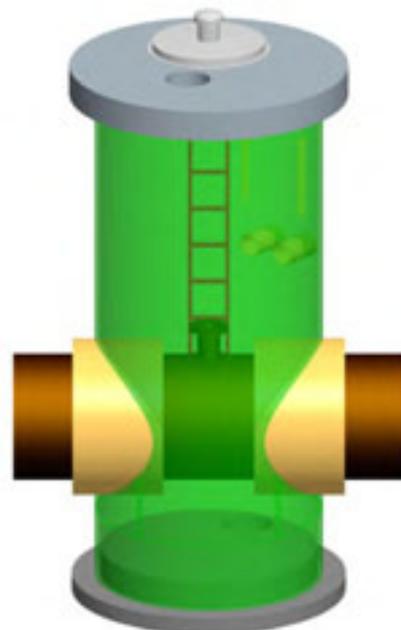


Abbildung 87: Messschacht

9.8.2. Flexible Einbindung eines nahe liegenden Rohres

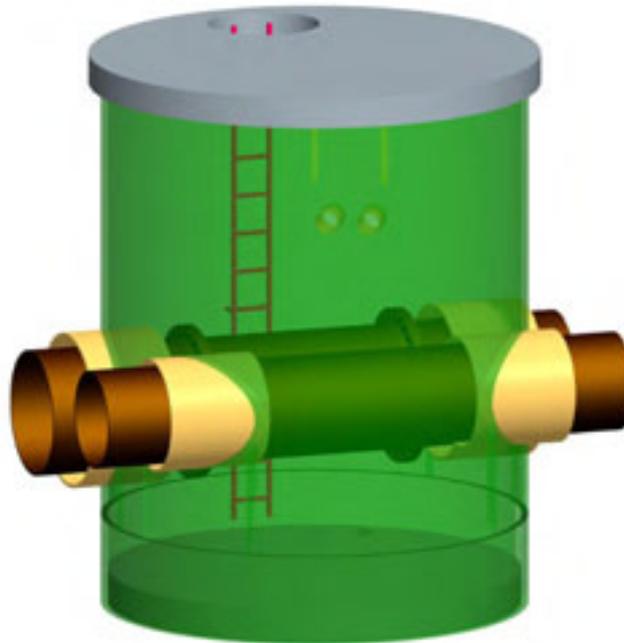


Abbildung 88: Flexible Einbindung

Vorteile bei Einsatz von GFK Schächten (exemplarisch Fa. Amitech):

- Vorgefertigte Schachteinheiten mit Rohr und Einbauten
- können auch nachträglich eingebaut werden (Referenz Wingas)
- Erfüllen erhöhte Anforderungen bzgl. Leckagesicherheit
- Leichtes Transportgewicht
- Flexibel einzubinden

9.9. Zusätzliche Betrachtungen

9.9.1. Druckstöße bei Schieberschluss

Glitt nur für Flüssigkeiten!!							
	Rohr nach DIN	2460	SI				
Rohrlänge	L [km] =	10,000	10000 [m]	$c_{Schall} = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} \approx \sqrt{\frac{1}{\beta_T \cdot \rho_R}} = \sqrt{\frac{E_R}{\rho_R}}$ <p>mit β_T: Isothermer Kompressibilitätskoeffizient [1/Pa]</p>			
Rohraußendurchmesser	$d_{außen}$ [mm] =	815,0	0,8150 [m]				
Wandstärke des Rohres	s [mm] =	8,0	0,0080 [m]				
Rohrinnendurchmesser	d_{innen} [mm] =	799,0	0,7990 [m]				
E-Modul Rohr	E_{Rohr} [Pa] =	2,06E+11					
E-Modul Flüssigkeit	E_{Fl} [Pa] =	1,58E+09					
Dichte der Flüssigkeit	ρ [kg/m³] =	1.200,0					
Schallgeschwindigkeit (Tabellenwert)	c_{Schall} [m/s] =	1.410	<---- Tabellenwert, dieser wird benutzt!				
Schallgeschwindigkeit (berechnet)	c_{Schall} [m/s] =	1.148	<---- berechnet				
Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Druckstörung	c_F [m/s] =	1.060,7		$c_F = \frac{c_{Schall}}{\sqrt{1 + \frac{d_i \cdot E_{Flüssigkeit}}{s_w \cdot E_{Rohr}}}}$ <p>und $t_{Schließ} > \frac{2 \cdot L_{Rohr}}{c_F}$</p>			
Reflexionszeit = Mindestschließezeit	$t_{reflexion}$ [s] =	18,86	<= Mindestschließezeit				
Volumenstrom	V_{Strom} [m³/h] =	1.000,00	0,27777778 [m³/s]				
Strömungsgeschwindigkeit	w [m/s] =	0,554	=w_Rohr(V_Strom;d_i)				
Druckanstieg beim plötzlichen Absperrn	Δp_{max} [Pa] =	9,374E+05		$\Delta p_{max} = \rho \cdot w \cdot c_{Schall}$			
	Δp_{max} [bar] =	9,37					
=t_Schliess_Min_Ventil(L_Rohr;d_a;d_i;c_Schall;E_Modul_Liq;E_Modul_Rohr)							
Vauck-Müller Grundoperationen chemischer VT (1994) S. 92							
Tabellenwerte:		Wasser	CCl ₄	Ethanol	Benzol	Hg	Glycerin
Schallgeschwindigkeit bei t = 20 °C	c_{Schall} [m/s] =	1.410,0	938,0	1.180,0	1.326,0	1.451,0	1.923,0
Rohrdurchmesser	D	Abschnitt	Tmin.	Pmax.			
Schmelzbasaltrohr	560	10 km	15 s	24 bar			
Stahlrohr	510	10 km	17,5 s	24,5 bar			
Stahlrohr	615	10 km	17,8 s	16,7 bar			
Stahlrohr	715	10 km	18,3 s	12,3 bar			
Stahlrohr	815	10 km	18,9 s	9,4 bar			

Abbildung 89: Druckstöße bei Schieberschluss

Die Berechnung von Druckstößen, insbesondere beim Schließen von Schiebern wird durchgeführt um kritische Betriebszustände vorherzusagen bzw. auszuschließen.

Kann rechnerisch nachgewiesen werden, dass der maximal auftretende Druckstoß kleiner als der maximal zulässige Druck in der Rohrleitung ist so wird ein Bersten des Rohrs aufgrund eines Druckstoßes sicher verhindert.

Kann durch einen Druckstoß eine Druckspitze im Rohr auftreten, welche das Rohr überlastet so gibt die Berechnung Aufschluss über die minimal zulässige Schließezeit um solch einen Druckstoß zu verhindern.

9.9.2. Leckageverluste bei Beschädigung der Rohrleitung

Nach Methode in
Blevins, R. D.: Applied Fluid Dynamics Handbook, Reprint edition with corrections (original edition 1984)
- Malabar, Florida: Krieger Publishing Company, 2003, S. 94-95

			SI	
Volumenstrom Flüssigkeit	$V_Strom [m^3/h] =$	1.200,00	0,333333	$[m^3/h]$
Außendurchmesser	$d_{\text{außen}} [mm] =$	560,00		
Wandstärke	$s [mm] =$	30,00		
Innendurchmesser	$d_{\text{innen}} [mm] =$	500,00	0,500	$[m]$
Strömungsgeschwindigkeit im Rohr	$w [m/s] =$	1,698		
Dichte Flüssigkeit	$\rho [kg/m^3] =$	1.200,00		
Druck UM die Rohrleitung	$p_u [\text{bar abs}] =$	1,0130	1,013E+05	
Druck in der Rohrleitung	$p_{\text{innen}} [\text{bar abs}] =$	25,00	2,500E+06	
Austrittsgeschwindigkeit Leckagestrom	$w_Leckage [m/s] =$	42,987		Flüssigkeit strömt aus dem Rohr in die Umgebung
				$= w_Leckage_Rohr(p_innen; p_ausen; \rho_{\text{Liq}}; w_Rohr)$
Durchmesser der scharfkantigen Öffnung	$d_0 [mm] =$	2,50	0,003	$[m]$
Querschnitt der Öffnung	$A_0 [m^2] =$	4,90874E-06		
Leckage-Strom	$V_Strom_Leckage [m^3/h] =$	0,7596	0,00021	$[m^3/h]$
Zuschlag für abgerundete Öffnungen	Zuschlag 20 - 50 %	25,0%		
Leckage-Strom für abgerundete Öffnungen	$V_Strom_Leckage [m^3/h] =$	0,9496		Flüssigkeit strömt aus dem Rohr in die Umgebung

Abbildung 90: Berechnung des Leckageverlustes bei Beschädigung der Rohrleitung

Über die Berechnung eines Leckageverlustes kann eine Aussage über mögliche Umweltauswirkungen getroffen werden falls dies behördlicherseits erforderlich wird. z.B.: Max. Leckagemenge etc.

10. Zusammenfassung

10.1. Technische Bewertung der Varianten

Variante	D _{Druck}	L _{Druck}	D _{Gefälle}	L _{Gefälle}
1A: Würgassen (Diemel)	DN 1000	48 km	DN 700	99,5 km
1B: Petershagen (Werre)	DN 1000	48 km	DN 800	228,9 km
1C: Langwedel (Aller)	DN 1000	48 km	DN 900	299,2 km
2A: Wilhelmshaven	DN 800	48 km	DN 700	393,4 km
2B: nördlich Mellum	DN 800	48 km	DN 700	414,6 km

Tabelle 31: Zusammenfassung der hydraulischen Durchmesser

Die angegebenen Durchmesser sind Schätzungen welche auf den verfügbaren Daten sowie den oben durchgeführten Berechnungen basieren. Die Daten müssen durch weitere Erhebungen (Rohrpreise, Materialwahl, hydraulische Berechnung) und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen (Energiepreise, Instandhaltungskosten, Abschreibungszeiträume) verdichtet werden um die Belastbarkeit der Aussagen zu verbessern.

10.2. Zusammenstellung der Investitionskosten

Die nachfolgende Zusammenstellung der unterschiedlichen Varianten zeigt die Kosten für die unterschiedliche Rohrleitungsmaterialien GFK und St37.0 - PE-ummantelt.

Zusammenstellung der Massen/Kosten					
	Variante 1A - Würgassen	Variante 1B - Petershagen	Variante 1C - Langwedel	Variante 2A - Wilhelmshaven	Variante 2B - Nordsee
Gesamtlänge der Trasse	147,49 km	276,94 km	347,22 km	441,43 km	462,57 km
Länge Rohrleitung DN 700	99,49 km			393,43 km	414,57 km
Länge Rohrleitung DN 800		228,94 km		48,00 km	48,00 km
Länge Rohrleitung DN 900			299,22 km		
Länge Rohrleitung DN 1000	48,00 km	48,00 km	48,00 km		
Verlegung in Acker- und Grünflächen	128,32 km	240,94 km	319,44 km	410,53 km	410,53 km
Verlegung in Waldbereichen	17,70 km	30,46 km	24,31 km	26,49 km	27,75 km
Verlegung in Siedlungsbereichen	1,47 km	5,54 km	3,47 km	4,41 km	4,63 km
Verlegung in Küstengewässern					19,66 km
Anzahl Schieberstationen	15,00 St	28,00 St	35,00 St	44,00 St	46,00 St
Kosten netto pro lfm - GFK	1.150,59 €	1.200,79 €	1.293,99 €	1.037,55 €	1.077,63 €
Kosten netto Gesamt - GFK	169.700.612,74 €	332.546.807,63 €	449.299.643,75 €	458.007.250,39 €	498.479.093,96 €
Kosten netto pro lfm - St 37.0	1.221,17 €	1.263,67 €	1.475,65 €	1.055,13 €	1.094,96 €
Kosten netto Gesamt - St 37.0	180.110.492,74 €	355.499.207,63 €	512.375.243,75 €	465.766.767,89 €	506.497.576,46 €
Differenz St 37.0 - GFK	10.409.880,00 € 6,13%	22.952.400,00 € 6,90%	63.075.600,00 € 14,04%	7.759.517,50 € 1,69%	8.018.482,50 € 1,61%

Tabelle 32: Zusammenstellung der Massen/Kosten

Die Kosten pro lfm bzw. die Kosten Gesamt setzen sich zusammen aus den Oberboden- und Erdarbeiten, Lieferung und Einbau der Medienrohre und Leerrohre 4 x DN 160, sowie aus Zulagen für Kreuzungen und die Verlegung innerhalb von Waldbereichen, Siedlungsbereichen und Küstengewässern.

Zusätzlich sind in den Kosten für die Baustelleneinrichtung und Sicherheit für Unvorhergesehenes enthalten.

Für die Verlegung der Rohrfernleitung im Küstenbereich werden 2,5% zusätzlich für unvorhersehbares angesetzt um Erschwernisse bei der Grundwasserhaltung, Verlegung im Nordseebereich etc. zu erfassen.

Momentan wird davon ausgegangen, dass die Kosten für evtl. Becken, Pumpenhaus, Einlaufbauwerk, sowie die Kosten für die Genehmigung von Seiten K + S getragen werden.

Die Planungskosten sind ebenfalls nicht berücksichtigt.

11. Fazit und Ausblick

Für die endgültige Abschätzung der Machbarkeit der überregionalen Entsorgung des Salzabwassers aus der Kaliproduktion mittels Rohrfernleitungsanlagen zur Nordsee oder zur Weser sind folgende weiterreichenden Untersuchungen durchzuführen und Fragestellungen zu klären:

- Die genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen für die Durchführung des Projektes sind mit den beteiligten Ländern zu diskutieren und festzulegen.
- Berücksichtigung der Ergebnisse aller weiteren Untersuchungen bzgl. Hydrologie, Umweltfachliche Untersuchungen, etc.
- Nach aktuellem Kenntnisstand könnten alle vorgeschlagenen Lösungsvarianten technisch realisierbar sein.
- Nach der vorläufigen und überschlägigen Kostenschätzung (+/- 25%) bewegt sich der Aufwand für die Realisierung im angestrebten Rahmen. Eine Überprüfung der getroffenen Annahmen ist unbedingt erforderlich.
- Weitere Erhebungen, insbesondere Gespräche mit K+S zur Erhebung der möglichen Betriebsweisen, bestehender Rohrverläufe und hydraulischer Lastfahrweise sind erforderlich und werden von InfraServ GmbH & Co. Gendorf KG angestrebt.
- Die Materialauswahl ist intensiv zu untersuchen, da hier ein wesentlicher Teil der Invest- und Betriebskosten entsteht. (Stahl, GFK, Schmelzbasalt, PEHD)

12. Quellenverzeichnis

AMITECH GERMANY GMBH, Am Fuchsloch 19, D-04720 Mochau (2009): Richtpreisangebot für GFK Rohrleitungen

DE LA MOTTE & PARTNER INGENIEURGESELLSCHAFT MBH, Birkenweg 11, 21465 Reinbek bei Hamburg (2009): Unterlagen zum Soleauslasswerk

INGENIEUR- UND PLANUNGSBÜRO LANGE (2009): Umweltverträglichkeitsuntersuchung zur Salzwasserleitung Neuhof – Phillipsthal.

FFG WESER (2009): Zeitplan, Arbeitsprogramm und Anhörungsmaßnahmen zur Erstellung des Bewirtschaftungsplans 2009 für die Flussgebietseinheit Weser Information der Öffentlichkeit 22.12.2006

KSB AKTIENGESELLSCHAFT, Johann-Klein-straße 9, 67227 Frankenthal (2009): Richtpreisangebot für Pumpen

MAX STREICHER GMBH & Co. KG AA, Schwaigerbreite 17, 94469 Deggendorf (2009): Richtpreisangebot für Beschaffung und Verlegung von Stahlrohrleitungen

RUNDER TISCH GEWÄSSERSCHUTZ WERRA/WESER UND KALIPRODUKTION (2009): Empfehlungen Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion. 2. Entwurf 18.08.09.

SALZGITTER AG, Eisenhüttenstraße 99, 38239 Salzgitter (2009): Informationen zur Materialauswahl

SYDRO CONSULT GMBH INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR SYSTEMHYDROLOGIE, WASSERWIRTSCHAFT UND INFORMATIONSSYSTEME (2009): Ergebnisse des Prognosemodells – Szenarienbetrachtung (Cl, K, Mg). Darmstadt.

TRFL TECHNISCHE REGELN FÜR ROHRFERNLEITUNGSANLAGEN (2003): Bekanntmachung der Technischen Regel für Rohrfernleitungen nach §9 Abs.5 der Rohrfernleitungsverordnung vom 19. März 2003.